ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 4 (21)

Главный редактор
доктор экономических наук
профессор
Г. П. Беляков

Заместитель главного редактора
доктор технических наук
профессор
Л. Г. Шаймарданов

Редакционная коллегия:
Е. Н. Головенкин
Т. В. Зеленская,
М. В. Краев,
А. Н. Ловчиков,
А. В. Медведев,
В. А. Охорзин,
К. Г. Охоткин (отв. секретарь),
А. С. Паршин,
С. И. Сенашов,
В. Г. Сомов,
Ю. А. Филиппов

Учредитель
Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2008
© Коллектив авторов, 2008

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

«Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева» (Вестник СибГАУ) – межрегиональный научный журнал, содержащий результаты научных исследований в области естественных, технических и прикладных наук по вопросам проектирования, производства и эксплуатации авиационной и ракетно-космической техники, а также экономики, философии, социологии

Представленные в журнал статьи публикуются после обязательного рецензирования и при оформлении их в соответствии с требованиями редакции (www.sibsau.ru/science/vestnik.shtml)

Периодичность – 4 раза в год
Специальный выпуск – 1 раз в год

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки – http: //www.elibrary.ru

Журнал включен в каталог российской прессы «Почта России» (МАП) – 11399

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий, 31, П-415
Тел. (391)291-90-19
Факс (391)262-95-53
E-mail: vestnik@sibsau.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникации и охраны культурного наследия,
свидетельство ПИ № ФС77-22189 от 27.10.2005 г.

Журнал включен ВАК России в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук»

При перепечатке или цитировании материалов из журнала «Вестник СибГАУ» ссылка обязательна

Редакторы О. А. Плехова, Т. Е. Ильющенко, Е. Г. Некрасова
Редактор английского текста М. В. Карасева
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 27.12.2008. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 18,9.
Уч.-изд. л. 34,2. Тираж 500 экз. Заказ 87/33. С 93/8.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31, П-415.
Отпечатано в типографии «Город».
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2-241.

УДК 004.272.3

С. Н. Ефимов, В. С. Тынченко

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ GRID-СИСТЕМ ДЛЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ

Обсуждается проблема выбора эффективной конфигурации GRID-системы для параллельной реализации нейросетевого моделирования. Разработан новый многопопуляционный параллельный генетический алгоритм для решения многокритериальной оптимизационной задачи структурно-параметрического синтеза нейросетевых моделей. Предложен комплекс аналитических моделей оценки эффективности функционирования GRID-системы.

Ключевые слова: нейросетевые модели, структурно-параметрический синтез, параллельные генетические алгоритмы, модели GRID-систем.

Искусственные нейронные сети (ИНС) в настоящее время успешно применяются для решения самых разнообразных научно-технических задач, таких как задачи автоматизации процессов распознавания образов, адаптивного управления, аппроксимации функционалов, прогнозирования, создания экспертных систем, организации ассоциативной памяти и др. Однако эффективное применение данного подхода широким кругом специалистов не всегда возможно из-за отсутствия формализованных процедур, полностью охватывающих весь процесс построения нейросетевых моделей.

Автоматизация структурно-параметрического синтеза нейросетевой модели с произвольными связями между нейронами требует решения сложных многопараметрических оптимизационных задач выбора эффективной структуры нейросети и настройки ее весовых коэффициентов. При решении подобного рода задач оптимизации хорошо зарекомендовали себя генетические алгоритмы, которые не требуют информации о свойствах оптимизируемой функции и позволяют вести глобальный поиск в пространстве решений [1].

Выполнение расчетов по генетическим алгоритмам требует значительных вычислительных ресурсов, однако указанные алгоритмы потенциально обладают свойством массового параллелизма при обработке информации, что допускает их эффективную параллельную реализацию. Распараллеливание генетических алгоритмов на базе распределенной вычислительной системы (ВС) позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на решение задачи, как за счет параллельного выполнения вычислений, так и за счет применения более эффективных, по сравнению с последовательным случаем, способов реализации алгоритмов.

Повсеместное использование высокопроизводительных и доступных по стоимости персональных компьютеров, разработка и массовое практическое применение сетевых информационных технологий различного уровня и назначения позволяет говорить о распределенных компьютерных сетях как об эффективной и значительно более дешевой альтернативе многопроцессорных и многомашинных вычислительных систем в качестве аппаратных средств реализации параллельных вычислений при решении сложных и ресурсоемких задач. Однако основной проблемой широко распространенных технологий глобальных компьютерных сетей является невозможность универсально и эффективно использовать удаленные вычислительные ресурсы, поскольку Интернет-технологии изначально ориентировались на доступ к данным, а не к вычислительным мощностям.

Преодолеть ограничения и недоработки существующих в этой области решений позволяет интенсивное развитие и внедрение перспективной сетевой технологии GRID, в основе которой лежит идея создания географически распределенной вычислительной инфраструктуры, объединяющей ресурсы различных типов, с коллективным доступом к ним в рамках виртуальных организаций, состоящих из предприятий и специалистов, которые совместно используют эти общие ресурсы. Применяя эту технологию и наполняя ее конкретным содержанием, можно реализовать ту или иную GRID-систему, предназначенную для решения того или иного класса прикладных задач. Особый интерес GRID-технология представляет для организаций и учреждений, уже имеющих в своем распоряжении большой парк персональных компьютеров, объединение которых в единую GRID-систему позволяет эффективно использовать простаивающие мощности и повысить производительность труда конечных пользователей [2].

Важным свойством GRID-систем является то, что вся работа по управлению, перераспределению и оптимизации использования ресурсов при решении конкретной задачи ложится на системное программное обеспечение и выполняется незаметно для пользователя, создавая тем самым единое виртуальное информационное пространство, обладающее огромными вычислительными мощностями и объемом памяти. Автоматизация распределения ресурсов GRID-системы и их координации в процессе решения сложных научно-технических задач требует разработки и применения формальных методов моделирования и оптимизации для формирования эффективной конфигурации вычислительных ресурсов этой системы, реализующей свои основные функции.

Постановка задачи многокритериальной оптимизации структуры ИНС. Формализуем постановку задачи многокритериальной оптимизации структуры ИНС следующим образом [3]:

$$\begin{cases} \dfrac{\sum\limits_{j=1}^{m}\sqrt{\dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n}\left(OUT_k^j(C,W,\overline{af})-y_k^j\right)^2}{n}}}{m} \to \min\limits_{C,W,\overline{af}}, \\ N_{\text{св}}(C)+\sum\limits_{i=1}^{N_{\text{н}}}K_i(\overline{af}) \to \min\limits_{C,af} \end{cases}$$

где C – матрица связей ИНС размерности $N_н \times N_н$; W – матрица весов связей ИНС размерности $N_н \times N_н$; $\overline{af}$ – вектор активационных функций на нейронах в ИНС размерности $N_н$; $N_н$ – количество нейронов в ИНС; $OUT_k^j(C, W, \overline{af})$ – реальное значение k-го выхода ИНС, имеющей структуру $(C, W, \overline{af})$, при подаче на ее входы j -го образа; y_k^j – идеальное (желаемое) выходное состояние k-го нейрона; n – количество нейронов на выходе сети; m – размер обучающей выборки; $N_{св}$ – количество связей ИНС; $K_i = \frac{T_i^{акт}}{T^{св}}$ – коэффициент относительной сложности вычисления активационной функции на i-м нейроне, здесь $T_i^{акт}$ – время вычисления активационной функции на i-м нейроне; $T^{св}$ – время обработки одной связи ИНС.

Модификация многопопуляционного параллельного генетического алгоритма (ПГА) для решения задач многокритериальной оптимизации. В случае применения многопопуляционного параллельного генетического алгоритма (ПГА) для решения задачи многокритериальной оптимизации необходимо адаптировать алгоритм таким образом, чтобы учесть многокритериальный характер решаемой задачи.

При решении оптимизационной задачи в многокритериальной постановке каждая популяция эволюционирует в соответствии с некоторым многокритериальным генетическим алгоритмом, а их взаимодействие определяется выбранной схемой реализации параллельного ГА [4].

Для выполнения оператора миграции требуется производить оценивание качества индивидов. Такую оценку предлагается выполнять на основе концепции парето-доминирования: индивид тем лучше, чем меньшее количество индивидов в популяции его доминируют и, наоборот, индивид тем хуже, чем большее количество индивидов в популяции его доминируют.

Разработка нового многокритериального многопопуляционного ПГА. В данной статье в многокритериальный многопопуляционный ПГА предлагается добавить процедуру реструктуризации топологии связей между популяциями в ходе решения оптимизационной задачи. Данная процедура реализуется следующим образом: к изначально выбранной базовой топологии связей между популяциями динамически добавляются временные связи между изолированными друг от друга популяциями, чтобы популяции, недостаточно хорошо функционирующие в текущий момент, могли получить дополнительных мигрантов из лучших индивидов тех популяций, которые показывают достаточно хорошие результаты.

Основными характеристиками, по которым можно оценивать качество работы алгоритмов, являются следующие:

– количество глобально парето-недоминируемых индивидов в популяции алгоритма;

– разброс глобально парето-недоминируемых индивидов алгоритма на множестве Парето (или фронте Парето).

Под глобально парето-недоминируемыми индивидами будем понимать индивидов, которые являются недоминируемыми не только при сравнении с индивидами своей популяции, но и при сравнении со всеми индивидами остальных параллельно функционирующих популяций.

В соответствии с этим качество работы параллельно функционирующих популяций можно оценивать по следующему выражению:

$$Q_i = \frac{2}{N_i^{GPOI} - 1} \sum_{\substack{k=\overline{1, N_i^{GPOI}-1} \\ l=\overline{k+1, N_i^{GPOI}}}} \left\| \mathrm{ind}_k^i - \mathrm{ind}_l^i \right\|, \qquad (1)$$

где Q_i – критерий качества i-го параллельно функционирующего алгоритма; $N_i^{GPOI} = \sum_{j=1}^{N_i^{POI}} \prod_{k=1}^{N_{alg}} \prod_{l=1}^{N_k^{POI}} I_{i,j}^{k,l}$; N_i^{POI} – количество парето-оптимальных индивидов в популяции i-го алгоритма; N_{alg} – количество параллельно функционирующих алгоритмов; $I_{i,j}^{k,l} = \begin{cases} 0, & \text{при } \mathrm{ind}_j^i < \mathrm{ind}_l^k, \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases}$

Здесь ind_j^i – i-й недоминируемый индивид j-го алгоритма.

При $N_i^{GPOI} = 1$:

$$Q_i = \sum_{\substack{j=1 \\ N_j^{GPOI} \geq 2}}^{N_{alg}} d_j \Bigg/ \sum_{\substack{j=1 \\ N_j^{GPOI} \geq 2}}^{N_{alg}} 1. \qquad (2)$$

При $N_i^{GPOI} = 0$:

$$Q_i = k \sum_{\substack{j=1 \\ N_j^{GPOI} \geq 1}}^{N_{alg}} Q_j \Bigg/ \sum_{\substack{j=1 \\ N_j^{GPOI} \geq 1}}^{N_{alg}} 1, \qquad (3)$$

где k – коэффициент участия плохих алгоритмов.

Рассмотрим схему многокритериального многопопуляционного ПГА с реструктуризацией топологии связей между популяциями.

Введем обозначения:

– N – количество популяций;

– m_i – скорость миграции i-й популяции ($i = \overline{1, N}$);

– k_i – период миграции i-й популяции ($i = \overline{1, N}$).

Рассмотрим работу алгоритма на примере l-й популяции.

1. Выполнить k_l циклов многокритериального ГА.

2. Вычислить значения Q_i, показателей качества работы всех алгоритмов по формулам (1)...(3).

3. Если $Q_l < \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i}{N}$, то добавить временную связь от популяции j, для которой $Q_j > \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i}{N}$, к популяции l с вероятностью $P_j = \frac{Q_j}{\sum_k Q_k}$, где $Q_k > \frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i}{N}$.

4. Выполнить миграцию в соответствии с полученной топологией.

Применение описанного выше многокритериального многопопуляционного ПГА позволяет повысить быстродействие стандартного многопопуляционного генетического алгоритма при решении тестовых и практических задач нейросетевого моделирования в среднем на 15,54 %, что свидетельствует об эффективности применения предложенного подхода.

Для эффективного выполнения параллельных вычислений в процессе нейросетевого моделирования необходимо принимать решения, касающиеся аппаратной конфигурации вычислительных систем, на которых будет

производиться структурно-параметрический синтез искусственных нейронных сетей. Основным инструментом при исследовании эффективности функционирования вычислительных систем являются аналитические модели оценки производительности и надежности [5].

Аналитическая модель оценки производительности централизованного варианта GRID-системы при реализации задачи с синхронным стартом. Пусть в конфигурацию GRID-системы входит произвольное количество клиентских вычислительных узлов различной производительности и многопроцессорный сервер.

Характеристики моделируемой GRID-системы следующие:

– N – количество клиентских ресурсов GRID-системы (клиентских вычислительных узлов);

– n – количество однородных процессоров серверного узла системы;

– ω_i – быстродействие i-го клиентского ресурса GRID-системы, FLOPS;

– ω_{srv} – быстродействие процессоров на серверном узле системы, FLOPS;

– n_i – быстродействие канала связи i-го клиентского ресурса GRID-системы с ее серверным узлом, бит/с.

Характеристики решаемой задачи:

– NO_{alg} – средняя вычислительная сложность (количество машинных операций) одной итерации вычислений на одной ветви алгоритма решения задачи, операций;

– NO_{ctrl} – средняя вычислительная сложность алгоритма управления одной ветвью алгоритма решения задачи, операций;

– V_{alg} – средний объем данных клиент-серверного обмена, бит;

– $T_{доп}$ – максимально допустимое время решения задачи.

Отличительной чертой любой GRID-системы является наличие установленного расписания работы ее вычислительных ресурсов. Введем обозначения:

– t_i^{on} – время включения i-го ресурса GRID-системы, $i=\overline{1,N}$;

– t_i^{off} – время выключения i-го ресурса GRID-системы, $i=\overline{1,N}$;

$$\delta_i(t)=\begin{cases}1 \text{ при } (t_i^{on}<t_i^{off}\wedge t\ge t_i^{on}\wedge t<t_i^{off})\vee \\ \vee(t_i^{on}>t_i^{off}\wedge t\ge t_i^{on}\wedge t>t_i^{off})\vee(t_i^{on}>t_i^{off}\wedge t<t_i^{on}\wedge t<t_i^{off}), \\ 0 \text{ иначе,}\end{cases}$$

где $\delta_i(t)$ – показатель доступности i-го узла – определяет, присутствует ли i-й узел GRID в сети в заданное время t.

Представим процесс функционирования GRID-системы замкнутой системой массового обслуживания (СМО) с ожиданием и случайным распределением заявок всех типов по всем процессорам сервера без взаимодействия между собой [6].

Пусть в GRID-системе имеется N клиентских узлов, каждый из которых в некоторые случайные моменты времени нуждается в обслуживании. Обслуживание осуществляется посредством n однородных процессоров серверного узла. Поток заявок на обслуживание от клиентов каждого типа – пуассоновский с параметром λ_i, где $i=\overline{1,N}$. Интенсивность обслуживания каждой заявки подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром μ_i [7]. Вновь поступившая на обслуживание заявка направляется с равной вероятностью на любой из свободных процессоров сервера и принимается на обслуживание. Если все процессоры заняты, то поступившая на обслуживание заявка становится в очередь и ждет своего обслуживания. Дисциплина обслуживания – случайный равновероятный выбор из очереди.

Рассматриваемая СМО может находиться в следующих состояниях: $a^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_N}$ – в системе находится j_i заявок от i-го клиентского ресурса GRID-системы, где $i=1,2,\dots,N$, k процессоров сервера занято обслуживанием, l заявок находятся в очередях на обслуживание.

Обозначим через $P^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_N}$ вероятность нахождения системы в состоянии $a^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_N}$.

Решение системы дифференциальных уравнений рассматриваемой СМО будет иметь вид

$$P^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_N}(t)=\frac{C^l_{k+l-1}C^k_n\dfrac{(k+l)!}{n^{(k+l)}}\prod\limits_{i=1}^{N}\rho_i^{j_i}\hat{\delta}_i(t,j_i)}{\sum\limits_{k=1}^{h}\sum\limits_{l=0}^{N-k}C^l_{k+l-1}C^k_n\dfrac{(k+l)!}{n^{(k+l)}}\sum\limits_{\substack{j_1\in\{0,1\}\\ j_2\in\{0,1\}\\ \dots\dots\\ j_N\in\{0,1\}}}\prod\limits_{i=1}^{N}\rho_i^{j_i}\hat{\delta}_i(t,j_i)}.$$

При оценке производительности GRID-системы определяющим оказывается общее количество заявок, находящихся на обслуживании и в очередях, независимо от их типа. Общее количество заявок, находящихся в очередях, можно определить, используя понятия совокупности стационарных вероятностей $P_{k,l}$, средней длины очереди $l_{ср}$ и коэффициентов q_i средних потерь производительности для клиентов каждого типа. С учетом сказанного среднюю производительность GRID-системы можно определить, используя следующие выражения:

$$\Pi_{ср}(t)=\sum_{i=1}^{N}\frac{\omega_i}{\theta_i(t)}\delta_i(t),$$

$$\theta_i(t)=1+\frac{l_{ср}(t)\tau_i}{T_{oi}+\tau_i},$$

$$l_{ср}(t)=\sum_{k=1}^{h}\sum_{\ell=1}^{N-k}P_{k,l}(t)\,l,$$

$$P_{k,l}(t)=\sum_{\substack{j_1\in\{0,1\}\\ j_2\in\{0,1\}\\ \dots\dots\\ j_N\in\{0,1\}}}P^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_{N-1},j_N}(t),$$

$$P^{k,l}_{j_1,j_2,\dots,j_N}(t)=\frac{C^l_{k+l-1}C^k_n\dfrac{(k+l)!}{n^{(k+l)}}\prod\limits_{i=1}^{N}\rho_i^{j_i}\hat{\delta}_i(t,j_i)}{\sum\limits_{k=1}^{h}\sum\limits_{l=0}^{N-k}C^l_{k+l-1}C^k_n\dfrac{(k+l)!}{n^{(k+l)}}\sum\limits_{\substack{j_1\in\{0,1\}\\ j_2\in\{0,1\}\\ \dots\dots\\ j_N\in\{0,1\}}}\prod\limits_{i=1}^{N}\rho_i^{j_i}\hat{\delta}_i(t,j_i)},$$

где $\hat{\delta}_i(t,j_i)=\begin{cases}1 \text{ при } \quad j_i=0\vee(j_i=1\wedge t_i^{on}<t_i^{off}\wedge t\ge t_i^{on}\wedge t\ge t_i^{off})\vee \\ \qquad\vee(j_i=1\wedge t_i^{on}>t_i^{off}\wedge t\ge t_i^{on}\wedge t>t_i^{off})\vee \\ \qquad\vee(j_i=1\wedge t_i^{on}>t_i^{off}\wedge t<t_i^{on}\wedge t<t_i^{off}), \\ 0, \text{ иначе.}\end{cases}$, $\rho_i=\dfrac{\mu^i}{\lambda^i}$,

Для рассматриваемой GRID-системы значения параметров интенсивности поступления заявок l_i и интенсив-

ности их обслуживания μ_i вычисляются соответственно по формулам

$$\lambda_i = \frac{1}{\mu_i \dfrac{NO_{\text{alg}}}{\omega_i} - \dfrac{V_{\text{alg}}}{\nu_i} - \dfrac{NO_{\text{ctrl}}}{\omega_{\text{srv}}}},$$

$$\frac{V_{\text{alg}}}{\nu_i} + \frac{NO_{\text{ctrl}}}{\omega_{\text{srv}}}$$

где $i = 1, 2, 3, \ldots, N$.

Предложенный подход позволяет осуществлять выбор эффективной по производительности конфигурации GRID-системы, настроенной на решение сложных задач определенного класса.

Аналитическая модель оценки надежности централизованного варианта GRID-системы при реализации задачи с синхронным стартом. Пусть в конфигурацию GRID-системы входит произвольное количество клиентских вычислительных узлов различной производительности, соединенных концентратором с многопроцессорным сервером.

Характеристики моделируемой GRID-системы следующие:

– N – количество типов клиентских ресурсов GRID-системы (клиентских вычислительных узлов);

– m_i – количество клиентских ресурсов GRID-системы i-го типа;

– n – количество однородных процессоров серверного узла системы.

Каждый вычислительный ресурс GRID-системы в некоторые случайные моменты времени выходит из строя и нуждается в восстановлении. Пусть потоки отказов от всех вычислительных ресурсов являются простейшими и имеют интенсивность λ_i^{cl}, а время восстановления для любого вышедшего из рабочего состояния ресурса GRID-системы подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром μ^{cl} – интенсивностью восстановления отказавших ресурсов виртуальным восстанавливающим устройством (ВУ). Для случая GRID-системы интенсивность μ^{cl} интерпретируется как среднее число вычислительных ресурсов, включаемых в единицу времени ВУ в состав GRID вместо отказавших ресурсов. При этом среднее время восстановления одного вычислительного ресурса будет $\tau = \left(\mu^{\text{cl}}\right)^{-1} = \tau_{\text{к}} + \tau_{\text{д}} + \tau_{\text{р}}$, где $\tau_{\text{к}}, \tau_{\text{д}}$ и $\tau_{\text{р}}$ – математические ожидания времени соответственно контроля, диагностики и реконфигурации системы.

Потоки отказов от всех элементов серверной части GRID-системы являются простейшими и имеют следующие интенсивности:

– λ^{srv} – интенсивность отказов процессоров сервера;

– λ^{hub} – интенсивность отказов концентратора.

Время восстановления для всех вышедших из рабочего состояния процессоров сервера и концентратора подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметрами:

– μ^{srv} – интенсивность восстановления процессоров сервера;

– μ^{hub} – интенсивность восстановления концентратора.

Для учета расписания работы вычислительных ресурсов GRID-системы введем следующие параметры:

– $t_{i,j}^{\text{on}}$ – время включения j-го ресурса i-го типа в GRID-системе, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, m_i}$;

– $t_{i,j}^{\text{off}}$ – время выключения j-го ресурса i-го типа в GRID-системе, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, m_i}$;

$$-\ \delta_{i,j}(t) = \begin{cases} 1 \text{ при } (t_{i,j}^{\text{on}} < t_{i,j}^{\text{off}} \wedge t \ge t_{i,j}^{\text{on}} \wedge t < t_{i,j}^{\text{off}}) \vee \\ 0 \text{ иначе,} \end{cases}$$

$$\vee (t_{i,j}^{\text{on}} > t_{i,j}^{\text{off}} \wedge t \ge t_{i,j}^{\text{on}} \wedge t > t_{i,j}^{\text{off}}) \vee (t_{i,j}^{\text{on}} > t_{i,j}^{\text{off}} \wedge t < t_{i,j}^{\text{on}} \wedge t < t_{i,j}^{\text{off}}).$$

где $\delta_{i,j}(t)$ – показатель доступности j-го ресурса i-го типа, определяющий, присутствует ли j-й ресурс i-го типа в GRID-системе в заданное время t.

Процесс функционирования такой ВС представляется замкнутой СМО с ожиданием, которая может находиться в следующих состояниях: $a_{j^{\text{srv}}, j^{\text{hub}}, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}$ – j^{srv} процессоров сервера исправны, а $(n - j^{\text{srv}})$ – неисправны и восстанавливаются, концентратор неисправен и восстанавливается, j_1^{cl} клиентских ресурсов GRID-системы первого типа исправны, а $(m_1 - j_1^{\text{cl}})$ – неисправны и восстанавливаются, …, j_N^{cl} клиентских ресурсов GRID-системы N-го типа исправны, а $(m_N - j_N^{\text{cl}})$ – неисправны и восстанавливаются.

Если $j^{\text{hub}} = 0$, то вычислительный процесс остановлен, в противном случае все исправные элементы участвуют в вычислительном процессе.

Обозначим через $P_{j^{\text{srv}}, j^{\text{hub}}, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}$ вероятность нахождения системы в состоянии $a_{j^{\text{srv}}, j^{\text{hub}}, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}$.

Решение системы дифференциальных уравнений рассматриваемой СМО будет иметь следующий вид:

$$P_{j^{\text{srv}}, j^{\text{hub}}, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}(t) = \frac{\dfrac{n!}{(n - j^{\text{srv}})!} \rho_{\text{srv}}^{j^{\text{srv}}} \cdot \rho_{\text{hub}}^{j^{\text{hub}}} \cdot \prod_{i=1}^{N} j_i^{\text{cl}}! \rho_{\text{cl}_i}^{j_i^{\text{cl}}} \sum\limits_{\substack{\omega \subseteq \{1, \ldots, m_i\} \\ |\omega| = j_i^{\text{cl}}}} \prod\limits_{g \in \omega} \delta_{i,g}(t)}{\sum\limits_{j^{\text{srv}}=0}^{n} \sum\limits_{j^{\text{hub}}=0}^{1} \sum\limits_{j_1^{\text{cl}}=0}^{m_1} \ldots \sum\limits_{j_N^{\text{cl}}=0}^{m_N} \dfrac{n!}{(n - j^{\text{srv}})!} \rho_{\text{srv}}^{j^{\text{srv}}} \cdot \rho_{\text{hub}}^{j^{\text{hub}}} \cdot \prod_{i=1}^{N} j_i^{\text{cl}}! \rho_{\text{cl}_i}^{j_i^{\text{cl}}} \sum\limits_{\substack{\omega \subseteq \{1, \ldots, m_i\} \\ |\omega| = j_i^{\text{cl}}}} \prod\limits_{g \in \omega} \delta_{i,g}(t)},$$

где $\rho_{\text{srv}} = \dfrac{\mu^{\text{srv}}}{\lambda^{\text{srv}}}$, $\rho_{\text{hub}} = \dfrac{\mu^{\text{hub}}}{\lambda^{\text{hub}}}$, $\rho_{\text{cl}_i} = \dfrac{1}{\lambda_i^{\text{cl}}(\tau_{\text{к}} + \tau_{\text{д}} + \tau_{\text{р}})}$.

Самым распространенным показателем надежности для стационарного режима функционирования ВС является коэффициент готовности вычислительной системы K_r.

С учетом определения вероятности $P_{j^{\text{srv}}, j^{\text{hub}}, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}$ коэффициент готовности рассматриваемой GRID-системы определяется следующим образом:

$$K_r(t) = \sum_{j^{\text{srv}}=1}^{n} \sum_{j_1^{\text{cl}}=1}^{m_1} \sum_{j_2^{\text{cl}}=0}^{m_2} \ldots \sum_{j_N^{\text{cl}}=0}^{m_N} P_{j^{\text{srv}}, 1, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}(t) + \ldots +$$
$$+ \sum_{j^{\text{srv}}=1}^{n} \sum_{j_1^{\text{cl}}=0}^{m_1} \ldots \sum_{j_{N-1}^{\text{cl}}=0}^{m_{N-1}} \sum_{j_N^{\text{cl}}=1}^{m_N} P_{j^{\text{srv}}, 1, j_1^{\text{cl}}, \ldots, j_N^{\text{cl}}}(t).$$

Постановка задачи выбора эффективной конфигурации GRID-системы. Построенный комплекс моделей позволяет перейти к формализации задачи выбора эффективной конфигурации GRID-системы для решения сложных задач определенного класса:

$$\frac{\sum\limits_{i=1}^{N_T - 1} \Pi(t_i, n_k, \omega_{\text{srv}}^k, \bar{z})\,(t_{i+1} - t_i)}{t_{N_T} - t_1} \to \max,$$

$$C_k^{\text{srv}} + \sum_{i=1}^{N} C_i^{\text{cl}} \cdot z_i \left| t_i^{\text{off}} - t_i^{\text{on}} \right| \to \min,$$

при условиях

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_T-1} K_r(n_k, \lambda_k^{\text{srv}}, \mu_k^{\text{srv}}, \lambda_k^{\text{hub}}, \mu_k^{\text{hub}}, \bar{z})\,(t_{i+1}-t_i)}{t_{N_T}-t_1} \geq K_r^{\text{orp}},$$

$$\min_{i=\{1,\ldots,\,N_T-1\}} \frac{\sum_{i=1}^{N_T-1} \Pi(t_i, n_k, \omega_{\text{srv}}^k, \bar{z})\,(t_{i+1}-t_i)}{t_{N_T}-t_1} \geq \Pi^{\text{orp}},$$

$$N^- \leq \sum_{i=1}^{N} z_i \leq N^+.$$

где $\bar{z}$ – показатель включенности клиентских узлов в рассматриваемую структуру GRID:

$$\bar{z} : z_i = \begin{cases} 1, & i\text{-й клиентский узел включен} \\ & \text{в рассматриваемую конфигурацию GRID}, i = \overline{1, N}, \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

N_T – количество точек в упорядоченном по возрастанию множестве моментов времени включения и выключения ресурсов GRID-системы, включая начало и конец интервала времени, $N_T = 2\sum_{j=1}^{N} z_j + 2$.

Ввиду сложности свойств целевых функций и ограничений данной оптимизационной задачи эффективным методом для ее решения является генетический алгоритм, использующий динамические или адаптивные штрафные функции.

Предложенные авторами модели и алгоритмы позволяют эффективно решать задачи структурно-параметрического синтеза искусственных нейронных сетей для моделирования сложных объектов и процессов в распределенных вычислительных сетях с использованием GRID-технологии, а также повысить обоснованность выбора эффективной конфигурации вычислительных ресурсов GRID-системы.

Библиографический список

1. Семенкин, Е. С. Оптимизация технических систем : учеб. пособие / Е. С. Семенкин, О. Э. Семенкина, С. П. Коробейников ; Сиб. ин-т бизнеса, упр. и психологии. Красноярск, 1996.
2. Chervenak, A. The Data GRID: Towards an Architecture for the Distributed Management and Analysis of Large Scientific Data Sets / A. Chervenak, I. Foster, C. Kesselman et al. // J. Network and Computer Applications. 2001. P. 133–138.
3. Ефимов, С. Н. Многокритериальный выбор эффективной структуры нейросетевых моделей параллельными генетическими алгоритмами / С. Н. Ефимов, В. В. Тынченко // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности : сб. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2007. С. 223–224.
4. Cantu-Paz, E. Designing scalable multi-population parallel genetic algorithms / E. Cantu-Paz // IllGAL Report 98009 / The University of Illinois. 1998. P. 82–122.
5. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишневский. М. : Техносфера, 2003.
6. Бройдо, В. Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В. Л. Бройдо. СПб. : Питер, 2003.
7. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания : пер. с англ. / Л. Клейнрок. М. : Машиностроение, 1979.

S. N. Efimov, V. S. Tynchenko

MODELS AND ALGORITHMS OF GRID-SYSTEMS FORMING FOR STRUCTURAL AND PARAMETRIC SYNTHESIS OF NEURAL NETWORK MODELS

The choice problem of GRID-system efficient configuration for neural network modeling parallel realization is discussed. We offer the new multiple-population parallel genetic algorithm for solving the multiobjective optimization problem of neural networks structure-parametric synthesis. The set of analytical models for GRID-system functioning efficiency estimation is suggested.

Keywords: ANN-models, structure and parametric synthesis, parallel genetic algorithvs, GRID-systems models.

УДК 621.979:621.96:073.08:681.586:711/733:004.3

100-летию со дня рождения
академика В. А. Котельникова,
замечательного русского ученого
в области теории цифровой обработки сигналов,
стоящего в среде научного сообщества наравне
с Х. Найквистом и К. Э. Шенноном, посвящается.

В. А. Анохин

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРЕМ КОТЕЛЬНИКОВА В УСЛОВИЯХ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА

Представлены и сведены воедино теоремы В. А. Котельникова, определяющие условия, при которых аналоговые сигналы $s(t)$ *можно точно восстановить по дискретным отсчетам* $s_1 = s(t_1)$, $s_2 = s(t_2)$, ..., $s_k = s(t_k)$, *расположенным через определенные промежутки времени* $\tau_1 = t_2 - t_1$, $\tau_2 = t_3 - t_2$, ... *в цифровых системах.*

Ключевые слова: основная теорема отсчетов Котельникова, свойства, частные случаи.

При отработке методологии технического мониторинга компьютерно-интегрированных технологических систем производства (КИТСП) для механообработки перед автором возникла проблема отсчетов и синхронизации электрических сигналов при циркуляции информации по внешним и внутренним каналам компьютерной управляющей системы (рис. 1, 2), [1; 2].

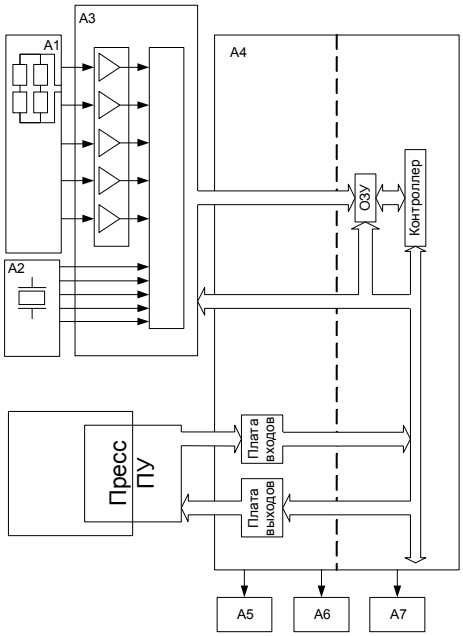


Рис. 1. Функциональная схема управляющей диагностической системы «пресс–штамп–датчик–компьютер» для чистовой вырубки, ее архитектура и аппаратное обеспечение: А1 – блок тензодатчиков; А2 – блок пьезодатчиков; А3 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); А4 – компьютер; А5, А6, А7 – периферийные устройства (клавиатура, монитор и принтер); ПУ – пульт управления прессом

Работа информационной составляющей КИТСП характеризуется аналоговыми, дискретными и цифровыми сигналами, на которые накладываются наводимые от механики, электрики и электроники технологической системы помехи и шумы (рис. 3), [2; 3].

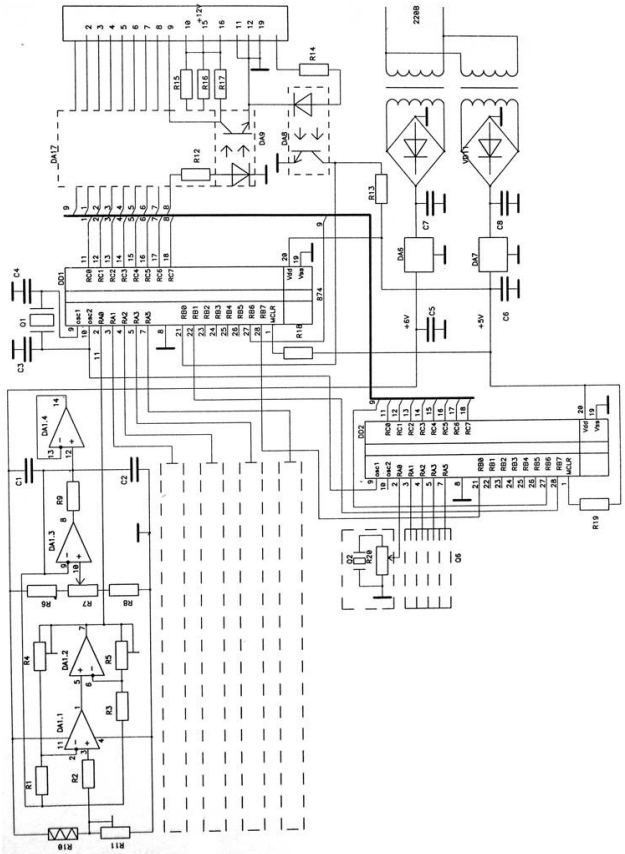


Рис. 2. Принципиальная схема многоканальной управляющей диагностической системы «пресс–штамп–датчик–компьютер» для чистовой вырубки, разработанная автором

Для теоретического решения возникшей проблемы можно использовать семейство теорем В. А. Котельникова, причем теоремы отсчета представляются аналоговым сигналом $s(t)$ в виде выражения [4]:

$$s(t) \underset{t \in \{T\}}{\approx} \sum_k f_k(s)\varphi_k(t) = \psi(t),$$

где $\{\varphi_k\}$, $k = 1, 2, \ldots$ – множество сигналов (функций времени), выбранных заранее независимо от вида $s(t)$; $\{T\}$ – множество моментов времени, на котором определены $s(t)$ и $\{\varphi_k(t)\}$, $k = 1, 2, \ldots$.

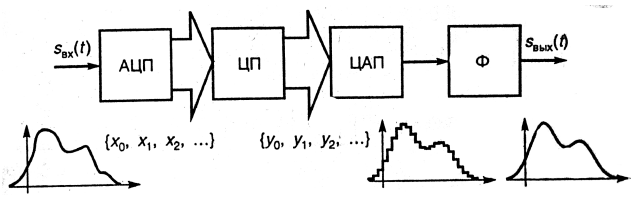


Рис. 3. Обобщенная структурная схема системы цифровой обработки сигналов

Основная теорема Котельникова. Справедлива для аналоговых сигналов $s(t)$ с ограниченной полосой $\tilde{s}(\omega)$, когда сигнал $s(t)$ задан на бесконечной оси времени, $-\infty < t < +\infty$, когда $(\forall t \in (-\infty; \infty))(\forall_\tau > 0)$ (рис. 4) [4]:

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s(k\tau) \frac{\sin \frac{\pi}{\tau}(t - k\tau)}{\frac{\pi}{\tau}(t - k\tau)} =$$

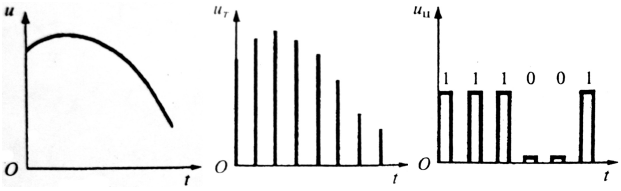
$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k}{2F}\right) \frac{\sin 2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)}{2\pi F\left(t - \frac{k}{2F}\right)} =$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k}{2F}\right) \frac{\sin \pi(2Ft - k)}{\pi(2Ft - k)} = \qquad (1)$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(\frac{k\pi}{\Omega}\right) \frac{\sin\left[\Omega\left(t - \frac{k\pi}{\Omega}\right)\right]}{\Omega\left(t - \frac{k\pi}{\Omega}\right)} =$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} s\left(k\frac{\pi}{\Omega}\right) \frac{\sin(\Omega t - k\pi)}{(\Omega t - k\pi)},$$

где τ – интервал времени между двумя соседними равностоящими отсчетами сигнала $s(t)$; $2F$ – частота Найквиста.



а *б* *в*

Рис. 4. Характерная форма основных электрических сигналов: *а* – аналоговый; *б* – дискретный; *в* – цифровой

Теорема 1. Физический смысл которой состоит в том, что она справедлива, когда операции дискретизации, т. е. цифрового преобразования и восстановления сигнала, взаимно обратные, при условии

$$\tau = \frac{1}{2F} = \frac{\pi}{\Omega}.$$

Теорема (1) относится к гипотетической ситуации и характеризует лишь предельные возможности каналов информации, т. е. их пропускную способность (рис. 5).

Теорема 2. Справедлива для сигнала $s(t)$, ограниченного на $(t) \le T$ и принимающего вне этого интервала значения $s(t) = 0$, а непрерывный спектр $\tilde{s}(t)$ представляется в виде ряда (рис. 6) [4]:

$$\tilde{s}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \tilde{s}\left(\frac{2\pi l}{2T}\right) \frac{\sin 2\pi T\left(f - \frac{l}{2T}\right)}{2\pi T\left(f - \frac{l}{2T}\right)} =$$

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} \tilde{s}(l2\pi\Delta f) \frac{\sin 2\pi T(f - l\Delta f)}{2\pi T(f - l\Delta f)} =$$

$$= \sum_{l=-\infty}^{\infty} \tilde{s}(l\Delta\omega) \frac{\sin[T(\omega - l\Delta\omega)]}{T(\omega - l\Delta\omega)}, \qquad (2)$$

где Δf – шаг отсчета частоты.

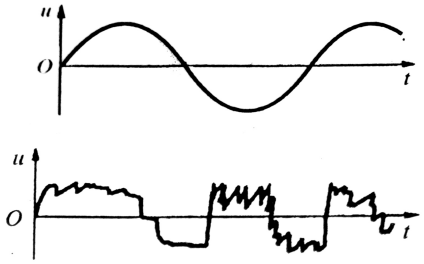


Рис. 5. Пример изменения формы электрического сигнала при наведении помех

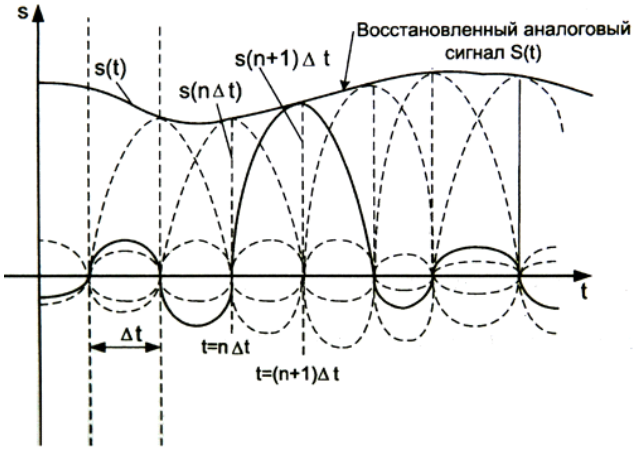


Рис. 6. Графическое представление сигнала $s(t)$ согласно основной теореме Котельникова в виде ряда

Теорема (2) является теоремой отсчетов в частотной области, когда спектр сигнала $\tilde{s}(\omega)$ представлен дискретными отсчетами. Теорема (2) дуальна теореме (1).

Теорема 3. Справедлива для сигнала $S(t)$, строго ограниченного на полосе частот $\Omega_0 \pm \pi F$, который можно восстановить по формулам [4]:

$$S(t) = SS(t)\sin\Omega_0 t + SC(t)\cos\Omega_0 t, \qquad (3')$$

где $SS(t)$, $SC(t)$ – функции, имеющие отличные от нуля спектры $SS(\omega)$ и $SC(\omega)$ только для диапазона $|\omega| < \pi F$,

$$\omega \in [\Omega_0 - \pi F; \Omega + \pi F], \qquad (3'')$$

$$SS(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} SS(k\tau) \frac{\sin \pi F(t - k\tau)}{\pi F(t - k\tau)}, \qquad (3''')$$

$$SC(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} SC(k\tau) \frac{\sin \pi F(t - k\tau)}{\pi F(t - k\tau)}, \qquad (3'''')$$

где $SS(k\tau)$, $SC(k\tau)$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ – амплитудные отсчеты, осуществляемые через равностоящие промежутки времени с шагом $\tau = \frac{1}{2F}$.

Теорема (3′)...(3′′′′) является обобщением основной теоремы Котельникова для случая произвольной полосы частот ширины *F*.

Теорема 4. Справедлива для функций $S(t)$ с конечным спектром $\pm 2\pi F$ и $\tau \le \frac{1}{2F}$ согласно интерполяционной формуле [4]:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=0}^{N-1} s(tkl)\, \varphi_N(t;\tau), \qquad (4)$$

где $\varphi_N(t;\tau) = \dfrac{\Pi_{m=0}^{N-1} \sin\left[\frac{\pi}{N\tau}(t - t_{km})\right]}{\frac{\pi}{N\tau}(t - t_{kl})\Pi_{m=0, m\ne l}^{N-1} \cdot \sin\frac{\Pi}{N\tau}(\tau_k - \tau_m)}$.

Функция $\varphi_N(t;\tau) = 1$ при $t = t_{kl}$, а при $t = t_{mr}$ (здесь $m \ne k$ и $r \ne l$) обращается в нуль, так что $s(t_{kl})$ равняется правой части (4). Следовательно, ряд (4) равномерно сходится для любого t из ограниченной области.

Таким образом, теорема (4) представляет основную теорему Котельникова для неравномерных отсчетов распределенных по периодически повторяющимся группами из N отсчетов в каждой при выполнении условий:

$$t_{kl} = Nk\tau + \tau l,$$

где $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$; $l = 0, 1, 2, \ldots, N-1$; $\tau_0 = 0$; $\tau_l < N_\tau$; $\tau = \frac{1}{2F}$.

При каждом фиксированном *l*, выборе определенной точки τ_l внутри группы отсчеты представляют собой последовательность равностоящих значений: $\ldots, t_{-2l}, t_{-1l}, t_{0l}, t_{1l}, t_{2l}, \ldots$.

Теорема 5. Справедлива для сигнала $S(t)$ с ограниченным спектром $|\omega| \le 2\pi F = \frac{\pi}{\tau}$ [4]:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{S(t_k)\varphi(t)}{\varphi'(t_k)(t - t_k)}, \qquad (5)$$

где $\varphi(t) = \prod_{l=-\infty}^{k-1} \sin\frac{\pi}{k\tau}(t - t_l)$.

В теореме (5) последовательность $(t_k)_{-\infty}^{\infty}$ моментов отсчетов удовлетворяет условиям:

1) $t_{k+1} - t_k > c > 0$ для всех $k = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$;

2) среднее значение интервала между отсчетами $\lim\limits_{k\to\infty}\left[\frac{(t_k - t_{-k})}{2k}\right] = \tau$.

Теорема (5) является обобщением теоремы (4) для неравномерных отсчетов, на которые наложены достаточно общие необременительные условия. К тому же если отсчеты разбросаны по оси времени достаточно регулярно и не образуют скоплений и сгущений, то теорема (5) становится весьма полезной при дискретизации аналоговых сигналов в каналах информации.

Теорема 6. Справедлива для сигнала $S(t)$, если спектр $\tilde{S}(t)$ сигнала $S(t)$ ограничен полосой $|f| \le F$ и характерная средняя длительность интервала между отсчетами составляет $\tau \le \frac{1}{2F}$, где при достаточно малых $\tau \to 0$ получается предельное равенство [4]:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[S(2k\tau) + (T - 2K\tau)\, S'(2k\tau)\right] \left[\frac{\sin\frac{\pi}{2\tau}(t - 2k\tau)}{\frac{\pi}{2\tau}(t - 2k\tau)}\right]^2. \qquad (6)$$

Таким образом, хотя версии основной теоремы Котельникова (1) уже были известны в работах Найквиста, Уиттеккера, Ватсона, Гончарова и др., но лишь В. А. Котельников смог увидеть в ней физический смысл и указал ее инженерное применение в современных условиях цифровых систем, включая КИТСП, с точки зрения теории сигналов и теории информации. Теорема (1) и ее версии (2)...(6) определяют условия, при которых аналоговый сигнал $s(t)$ точно восстанавливается по дискретным отсчетам, заданных на конечных подмножествах временной оси t с требуемой точностью при наличии стационарных случайных помех. Они позволяют обеспечить большую информационную емкость каналов, а также организовать многоканальный режим их работы с временным делением каналов.

С математической точки зрения, основная теорема Котельникова и ее версии считаются частным случаем теоремы интерполяции в теории целых функций.

Библиографический список

1. Анохин, В. А. Основные методы технического мониторинга сложных компьютерно-интегрированных технологических систем производства / В. А. Анохин // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы Третьей Междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1. Вологда, 2007. С. 26–40

2. Анохин, В. А. Информационная оценка компьютерно-интегрированных технологических систем производства / В. А. Анохин // Науч. вестн. Норил. индустр. ин-та. Норильск, 2007. № 1. С. 59–66.

3. Нефедов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи : учебник для вузов / В. И. Нефедов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 2002.

4. Вишневский, В. М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. М. : Техносфера, 2005.

V. A. Anokhin

SAMPLING THEOREMS OF KOTELNIKOF APPLICATION IN CONDITIONS OF COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING SYSTEMS

Sampling theorems defining conditions with the help of which analog signals s(t) can be precisely restored by digital samples $s_1 = s(t_1)$, $s_2 = s(t_2)$, ..., $s_k = s(t_k)$ *located within digital systems in intervals* $\tau_1 = t_2 - t_1$, $\tau_2 = t_3 - t_2$,... *are presented and brought together here.*

Keywords: main samplings theorem of Kotelnikov, properties, special cases.

УДК 536.248.2

Е. Н. Васильев, А. А. Дектерев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ДВУХФАЗНОМ КОНТУРЕ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ С КАПИЛЛЯРНЫМ НАСОСОМ

Рассмотрены процессы тепломассопереноса в контуре терморегулирования с капиллярным насосом. Представлена двумерная нестационарная математическая модель гидродинамических и теплофизических явлений в двухфазном потоке, движущемся в пористой среде капиллярного насоса, которая основана на численном решении уравнений теплопроводности и фильтрации. Результаты моделирования приведены в виде полей температуры, давления, скоростей и концентраций жидкостной и паровой фаз.

Ключевые слова: теплообмен, численное моделирование, XML-технология, космический аппарат.

В настоящее время прослеживается тенденция к увеличению тепловой мощности, выделяемой радиоаппаратурой на борту космических аппаратов (КА), поэтому повышается роль одной из важнейших систем обеспечения функционирования КА – системы терморегулирования (СТР). В классических СТР используются однофазные жидкостные контуры, в которых теплопередача осуществляется за счет теплоемкости теплоносителя. Разработка двухфазных тепловых контуров, использующих скрытую теплоту фазового перехода, позволит снизить расход рабочего тела, вес СТР и увеличить эффективность теплопереноса. Экспериментальный образец двухфазной СТР с механической прокачкой теплоносителя был успешно испытан на российском сегменте международной космической станции «Альфа» [1].

Перспективным направлением развития СТР является двухфазный контур с капиллярным насосом (ДФК КН), который отличается полной автономностью, отсутствием энергопотребления и движущихся механических частей, меньшей массой и более высокой надежностью [2]. Основным элементом таких систем является капиллярный насос, который определяет эффективность работы контура в целом, поскольку именно в нем происходит парообразование и за счет капиллярных сил, действующих в его объеме, обеспечивается циркуляция теплоносителя в контуре. Проектирование ДФК КН затруднено вследствие сложности и неопределенности механизмов парообразования, межфазового взаимодействия и передачи теплоты в гетерогенных средах. Поэтому разработка конструкции двухфазных контуров терморегулирования возможна на основе развития математических моделей, позволяющих выработать оптимальные технические решения и прогнозировать эксплуатационные характеристики при различных условиях работы. В данной статье представлены две сопряженные математические модели, одна из которых предназначена для расчета параметров теплоносителя в паровом и жидкостном трактах контура, другая – для определения распределенных характеристик в пористой структуре капиллярного насоса.

Рассмотрим явления, протекающие в ДФК КН, схема которого представлена на рис. 1. Процесс тепломассопереноса в контуре можно описать следующим образом. Тепловой поток подводится на внешнюю поверхность теплообменника, который совмещает в себе функцию капиллярного насоса. В объеме КН жидкий теплоноситель испаряется, поглощая теплоту. Силы поверхностного натяжения препятствуют проникновению пара вглубь пористой структуры (ПС), поэтому газообразный теплоноситель по паровому тракту поступает в конденсатор, где снова превращается в жидкость, выделяя энергию. Образовавшаяся жидкость за счет капиллярных сил, действующих в ПС, возвращается в теплообменник. Таким образом, в контуре происходит циркуляция теплоносителя и осуществляется перенос теплоты. Характеристики процесса теплопереноса зависят от тепловой нагрузки, теплофизических свойств теплоносителя, параметров пористой структуры, сечения и протяженности парового и жидкостного трактов контура и т. д.

Расчет параметров теплоносителя в контуре. Теплофизическая модель двухфазного контура основывается на законах гидродинамики и теплообмена, применяемых как к жидкостному, так и к паровому тракту. Начальной

точкой расчета являются параметры теплоносителя в конденсаторе. Здесь значение температуры $T_к$ рассчитывается по уравнению теплового баланса, которое записано с учетом суммарной мощности тепловыделения контура Q и условий теплообмена с окружающей средой:

$$Q = \varepsilon\sigma_{SB}T_к^4 S, \quad (1)$$

где σ_{SB} – постоянная Стефана–Больцмана; ε, S – коэффициент черноты и площадь поверхности радиатора, соответственно. Величина давления $p_к$ в конденсаторе рассчитывается по кривой насыщения теплоносителя для температуры $T_к$.

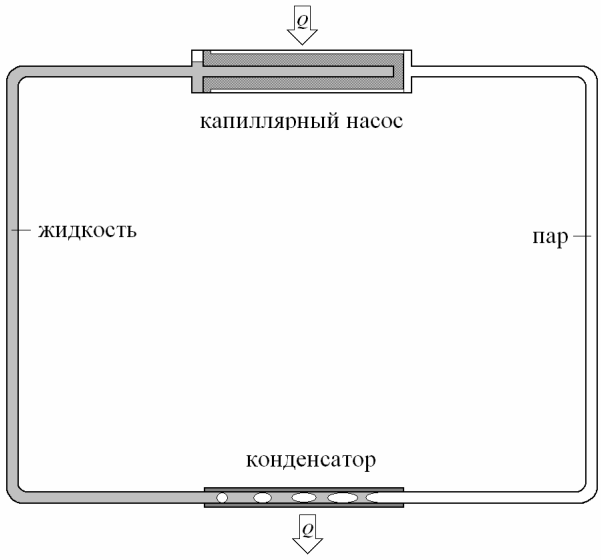


Рис. 1. Принципиальная схема двухфазного контура терморегулирования

Значения давления жидкости на входе в капиллярный насос p_{in} и пара на выходе из насоса p_{out} определяются с учетом потерь давления вследствие вязкостного трения как в жидкостном, так и в паровом трактах контура:

$$p_{in} = p_к - \left(\frac{dp}{dl}\right)_1 L_1, \quad (2)$$

$$p_{out} = p_к + \left(\frac{dp}{dl}\right)_2 L_2, \quad (3)$$

где L – протяженность трактов; индексы 1 и 2 относятся к паровому и жидкостному трактам соответственно.

Величина градиента давления в установившемся режиме течения теплоносителя определяется выражением [3]

$$\left(\frac{dp}{dl}\right)_i = \frac{\mu_i \dot{m} f \mathrm{Re}}{2 A_i R_i^2 \rho_i}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости; $\dot{m}$ – массовый расход жидкости в данном сечении; f – коэффициент гидравлического сопротивления; Re – число Рейнольдса; A – площадь поперечного сечения тракта; R – радиус тракта; ρ – плотность теплоносителя; $i = 1$ для параметров пара и $i = 2$ для жидкости.

Значения f и Re зависят от параметров потока. При условиях, когда число Рейнольдса меньше 2 300, а число Маха меньше 0,2 (для газа), течение можно рассматривать как ламинарное и несжимаемое. В этом случае для круглых каналов значение $f \cdot \mathrm{Re} = 16$.

Расход теплоносителя $\dot{m}$ определяется величиной тепловой нагрузки Q, удельными теплоемкостью c и теплотой парообразования r_f и зависимостью $T_S(p)$, соответствующей кривой насыщения теплоносителя:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c\left[T_S(p_{out}) - T_к\right] + r_f}. \quad (5)$$

Таким образом, распределение параметров в контуре зависит от мощности тепловой нагрузки, характеристик радиатора, свойств теплоносителя, протяженности и поперечных размеров трактов контура. Рассчитанные с помощью выражений (1)...(5) значения давления p_{in} и p_{out} являются граничными условиями для моделирования процессов тепломассообмена в капиллярном насосе.

Математическая модель тепломассообмена в капиллярном насосе. Основным конструктивным элементом капиллярного насоса является цилиндрическая пористая вставка, которая имеет центральный внутренний канал для подвода жидкого теплоносителя и каналы для отвода пара (рис. 2). Тепловой поток подводится на внешнюю поверхность насоса, нагрев каркаса ПС происходит за счет теплопроводности. Жидкий теплоноситель под действием капиллярных сил движется к внешней поверхности, силы поверхностного натяжения не позволяют жидкости проникать в пароотводящие каналы, поэтому нагрев и испарение теплоносителя происходит в объеме ПС. Далее образовавшийся пар выходит в контур по пароотводящим каналам. Положение и форма фронта испарения теплоносителя, распределение температуры в ПС и значение температуры на поверхности зависят от геометрических параметров насоса, физических свойств материала пористой структуры и мощности тепловой нагрузки.

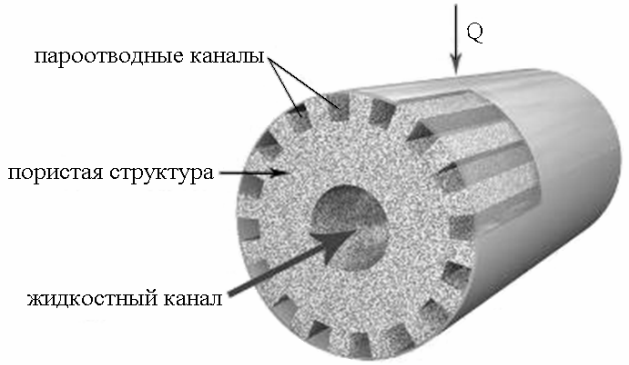


Рис. 2. Устройство пористой вставки капиллярного насоса

При расчете характеристик такой системы в математической модели учитываются теплообмен, основанный на механизмах теплопроводности и конвекции, взаимодействие жидкого и газообразного теплоносителя с ПС и фазовые превращения. Граничными условиями являются параметры, рассчитанные по разработанной ранее модели всего контура.

Для описания движения теплоносителя в ПС использованы двухмерные уравнения фильтрации в цилиндрических координатах r и θ:

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{f_i(C_i)\alpha_i}{\mu_i\rho_i}\frac{\partial p}{\partial r}\right) + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\frac{f_i(C_i)\alpha_i}{\mu_i\rho_i}\frac{dp}{d\theta}\right) = \pm J, \quad (6)$$

где $f_i(C_i)$ – относительная проницаемость фазы при данной концентрации; α_i – вязкостный коэффициент сопротивления пористого материала; μ_i – коэффициент динамической вязкости; J – интенсивность межфазового массобмена; индексы $i = 1$ и $i = 2$ относятся к паровой и жидкостной фазам соответственно.

По решению уравнений (6) определяется поле давления теплоносителя в пористой структуре, на основе которого рассчитываются скорости обеих фаз. Согласно уравнениям Дарси, радиальные и угловые компоненты вектора скорости u и v вычисляются по следующим формулам:

$$u_i = -\frac{f_i(C_i)\alpha_i}{\mu_i\rho_i}\left(\frac{\partial p}{\partial r}\right)_i,$$
$$v_i = -\frac{1}{r}\frac{f_i(C_i)\alpha_i}{\mu_i\rho_i}\left(\frac{\partial p}{\partial \theta}\right)_i. \qquad (7)$$

Для определения температурных полей решается двумерное уравнение энергии, которое включает слагаемые, отвечающие за теплопроводность и конвекцию:

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial \theta}\right) + q_к, \qquad (8)$$

$$q_к = (c_1\rho_1 u_1 + c_2\rho_2 u_2)\frac{\partial T}{\partial r} + (c_1\rho_1 v_1 + c_2\rho_2 v_2)\frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \theta}, \qquad (9)$$

где ρ, c, λ – соответственно суммарные плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности пористой структуры и теплоносителя.

На внешней границе для этих уравнений задаются условия

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial r} = q/\lambda. \qquad (10)$$

В центральном канале насоса заданы температура и давление, соответствующее состоянию жидкости на входе. В пароотводных каналах давление равно величине, рассчитанной по модели всего контура для пара на входе в паровой тракт.

В общем случае граница раздела «пар–жидкость» в пористой структуре не является стефановской, а имеет объемную структуру и занимает слой определенной толщины. Радиус мениска, разделяющего жидкость и пар в порах, может быть получен по выражению

$$R_м = \frac{2\sigma}{p_1 - p_2}, \qquad (11)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения теплоносителя. В пористой среде имеются поры различных размеров, поэтому согласно выражению (11), в объемной зоне фазовой границы поры, радиус которых $R < R_м$, будут заполнены жидкостью, а в порах с $R > R_м$ будет находиться пар. Толщина зоны фазовой границы задана функцией распределения пор по радиусам, теплофизическими свойствами теплоносителя и мощностью приложенной тепловой нагрузки.

При решении задачи Стефана теплоемкость фазового перехода c_f является δ-функцией на границе фазового перехода. В пространственной зоне испарения теплоемкость распределяется на некоторый температурный интервал $[T-\Delta T, T+\Delta T]$, соответствующий кривой насыщения разнице давления пара в порах различного размера. Зависимость $c_f(T)$ определяется законом распределения размера пор, который не всегда известен. В данной статье использована модельная синусоидальная функция (рис. 3).

По значению концентраций теплоносителя определяются относительные фазовые проницаемости для обеих фаз. Они зависят только от вида пористой структуры и ее насыщенности каждой фазой [4] (рис. 4). Обращает на себя внимание тот факт, что при малом содержании каждой из фаз в пористом каркасе ее относительная проницаемость равна нулю, т. е. данная фаза неподвижна. Физическое объяснение этого свойства состоит в том, что при малом содержании смачивающей фазы она собирается вокруг точек контакта частиц в виде защемленных жидкостных колец. Эти кольца изолированы друг от друга и не образуют непрерывной жидкой фазы в пористом материале, поэтому жидкость и неподвижна. По мере увеличения ее содержания кольца расширяются, сливаются и образуют непрерывную жидкостную фазу, после чего ее течение становится возможным.

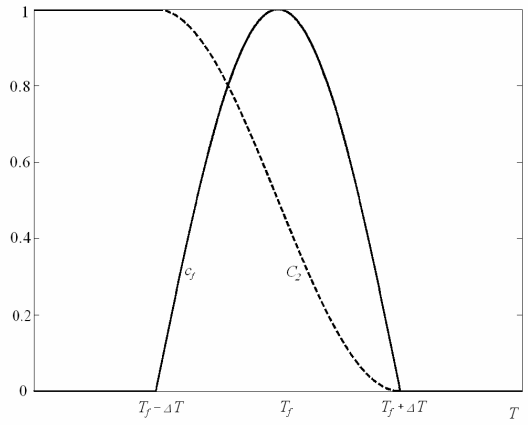


Рис. 3. Зависимости теплоемкости c_f и относительной концентрации жидкой фазы C_2 от температуры в окрестности температуры фазового перехода T_f

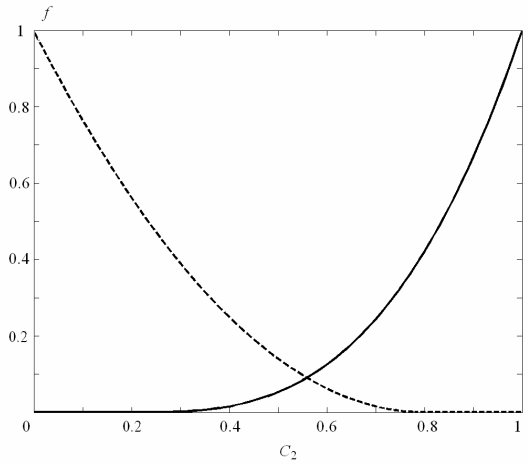


Рис. 4. Относительные фазовые проницаемости жидкости (сплошная линия) и газа (пунктир) в зависимости от насыщенности пористой среды жидкой фазой

Система уравнений (4)...(10) решается численно, дискретный аналог получен с помощью метода контрольно-

го объема, при этом использована неявная схема аппроксимации со вторым порядком точности по пространству и времени [5]. Решение систем алгебраических уравнений проводится по итерационному методу Гаусса–Зейделя с верхней релаксацией.

Представленная математическая модель позволяет рассчитывать распределения концентраций теплоносителя в жидкой и паровой фазах, поля температуры, давления и скорости в ПС капиллярного насоса. В качестве теплоносителя рассматривается аммиак. Геометрические размеры задачи следующие: радиус капиллярного насоса 15 мм; радиус центрального жидкостного канала 2 мм; ширина пароотводных каналов 1 мм; высота 2 мм; расстояние между канавками 4 мм. Значения плотности теплового потока, поступающего на внешнюю поверхность насоса, $q = 16$ кВт/м^2.

Распределение концентрации жидкой фазы теплоносителя в градациях серого цвета отображено на рис. 5. При рассматриваемой плотности теплового потока область чистого пара примыкает к внешней поверхности ПС и пароотводящим каналам, а объемная зона фазового перехода, где преобладает пар ($C_2 < 0{,}5$), расположена между каналами.

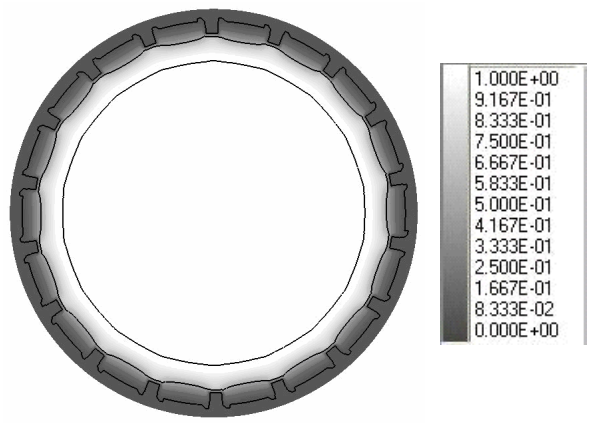


Рис. 5. Поле концентрации жидкой фазы теплоносителя C_2 (изолинии соответствуют значениям $C_2 = 0$; 0,5; 1)

Наибольший градиент давления характерен для паровой фазы теплоносителя, когда пар в ПС движется с высокой скоростью, что и обусловливает большое гидравлическое сопротивление (рис. 6). Наоборот, изменение температуры по радиусу достаточно гладкое (рис. 7), поскольку перенос теплоты в насосе осуществляется равномерно по всему объему за счет теплопроводности каркаса ПС и конвекции теплоносителя. Максимальное значение температуры находится на внешней поверхности насоса; в окрестности пароотводящих каналов изолинии температуры искривлены; ближе к центру ПС они имеют форму правильных окружностей, влияние каналов здесь отсутствует.

Распределение давления в ПС определяет поле скоростей теплоносителя (рис. 8). Наибольшее значение скорости наблюдается в зоне основания канала, некоторая доля теплоносителя движется по дуге, поступая в пароотводящий канал через ее боковые стороны.

Распределения концентрации фаз, температуры, давления и скорости дают полное количественное описание процессов тепломассообмена в объеме капиллярного насоса. Как показывают результаты данного расчета, зона парообразования для рассматриваемой тепловой нагрузки находится вблизи внешней границы ПС. При увеличении тепловой мощности зона раздела фаз перемещается вглубь насоса и происходит частичное осушение ПС, которое приводит к росту температуры на поверхности насоса. Математическая модель капиллярного насоса позволяет также исследовать зависимость рабочих характеристик насоса от конструктивных параметров и граничных условий.

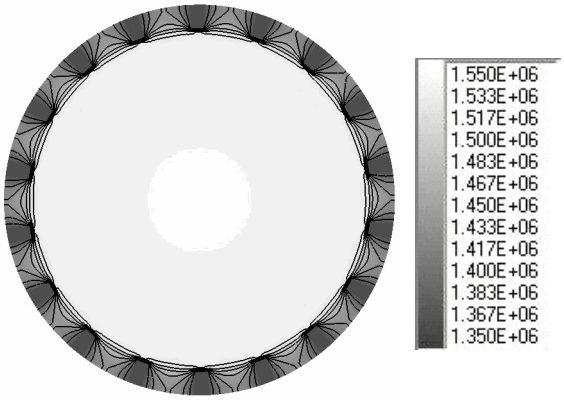


Рис. 6. Распределение давления пара, Па

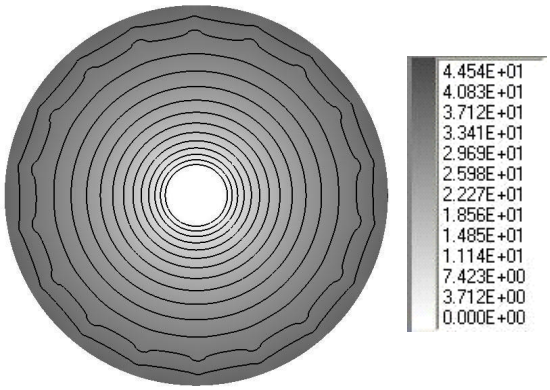


Рис. 7. Поле температуры, °С

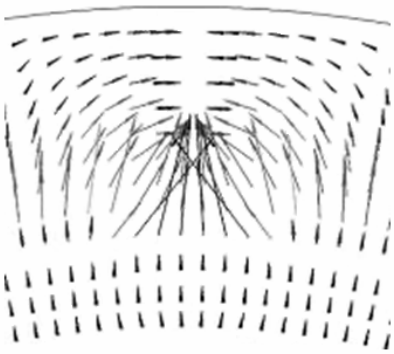


Рис. 8. Векторы скоростей пара в области пароотводного канала

Таким образом, представленные выше математические модели, предназначенные для исследования тепловых режимов двухфазного контура терморегулирования и капиллярного насоса, позволяют рассчитать все основные характеристики процесса теплообмена и определить предельные тепловые потоки, поступающие от бортовой аппаратуры в систему терморегулирования КА. Результаты

моделирования могут служить основой для проведения оптимизации геометрических и теплофизических параметров капиллярного насоса и системы охлаждения в целом.

Библиографический список

1. Двухфазный контур терморегулирования – перспективное направление совершенствования СТР космических аппаратов / С. М. Беднов, П. Д. Вежневец, Ю. М. Лукоянов и др. // Полет. 2003. № 3. С. 37–40.

2. Development of a Two-Phase Capillary Pumped Heat Transport for Spacecraft Central Thermal Bus / T. Hoang, M. Brown, R. Baldauff, and S. Cummings // Proceeding of 2003 Space Technology and Applications International Forum, February 2003. Albuquerque, New Mexico, 2003. P. 49–54.

3. Чи, С. Тепловые трубы. Теория и практика / С. Чи. М. : Машиностроение, 1981.

4. Поляев, В. М. Гидродинамика и теплообмен в пористых элементах конструкций летательных аппаратов / В. М. Поляев, В. А. Майоров, Л. Л. Васильев. М. : Машиностроение. 1988.

5. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С. Патанкар. М. : Энергоатомиздат, 1984.

E. N. Vasilev, A. A. Dekterev

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN THE TWO-PHASE THERMO CONTROL CIRCUITS WITH CAPILLARY PUMP

Heat and mass transfer processes in the two-phase thermo control circuits with capillary pump are considered. Two-dimensional unsteady mathematical model of the hydrodynamic and thermo physics phenomena in the two-phase flow moved in porous media of the capillary pump is based on the numerical solution heat conduction and filtration equations. Temperature, pressure, velocity, liquid and vapors phase concentrations fields are simulation results.

Keywords: heat transfer, numerical simulation, XML technology, spacecraft.

УДК:534.322

А. С. Орлов

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗНОГО ПОЛЯ В АКУСТИЧЕСКИХ РЕВЕРБЕРАЦИОННЫХ КАМЕРАХ БОЛЬШОГО ОБЪЕМА

Рассмотрено построение конечно-элементной модели диффузного поля для акустических реверберационных камер большого объема. Модель построения с использованием трехмерных акустических элементов и различного вида демпфирования.

Ключевые слова: моделирование, диффузное поле, акустические расчеты, реверберационные камеры.

При проведении наземной экспериментальной отработки космических аппаратов (КА) испытания на акустические воздействия в частотном диапазоне до 4...6 кГц являются общепринятой процедурой. Цель данного вида испытаний состоит в подтверждении прочности конструкции КА и способности аппаратуры выполнять свои функции по время и после акустического воздействия. В то же время это один из самых дорогостоящих видов испытаний. Уменьшить затраты на такие испытания можно за счет предварительного численного моделирования акустического воздействия на КА. В настоящее время сформировалось несколько общепризнанных подходов к такому анализу: замена акустического поля статическим или пульсирующим давлением и решение собственно сопряженной задачи, рассматривающей взаимодействие акустической среды с конструкцией [1]. В работе [2] на примере расчета сотовой панели проведено сравнение этих трех подходов и показано, что результаты, совпадающие с экспериментальными данными, дает только решение сопряженной задачи «акустическая среда–конструкция».

В акустических расчетах сложных конструкций используются два основных метода: конечно-элементное моделирование (КЭМ) [3] и статистический энергетический анализ (СЭА). Использование КЭМ предъявляет высокие требования к ресурсам (высокопроизводительные компьютеры, подробная модель среды и объекта исследования и т. д.) и наиболее часто применяется для акустического анализа в низкочастотной области. Для решения акустических задач в области средних и высоких частот применяется СЭА в котором прогноз основан на обширной статистической базе, позволяющей оценить реакцию в любом элементе, присутствующем в базе, при прохождении потока энергии, создаваемого акустическим воздействием и, как следствие, в любой системе, состоящей из таких элементов. Этот метод не требователен к вычислительным ресурсам, но чем сложней система, тем больше должна быть база данных, чтобы она смогла обеспе-

чить достоверный результат расчета. Применяется также и комбинированный подход, когда анализ в низкочастотной области проводится с использованием КЭМ, а в области средних и высоких частот – СЭА.

Постоянно увеличивающиеся производительность и ресурсы используемых компьютерных систем позволяют строить достаточно подробные модели КА и среды. Поэтому основным методом акустического анализа КА становится метод конечно-элементного моделирования. В динамических расчетах с использованием методов КЭМ существует два подхода: расчет с предварительным анализом форм и частот модели и расчет с использованием прямого интегрирования уравнений динамики конструкций и среды по времени [4]. Более приемлемым для рассматриваемых задач является прямое интегрирование уравнений, так как оно не требует линеаризации задачи и учета сотен тысяч форм и частот для сложных систем.

В любом случае первым этапом решения задачи является построение модели диффузного акустического поля, создаваемого в реверберационной камере при испытаниях. Согласно определению, диффузным звуковым полем является поле, все направления потоков энергии волн которого равновероятны, а плотность акустической энергии такого поля по всему объему постоянна [5].

Распространение волн в акустической среде описывается волновыми уравнениями вида

$$\Delta u - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - L(u) = f(r,t), \qquad (1)$$

где Δu – оператор Лапласа; с – константа, характеризующая свойство среды; t – время; $L(u)$ – дополнительные члены, учитывающие диссипацию и дисперсию сред, в которых распространяются волны; $f(r, t)$ –функция, характеризующая внешние воздействия.

Задачи, связанные с распространением волн в линейных диспергирующих и недиспергирующих средах, с отражением и преломлением волн на границах раздела однородных сред, сводятся к решению уравнений типа (1) с различными граничными условиями. Следует заметить, что в нелинейных задачах нарушается принцип суперпозиции и происходит взаимодействие волн различных частот. При этом характер протекания волновых процессов существенно зависит от соотношения дисперсионных и нелинейных свойств этих процессов [13].

Большинство современных пакетов КЭМ и СЭА предлагают решение акустических задач в линейной и нелинейной постановке с широким диапазоном задания граничных условий и воздействий. Одним из таких пакетов является пакет ABAQUS.

Пакет КЭМ ABAQUS предлагает набор конечных и граничных элементов для моделирования газожидкостной среды, подверженной малым давлениям, и граничные условия для связи этих акустических элементов с конструкцией модели. Например, анализ стационарного (линейного) гармонического отклика может быть выполнен для связанной структурно-акустической системы. Стационарная процедура основана на прямом решении связанных комплексных гармонических уравнений. Конечные элементы акустического поля могут использоваться в анализе процедуры нелинейного отклика (неявное или явное интегрирование) как результат изменений малого давления, производимого в газе (жидкости). Часто в связанных конструкционно-жидкостных задачах задание давления в жидкости (даже в линейной постановке) достаточно для получения корректного отклика конструкции.

Уравнение равновесия для малых колебаний сжимаемой, адиабатической жидкости, с зависимой от скорости инерцией и демпфированием представлено в пакете ABAQUS в виде

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \gamma(x,\Theta_i)\frac{\partial u^f}{\partial t} + p_f(x,\Theta_i)\frac{\partial^2 u^f}{\partial t^2} = 0, \qquad (2)$$

где p – избыточное давление в жидкости; u^f – смещение частицы жидкости; x – пространственные координаты частицы; c_f – плотность жидкости; γ – объемное сопротивление (сила на единицу объема и скорости); Θ_i и i – переменные, от которых могут зависеть ρ_f и γ.

Обычно рассматривается достаточность точности стационарных жидкостных скоростей до 0,1 М.

Основными характеристиками поведения жидкости (газа) считаются вязкость, линейность, сжимаемость и т. д., так что давление в уравнении (2) может быть представлено выражением (3):

$$p = -K_f(x,\theta_i)\frac{\partial}{\partial x}u^f, \qquad (3)$$

где K_f – модуль всестороннего сжатия жидкости.

Акустическая среда в пакете ABAQUS может иметь зависимый от скорости расход энергии, создаваемый вязкостью жидкости или пористым сопротивлением материала. К тому же основные граничные условия обеспечиваются акустической средой, включающей импеданс либо реакцию границ.

Возможными граничными условиями на поверхности акустической среды являются следующие:

– давление в граничных узлах (давление также может задаваться в любых узлах модели);

– замена сосредоточенной нагрузки в граничных узлах заданием градиентов давления на единицу плотности акустической среды;

– связь между акустической средой и конструкцией, которая осуществляется либо процедурами, основанными на стыковки поверхностей, либо с помощью связывающих элементов ASI;

– импеданс среды, характеризуемый поглощающей границей между акустической средой и твердой поверхностью, либо вибрацией конструкции, либо излучением в некую внешнюю бесконечную область;

– давление в единичном объеме акустической среды как результат приходящей волны.

Сопротивление потока и свойства поглощающих поверхностей при анализе стационарного отклика могут быть функциями частоты, но принимаются постоянными в процедуре прямого интегрирования уравнений.

Таким образом, пакет конечно-элементного моделирования ABAQUS позволяет решать широкий класс задач акустики, в том числе и задачи акустического нагружения конструкций.

Для описания распространения волн по конструкции обычно достаточно уравнений плоских волн, для описа-

ния же акустической среды должны использоваться уравнения сферических волн.

Прямое интегрирование волновых уравнений предполагает задание внешних воздействий в виде временной функции. Задание режимов испытаний производится, как правило, в виде зависимости уровня звукового давления, дБ, от частоты. В этом случае для моделирования условий испытаний производится замена частотного представления внешнего воздействия временной зависимостью.

Разобьем исходный спектр нагрузок на части из условия обеспечения четырех точек на октаву по оси частот. Для каждой точки на оси частот определяется уровень давления, после чего формируется функция нагружения, изменяющего во времени, в виде суммы синусов соответствующей амплитуды и частоты.

Пересчет давления выполняется следующим образом [7]:

$$P = P_0 \cdot 10^{\frac{U}{20}}, \qquad (4)$$

где $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па; U – численное значение уровня звукового давления, дБ; P – искомое значение уровня звукового давления, Па.

Значение фазы выбирается по случайному закону. Затем суммарное значение звукового давления приводится к требуемому (расчетному) уровню давления:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i}^{n} P_i \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_i), \qquad (5)$$

где P_{Σ} – суммарное значение звукового давления, Па; P_i – уровень давления на соответствующей частоте, Па; ω_i – набор частот взят из условия 4 частоты на октаву; φ_i – фаза, значение которой принимается по случайному закону; t – время.

Полученное давление воспроизводится локальными источниками звука. Специальные демпфирующие элементы вводятся как на стенки камеры, так и в акустическую среду. Сначала данная технология была апробирована при построении КЭМ акустической камеры небольшого объема (30 м^3) [2].

Переход к построению КЭ модели акустической среды в камере большого объема связан с появлением дополнительных трудностей: во-первых, появляются ограничения, связанные с ресурсами компьютерной системы и возникает необходимость менять размеры акустических элементов; во-вторых, необходимо варьирование за счет демпфирования по объему камеры и введения в модель, помимо демпфирующих, еще и отражающих элементов. Но в целом технология построения КЭМ сохраняется.

Рассмотрим далее процедуру построения конечно-элементной модели диффузного поля для акустической реверберационной камеры РК660, представляющей собой прямоугольный параллелепипед размером 6,94 × 8,7 × 11 м. Погрешность задания давления находится в пределах ±3 дБ.

Представим стандартный график уровня звукового давления (суммарный уровень 142 дБ), задаваемый в акустической камере (рис. 1). Данное воздействие заменялось по формуле (5) временным воздействием.

Конечно-элементарная модель акустической камеры РК660 (рис. 2) состоит из 51 185 узлов, 288 347 элементов (в том числе 1 048 демпфирующих элементов, равномерно распределенных по всему объему камеры, и 1 873 отражающих элементов, установленных рядами на стенках камеры). Объемный модуль акустической среды принят равным 1,424*E*5. Согласно определению [8], расчет времени реверберации проводится по анализу затухания амплитуды импульсов различной длительности на 60 дБ.

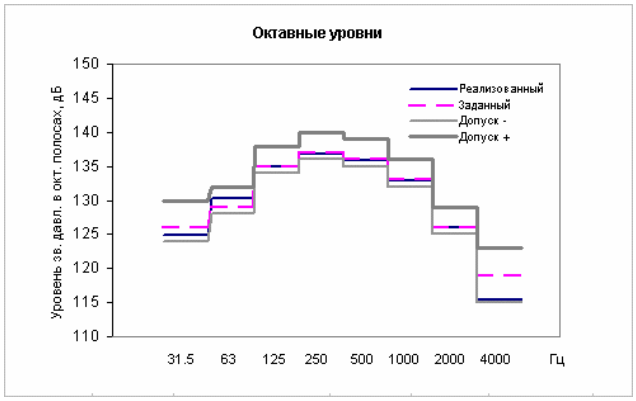


Рис. 1. Уровень звукового давления (суммарный уровень 142 дБ)

Расстояние между узлами конечно-элементной (КЭ) сетки (0,26 м) выбирается исходя из возможности получения корректного результата на существующих вычислительных мощностях. Корректность результата определяется отсутствием трендов в графиках давления, амплитуды которых эквивалентны входному воздействию с погрешностью, не превышающей ± 3 дБ во всех точках акустической камеры. Геометрия узлов и элементов камеры была построена в пакете PATRAN, а затем экспортирована в файл Geometry.inp формата ABAQUS. Аналогичную процедуру можно выполнять в пакете NASTRAN.

Узлы КЭ-сетки, расположенные в углах КЭМ акустической камеры, зафиксированы по шести степеням свободы. Количество и местоположение отражающих и демпфирующих элементов, а также некоторые параметры файлов описания определяются результатами процесса верификации КЭМ акустической камеры.

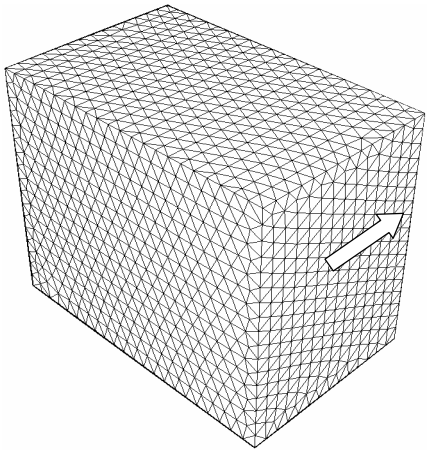


Рис. 2. КЭМ акустической камеры РК660 (стрелка показывает точку приложения источника акустического воздействия)

Так как верификация – это процесс, исследующий качество численного приближения модели, используемой как основа для предсказания, то при верификации выполняется варьирование различными параметрами модели:

– распределением отражающих элементов;

– распределением демпфирующих элементов;

– определением времени реверберации на различных частотах;

– параметрами акустической среды;

– расположением узлов КЭ-сетки для контроля давления в объеме акустической камеры.

Формализовать процесс верификации практически невозможно. Временные затраты для получения приемлемого результата определяются в первую очередь опытом и квалификацией расчетчика. Следует также добавить, что вопросы валидации в данной статье не рассматриваются, так как уравнения (2), (3) достаточно корректно описывают происходящие в акустической камере процессы, т. е. решение задач верификации фактически включает и процедуру валидации.

Всего было проведено более 30 расчетов и получено свыше 500 графиков давлений по различным контрольным точкам (рис. 3). Помимо данных точек, контроль давления проводится в углах акустической камеры, на поверхностях стенок камеры и выборочно в других (практически произвольных) точках камеры. При этом внутри зоны установки объекта испытаний обеспечивается выполнение требований по уровням звукового давления (252 Па), а в других точках – приблизительное равенство давлений для симметричных точек при выполнении требований по погрешностям, укладывающимся в пределы ±3 дБ. Время реверберации должно соответствовать экспериментальным значениям, полученным в данной камере (например, на частоте 1 000 Гц время реверберации составляет 4,6 с).

На начальном этапе верификации количество демпфирующих и отражающих элементов минимально (один отражающий элемент расположен в центре камеры, а демпфирующие элементы находятся в углах камеры). На графике давления (рис. 4) присутствует достаточно большой положительный тренд, при этом значения давлений существенно отличаются от необходимых значений в 252 Па. На завершающем этапе верификации (рис. 5) тренд отсутствует (график симметричен относительно 0), уровень давления соответствует требуемым значениям. Разброс давлений в контрольных точках укладывается в необходимые пределы (±3 дБ). Корректность разработанной модели также подтверждается графиком (рис. 6). Ве-

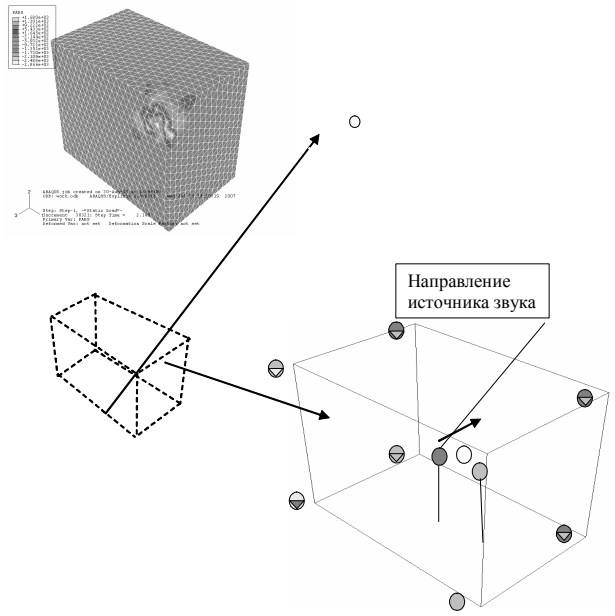


Рис. 3. Распределение контрольных точек внутреннего объема камеры в зоне возможной установки объекта испытаний

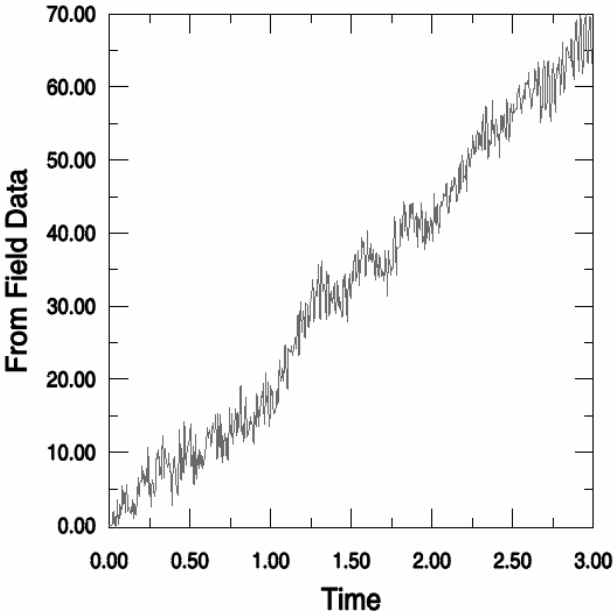


Рис. 4. Давление в центре акустической камеры (начальный этап верификации)

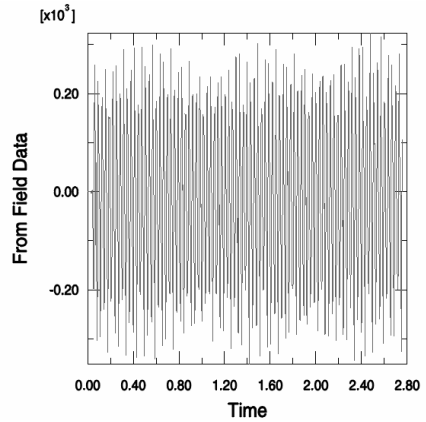


Рис. 5. Давление в центре акустической камеры (завершение верификации)

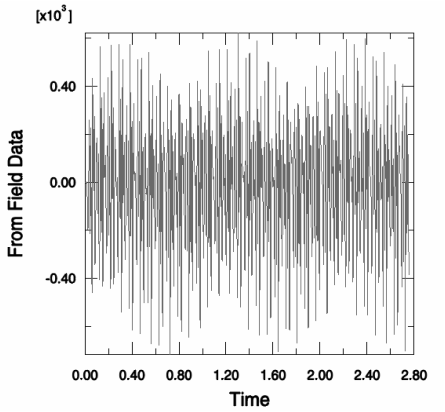


Рис. 6. Давление в центре стенки акустической камеры

личина давления у стенки акустической камеры примерно вдвое выше, чем в центре (эффект наложения падающей и отраженной волн). Расчетное время реверберации на частоте 1 000 Гц составляет около 4,1 с.

Таким образом, разработана модель КЭМ реверберационной акустической камеры большого объема, позволяющая в дальнейшем проводить анализ поведения конструкций при акустическом воздействии.

Библиографический список

1. Felippa, C. A. Partitioned analysis of coupled system / C. A. Felippa, K. C. Park // Chapter 3 of Computational Methods for Transient Analysis. ed. by T. Belytschko and T. J. R.Hughes. North-Holland, Amsterdam, 1983. P. 157–219.

2. Орлов, А. С. Анализ нагружения сотовой панели акустическими воздействиями / А. С. Орлов // Эффективность сотовых конструкций в изделиях авиационно-космической техники : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Днепропетровск, 2007. С. 142–150.

3. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К. Бате, Е. Вилсон. М. : Стройиздат, 1982.

4. Шимкович, Д. Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows / Д. Г. Шимкович. М. : ДМК-Пресс, 2001.

5. Лепендин, Л. Ф. Акустика / Л. Ф. Лепендин. М. : Высш. шк., 1978.

6. Виноградова, М. Б. Теория волн / М. Б. Виноградова, О. В. Руденко, А. П. Сухоруков. М. : Наука, 1979.

7. Справочник по технической акустике : пер. с нем. / под ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера. Л. : Судостроение, 1980.

8. Лопашев, Д. З. Методы измерения и нормирование шумовых характеристик / Д. З. Лопашев, Г. Л. Осипов, Е. Н. Федосеева. М. : Изд-во стандартов, 1983.

A. S. Orlov

FINITE ELEMENT MODELING OF DIFFUSIVE FIELD IN BIG VOLUME ACOUSTIC REVERBERANT CAMERAS

In this paper it is considered creation of finite element model of diffusive field for big volume acoustic reverberant cameras. Model created by usage 3d acoustic elements and different types of damping.

Keywords: modeling, diffusive field, acoustic calculation, reverberation chambers.

УДК 539.3

Н. В. Молокова

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ

Приведено численное решение математической модели двухфазной фильтрации, учитывающей движение углеводородных загрязнителей и воздуха в пористом грунте. Модель включает систему уравнений в частных производных с дополнительными условиями. В число дифференциальных уравнений входит уравнение баланса массы в элементе пористой среды – уравнение неразрывности, а также дифференциальные уравнения движения. Для замыкания системы вводятся уравнения состояния рассматриваемого загрязнителя и среды. Начальные и граничные условия соответствуют фильтрационному процессу, начиная с поверхности грунта и начальной стадии разлива загрязнителя. Проводится сравнительный анализ результатов математического моделирования с экспериментами.

Ключевые слова: модель двухфазной фильтрации, геофильтрация, математическое моделирование, пористая среда, углеводородный загрязнитель.

Геофильтрационная задача о движении углеводородного загрязнителя и воздуха с учетом гравитационного влияния в трехмерной постановке описывается системой уравнений:

$$m\frac{\partial s}{\partial t}+\left[\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}\right]=0,$$
$$m\frac{\partial(1-s)}{\partial t}+\left[\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}\right]=0. \quad (1)$$

$$u_1=-k\frac{k_1(s)}{\mu_1}(\nabla p_1-\rho_1\vec{g}), \quad (2, a)$$

$$u_2=-k\frac{k_2(s)}{\mu_2}(\nabla p_2-\rho_2\vec{g}). \quad (2, б)$$

Начальные условия:

– при $t=0$: $s_1=s_2$, $s=s_0(x,y)$, $p=p_0$ на Γ_1,

$$s=0,\ p=p_{атм} \text{ на } \Gamma_2. \quad (3)$$

– начальное давление $p_1=\rho_1\vec{g}H$ распределено по

законам гидростатики. Изменением давления p_2 можно пренебречь и принять его величину близкой к атмосферному давлению, так как плотность загрязнителя ρ_1 значительно больше плотности воздуха ρ_2.

Граничные условия:

– на верхней границе рассматриваемой области граничное условие для $s(x, y, z, t)$ и $p(x, y, z, t)$ при $t \in (0; T]$ имеет вид

$$s = s_0(x, y, t),\ p = p_0\ (x, y, t) \text{ на } \Gamma_1, \tag{4}$$

$$p = p_{\text{атм}},\ \frac{\partial s}{\partial n} = 0, \tag{5}$$

где n – вектор нормали к границе Γ_2.

На нижней границе рассматриваемой области граничное условие для $s(x, y, z, t)$ и $p(x, y, z, t)$ $t \in (0; T]$ имеет вид

$$\left.\frac{\partial p}{\partial z}\right|_{z=1} = \left.\frac{\partial p}{\partial y}\right|_{y=0} = \left.\frac{\partial p}{\partial y}\right|_{y=1} = \left.\frac{\partial p}{\partial x}\right|_{x=0} = \left.\frac{\partial p}{\partial x}\right|_{x=1} = 0, \tag{6}$$

$$k\frac{k_1(s)}{\mu_1}(\nabla p_1 - \rho_1 \vec{g}) = 0,$$

$$k_1(s) = \begin{cases} \left(\dfrac{s - s_*}{s^*}\right)^{3,5}, & s_* < s \le 1, \\ 0, & 0 \le s \le s_*, \end{cases} \tag{7}$$

$$k_2(s) = \begin{cases} \left(\dfrac{s^* - s}{s^*}\right)^{3,5}(1 + 3s), & 0 \le s < s^*, \\ 0, & s^* \le s \le 1. \end{cases} \tag{8}$$

Математическая модель (1)...(8), основанная на двухфазной фильтрации в физических переменных с учетом гравитационного влияния, позволяет определить:

– распределение скоростей фильтрации в грунте в любой момент времени;

– распределение давления в каждой из фаз p_l;

– насыщенность s_l.

Подставим уравнения (2) в уравнения неразрывности (1). В результате получим:

$$\begin{gathered} m\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}k\frac{k_1(s)}{\mu_1}\left(\frac{\partial p_1}{\partial z} - \rho_1\vec{g}\right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x}k\frac{k_1(s)}{\mu_1}\left(\frac{\partial p_1}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}k\frac{k_1(s)}{\mu_1}\left(\frac{\partial p_1}{\partial y}\right), \\ m\frac{\partial(1-s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(k\frac{k_2(s)}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial z} - \rho_2\vec{g}\right) + \\ + \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{k_2(s)}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{k_2(s)}{\mu_2}\frac{\partial p_2}{\partial y}\right), \\ p_c(s) = p_2 - p_1. \end{gathered} \tag{9}$$

Уравнения (9) после преобразований примут вид (в безразмерной форме)

$$\begin{gathered} div\left[k\left(\frac{k_1(s)}{\mu_1} + \frac{k_2(s)}{\mu_2}\right)\nabla p_1 - \rho_1\vec{g}\,k\frac{k_1(s)}{\mu_1}\right] + \\ + div\left[k\frac{k_2(s)}{\mu_2}\left(p_c(s) - \rho_2\vec{g}\right)\right] = 0. \end{gathered} \tag{10}$$

Рассмотрим важное обстоятельство, когда предельное значение насыщенности $s^* = 1$, при котором фазовая проницаемость $k_2(s)$ обращается в нуль. Учитывая (7) и (8), получим

$$m\frac{\partial s}{\partial t} = div\left[k\frac{k_1(s)}{\mu_1}\left(\nabla p_1 - \rho_1\vec{g}\right)\right]. \tag{11}$$

Основным способом решения таких задач являются численные методы [1–6]. Среди них чаще всего применяют разностные методы благодаря их универсальности и наличию хорошо разработанной теории. В результате дискретизации дифференциальных уравнений с помощью метода конечных разностей непрерывное распределение параметров заменяется дискретным.

Метод конечных разностей включает следующие основные этапы:

– построение сетки, охватывающей рассматриваемую область;

– построение на полученной сетке конечно-разностной аппроксимации, эквивалентной исходному дифференциальному уравнению и дополнительным условиям;

– формирование на основе конечно-разностной аппроксимации системы алгебраических уравнений и ее решение.

Чтобы построить разностную схему для исходной задачи, выберем равномерную сетку с шагом h_z по переменной z, с шагом h_x по переменной x, с шагом h_y по переменной y и шагом τ по времени t. Получим сеточную область:

$$\begin{gathered} w_{h,\tau} = \{z_{i1} = i_1 h_z\,(0 \le i_1 \le n_z), x_{i2} = \\ = i_2 h_x\,(0 \le i_2 \le n_x), y_{i3} = \\ = i_3 h_y\,(0 \le i_3 \le n_y), \\ t_j = j\text{ф}, 0 \le j \le n_t\}, \end{gathered}$$

где $n_z = L_1/h_z$, $n_x = L_2/h_x$, $n_y = L_3/h_y$, $n_t = T/\tau$.

Заменим производные во внутренних узлах $w_{h,\tau}$ конечно-разностными отношениями с учетом представления переменного коэффициента и получим явную разностную схему [7]:

$$\begin{gathered} \frac{s^{j+1}_{i1,i2,i3} - s^j_{i1,i2,i3}}{\tau} = \\ = \frac{1}{hz}\left[\left(\lambda^j_{i1+1/2,i2,i3}\frac{p^j_{i1+1,i2,i3} - p^j_{i1,i2,i3}}{hz} - \rho_1 g\right) - \right. \\ \left. - \left(\lambda^j_{i1-1/2,i2,i3}\frac{p^j_{i1,i2,i3} - p^j_{i1-1,i2,i3}}{hz} - \rho_1 g\right)\right] + \\ + \frac{1}{hx}\left[\left(\lambda^j_{i2+1/2,i1,i3}\frac{p^j_{i2+1,i1,i3} - p^j_{i2,i1,i3}}{hx}\right) - \right. \\ \left. - \left(\lambda^j_{i2-1/2,i1,i3}\frac{p^j_{i2,i1,i3} - p^j_{i2-1,i1,i3}}{hx}\right)\right] + \\ + \frac{1}{hy}\left[\left(\lambda^j_{i3+1/2,i1,i2}\frac{p^j_{i3+1,i1,i2} - p^j_{i3,i1,i2}}{hy}\right) - \right. \\ \left. - \left(\lambda^j_{i3-1/2,i1,i2}\frac{p^j_{i3,i1,i2} - p^j_{i3-1,i1,i2}}{hy}\right)\right], \end{gathered} \tag{12}$$

$$\lambda_1(s) = k\frac{k_1(s)}{\mu_1},\ \ \lambda_2(s) = k\frac{k_2(s)}{\mu_2},$$

$$s^0_{i_1 i_2 i_3} = 0, \qquad j = 0,\ i_1 = 0, ..., n_z - 1;$$

$$i_2 = 0, ..., n_x - 1;\ i_3 = 0, ..., n_y - 1;$$

$$s^j_{0 i_2 i_3} = 1,\ i_1 = 0;\ 0 \le i_2, i_3 = 3;$$

$$s^j_{0 i_2 i_3} = 0,\ i_1 = 0;\ 3 \le i_2, i_3 \le n_{xy} - 1;$$

$$p^j_{0 i_2 i_3} = \rho_1 g,\ i_1 = 0;\ 0 \le i_2, i_3 = 3;$$

$$p^j_{0 i_2 i_3} = p_{\text{атм}},\ i_1 = 0;\ 3 \le i_2, i_3 \le n_{xy} - 1;$$

$$\frac{s_N^{j+1} - s_N^j}{\tau} = -\frac{2}{h}\lambda^j_{N-1/2} p^j_N - \rho_1 g,$$

$$j = 1, ..., n_t - 1,$$

где $\lambda^j_{i\pm1/2}(s) = \lambda(s_i + s_{i\pm1})/2$. Разностная схема (12) аппроксимирует исходное уравнение с погрешностью $O(\tau + h^2)$.

Систему уравнений (12) решаем итерационным методом. Формула позволяет получить решение s и p в явном виде. При этом на каждом временном слое вначале находим давление, а далее решаем параболическое уравнение для нефтенасыщенности. Это приводит к необходимости подбора временного шага для устойчивости счета и сходимости итерационных процессов. В численных расчетах использовались шаги сетки $h = 0{,}1$, $\tau = 0{,}002$.

В результате численного эксперимента, связанного с исследованием распространения нефтезагрязнителя в грунт под действием силы тяжести с учетом влияния давления, были проведены многовариантные расчеты. Значения фильтрационных параметров модели были приближены к экспериментальным данным и варьировались в следующих пределах:

– пористость грунта $m = 0{,}05...0{,}4$;
– проницаемость $k = 1{,}15\ 10^{-3}...11{,}5$ мкм^2;
– плотность загрязнителя $c_з = 1{,}1...1{,}4$ г/см^3;
– вязкость загрязнителя $м_з = 0{,}54...0{,}9$ сПз;
– высота области фильтрации загрязнителя $L = 1$ м;
– предельные значения насыщенности $s^* = 0{,}9$; $s_* = 0{,}1$;
– насыщенность на верхней границе области $S_0 = 1{,}0$;
– ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2.

Разработанная математическая модель фильтрации нефтезагрязнителя учитывает движение несмачивающей жидкости и воздуха в пористой структуре.

Для проведения численных расчетов была реализована программа с использованием технологии визуального программирования Borland Delphi [8].

Поток по вертикали может служить хорошей аппроксимацией режима полного проникновения нефти, т. е. одного из трех качественно возможных режима ее просачивания [10]. Это дает оценку сверху для глубины проникновения углеводородов в грунт. В качестве примера на рис. 1 приведены распределения нефтенасыщенности по глубине в различные моменты времени, где фронт продвигается в виде прямой линии, расположенной по диагонали относительно координатной системы. Это говорит об увеличении фронтовой насыщенности. Как показывают численные расчеты распространения загрязнителя под воздействием силы тяжести, сначала формируется фронт загрязнения, который далее двигается вглубь пористого грунта. Процесс протекает достаточно медленно (в данном случае скорость продвижения фронта приблизительно равна $4 \cdot 10^{-4}$ в безразмерных единицах), что согласуется с экспериментальными данными [9; 10]. Форму фронта определяют кривые $k(s)$, для этого варианта расчета в качестве модельных фазовых проницаемостей были взяты функциональные зависимости (7) и (8), а также члены дисперсионного типа. Фазовые проницаемости являются экспериментально измеряемыми функциями насыщенности. Расчеты показывают, что вблизи источника нефтезагрязнения образуется зона загрязнения, далее фронт нефтенасыщенности образуется и продвигается в основном за счет действия гравитационных сил (рис. 2).

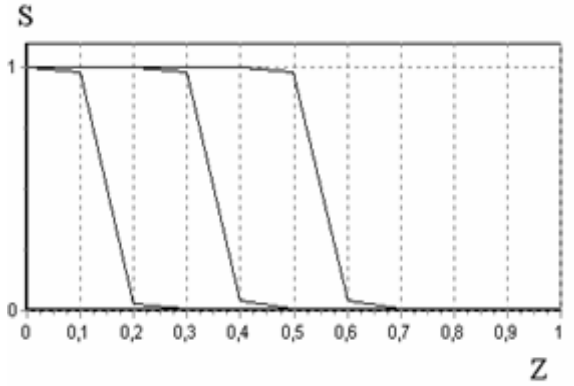


Рис. 1. Динамика распространения фронта при различных значениях безразмерного времени t: 408; 857; 1 308

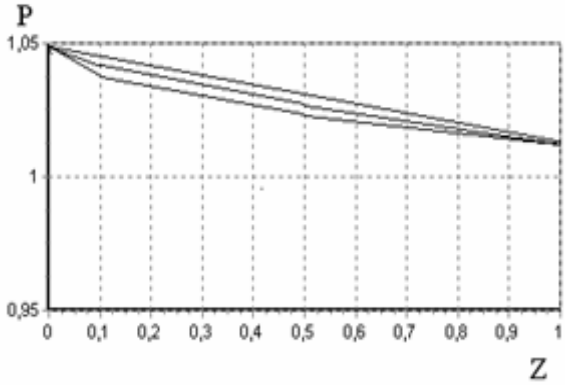


Рис. 2. Распределение давления при различных значениях безразмерного времени t: 408; 857; 1 308

Рис. 3. показывает пример результатов расчета для случая определения зоны загрязнения, выполненных для одного варианта параметров. Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительным совпадением теоретических и экспериментальных данных.

Полезные качественные сведения о закономерностях движения углеводородов в пористой среде могут быть получены путем анализа природных условий и постановки экспериментов. Проведенные лабораторные исследования пропитки воздушно-сухого песка ($W = 10...12$ %) при комнатной температуре различными объемами нефти ($V_1 = 150$ мл и $V_2 = 100$ мл) показали, что процесс протекания нефти происходит преимущественно в вертикальном направлении, но наблюдается также некото-

рое растекание в боковые стороны. Эти данные совпадают с экспериментальными результатами, описанными в [9].

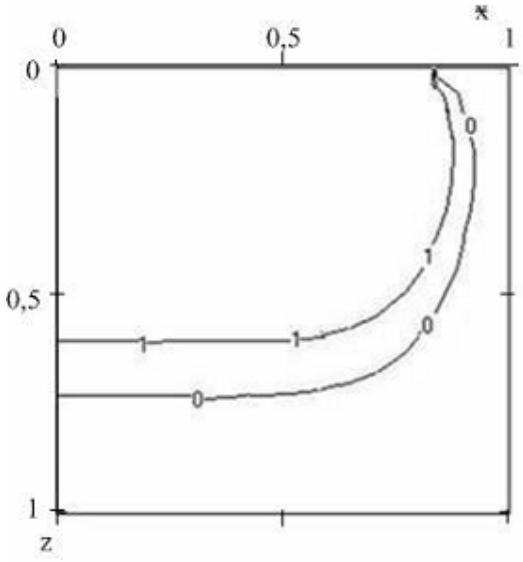


Рис. 3. Изолинии нефтенасыщенности t = 1 500

Было установлено, что вся нефть протекла в хорошо проницаемый песок со скоростью, приблизительно равной $3{,}7 \cdot 10^{-4}$ м/ч. Это объясняется тем, что гравитационный напор оказывается сильнее капиллярного противодействия в течение всего времени наблюдения. Чем меньше высота нефтяного слоя, тем слабее его растекание в стороны, поэтому боковые потоки ослабевают книзу (рис. 4).

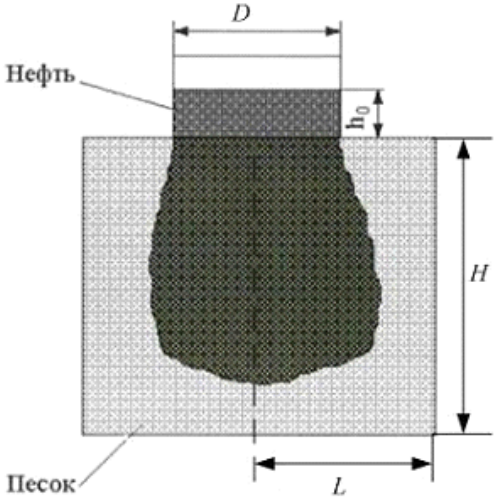


Рис. 4. Динамика проникновения нефти при начальной высоте нефтяного слоя h_0 = 10 мм: H – высота области фильтрации; L – полуширина области фильтрации; D = 113 мм – ширина углеводородного пятна на поверхности; V = 100 мл – объем нефти

Проведенные исследования показали, что построенная математическая модель позволяет прогнозировать формирование фронта загрязнения и давать оценку величины загрязненной зоны: глубины и ширины проникновения нефти в почву с заданными свойствами за данный промежуток времени, скорости движения углеводородного загрязнителя в почве, коэффициента фильтрации определяемого по ее скорости.

Разработанные алгоритмы и программы моделирования процесса оформлены в виде информационно-вычислительной системы, позволяющей численно анализировать влияние различных физико-механических параметров на характеристики процесса фильтрации.

Растущая опасность загрязнения почвы в результате аварийных разливов нефти и нефтепродуктов ставит проблему охраны окружающей среды. Решение этой проблемы осложняется тем, что для оценки загрязнения почвы еще не существует достаточно простых моделей, широко применяемых для практических расчетов. Вместе с тем исследования класса геофильтрационных задач ведутся давно и продолжаются до сих пор. Однако предлагаемые модели имеют слишком общий характер, в них не проводится разделение факторов на существенные и несущественные. Для решения рассматриваемой проблемы необходимо совершенствовать методы прогнозирования распространения загрязняющих веществ, с учетом физико-механических механизмов взаимодействия загрязнителей между собой и с пористой средой. Особенностью разработанной автором математической модели является то, что она имеет объектно-ориентированный характер.

Построенная модель и проведенные с ее помощью исследования распространения загрязнителей могут быть использованы для практических оценок экологической опасности различных хозяйственных объектов и при планировании природоохранных мероприятий.

Библиографический список

1. Численные методы задач математической физики / Н. С. Бахвалов, Г. М. Кобельков, Ю. А. Кузнецов и др. // Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. М. : Наука, 2005. Т. 1. С. 18–28.

2. Костерин, А. В. Моделирование загрязнения почв и грунтов органическими жидкостями / А. В. Костерин // Современные проблемы математического моделирования : тр. Всерос. школы-семинара. Ростов н/Д, 2001. С. 142–147.

3. Булгакова, Г. Т. Неравновесная двухфазная фильтрация / Г. Т. Булгакова, А. В. Жибер, Т. А. Файдуллин // Математическое моделирование РАН. 2006. Т. 18. № 10. С. 19–38.

4. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Процессы в сложных экономических и экологических системах / А. А. Самарский, Н. Н. Моисеев, А. А. Петров М. : Наука, 1986.

5. Гринин, А. С. Математическое моделирование в экологии : учеб. пособие для вузов / А. С. Гринин. М. : ЮНИТИ-Дана, 2003.

6. Ляшко, И. И. Численное решение задач тепло и массопереноса в пористых средах / И. И. Ляшко, Л. И. Демченко. Киев : Наук. думка, 1991.

7. Тихонов, А. Н. Разностные методы решения многомерных задач / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. М. : Наука, 1989.

8. Бежанова, М. М. Практическое программирование. Визуальное программирование в среде Delphi : учебник / М. М. Бежанова, Л. А. Москвина. М. : Логос, 2001.

9. Грищенко, А. И. Экология. Нефть и газ / А. И. Грищенко, Г. С. Акопова, В. М. Максимов ; ВНИИЭГазпром. М., 1995.

10. Басниев, К. С. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, И. Н. Кочина, В. М. Максимов. М. : Недра, 1993.

N. V. Molokova

COMPUTATIONAL INVESTIGATION AND THE PROCESS OF THE POROUS MEDIUM CONTAMINATION ANALYSIS

It is covered a two-dimensional model of filtering, taking into account the movement of air and hydrocarbon pollutants into the porous soil. The model includes a system of partial differential equations with additional conditions. Among the differential equations balance equation element in a porous medium – inseparability equation, and differential equations of motion are included. For circuit system the equations of the considered pollutant state and environment. The are entered initial and boundary conditions correspond to the filtration process, beginning with the ground surface and initial stage of oil products ladling. A comparative analysis of the results of mathematical modeling with experiments is carries out.

Keywords: two-dimensional model of filtering, geofiltration, mathematical modeling, porous medium, hydrocarbon pollutants

УДК 519.688

К. В. Богданов, А. Н. Ловчиков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С СУЩЕСТВЕННЫМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С АСИНХРОННЫМ ОБМЕНОМ

Предложен новый подход к моделированию систем, содержащих несколько элементов, функционирование которых связано с резким изменением параметров и при математическом описании приводит к существенному возрастанию производных фазовых переменных, что при традиционном моделировании ведет к срыву вычислительного процесса.

Ключевые слова: моделирование, параллельные вычисления, EDA-системы.

Современные EDA-системы развивались в течение длительного времени. Но это развитие было экстенсивным и во многом консервативным, это обусловлено следующими причинами: во-первых, необходимость сохранения обратной совместимости, т. к. объем накопленной информации для EDA- и CAE-систем весьма велик, и по сей день используются различные версии систем; во-вторых, на момент зарождения наиболее известных систем, таких как MATLab, Spice и т. п., средства разработки и существующее аппаратное обеспечение диктовали классический подход к проектированию программных систем, при котором имеется единственный вычислительный поток, в котором и производится расчет по заданной математической модели.

Рассмотрим одну из типичных задач, ставящихся перед специализированными EDA-системами, проведение анализа переходных процессов для электронной схемы. Обычная EDA-система, такая как, к примеру, Microcap, организует этот процесс в несколько этапов (рис. 1).

Прежде всего необходимо получить от пользователя представление о модели. Это один из самых простых этапов, реализуемых с помощью пользовательского интерфейса. Пользователь размещает в рабочей области программы необходимые элементы (точнее, их графические представления) и соединяет соответствующие входы и выходы элементов, формируя тем самым основу для математического описания всей моделируемой системы.

По информации о взаимосвязях между элементами и типами элементов строится система дифференциальных уравнений для всей системы в целом.

Основной этап – решение системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений (ОДУ) численным методом. Начальные условия берутся из параметров, задаваемых пользователем перед проведением процедуры анализа. На этом этапе для упрощения вычислений зачастую проводится процедура линеаризации.

Сложности при моделировании в случае приведенного выше алгоритма начинаются, если один (а чаще большое количество) из атомарных блоков является нелинейным, т. е. если при определённых условиях сигнал на его выходе за короткий временной промежуток изменяется относительно входного сигнала на несколько порядков. Наиболее распространенный блок такого типа – ключ (вне зависимости от частной его реализации в схеме). В этом случае приходится использовать фиктивную модель ключа, в которой существуют промежуточные состояния между разомкнутым и замкнутым состояниями. Но даже при таком допущении значения выходных параметров

изменяются очень быстро, поэтому при численном интегрировании необходимо уменьшать его шаг. Если такой блок в моделируемой схеме единственный, то в лучшем случае это приведет лишь к незначительному замедлению процесса моделирования. Однако если в схеме таких (или аналогичных) нелинейных блоков несколько и разность времен их срабатывания имеет тот же порядок, что и шаг интегрирования, то широко распространённые в EDA-системах алгоритмы численного интегрирования могут давать значительные погрешности или даже расходиться, что делает компьютерное моделирование в этом случае невозможным.

Обычно процедура численного интегрирования неделима и выполняется внутри одного вычислительного процесса, после завершения которого результаты моделирования становятся доступными. Для моделирования систем с существенными нелинейностями авторами предлагается использовать совершенно иной подход, в котором компоненты любой реальной системы, по сути, являются независимыми элементами, а система, составленная из них, способна функционировать за счет связей между ними. Каждый блок системы представляет собой независимую математическую модель, которая имеет необходимое количество входов и выходов, связанных с входами и выходами других независимых блоков. Взаимодействие между блоками осуществляется посредством передачи информационных пакетов (сообщений). Эти сообщения могут иметь самое различное физическое воплощение: от электрического потенциала и силы тока до давления, что позволит моделировать исключительно широкий диапазон реальных систем.

Техническая реализация в этом случае требует наличия среды, в которой способной одновременно (параллельно) исполнять большое количество легковесных вычислительных процессов, которые будут реализовывать атомарные блоки системы, и поддерживающей обмен асинхронными сообщениями между этими легковесными процессами. Асинхронность здесь является одним из основных требований, так как в реальной физической системе изменения состояний отдельных блоков не могут быть синхронизированы иначе, чем через предусмотренные входы и выходы.

Алгоритм моделирования для подобной системы по сравнению с моделированием в EDA-системе изменится полностью, кроме первого шага (рис. 2). По полученному от пользователя описанию системы строится не результирующая система дифференциальных уравнений, а список используемых в системе блоков и таблица взаимосвязей между ними (таблица маршрутизации сообщений). Следующим этапом является запуск всех легковесных процессов, однако это еще не начало процесса моделирования. Собственно моделирование системы происходит при запуске на вход какого-либо процесса сообщения, представляющего собой полезный сигнал. Этот процесс преобразовывает сообщение в соответствии со своей логикой и передает его на входы других процессов согласно таблицы маршрутизации сообщений. Непосредственно наблюдение за поведением системы предполагается производить с помощью специально выделенных процессов – сборщиков информации, которые тоже должны быть включены (явно или неявно) в таблицу маршрутизации сообщений.

Выигрыш по сравнению с классическим подходом заключается в том, что обработка нелинейного блока (причем любого количества нелинейных блоков) происходит независимо и параллельно с работой всех остальных блоков – компонентов системы, т. е. наращивания сложности вычислений внутри вычислительного процесса не происходит. За исключением накладных расходов системы, количество блоков ограничивается лишь быстродействием и мощностью вычислительной машины, в которой исполняется данная среда.

Наиболее подходящей для реализации средой на данный момент является среда Erlang – функциональный язык программирования, разработанный и поддерживающий компанией «Ericsson», который позволяет писать программы для разного рода распределённых систем. Этот язык включает средства порождения параллельных процессов и их коммуникации с помощью посылки асинхронных сообщений. Программа транслируется в байт-

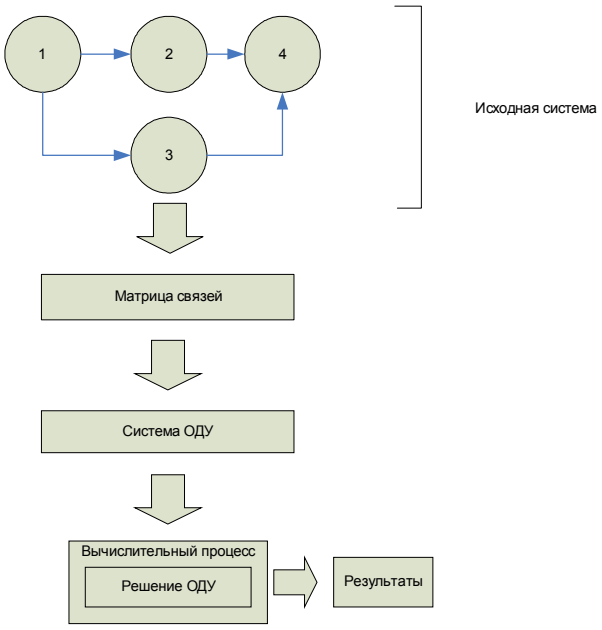


Рис. 1. Моделирование и анализ в EDA-системах

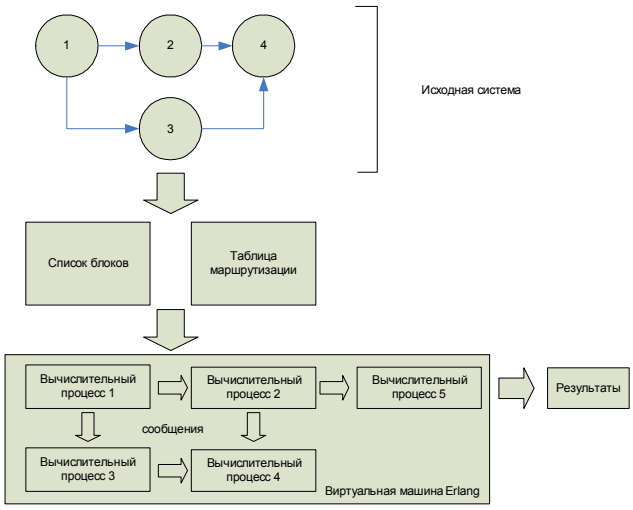


Рис. 2. Параллельное моделирование с асинхронным обменом

код, исполняемый виртуальной машиной, что обеспечивает переносимость. Функциональная парадигма позволяет Erlang избежать таких традиционных для императивных языков проблем распределенных приложений, как необходимость синхронизации, опасность возникновения тупиков и гонок [1].

Запущенный экземпляр эмулятора Erlang называется узлом. Узел имеет имя и знает о существовании других узлов на данной машине или в сети. Создание и взаимодействие процессов разных узлов не отличается от взаимодействия процессов внутри узла. Для создания процесса на другом узле процессу достаточно знать его имя, и, без особых на то оснований, он может не интересоваться физическим расположением взаимодействующего с ним процесса. Этим обусловлена высокая масштабируемость и способность почти линейного повышения производительности с ростом мощности системы (кластера).

Процессы, моделирующие каждый отдельный элемент схемы, будут обмениваться сообщениями (кортежами) вида:

{<имя корневого процесса>, <номер элемента>, <номер вывода>, <сигнал1>, <сигнал2>},

где *<сигнал1>*, *<сигнал2>* – моделируемые величины (они могут иметь, например, физический смысл тока или напряжения).

Отвечать за маршрутизацию будет основной (серверный) процесс, которому все остальные процессы, реализующие функциональность элементов схемы, будут пересылать сообщение. Это, с одной стороны, упростит масштабирование модели, а с другой – позволит достаточно просто производить измерение параметров в узлах. Тогда в общем случае процесс, моделирующий элемент схемы, будет выглядеть так [2]:

```
element(Server_Node) ->
        receive
stop ->
exit(normal);
                {pin_number, signal1, signal2} ->
                        % здесь производится преобразование сигнала в соответствии с принципом работы элемента %,
                        {modeling, Server_Node}!{self(), element_number, pin_number, signal1, signal2}
end,
```

где *Server_Node* – заранее определенное имя сервера; *modeling* – имя исполняемой программы. При этом главный серверный процесс будет аналогичен *Element_List* – списку всех элементов:

```
server(Element_List)   ->
        receive
                {element_number, pin_number, signal1, signal2} ->
                        % здесь производится определение элемента, с которым соединен элемент с номером element_number с помощью вывода pin_number %
                        element_number ! {pin_number, signal1, signal2}
end
```

Количество рассылаемых сообщений будет зависеть исключительно от топологии моделируемой системы (в приведенном выше примере показан простой случай без множественных соединений типа «один выход – много входов»). Кроме того, необходим элемент-источник, который будет генерировать сигналы для работы схемы. Такой элемент не будет принимать сигналы, а только генерировать их, так что его реализация является упрощенной реализацией обычного элемента схемы.

После запуска все элементы начнут передавать сообщения маршрутизирующему процессу (серверу), который будет их распределять, опираясь на заданную топологию моделируемой системы. Вне зависимости от количества блоков, каждый из них, получив сигнал, незамедлительно вернет ответ, в котором будут содержаться только моментальные значения сигналов. Следовательно, с ростом системы сложность вычислений не увеличивается. И даже если какой-либо из процессов, моделирующих элемент схемы, не сможет вернуть ответ и аварийно завершит работу, виртуальная машина Erlang сможет его перезапустить отдельно, не прерывая процесс моделирования всей схемы [1].

Таким образом, в случае реализации представленной в данной статье системы становится возможным моделирование систем с существенными нелинейностями практически неограниченных размеров и сложности.

Библиографический список

1. Open Source Erlang [Electronic resource]. Electronic data. Cop. 2008. Access mode: http://www.erlang.org/. Tifle from display.

2. Купаев, М. Начала работы с Erlang / М. Купаев, О. Токайло, Д. Димандт // RSDN Magazine. 2006. № 3.

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

SYSTEMS MODELLING WITH ESSENTIAL NONLINEAR ELEMENTSON THE BASIS OF PARALLEL CALCULATIONS WITH THE ASYNCHRONOUS EXCHANGE

The article offers the anew approach to modeling of the systems containing some elements which functioning is connected witha sharp change of parameters and at the mathematical description it leads to essential increase of derivative variables phase that at traditional modeling conducts to the failure of the computing process.

Keywords: modeling, parallel calculations, EDA systems.

УДК 621.316

А. Н. Ловчиков, Е. Е. Носкова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНВЕРТЕРОВ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ

Рассмотрены вопросы выполнения проектных процедур анализа и синтеза конверторов с широтно-импульсной модуляцией на основе метода гармонической линеаризации, показаны преимущества данного метода при проведении структурного синтеза.

Ключевые слова: конвертер, широтно-импульсная модуляция, гармоническая линеаризация.

Одним из основных элементов электропреобразовательной аппаратуры (ЭПА) системы электропитания (СЭП) спутника является преобразователь постоянного напряжения в постоянное – конвертер, основная задача которого состоит в стабилизации напряжения на выходе СЭП. Процесс проектирования ЭПА в составе СЭП осложняется тем, что конвертор любой топологии (с параллельным или с последовательным включением ключевого элемента) представляет собой систему автоматического регулирования с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), которая относятся к классу нелинейных импульсных систем.

Синтез конвертеров с ШИМ на начальной стадии проектирования сводится к расчету периодических процессов в нелинейной системе. Для решения этой задачи используются методы теории нелинейных колебаний, которые могут быть условно разделены на графоаналитические, численные и аналитические.

Среди графоаналитических методов следует отметить метод фазовой плоскости для качественного исследования нелинейных колебаний.

Численные методы решения являются основными методами анализа в современной практике научно-инженерных расчетов. Это группы широко распространенных явных и неявных методов решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, однако при их алгоритмической и программной реализации в расчетах периодических процессов в конвертерах могут возникать недетерменированные выходные сигналы, например стохастические режимы или «биения» в вычислительном эксперименте, что создает значительные трудности для разработчиков ЭПА. Принятие проектного решения в данном случае будет полностью зависеть от опыта и квалификации разработчика. Кроме того, применение математического описания конвертеров в виде системы дифференциальных уравнений позволяет решать задачи параметрического синтеза, но существенно затрудняет решение задач структурного синтеза.

Указанных проблем лишены аналитические методы расчета периодических процессов в нелинейных системах, например методы асимптотических разложений, гармонического баланса и гармонической линеаризации. При этом, несмотря на большой объем и сложность аналитических преобразований, одним из главных их достоинств является возможность выполнения анализа периодических процессов при символьном задании параметров ЭПА и обозрения процессов в целом, что может значительно повысить эффективность принятия проектного решения на этапе функционального проектирования.

Рассмотрим применение метода гармонической линеаризации при проектировании конвертера понижающего типа с ШИМ (рис. 1, 2).

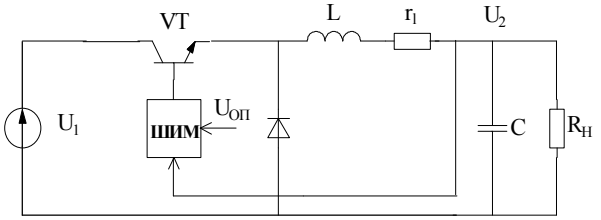


Рис. 1. Схема конвертера

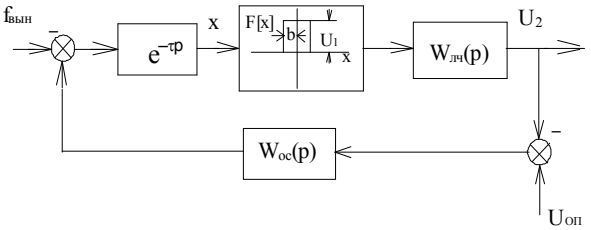


Рис. 2. Структурная схема конвертера $e^{-\tau p}$ – звено запаздывания, моделирующее запаздывание срабатывания транзисторного ключа; $F[x]$ – релейный элемент, моделирующий работу ключа; $W_{л.ч}(p)$ – передаточная функция участка схемы вход-выход фильтра; $f_{вын}$ – источник вынужденных колебаний, моделирующий работу генератора пилообразного напряжения; $W_{о.с}(p)$ – передаточная функция, вид и параметры которой необходимо определить

Как это следует из принципа работы конвертера, в нем всегда присутствуют вынужденные периодические колебания. Однако эти колебания при определенных параметрах элементов конвертера порождают автоколебания, которые могут существенно повысить коэффициент пульсаций выходного напряжения или привести к потере устойчивости.

Задача синтеза в этом случае сводится к определению передаточной функции $W_{о.с}(p)$, которая позволила бы исключить возможность возникновения автоколебаний.

В соответствии со структурной схемой (рис. 2) уравнение динамики системы имеет вид [1]

$$x + W_{л.ч}(p)\, e^{-tP}\, W_{о.с}(p)\, F[x] = \\ = W_{о.с}(p)\, U_{о.п} - f_{вын}(t)\,. \qquad (1)$$

В уравнении (1) принято допущение $f_{вын}(t) = B\sin(\omega_2 \cdot t)$.

Периодический процесс может быть представлен в виде

$$X = X_{\text{В}} + X_{\text{м}}, \qquad (2)$$

где $X_{\text{м}} = X_o + X_{\text{А}}$ – медленно меняющаяся составляющая, здесь X_o – постоянная составляющая; $X_a = A_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ – переменная составляющая, характеризующая автоколебания; ω_1 – частота автоколебаний; $X_{\text{в}} = A_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t + \varphi)$ – переменная составляющая, характеризующая вынужденные колебания в системе, здесь $\omega_2 = 2\pi/T$ – частота вынужденных колебаний (T – период переключения).

Амплитуда вынужденных колебаний определяется по выражению

$$A_2^{\,2} = B^2 \frac{\left| Q(j\omega_2) \right|^2}{\left| Q(j\omega_2) + R(j\omega_2) \cdot e^{-\tau j/\omega_2} \cdot W_{\text{о.с}}(j\omega_2) \cdot (q + jq') \right|^2}, \qquad (3)$$

где $W_{\text{л.ч}}(p) = R(p)/Q(p)$; q, q' – коэффициенты гармонической линеаризации:

$$q(A_2, X_{\text{м}}) = \frac{U_1}{A_2 \cdot \pi} \times$$
$$\times \left(\sqrt{1 - \frac{(b - X_{\text{м}})^2}{A_2^{\,2}}} + \sqrt{1 - \frac{(b + X_{\text{м}})^2}{A_2^{\,2}}} \right),$$
$$q'(A_2) = -\frac{2 \cdot U_1 \cdot b}{A_2 \cdot \pi},$$

Характеристика нелинейного звена

$$F[x] = F^0(A_2, X_{\text{м}}) + [q(A_2, X_{\text{м}}) + q'(A_2) \cdot p/\omega_2] \cdot X_{\text{в}}, \qquad (4)$$

где $F^0(A_2, X_{\text{м}}) = \frac{U_1}{2} + \frac{U_1}{2 \cdot \pi} \left(\arcsin \frac{b + X_{\text{м}}}{A_2} - \arcsin \frac{b - X_{\text{м}}}{A_2} \right)$.

Решая (4), для заданной нелинейности $F[x]$ можно определить функцию смещения:

$$F^0(A_2, X_{\text{м}}) = \Phi(X_{\text{м}}), \qquad (5)$$

которая в дальнейшем используется при определении автоколебательного режима и решения уравнения для постоянных составляющих. Для этого линеаризуем функцию смещения $\Phi(X_{\text{м}})$ в пределах рабочего режима системы:

$$\Phi(X_{\text{м}}) = \Phi^0 + K_{\text{а}} \cdot X_{\text{а}}, \qquad (6)$$

где $K_{\text{а}} = \left. \frac{d\Phi}{dX_{\text{м}}} \right|_{X_{\text{м}} = X_0}$.

С учетом (4), (5) и (6) система уравнений для определения возможности возникновения автоколебательного режима имеет вид

$$Q(0)\, X_0 + R(0)\, W_{\text{о.с}}(0)\, \Phi^0 =$$
$$= W_{\text{о.с}}(0)\, U_{\text{оп}}\, Q(0),$$
$$Q(p)\, X_{\text{А}} + R(p)\, e^{-\text{t}p}\, W_{\text{о.с}}(p)\, K_{\text{а}} X_{\text{а}} = 0. \qquad (7)$$

После подстановки в (7) $p = j\omega_1$ определяются X_0, A_1 и ω_1, т. е. условия возникновения или отсутствия автоколебаний в системе, на основании чего делается заключение об устойчивости системы. Изменяя $W_{\text{о.с}}(p)$ и используя изложенную выше методику, можно синтезировать рассматриваемый конвертер исходя из обеспечения отсутствия автоколебаний в системе.

Представленный метод был использован при анализе и синтезе конкретного конвертера.

Передаточная функция линейной части этого конвертера имеет вид

$$W_{\text{л.ч}}(p) = \frac{K_{\text{л.ч}}}{a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1},$$

где $K_{\text{л.ч}} = R_{\text{н}} / (R_{\text{н}} + r_1)$ – коэффициент передачи, здесь $R_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки, r_1 – активное сопротивление обмотки дросселя фильтра; $a_2 = K \cdot L \cdot C$, здесь L – индуктивность дросселя фильтра; C – емкость конденсатора фильтра; $a_1 = (L + R_{\text{н}} \cdot r_1 \cdot C) / (R_{\text{н}} + r_1)$.

Расчеты проводились при следующих исходных данных: частота преобразования 25 кГц; $U_1 = 40$ В; $U_{\text{оп}} = 27$ В; $L = 10$ мкГн; $C = 5$ мФ; $r_1 = 0{,}01$ Ом; t = 1 мкс; $R_{\text{н}} = 1$ Ом; В = 0,2 В; K – передаточная функция звена обратной связи, $K = 1$; b – зона нечувствительности компаратора, $b = 0{,}001$.

Согласно [2] и рис. 2, процессы в конвертере с ШИМ описываются уравнением динамики (1). Решение этого уравнения находится в виде (2) из системы уравнений для медленно меняющихся и колебательных составляющих. После решения (4) определяется функция смещения (5), линеаризуемая в пределах рабочего режима конвертора (6). Рассчитанные функции смещения при различных значениях параметров фильтра (рис. 3) показывает, что значение $K_{\text{а}}$ в рабочей точке равно14...15.

Уравнение (1) теперь примет вид (7), и неизвестные A_1, ω_1 и $X_{\text{о}}$ определяются из (7) подстановкой $p = j\omega_1$:

$$1 - a_2 \cdot \omega_1^{\,2} + K_{\text{а}} \cdot K_{\text{л.ч}} \cdot K \cdot \cos(\omega_1 \cdot \tau) = 0,$$
$$a_1 \cdot \omega_1 - K_{\text{а}} \cdot K_{\text{л.ч}} \cdot K \cdot \sin(\omega_1 \cdot \tau) = 0, \qquad (8)$$
$$X_0 + K_{\text{л.ч}} \cdot K \cdot \Phi^0 = K \cdot U_{\text{Оп}}.$$

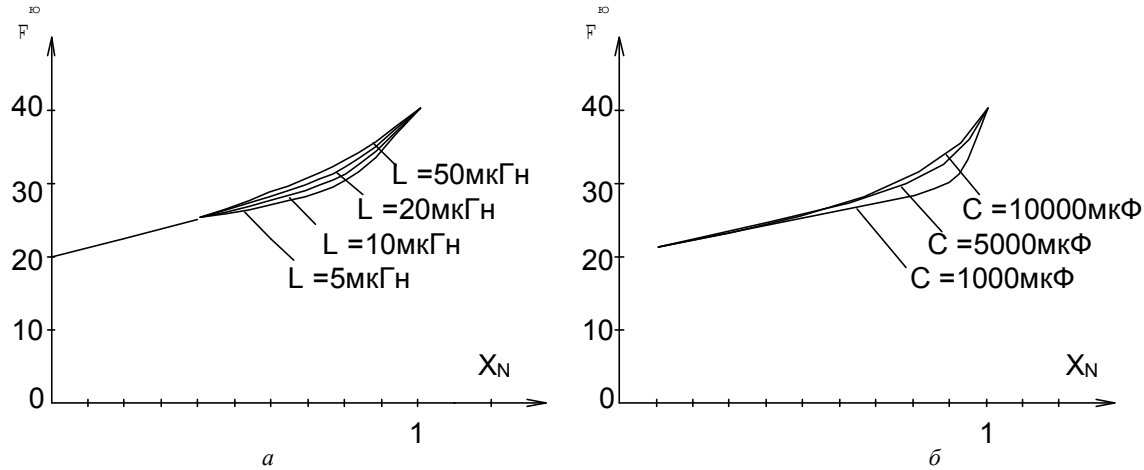


Рис. 3. Функции смещения

При решении (8) частота предполагаемых периодических колебаний f_1 намного меньше частоты вынужденных колебаний. Отсюда величина $2\pi f_1 \cdot \tau = \omega_1 \cdot \tau$ мала и $\sin(\omega_1 \cdot \tau) \approx \omega_1 \cdot \tau$, а $\cos(\omega_1 \cdot \tau) \approx 1$. Искомое решение для автоколебаний системы, т.е. условие их существования, определится по выражению

$$r_1 \cdot C + LY_{н} - K \cdot \tau \cdot K_{а} = 0. \qquad (9)$$

При подстановке значений параметров в (9) следует, что в системе отсутствуют автоколебания. Однако если совместное запаздывание ключа и компаратора будет равно 4 мкс, то в системе возникнут автоколебания с частотой 2,5 кГц.

Рассмотренный выше конвертер является основой системы электропитания космических аппаратов, качество работы которой обусловлено протекающими в ней электромагнитными процессами. Представленная методика анализа и синтеза конвертеров СЭП как нелинейной системы позволяет на схемотехническом уровне проектирования на основании заданных критериев исследовать и формировать электромагнитные процессы как в конвертере, так и во всей СЭП в целом.

Предложенная в статье методика структурно-параметрического синтеза конвертеров с широтно-импульсной модуляцией позволяет, используя хорошо апробированный метод, с высокой точностью решать задачи анализа и синтеза: оценивать устойчивость системы и синтезировать ее, исходя из заданных запасов устойчивости. Рассмотренный метод хотя и позволяет уже сейчас решать большое количество задач, связанных с синтезом конвертеров, однако требует дальнейшего развития для решения более сложных проблем, например анализа и синтеза конвертеров, работающих в режиме прерывистых токов дросселя.

Библиографический список

1. Бессекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. СПб. : Профессия, 2003.

2. Попов, Е. П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. М. : Наука,1988.

A. N. Lovchikov, E. E. Noskova

CONVERTERS WITH PULSE-WIDTH MODULATION DESIGN ON THE BASIS OF HARMONIC LINEARIZATION METHOD

The problems of the design procedures of convector analysis and synthesis with pulse-width modulation on the basis of harmonic linearization method are regarded. The advantages of this method while structural synthesis are given.

Key words: converter, pulse-width modulation, harmonic linearization.

УДК 681.332.53/519.676

Е. И. Алгазин, А. П. Ковалевский, В. Б. Малинкин

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПРИ НАЛИЧИИ СЛАБЫХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

Рассмотрена инвариантная система обработки информации, основанная на синхронном детектировании. При расчете параметров этой системы принято допущение, что ближайшие отсчеты поднесущей аддитивно зашумлены помехой, отсчеты которой слабо коррелированы между собой. Проведено сравнение количественных оценок работы такой системы с количественными показателями известной инвариантной системы при некоррелированности отсчетов шума.

Ключевые слова: помехоустойчивость, инвариант, инвариантная относительная амплитудная модуляция, вероятность попарного перехода, отношение сигнал/шум (помеха), коэффициент корреляции.

Инвариантные системы передачи информации учитывают свойства каналов связи и в этом смысле являются адаптивными. Положительные свойства таких систем наиболее полно проявляются при работе по каналам связи с переменными параметрами, где основным мешающим воздействием на сигналы является мультипликативная помеха. Временную динамику каналов с переменными параметрами можно условно разбить на интервалы стационарности, а затем рассматривать прием информационного и обучающего сигналов в пределах выделенных интервалов стационарности. В проведенных ранее исследованиях [1] аддитивная помеха рассматривалась как воздействие белого шума на отсчеты информационного и обучающего сигналов, что обусловливало вывод выражения плотности вероятности оценки инварианта.

Постановка задачи. Пусть мы имеем канал связи, ограниченный частотами $f_{н}$ и $f_{в}$. Состояние канала связи определяется интервалом стационарности, внутри кото-

рого действие мультипликативной помехи описывается постоянством коэффициента передачи $k(t)$ на некоторой частоте.

Алгоритм приема зависит от несущей частоты, задаваемой как средняя частота канала, и поднесущей, которой модулируется несущая.

Предполагается, что собственные шумы генераторного оборудования ничтожно малы и их величиной можно пренебречь.

Каждый передаваемый блок будет содержать информационную часть и пилот-сигнал (последовательность обучающих сигналов $S_{об}$). Как показано в [1], оптимальное соотношение между длительностями информационной части и пилот-сигнала должно быть равно 3/2. При этом наблюдается уменьшение относительной скорости передачи на 40 %.

На приемной стороне обучающие сигналы усредняются и используются для демодуляции информационной части блока. При этом из-за изменения параметров канала связи информационные и обучающие сигналы зашумлены аддитивной помехой. В данной статье предполагается, что ближайшие отсчеты аддитивной помехи слабо коррелированы между собой.

Необходимо произвести расчет вероятности попарного перехода инвариантов в такой системе для чего найдем аналитической выражение плотности вероятности оценки инварианта.

Решение поставленной задачи. Для уменьшения влияния аддитивных шумов канала связи воспользуемся известным способом – операцией усреднения произведения обучающего и опорного сигнала. Проведем расчет помехоустойчивости предложенным методом.

Исследуемая модель состоит из расширенного синхронного детектора. В качестве опорного сигнала генераторного оборудования используется сигнал вида

$$S(i) = A\sin\left(2\pi f_{п}\cdot\Delta t\cdot i\right),$$

где A – амплитуда; $f_{п}$ – частота колебаний поднесущей; Δt – интервал дискретизации; i – номер отсчета, i O $\{1, \ldots, N\}$.

Представим обобщенную структуру обработки информации с усреднением (рис. 1). На первый вход умножителя с разделением по времени идут информационный и обучающий сигналы. На второй вход умножителя поступает опорный сигнал, который прошел спецвычислитель и систему ФАПЧ. После такой процедуры на интервале стационарности оценка инварианта на выходе ОЗУ может быть рассчитана по следующему выражению:

$$\mathrm{INV}^{*} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(k\cdot\mathrm{INV}_{l}\cdot S(i)+\xi(i)\right)\cdot S(i)}{\frac{1}{L\cdot S_{об}}\sum_{m=1}^{L}\sum_{j=1}^{N}\left(k\cdot S_{об}\cdot S(j)+\eta(m,j)\right)\cdot S(j)}\cdot S_{об}. \quad (1)$$

Здесь в числителе – сумма N произведений мгновенных отсчетов сигнала информационной посылки и отсчетов опорного сигнала генератора. Информационный сигнал образован поднесущей вида $k\cdot\mathrm{INV}_{l}\cdot S(i)+\xi(i)$, где $\xi(i)$ – зашумляющая помеха. В знаменателе – сумма N мгновенных отсчетов сигнала обучающей посылки, образованного поднесущей вида $k\cdot S_{об}\cdot S(j)$, зашумленных помехой $\eta(m,j)$.

Оценка инварианта INV–¬* представляет собой частное соответствующих сумм, домноженное на величину $S_{об}$. В выражении (1) $k\cdot\mathrm{INV}_{l}\cdot S(i)$ – i-й мгновенный отсчет сигнала информационной посылки, поступающей из канала; $k\cdot S_{об}\cdot S(j)$ – j-й мгновенный отсчет сигнала обучающей посылки, поступающей из канала; $\xi(i)$ – i-е мгновенное значение помехи в информационном сигнале; $\eta(m,j)$ – j-е мгновенное значение помехи в m-й реализации обучающего сигнала; k – коэффициент передачи канала; INV_{l} – l-й заданный инвариант; $S_{об}$ – значение обучающего сигнала.

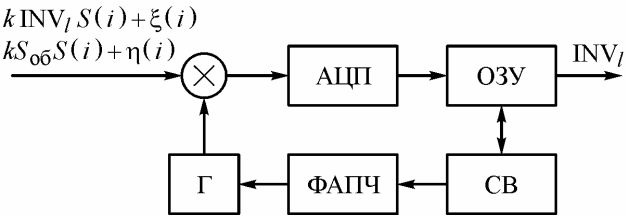


Рис. 1. Структурная схема обработки информации с усреднением: *АЦП* – аналого-цифровой преобразователь; *ОЗУ* – оперативное запоминающее устройство; *СВ* – спецвычислитель; *ФАПЧ* – система фазовой автоподстройки частоты; *Г* – генератор опорного сигнала

Без ограничения общности полагаем, что $S_{об} = 1$. Если $S_{об} \neq 1$, то все исходные параметры INV_{l}, σ (среднеквадратическое отклонение помехи $x(i)$, $\eta(m,j)$) можно масштабировать, разделив на $S_{об}$. Тогда формула (1) перепишется в виде

$$\mathrm{INV}^{*} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(k\cdot\mathrm{INV}_{l}\cdot S(i)+\xi(i)\right)\cdot S(i)}{\frac{1}{L}\sum_{m=1}^{L}\sum_{j=1}^{N}\left(k\cdot S(j)+\eta(m,j)\right)\cdot S(j)} = \frac{A}{B}, \quad (2)$$

где через A и B обозначены числитель и знаменатель дроби.

Будем полагать, что случайные величины $\xi(i)$ и $\eta(m,j)$ одинаково распределены по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2. Кроме этого, предположим, что в каждом блоке зависимы только соседние случайные величины. Тогда

$$\mathrm{corr}\left(\xi(i),\xi(i-1)\right) = \\ = \mathrm{corr}\left(\eta(m,j),\eta(m,j-1)\right) = r,$$

где r – коэффициент корреляции.

Все остальные случайные величины, входящие в каждый принимаемый блок, будем считать независимыми.

Для реализации этой модели необходимо, чтобы

$$|r| \le 1/\sqrt{2}.$$

Действительно, если $\xi(1)$, $\xi(2)$, $\xi(3)$ имеют стандартное нормальное распределение $E\mathrm{x}(1)\xi(2) = r$, $E\xi(2)\xi(3) = r$, $E\xi(1)\xi(3) = 0$, то

$$\xi(1) = r\xi(2) + \sqrt{1-r^2}\,\psi_1,$$
$$\xi(3) = r\xi(2) + C_1\psi_1 + C_2\psi_2,$$

где C_1, C_2 – константы; ψ_1, ψ_2 независимы и имеют стандартное нормальное распределение. Но

$$E\xi(1)\xi(3) = r^2 + C_1\sqrt{1-r^2} = 0,$$

т. е.

$$C_1 = -\frac{r^2}{\sqrt{1-r^2}},$$

$$E\left(\xi(3)\right)^2 = r^2 + C_1^2 + C_2^2 = 1.$$

Следовательно,

$$r^2 + C_1^2 \le 1, \quad r^2 + \frac{r^2}{\sqrt{1-r^2}} \le 1,$$

$$r^2\left(1-r^2\right) + r^4 \le 1 - r^2,$$

$$r^2 \le 1 - r^2, \quad 2r^2 \le 1,$$

$$r^2 \le 1/2, \quad |r| \le 1/\sqrt{2}.$$

Воспользуемся известным подходом к оценке вероятности попарного перехода, описанным в [2]:

$$P_{\text{пер}} = P_1 \int_0^{Z_p} W_2(z)\,dz + P_2 \int_{Z_p}^{\infty} W_1(z)\,dz, \qquad (3)$$

где $P_{\text{пер}}$ – вероятность перехода INV_1 в INV_2 и наоборот; P_1 – вероятность появления INV_1; P_2 – вероятность появления INV_2; первый интеграл – вероятность появления INV_2, когда послан INV_1; второй интеграл – вероятность появления INV_1, когда послан INV_2; Z_p – пороговое значение, необходимое для вычисления $P_{\text{пер}}$: при известных P_1 и P_2 оно определяется с помощью наилучшей байесовской оценки путем минимизации $P_{\text{пер}}$ по Z_p; при неизвестных P_1 и P_2 выбираем $P_1 = P_2 = 0{,}5$.

Анализ (3) показывает, что для вычисления $P_{\text{пер}}$ необходимо знать аналитические выражения $W_1(z)$ и $W_2(z)$ плотности вероятности оценки инварианта.

На основании выражения (2) вычислим математические ожидания и дисперсии случайных величин A и B [3]:

– математическое ожидание числителя

$$m_A = k \cdot \text{INV}_l \sum_{i=1}^{N} S^2(i) = k \cdot \text{INV}_l\, a, \qquad (4)$$

где $a = \sum_{i=1}^{N} S^2(i)$;

– математическое ожидание знаменателя

$$m_B = k \sum_{i=1}^{N} S^2(i) = k \cdot a. \qquad (5)$$

– дисперсия числителя будет равна [3]:

$$\sigma_A^2 = \sum_{i=1}^{N} D\left(k \cdot \text{INV}_l \cdot S(i) + \xi(i)\right) S(i) +$$

$$+2\sum_{i=1}^{N-1} \operatorname{cov}\begin{pmatrix} \left(k \cdot \text{INV}_l \cdot S(i) + \xi(i)\right) S(i); \\ \left(k \cdot \text{INV}_l \cdot S(i+1) + \xi(i+)\right) S(i+1) \end{pmatrix} =$$

$$= \sum_{i=1}^{N} S^2(i)\sigma_\xi^2 +$$

$$+2\sum_{i=1}^{N-1} S(i)S(i+1)\operatorname{cov}\left(\xi(i), \xi(i+1)\right) =$$

$$= \sigma_\xi^2 a + 2r\sigma_\xi^2 \sum_{i=1}^{N-1} S(i)S(i+1) = \sigma_\xi^2 (a + 2rb), \qquad (6)$$

где $b = \sum_{i=1}^{N-1} S(i)S(i+1)$; $a = \sum_{i=1}^{N} S^2(i)$; $\operatorname{cov}\left(\xi(i), \xi(i+1)\right) =$ $= 2r\sigma_\xi^2 \sum_{i=1}^{N-1} S(i)S(i+1) = 2rb$, здесь r – коэффициент корреляции, σ_ξ^2 – дисперсия помехи;

– дисперсия знаменателя

$$\sigma_B^2 = D\left(\frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L}\sum_{i=1}^{N}\left(k \cdot S(i) + \xi(j,i)\right) S(i)\right) =$$

$$= \frac{1}{L} D\left(\sum_{i=1}^{N} \xi(j,i) S(i)\right) = \qquad (7)$$

$$= \frac{1}{L}\left(\sigma_\xi^2 a + 2r\sigma_\xi^2 b\right).$$

Расчет частного двух случайных величин производится по формуле [3]

$$W(z) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_A\sigma_B} e^{-\frac{(zx-m_A)^2}{2\sigma_A^2}} e^{-\frac{(x-m_B)^2}{2\sigma_B^2}} |x|\,dx, \qquad (8)$$

где σ_A и σ_B определяются по выражениям (6) и (7), m_A и m_B – по выражениям (4), (5).

Отметим, что в формуле (3) при расчете $W_1(z)$ используется INV_1, а при расчете $W_2(z)$ – INV_2. Значение вероятности попарного перехода $P_{\text{пер}}$ находится методом численного интегрирования. Число накоплений с усреднениями равно 40 [1].

Полученные данные ограничены первыми шестью парами сравниваемых инвариантов, когда $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ (рис. 2).

Вероятность попарного перехода вычисляется при значениях отношения сигнал–шум h, которое находится по формуле, определяемой отношением мощности сигнала к мощности шума:

$$h^2 = \frac{k^2\,\text{INV}_l^2\, a}{N\sigma_\xi^2}.$$

Пороговые значения Z_p отыскиваются минимизацией $P_{\text{пер}}$ в формуле (3).

Для $k = 1$, $r = 0{,}7$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ вычисления дают $Z_p = 1{,}603; 2{,}038; 2{,}472; 3{,}046; 3{,}505; 3{,}963$. Для $k = 0{,}7$, $r = 0{,}7$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ получаем $Z_p = 1{,}764; 2{,}176; 2{,}587; 2{,}999; 3{,}411; 4{,}041$ (см. кривые 3 на рис. 2).

Для $k = 1$, $r = 0$ и $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ вычисления дают $Z_p = 1{,}603; 2{,}038; 2{,}472; 3{,}046; 3{,}505; 3{,}963$. Для $k = 0{,}7$, $r = 0$ и $\text{INV}_1 = 1$, $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$ имеем $Z_p = 1{,}764; 2{,}176; 2{,}587; 2{,}999; 3{,}411; 4{,}041$ (см. кривые 2 на рис. 2).

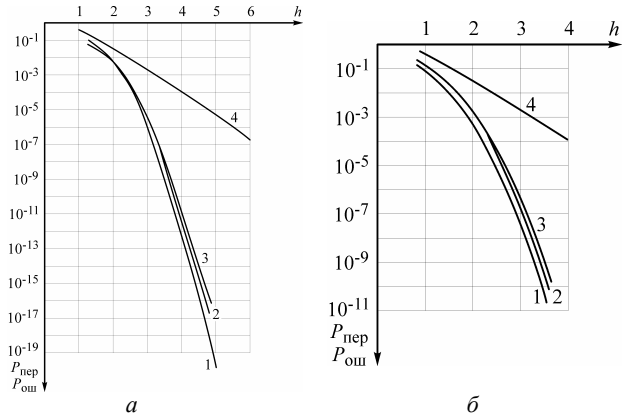


Рис. 2. Кривые вероятности попарного перехода при $k = 1$ (а) и $k = 0{,}7$ (б) $\text{INV}_1 = 1$; $\text{INV}_2 = 2; 3; 4; 5; 6; 7$: кривая *1* соответствует случаю, когда аддитивная помеха представлена некоррелированными отсчетами; кривая *2* – случаю, когда отсчеты сигнала зашумлены аддитивной помехой со слабой корреляцией соседних отсчетов при $r = 0$; кривая *3* аналогична кривой 2, но при $r = 0{,}7$; кривая *4* соответствует случаю классической амплитудной модуляции

Если в формулах (6) и (7) положить, что $r = 0$, т. е. отсчеты шума некоррелированы, то общее выражение плотности вероятности оценки инварианта, полученное авторами, переходит в известное соотношение по расчету

аналогичного параметра [1]. Однако выражение плотности вероятности, представленное в данной статье является уточняющим и наиболее полно отражает реальную ситуацию.

Особенностью любой инвариантной системы, основанной на принципе инвариантной относительной амплитудной модуляции, является то, что по каналу передаются амплитудно-модулированные сигналы, образованные INV_l и $S_{об}$. Передача этих сигналов обеспечивается на основе классических алгоритмов обработки информации и имеет невысокую помехоустойчивость.

Кривая 4 на рис. 2 соответствует вероятности ошибки $P^{\sim}_{ош}$, являющейся аналогом вероятности попарного перехода $P_{пер}$ и рассчитываемой по известным формулам [2]. И только после обработки этих сигналов в соответствии с алгоритмом частного по выражению (1), можно получить оценку инварианта, по сути являющуюся числом, а не сигналом.

Вероятность попарного перехода в инвариантной системе определяется величинами $10^{-1}...10^{-19}$. При тех же значениях сигнал–шум вероятность ошибочного приема единичного символа в классических системах лежит в пределах $10^{-1}...10^{-7}$ (см. рис. 2).

Проведенный анализ инвариантной системы передачи информации показывает, что такая система при слабой корреляции отсчетов аддитивной помехи обладает высокой помехоустойчивостью, вероятность ошибки классического алгоритма с амплитудной модуляцией как минимум на два порядка больше вероятности попарного перехода в инвариантной системе. Поэтому данную систему следует использовать в телекоммуникационных системах, системах телеуправления и других системах, предъявляющих высокие требования к помехоустойчивости.

Библиографический список

1. Инвариантный метод анализа телекоммуникационных систем передачи информации : монография / В. Б. Малинкин, Е. И. Алгазин, Д. Н. Левин, В. Н. Попантонопуло. Красноярск, 2006.

2. Теплов, Н. Л. Помехоустойчивость систем передачи дискретной информации / Н. Л. Теплов. М. : Связь. 1964.

3. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. 3-е изд. М. : Радио и связь. 1989.

E. I. Algazin, A. P. Kovalevsky, V. B. Malinkin

THE NOISE IMMUNITY OF THE INVARIANT SYSTEM OF INFORMATION TRANSMISSION IN THE PRESENCE OF WEAK CORRELATION CONTACTS

The invariant system of information processing based on synchronous detection is considered. It is assumed that by the parameters estimation of such a system the nearest readings of the subcarrier are interfered with the additive noise; these readings are weakly correlated. The comparison of the quantitative estimation of such a system operation with quantitative indications of the known invariant system by non-correlation of noise readings is realized.

Keywords: noise immunity, invariant, invariant relative amplitude modulation, probability of pairwise transition, signal/noise relation, coefficient of correlation.

УДК 62-506.1

М. В. Карасева

СИСТЕМА ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ АДАПТИВНО-ОБУЧАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

Показано, что для разработки системы программно-алгоритмической поддержки многоязычной (мультилингвистической) адаптивно-обучающей технологии, кроме проектирования непосредственного программного компонента системы, необходима разработка информационно-терминологического базиса указанной технологии. В области аэрокосмической техники данный базис представляет собой коллекции электронных частотных профессионально-ориентированных многоязычных словарей, подключение которых к обучающей системе обеспечивает достаточный уровень проведения процесса обучения иностранной терминологической лексике. Для персонификации процесса формирования электронных частотных словарей необходим многоуровневый анализ мультилингвистической информации.

Ключевые слова: мультилингвистическая адаптивно-обучающая технология; информационный базис; частотный словарь

Развитие Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева как инновационного аэрокосмического вуза с разветвленной инфраструктурой образовательной, научно-тех-

нической и производственной деятельности требует решения ряда задач, связанных с совершенствованием интегрированной подготовки элитных специалистов в области высоких технологий и современного менеджмента, а также развития гибкой многоуровневой системы непрерывного образования. Современные задачи персонификации информационного базиса в области аэрокосмической терминологии связаны, во-первых, с расширением профессиональных образовательных программ, учитывающих потребности развития предприятий аэрокосмической отрасли, гражданской авиации и высокотехнологичных производств. Во-вторых, указанные задачи непосредственно связаны со становлением университета в качестве полноправного участника мирового образовательного пространства на основе расширения международной академической мобильности преподавателей и студентов, организации подготовки иностранных студентов по программам высшего и послевузовского профессионального образования и международной аккредитации профессиональных образовательных программ.

В этих условиях профессионально-ориентированной языковой подготовке уделяется все более существенное внимание, а одним из важных ее аспектов становится повышение эффективности изучения многоязычной терминологической лексики в области аэрокосмической техники. На структуру и состав многоязычного информационно-терминологического базиса влияет и то, каким образом в вузе происходит формирование инновационной научно-образовательной системы. Более того, данная система является адаптивной к изменяющимся условиям среды и на основе современных образовательных технологий и структурной интеграции образования, науки и производства обеспечивает генерацию новых знаний и, как следствие, нового терминологического базиса, что важно для воспроизводственного цикла подготовки компетентных специалистов как в аэрокосмической, так и в других высокотехнологичных отраслях.

Ранее в [1] было показано, что проблема разработки системы программно-информационной поддержки многоязычной (мультилингвистической) адаптивно-обучающей технологии, кроме проектирования непосредственного программного компонента системы, включает и разработку информационного базиса указанной технологии. Этот базис представляет собой коллекции электронных частотных профессионально-ориентированных многоязычных словарей, подключение которых к обучающей системе обеспечивает должный уровень проведения процесса обучения иностранной терминологической лексике [1; 2]. При этом ключевыми этапами подготовки обучающей мультилингвистической (МЛ) информации являются, во-первых, анализ и обработка информации, которые приводят к формированию требуемых словарей, а во-вторых, структурирование и персонификация информации, частично осуществляемые непосредственно перед началом и в течение сеанса обучения [2].

Для персонификации процесса формирования электронных частотных словарей необходим многоуровневый анализ мультилингвистической информации [3]. Известно, что каждый языково-статистический анализ начинается с выбора и подготовки соответствующей текстовой базы. Далее анализ следует осуществлять на уровне терминов.

При работе с лексикой иностранной научно-технической литературы наибольшую трудность для понимания и перевода представляют многокомпонентные термины терминологические словосочетания, созданные лексическим и синтаксическим способом и представляющие собой словосочетания, образованные по определенным моделям. Способ создания терминов в виде цепочки слов все шире входит в практику. Не является исключением и терминология аэрокосмической отрасли. Это происходит по объективным причинам, связанным с тем, что, во-первых, у любого языка существуют ограниченные ресурсы в плане лексических единиц и, во-вторых, результаты научно-технической революции приводят к новым открытиям и явлениям, требующим точных определений и наименований. Замечено, что в эпоху научно-технической революции пополнение лексики языка осуществляется в основном за счет специальной терминологии, которая является наиболее подвижной частью лексико-семантической системы языка; ежегодно такое увеличение составляет около 1 000 новых терминов.

Особую трудность при переводе представляют беспредложные терминологические словосочетания, которые могут нести больший объем информации, Они состоят из цепочки слов, не связанных между собой какими-либо служебными словами. В беспредложном терминологическом словосочетании главным словом является последнее, а все слова, стоящие слева от него, играют второстепенную роль роль определения. Перевод беспредложных терминологических словосочетаний следует начинать с главного слова (рис. 1).

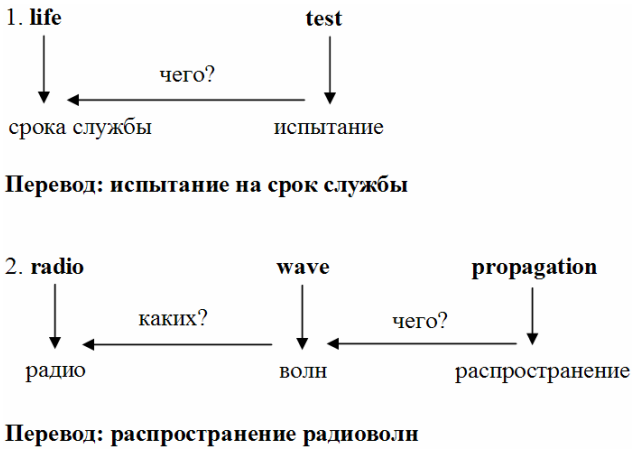


Рис. 1. Пример перевода беспредложных терминологических словосочетаний

Терминологические словосочетания обычно классифицируются по их лексическому составу. Существуют терминологические словосочетания, состоящие из одних существительных, из прилагательных и существительных, а также из различных комбинаций причастий, существительных, наречий, герундия, инфинитивов и т. д.

Работа с научно-техническими текстами в предметно-ориентированных областях показывает, что наиболее частотными терминологическими словосочетаниями являются те, которые состоят из 2–3 компонентов, что

является характерным для любой отраслевой терминологии. На практике встречаются и такие терминологические словосочетания, которые состоят из четырех и большего числа компонентов. Терминологические словосочетания позволяют передавать информацию в более сжатом виде, а тенденция к свертыванию речевого сообщения является характерным признаком стиля научно-технической литературы, в том числе и в аэрокосмической отрасли, поскольку в любом сообщении (высказывании) имеется определенная степень избыточности. Более того, терминологические словосочетания позволяют осуществлять межфразовые связи между предложениями и абзацами.

Анализ терминологических словосочетаний показывает, что их модели определяются числом компонентов, что, в свою очередь, влияет на мотивированность терминологического словосочетания.

Автором предлагается система автоматизированного анализа и обработки информации для формирования мультилингвистического базиса «Build Dictionary» [3]. При формировании словарей, кроме общеизвестных этапов анализа и обработки информации, включающих определение статистических элементов (слова, словосочетания, предложения), планирование контроля (выбор и определение выборочного пробы, установление абсолютной частоты элементов единичной выборочной пробы, расчет относительной частоты), изложение результатов в списках, таблицах или графиках и обобщение результатов, в данной системе реализован этап оптимальной разбивки информационно-терминологического базиса (ИТБ) на равновеликие модули. Модель оптимального разбиения ИТБ построена на основе теории цепей Маркова с использованием критерия минимальной суммарной трудоемкости.

Помимо этого, в рамках определенной предметной области выделены следующие процедуры, поддерживаемые разработанными средствами автоматизации.

1. Выбор текста (группы текстов), соответствующего предметной области составляемого частотного словаря, и его (их) частотный анализ. Например, для создания словаря по системотехнике и системному анализу в аэрокосмической отрасли выбираются электронные учебники, статьи, книги большого объема именно по указанной тематике для того, чтобы улучшить достоверность составляемого словаря. Здесь прослеживается закономерность: чем больше объем анализируемого текста, тем точнее получается словарь. Что касается вопроса об оптимальном объеме обрабатываемого текста (группы текстов), то рекомендуется рассматривать тексты объемом не менее 5 000 слов.

2. Отсев ненужных слов (это могут быть как предлоги, так и слова, не входящие в предметную область).

3. Просмотр оставшихся слов и сопоставление однокоренных, а также приведение всех слов к нужному виду. Например, такие слова как *стола* (в контексте «нет стола») и *столы* являются одним и тем же словом *стол*.

После того как данный этап закончится, получается множество слов, отвечающих заданной предметной области на одном из изучаемых языков. Далее шаги 1–3 выполняются несколько раз (их количество обусловлено требуемой структурой частотного словаря) для других языков.

4. Сопоставление слов разных языков. Например, рассматривая данные слова, взятые из частотного словаря, одинаковые по значению, но разные по языковой принадлежности (*topology – Topologie – топология*), можно перевести два из них английский русский, немецкий – русский и потом сопоставить по общим полям или же можно сразу сопоставлять слова из разных языковых множеств. Второй метод наименее трудоемкий.

5. Непосредственный перевод несопоставленных слов.

В связи с тем что разработанная система не привязана к какому-либо конкретному языку (или языкам), в ней не происходит автоматического поиска однокоренных слов.

Для сопровождения разработанной программы, согласно представленной выше структуре, необходим один администратор и один-два специалиста в выбранной предметной области для переводов слов (словоформ). Для работы системы используются ОС Windows 95 и выше, СУБД Microsoft Access 97 и выше, а также DBE Administrator. Кроме того, данная система поддерживает динамическую коррекцию словаря, подключение к сети Интернет и использование любых электронных текстов и стандартных двуязычных словарей.

Практическая реализация результатов работы представлена в сформированном трехъязычном словаре [4]. В результате проведенного статистического исследования и описания текстов по системному анализу в области аэрокосмической техники объемом около 30 000 слов был составлен список из 2 500 слов, адекватность которых была установлена для всех трех языков, а затем около 2 000 слов были включены в частотный словарь, являющийся непосредственным компонентом компьютерной системы, реализующей мультилингвистическую технологию. Так как почти все частотные словари одноязычны, что значительно снижает степень активности слова при его определенном значении в словарном минимуме, то был проведен анализ многоязычных текстов на систематическом уровне. Словарь организован как англо-немецко-русский, однако принцип его построения в виде мультилингвистической базы данных обеспечивает возможность использования его как двуязычного в любом выбранном варианте.

Представленная программа автоматизированного анализа и обработки мультилингвистической информации была принята в опытную эксплуатацию на факультете информатики и систем управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, в Сибирском институте бизнеса, управления и психологии и в Красноярском институте социальных наук, где она использовалась для подготовки информационного базиса системы «Virtual Teacher 1.0» для обучения терминологической лексике студентов ряда специальностей.

Очевидно, что правильность составления словарей, т. е. выбор терминов, и определение их частотных характеристик существенно влияет на эффективность работы алгоритма обучения [2]. Как уже было сказано выше, особенностью информационной базиса предложенной технологии прежде всего является многоязычность (муль-

тилингвистичность) терминологических понятий [5]. Это приводит к тому, что базисный информационный компонент мультилингвистической технологии, являясь основой информационной модели данных, представляет собой совокупность многоязычных элементов обучающей информации и их частотных свойств.

Современные программно-алгоритмические средства разработки компьютерных обучающих систем требуют применения оригинальных методик при формировании информационной модели данных, используемых при обучении. В основном это методики, которые базируются на основных идеях структурного системного анализа и на структурных методологиях, относящихся к классу методологий, ориентированных на данные [1; 3]. Примером этого подхода является DSSD-методология (Data-Structured Systems Development), предложенная Варнье-Орром и ориентированная на разработку систем со структурными данными [5].

Так, терминологическое множество, соответствующее базисному информационному компоненту мультилингвистической обучающей технологии, может быть описано следующим образом:

МЛ-компонент = {термин яз_1, термин яз_2, ..., термин яз_N, частота яз_1, частота яз_2, ..., частота яз_N}.

Структурная методология DSSD использует аналогичную нотацию – множественную скобку (рис. 2).

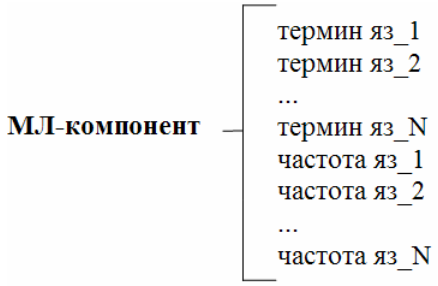


Рис. 2. Применение нотации DSSD к мультилингвистической технологии

При построении модели в DSSD используются диаграммы сущностей (DFD) для определения системного контекста и диаграммы Варнье-Орра (assembly-line diagrams) в качестве основного средства моделирования. Базовым элементом диаграммы Варнье-Орра является множественная скобка. Детализация элементов данных производится слева направо, а предполагаемая последовательность действий осуществляется слева направо и сверху вниз. Такая нотация удобна для представления композиции структур, определения структур данных, спецификации форматов файлов и может быть использована для иллюстрирования структуры программы и иерархии модулей (структур данных на модули или файлы, а на нижних уровнях – на подпрограммы, DO-циклы, условные и другие операторы), являясь в этом случае неким аналогом визуального языка проектирования типа FLOW-форм [4].

Таким образом, основные этапы методологии DSSD с помощью диаграмм Варнье–Орра позволяют определить логику обработки данных, продуцируя структуру программ обработки с целью реализации обучающих алгоритмов МЛ-технологии (рис. 3).

На этой диаграмме применены две базовые конструкции диаграмм Варнье-Орра: иерархия и последовательность. Они могут интерпретироваться следующим образом: МЛ-технология в качестве *первого этапа* содержит выбор сеансного состава МЛ-компонентов, в качестве *второго этапа* – определение характеристик и требований, в качестве *третьего этапа* обучение. Предлагаемая информационно-логическая организация МЛ-технологии фактически содержит этапы обработки информации.

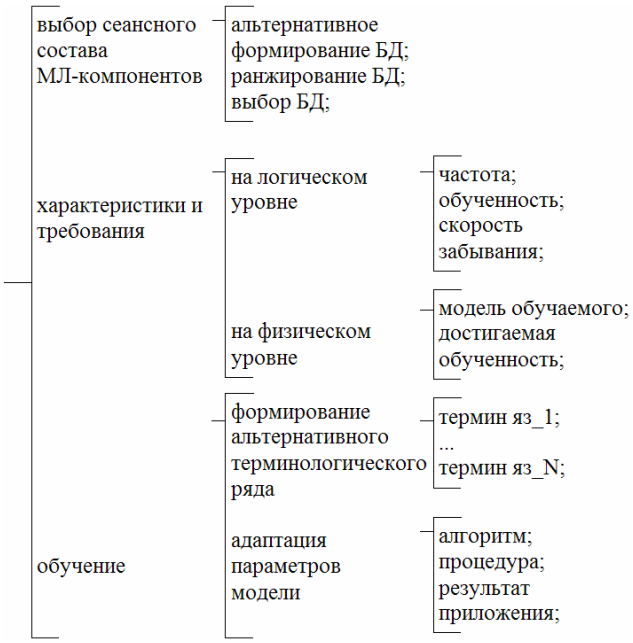


Рис. 3. Диаграмма Варнье-Орра

На первом этапе при выборе сеансного состава МЛ-компонентов ставится задача непосредственной реализации словаря в виде мультилингвистической базы данных, включающей: альтернативное формирование базы данных (БД) с учетом соотношений терминов и их частот; ранжирование БД, т. е. отбор наиболее употребительных терминов; выбор сформированной БД для сеанса обучения.

На логическом уровне второго этапа определяются требования к частоте и обученности и характеристики, включающие начальные значения скорости забывания терминов. На физическом уровне второго этапа строится модель обучаемого и задается уровень достигаемой (в реальной обстановке) обученности.

На третьем этапе – этапе обучения формируется альтернативный набор терминов, образующий порцию обучающей информации. Формирование альтернативного терминологического ряда также находится на логическом уровне обработки информации. На физическом уровне этапа обучения происходит адаптация параметров модели обучаемого согласно алгоритму обучения, пошаговой процедуре и в итоге – в зависимости от результата обучения (значения критерия обучения).

Указанные выше этапы обработки обучающей информации и непосредственно адаптивный алгоритм обучения реализованы в системе «Virtual Teacher 1.0» [4], к которой подключаются ранее сформированные мультилингвистические частотные словари. Данная система также успешно применена на практике как в Сибирском госу-

дарственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева, так и ряде других вузов Красноярска.

Очевидно, что персонификация процесса адаптивного обучения, т. е. индивидуальная подготовка мультилингвистического словаря по определенной предметной области для конкретного пользователя, может быть осуществлена только при интеграции указанных систем, так как необходимое согласование информационной и функциональной моделей обучающей технологии достигает в этом случае высшего уровня. Система «Build Dictionary» [1], направленная на формирование информационно-терминологического базиса в заданной пользователем предметной области и оптимальное разбиение базиса на блоки, интегрируется с обучающей системой «Virtual Teacher 1.0», в которой реализован алгоритм обучения, осуществляющий адаптацию параметров модели обучаемого с учетом индивидуальных свойств его памяти (рис. 4).

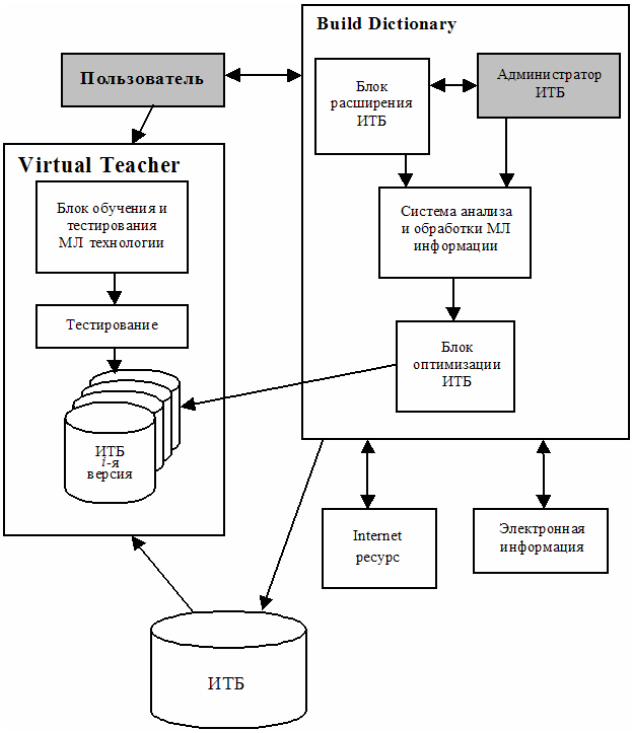


Рис. 4. Интеграция систем в мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии

Таким образом, при тщательном подборе комплекса программ, а именно: программ обучения другим языковым навыкам, редактора текста со встроенной программой проверки орфографии, браузера Интернета, обычных электронных словарей и энциклопедий (особенно с интерфейсом на изучаемом языке, что обеспечивает более интенсивное погружение в иноязычную среду) – существует возможность создания компьютерной обучающей среды как интегрированного средства изучения иностранного языка на базе описанной выше системы.

Для разработанной компьютерной системы необходим один администратор и, как правило, два-три специалиста в выбранной предметной области для перевода слов и словоформ.

Библиографический список

1. Карасева, М. В. Информационно-терминологическое обеспечение мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии / М. В. Карасева // Вестник СибГАУ. Вып. 3. Красноярск, 2002. С. 106–112.

2. Растригин, Л. А. Адаптивное обучение с моделью обучаемого / Л. А. Растригин, М. Х. Эренштейн. Рига, 1988.

3. Ковалев, И. В. Системные аспекты организации и применения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии / И. В. Ковалев, М. В. Карасева, Е. А. Суздалева // Образовательные технологии и общество : Междунар. журн. Восточ.-Европ. подгруппы «IEEE Learning Technology Task Force». 2002. № 5 (2). С. 198–212.

4. Ковалев, И. В. Англо-немецко-русский частотный словарь по системному анализу / И. В. Ковалев, М. В. Карасева. Красноярск : Изд-во «Печат. технологии», 2004.

5. Ковалев, И. В. Программно-алгоритмические средства персонификации информационно-терминологического базиса в области аэрокосмической техники / И. В. Ковалев, С. С. Огнерубов, П. М. Лохмаков // Авиакосмическое приборостроение. 2007. № 9. С. 67–71.

M. V. Karaseva

MULTILINGUAL ALGORITHMIC AND SOFTWARE SUPPORT SYSTEM FOR ADAPTIVE-TRAINING TECHNOLOGY

It is shown that for development of multilingual software-algorithmic support system for adaptive-training technologies, except designing the program component of system, is necessary the development of specified technology information-terminological basis. In the domain of aerospace technology the given basis presents the collections of electronic frequency professional-orientated multilingual dictionaries, connection which to training system provides the sufficient level of the foreign terminological lexicon education process. For personification of the electronic frequency dictionaries forming process is necessary deep analysis of multilingual information.

Keywords: adaptive training technology, vocabulary basis, multilingual, dictionary.

УДК 533.599

А. В. Шайдуров, С. Г. Овчинников, Н. Н. Косырев, С. Н. Варнаков

СЕТЕВОЙ МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫСОКОВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХТОНКИХ ПЛЕНОК НА БАЗЕ LINUX[1]

Разработан сетевой метод автоматизации технологического оборудования для получения тонких пленок и многослойных структур в сверхвысоком вакууме. Реализована серверная многопоточная программа управления процессом напыления. Описаны преимущества сетевого подхода.

Ключевые слова: автоматизация, сетевой метод, Linux-сервер, вакуум, многопоточность.

Автоматизация процесса получения сверхтонких пленок, основанная на использовании технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), облегчает как сам длительный по времени технологический процесс, так и обработку его результатов. Базовый комплект установки «Ангара» [1], разработанной в 1980-е гг. в Институте физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирск) под руководством С. И. Стенина, не достаточно автоматизирован для технологических потребностей современного эксперимента [2], особенно если учесть темпы научно-технического прогресса последних лет в области вычислительной техники [3. С. 16]. От выбранного метода применения компьютерных технологий во многом будут зависеть возможности проведения экспериментов, дальнейшие перспективы их развития, долговечность и эффективность используемого оборудования, возможность внедрения данного метода, т. е. использование его принципов на других подобных установках [4]. Таким образом, выбор метода является важным аспектом в разработке систем автоматизации. Сопоставив критерии эффективности [5. С. 4] (такие, как надежность, точность, быстродействие, стоимость и т. д.); авторы выбрали сетевой метод автоматизации. Работа выполнялась по типу интенсивного развития системы [3], т. е. направлена на совершенствование структуры системы, оптимизацию ее функционирования, создание условий для типовых проектных решений.

Основа сетевого метода. Конечные терминалы для пользователя обычно было принято располагать на Windows-платформах. Однако для обеспечения стабильного и непрерывного выполнения технологической операции напыления основная часть программного обеспечения реализована на компьютере, работающем в операционной системе Linux (Linux-сервер). Система адаптирована для удаленного (сетевого) управления установкой с детальным разграничением прав доступа. Высокая надежность и открытая архитектура Linux [6] позволяет внедрять новые способы интерактивной связи с установкой: задание сценариев нагрева и напыления посредством глобальных сетей, мобильной связи и т. д. К тому же прогрессирование Windows-платформ связано с перестроением кодов или технологий. Серверная же программа не требует модернизации, так как механизмы взаимодействия с терминалами остаются неизменными. Изменению следует подвергнуть лишь небольшие Windows-модули, выполняющие терминальную функцию визуализации.

Сервер обменивается информацией с блоком управления через последовательный (COM) порт. Блок управления представляет собой программно-аппаратный комплекс, соединяющий программную среду Linux-сервера с аппаратной средой установки при помощи аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, а также однокристального микропроцессора Atmel AT89S8252 [2].

Микропроцессорная техника широко используется для создания высокоэффективных систем автоматизации технологическими процессами [7]. Программы микропроцессора и Linux-сервера взаимодействуют по определенному протоколу передачи байтов данных, где отдельному байт-коду, переданному с сервера, соответствует команда для аппаратной части установки. Таким образом, с помощью программного интерфейса на Linux-сервере (либо клиентских приложений, взаимодействующих с ним) осуществляется полный процесс напыления, включая контроль результатов (рис. 1).

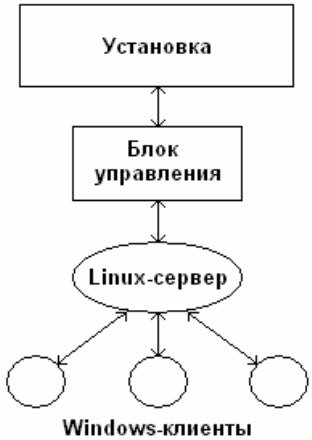


Рис. 1. Схема соединения модулей системы управления

Серверный модуль. Серверная программа разработана для операционной системы Linux на языке программирования C. Важной особенностью ее реализации является многопоточная концепция. Такая программа в каждый момент времени может параллельно выполнять несколько элементов кода, при этом каждый управляется

[1] Работа выполнена в рамках программы ОФН РАН «Спинтроника», комплексного интеграционного проекта СО РАН № 3.5, при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 07–03–00320).

одним потоком управления, помимо всего, эффективно использовать аппаратные ресурсы.

Для написания кода программы применяются потоки выполнения, определенные в стандарте POSIX.1c [8]. Чтобы решить проблемы синхронизации, т. е. взаимного использования глобальных и статических переменных, в POSIX.1c можно использовать следующие объекты: взаимоисключающие блокировки (при попытке нескольких потоков установить блокировку успеха достигает лишь один из них); условные переменные (блокировка потока до выполнения определенных условий); семафоры (если поток пытается уменьшить значение семафора до отрицательного числа, то этот поток блокируется до тех пор, пока другой поток не увеличит значение семафора до неотрицательного значения). В нашем случае достаточно взаимоисключающих блокировок.

Серверная программа состоит из четырех основных функций (рис. 2):

– port_settings_changer – функции настройки последовательного порта. Она выполняется первостепенно и в случае ошибочного завершения, которое свидетельствует об аппаратных проблемах, останавливает программу. Используется неканонический (Raw) ввод и вывод данных на скорости 9 600 бод;

– temperature_receiver – единственную функцию по получению данных с установки. Она опрашивает раз в 1 с регистры кварцевых измерителей толщины и термопар испарителей;

– evaporator_heating и damper_comander – функций, схожих по принципу и предназначенных для нагрева испарителей и управления процессом напыления соответственно. Обе состоят из блока чтения (анализа) входных файлов-сценариев и блока непосредственной реализации данных сценариев. Особенностью функции damper_comander является возможность как одновременного напыления нескольких материалов (multi_reader, multi_evaporation), так и последовательного напыления. В свою очередь из функции evaporator_heating запускается множество потоков (channel_chooser_x, где x – порядковый номер канала) для обособленного нагрева каждого испарителя.

Особое внимание уделяется проверке правильности формата входных файлов-сценариев (heating_string_checker, string_checker), так как длительный по времени и требующий точности процесс напыления не допускает возможность ошибки, связанной с человеческим фактором при задании начальных параметров. В случае их несоответствия конкретная подпрограмма завершает свое выполнение. Последние три из основных функций запускаются в разных потоках, поэтому аварийное завершение любой из них непосредственно не влияет на выполнение других.

В серверной программе определена глобальная константа, указывающая на общее количество испарителей. В трехкамерной установке МЛЭ «Ангара» эта константа может принимать значения либо 6, либо 2 в зависимости от технологической камеры. Подобные константы дают большую гибкость программному продукту, так как для автоматизации другого оборудования МЛЭ потребуются минимальные изменения кода программы.

Программа также оснащена двумя полезными функциями: reporter и перегруженная reporter. Они открывают файл отчета и дописывают в его конец сообщения о работе программы, что используется еще и как своеобразный обработчик ошибок. Перегруженная reporter предназначена для построчного протоколирования хода выполнения программы и отличается тем, что, в качестве параметров, в нее можно передать не только текст, но и целое число – идентификатор строки. Данные функции не были показаны на рис. 2, потому что они вызываются из большинства сегментов программы и значительно усложняют читабельность структуры.

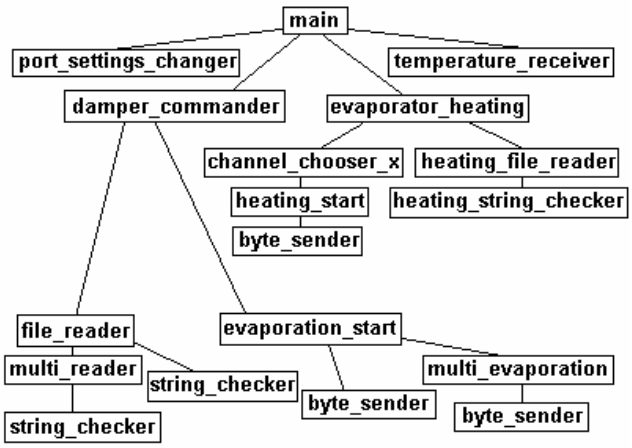


Рис. 2. Структура серверной программы (линии обозначают связь родительских и дочерних функций)

Входными аргументами для разработанного приложения являются два текстовых файла: сценарий нагрева испарителей и сценарий управления процессом напыления, в основу которых положены максимальная информативность, простота визуального восприятия и удобство записи.

Сценарий нагрева испарителей состоит из строк

$$t_{ij} <TAB> v_{ij} <EOL>$$

разделенных символом перевода на новую строку <*EOL*>. Символ табуляции <*TAB*> используется в качестве разделителя значений одной строки; t – температура, до которой нужно нагреть испаритель; v – скорость нагрева. Индекс i указывает на порядковый номер испарителя, а индекс j – на номер команды конкретному испарителю. В итоге такой файл-сценарий состоит из блоков, количество которых равно упомянутой выше глобальной константе.

Сценарий управления процессом напыления включает строки

$$n_{kl} <TAB> p_{kl} <TAB> o_{kl} <EOL>$$

либо расположенные последовательно одна за другой (последовательный режим напыления), либо заключенные в фигурные скобки <{> и <}> (режим одновременного напыления нескольких материалов). Здесь n – порядковый номер испарителя, p – длительность паузы, после которой открывают заслонку испарителя (префиксная пауза), o – интервал времени, на который открывают заслонку испарителя. Индекс k определяет номер блока файла (в случае последовательного режима одна строка является блоком), индекс l – порядковый номер строки внутри отдельного блока.

Следуя инструкциям, полученным из входных файлов-сценариев, программа выполняет следующие функции: нагрев испарителей, последовательное напыление, одновременное напыление, а также единовременное снятие показаний температуры со всех термопар испарителей и визуализацию показаний кварцевых измерителей толщины. Возможность одновременного напыления нескольких материалов, реализованная с использованием многопоточного программирования, значительно упрощает управление технологическим процессом по сравнению с ручным управлением.

Взаимодействие программы с остальными звеньями системы автоматизации первоначально тестировалось (включая процесс разработки) на эмулирующей установке плате-макете, а затем – и на установке в режиме максимальной командной загрузки, хотя в реальных технологических процессах одновременное применение всех возможностей комплекса обычно не используется.

Таким образом, отметим, что описанный в данной статье подход позволяет более гибко планировать эксперимент и, следовательно, добиваться разноплановых результатов.

Библиографический список

1. Установка молекулярно-лучевой эпитаксии «Ангара» / Ин-т физики полупроводников Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Новосибирск, 1986.

2. Варнаков, С. Н. / С. Н. Варнаков // Приборы и техника эксперимента. 2004. № 6. С. 125–129.

3. Ярошевский, М. Г. Психологические проблемы автоматизации научно-исследовательских работ / М. Г. Ярошевский, О. К. Тихомиров. М. : Наука, 1987.

4. Ступин, Ю. В. Методы автоматизации физических экспериментов и установок на основе ЭВМ / Ю. В. Ступин. М. : Энергоатомиздат, 1983.

5. Титович, М. В. Методы выбора технологических средств и систем автоматизации / М. В. Титович, В. А. Дорошенко, В. Ф. Тараченков ; Сиб. гос. технол. ун-т. Красноярск, 2000.

6. Армстронг, Дж. Секреты Unix / Дж. Армстронг. Киев : Диалектика, 1996.

7. Чан, Т. Системное программирование на C++ для Unix / Т. Чан. Киев : BHV, 1997.

8. Журавлева, А. В. Технологические средства автоматизации / А. В. Журавлева, В. Ф. Тараченков ; Краснояр. гос. технол. акад. Красноярск, 1997.

A. V. Shaidurov, S. G. Ovchinnikov, N. N. Kosyrev, S. N. Varnakov

NETWORK TECHNIQUE OF THE HIGH-VACUUM INSTALLATION AUTOMATION FOR OBTAINING HYPERFINE FILMS ON THE LINUX BASIS

The network technique of the technological equipment automation for obtaining thin films and multilayer frames in ultra-high vacuum is developed. The server multithread program of by sputtering process control is realized. The advantages of the network approach are described.

Key words: automation, network method, Linux-server, vacuum, multithread.

УДК 519.711.3+004:658.011.56

Б. Н. Варава, О. Ю. Анистратенко

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ МЕТОДА ПРОНИ

Рассмотрен математический метод обработки дискретной медико-биологической информации, заданной на равномерной сетке, характеризующей динамику показателей гомеостатических систем организма, с применением процедуры модифицированного алгоритма Прони.

Ключевые слова: метод Прони, гомеостаз, анализ, прогнозирование, дискретная информация, динамические параметры.

Организм человека можно рассматривать как сложную систему, взаимодействующую с внешней средой. Актуальной является проблема исследования динамических параметров гомеостатических систем организма (под гомеостазом понимается сохранение постоянства внутренней среды организма при наличии внешних возмущений). Однако продолжительное воздействие на организм факторов внешних воздействий (например, неблагоприятных условий внешней среды) может приводить к различным сбоям гомеостатических свойств организма. Поэтому необходимо привлечение различных средств вычислительной техники и использование специализированных математических методов при обработке исходной информации для выявления структур управления в медицине, уменьшения неопределенности исходной информации и формирования процедур принятия реше-

ний в неопределенных условиях. Важными являются вопросы изучения динамических показателей гомеостатической системы организма с применением математических методов с целью прогнозирования этих показателей.

Простейшим подходом к математическому анализу динамических показателей биологической системы является моделирование ее параметров на основе класса дифференциальных уравнений. К подобным моделям приводят, например, некоторые релаксационные характеристики биофизических систем, причем вблизи состояния равновесия системы они могут быть описаны в первом приближении классом линейных дифференциальных уравнений не очень высокого порядка. Подобным релаксационным характером обладает ряд показателей гомеостатических систем, отражающих реакцию организма на внешнюю нагрузку, например при проведении стандартного глюкозо-толерантного теста (СГТТ).

Метод Прони является одним из математических методов анализа динамических показателей систем на основе набора дискретных данных о показателе [1]. В процессе исследования таких характеристик возникают задачи анализа и оценки регулирующих параметров системы в зависимости от массива исходной лабораторной информации.

В основу предложенной модификации метода Прони положен способ идентификации математических моделей, описываемых с помощью линейных дифференциальных уравнений конечного порядка. Метод Прони позволяет аппроксимировать функции конечными суммами экспонент, в частности, в простейшем случае [2] – суммами экспонент вида

$$f(x) = A_1 e^{\alpha_1 x} + \ldots + A_k e^{\alpha_k x}, \qquad (1)$$

где $A_i, \alpha_i, i = 1, \ldots, k$ – неизвестные вещественные параметры, причем значения $f(x)$ предполагаются заданными на множестве равноотстоящих наблюдений $x_j, j = 1, \ldots, N; N \geq 2k$.

Рассмотрим конкретный пример использования метода Прони в случае, когда исследуемый процесс описывается классом целых функций, являющихся решениями линейного дифференциального уравнения третьего порядка:

$$g''' + \alpha_1 g'' + \alpha_2 g' + \alpha_3 g = 0, \quad g(0) = g(\infty) = 0. \qquad (2)$$

Данный алгоритм предназначен для расчета неизвестных параметров теоретической кривой прогноза динамики исследуемого процесса по исходному дискретному набору клинико-лабораторных наблюдений, проведенных через равные промежутки времени.

Исходными данными является набор (вектор) лабораторных данных, $V = (V_0, V_1, \ldots, V_N)$, $N \geq 5$, где V_k – либо значение динамического показателя гомеостатической системы, описываемой уравнением вида (2), в момент времени $t_k = kh, k = 0, 1, \ldots, N$ ($h > 0$ – фиксированный временной шаг), либо его среднее значение, если изучается однородная группа людей. Положим $f = (f_0, f_1, \ldots, f_N)$, где $f_k = V_k - V_0, k = 0, 1, \ldots, N$. Тогда на основании интерполяционной теоремы расчет неизвестных параметров функции класса G, описывающих исследуемый процесс, можно представить в виде следующих процедур [2].

1. Методом наименьших квадратов (МНК) определяем вектор $p^* = (p_1^*, p_2^*, p_3^*)$, минимизирующий функционал

$$\Phi(p) = \sum_{k=0}^{N-3} (f_{k+3} + p_1 f_{k+2} + p_2 f_{k+1} + p_3 f_k)^2, \qquad (3)$$

где $f = (f_0, f_1, \ldots, f_N)$ – вектор исходных данных.

Если координаты найденного вектора p^* таковы, что $p^* \in D$, то линейная модель (2) исследуемого гомеостатического процесса признается удовлетворительной и расчеты продолжаются далее.

2. В пространстве R^{N+1} рассмотрим многообразие (двумерную плоскость):

$$L = \{g \in R^{N+1} : g_{k+3} + p_1^* g_{k+2} + p_2^* g_{k+1} + p_3^* g_k = 0, k = 0, 1, \ldots, N-3, g_0 = 0, \qquad (4)$$

где $g = (g_0, g_1, \ldots, g_N)$ вектор в R^{N+1}.

В соответствии с интерполяционной теоремой именно этому многообразию и будут принадлежать расчетные значения искомой теоретической кривой прогноза.

Рекурсивная формула

$$g_{k+3}^* = -(p_1^* g_{k+2}^* + p_2^* g_{k+1}^* + p_3^* g_k^*), k = 0, 1, \ldots, \qquad (5)$$

дает прогнозируемые значения динамического показателя гомеостатической системы в моменты времени $t_k = kh$, где $k = N-2, N-1, N, \ldots$, т. е. на этом пути возможен прогноз динамики системы в дискретные моменты времени $t_k = kh$ для любого натурального числа k.

3. В случае когда N велико, система линейных уравнений может быть плохо обусловленной. Тогда неизвестные параметры теоретической кривой прогноза можно определить следующим способом.

Если найденный вектор $p^* \in D_i, i \in \{1, \ldots, 5\}$, то на основе интерполяционной теоремы определяем конкретный вид экспоненциальной или экспоненциально-гармонической функции $g(t) = G_i$. Неизвестные параметры A, B этой функции могут быть найдены по условию минимума функционала, построенного в соответствии с видом корней многочлена

$$P(z) = z^3 + p_1^* z^2 + p_2^* z + p_3^*. \qquad (6)$$

Например, если $z_1 = y, z_2 = x(\cos\beta h \pm i \sin\beta h)$ – корни этого уравнения, то неизвестные параметры k и α определяются по формулам $k = h^{-1} \ln y$, $\alpha = h^{-1} \ln x$, а функционал для нахождения A и B при $k < \alpha$ имеет вид

$$W_4(A, B) = \sum_{i=1}^{N} \left(A x^i \sin i\beta + B(z^i - x^i \cos i\beta) - f_i \right)^2. \qquad (7)$$

При анализе некоторых данных возникает вопрос об изменении или усложнении процедуры обработки исходного массива лабораторной информации. Рассмотрим один из таких случаев – случай гармоники, когда исходный процесс описывается уравнением следующего вида [3]:

$$y'' + a_1 y' + a_2 y = \lambda Q(t), \qquad (8)$$

где

$$Q(t) \equiv a \cos\omega t = b \sin\omega t = \mathrm{Re}[(a - bi)e^{i\omega t}], t \geq 0, \omega > 0. \qquad (9)$$

Алгоритм нахождения решения в этом случае заключается в следующем: к обеим частям уравнения (8) при-

меняем оператор $L(g) = g'' + \omega^2 g$. В результате получаем однородное обыкновенное линейное дифференциальное уравнение (ОЛДУ) четвертого порядка с неизвестными постоянными коэффициентами:

$$y^{(4)} + b_1 y''' + b_2 y'' + b_3 y' + b_4 y = 0, \qquad (10)$$

где $b_j, j = 1, 2, 3, 4$ – неизвестные коэффициенты. Характеристическое уравнение этого ОЛДУ связано с (8) и имеет вид

$$\begin{gathered}(\lambda^2 + \omega^2)(\lambda^2 + a_1\lambda + a_2) = \\ = \lambda^4 + b_1\lambda^3 + b_2\lambda^2 + b_3\lambda + b_4 = 0.\end{gathered} \qquad (11)$$

С уравнением (10) ассоциируется разностное уравнение четвертого порядка, характеристическое уравнение которого имеет корни $e^{i\omega}, e^{-i\omega}$ и представено в виде

$$\begin{gathered}P_4(z) := z^4 + p_1 z^3 + p_2 z^2 + p_3 z + p_4 = \\ = (z^2 - 2z\cos\omega + 1)(z^2 + q_1 z + q_2) = 0.\end{gathered} \qquad (12)$$

Отсюда находим уравнения связи между коэффициентами многочлена P_4 и постоянными q_1, q_2:

$$\begin{gathered}p_1 = q_1 - 2\cos\omega, \\ p_2 = 1 - 2q_1\cos\omega + q_2, \\ p_3 = q_1 - q_2\cos\omega,\ p_4 = q_2.\end{gathered} \qquad (13)$$

Таким же способом получаем новое разностное уравнение второго порядка:

$$\begin{gathered}t_{k+2} + q_1 t_{k+1} + q_2 t_k = 0, \\ t_k = y_{k+2} - 2y_{k+1}\cos\omega + y_k, \\ k = 0, 1, \ldots.\end{gathered} \qquad (14)$$

Можно отметить, что из условия $y(kd) = f_k, k = 0, 1, \ldots, N$ вытекает [3]

$$\begin{gathered}t_k = g_k := f_{k+2} - 2f_{k+1}\cos\omega + f_k, \\ k = 0, 1, \ldots, N-2.\end{gathered} \qquad (15)$$

Если корни характеристического уравнения для уравнения (14) различные, вещественные и положительные, то их можно представить в виде $z_1 = e^{\beta d}, z_2 = e^{\gamma d}$, где $\{\beta, \gamma\} \subset R$, а решение уравнения (14), удовлетворяющее условию (15), имеет вид [3]

$$t_k = Cz_1^k + Dz_2^k, k = 0, 1, \ldots. \qquad (16)$$

Здесь постоянные определяются по первым двум равенствам соотношения (15).

Числа β, γ одновременно являются корнями характеристического уравнения $\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0$ для однородного ОЛДУ второго порядка [3]:

$$y'' + a_1 y' + a_2 y = 0, \qquad (17)$$

совпадающими с неизвестными корнями уравнения (11). Поэтому из (16) получаем, что

$$g(t) = Ce^{\beta t} + De^{\gamma t}, t \in R\ - \qquad (18)$$

решение уравнения (17) такое, что в обозначениях формулы (15) имеет вид

$$g(kd) = g_k, k = 0, 1, \ldots, N-2. \qquad (19)$$

Частное решение $x(t)$ уравнения (8) определяется равенством

$$\begin{gathered}x(t) = A\cos\omega t + B\sin\omega t = \\ = \Re[(A - Bi)e^{i\omega t}], t \in R,\end{gathered} \qquad (20)$$

где A, B – неизвестные постоянные вещественные коэффициенты. Используя обозначения формулах (8), (11), (17) и подставляя $x(t)$ в левую часть уравнения (8), получаем равенство

$$\begin{gathered}(A - Bi)T_2(i\omega) = \lambda(a - bi), \\ T_2(z) = z^2 + a_1 z + a_2.\end{gathered} \qquad (21)$$

Корнями многочлена T_2 являются вещественные числа β, γ [3], поэтому $T_2(i\omega) \neq 0$, т. е. $A = \lambda A_1$, $B = \lambda B_1$ при некоторых вычисляемых постоянных A_1, B_1. Итак,

$$\begin{gathered}x(t) = \lambda A(t),\ A(t) = \\ = \mathrm{Re}[(A_1 - B_1 i)e^{i\omega t}], t \in R.\end{gathered} \qquad (22)$$

Постоянную λ в (22) можно найти, если известно значение функции x в точке 0: $x(0) = \lambda A_1$ при условии $A_1 \neq 0$. Если $A_1 = 0$, то тогда $x(t) = \lambda B_1 \sin\omega t, t \in R$, где $B_1 \neq 0$. Если $x(0) = x(d) = 0$, то $\omega d = \pi m$, где $m \in N$. В этом случае $x(kd) = 0$ при любом $k \in N$. Поэтому для восстановления функции $x(t)$ по ее значениям на равномерной сетке с шагом d необходимо выбирать его, подчиняя условию $d \neq \pi m/\omega$, где $\omega > 0$, например $d < \pi/\omega$. Тогда постоянная λ в (22) определяется по значению $x(d) \neq 0$. Таким образом,

$$\begin{gathered}\lambda = x(0)/A_1,\ A_1 \neq 0, \\ \lambda = x(d)[B_1 \sin\omega d]^{-1},\ A_1 = 0.\end{gathered} \qquad (23)$$

Пусть в обозначениях формулы (15)

$$\Delta_k = f_k - g_k, k = 0, 1, \ldots, N. \qquad (24)$$

Здесь по сравнению с формулой (15) последовательность $\{g_k\}$ доопределяется при $k = N-1, N$ с помощью равенства $g_k = g(kd)$.

При вышеизложенных предположениях функция $y(t) = g(t) + x(t)$, где g, x определяются соответственно соотношениями (18), (22), является решением уравнения (8) в обозначениях тождества (9), если

$$x(kd) = \Delta_k, k = 0, 1, \ldots, N.$$

Выполнение этого равенства возможно, если для $k = 0, 1, \ldots, N$:

$$\Delta_k = \frac{\Delta_0}{A(0)} A(kd) \text{ при } A(0) \neq 0$$

или

$$\Delta_k = \frac{\Delta_1}{A(d)} A(kd) \text{ при } A(0) = 0.$$

Программная реализация данного модифицированного алгоритма Прони позволяет проводить подробные исследования динамики различных гомеостатических систем организма, при этом программа может работать с наборами исходных данных различного вида [4].

В последние годы в связи с интенсивным развитием территорий Крайнего Севера появилась потребность в привлечении трудовых ресурсов из других регионов страны, в которых природные и климатические условия значительно отличаются от экологических условий Крайнего Севера. В основном трудовые ресурсы северных территорий представляют собой пришлое население, мигрирующее из более южных регионов страны. Переезд на Север связан с необходимостью адаптироваться к новым, суровым климатическим условиям, что может неблагоприятно воздействовать на организм человека, а для некоторых людей такая резкая смена климатических условий просто противопоказана. У жителей северных районов более интенсивный обмен веществ. Основную массу их рациона составляют белки и жиры, поэтому в их крови содержание жирных кислот повышено, а уровень сахара

несколько понижен. У людей, приспосабливающихся к влажному холодному климату и кислородной недостаточности Севера, также наблюдается повышенный газообмен, высокое содержание холестерина в сыворотке крови и минерализация костей скелета, более утолщенный слой подкожного жира выполняющего функцию теплоизолятора.

Однако не все люди в одинаковой степени способны к адаптации. В частности, у некоторых в условиях Севера защитные механизмы и адаптивная перестройка организма могут вызвать дезадаптацию – целый ряд патологических изменений, называемых «полярной болезнью».

Одним из наиболее важных факторов, обеспечивающих адаптацию человека к условиям Крайнего Севера, является потребность организма в аскорбиновой кислоте (витамине С), повышающей устойчивость организма к различного рода инфекциям.

На основе процедур модифицированного метода Прони был проведен анализ динамики гликемического гомеостаза. Исходными данными служили клинико-лабораторные данные, полученные при проведении стандартного глюкозо-толерантного теста (СГТТ) у новорожденных детей, родившихся в условиях Крайнего Севера [5]. Утром натощак определялось содержание глюкозы и сахаров крови, после чего ребенку давалась пероральная (per or) углеводная нагрузка в виде 10%-го водного раствора глюкозы из расчета 1,5 г сухого вещества на 1 кг веса ребенка. Затем на 30, 60, 90, 120, 150 и 180-й минутах повторно определялось содержание глюкозы и сахаров крови.

Полученные результаты представлены на графиках (рис. 1, 2) и являются гликемической кривой содержания глюкозы или сахаров в крови после нагрузки. Также на графиках отображено вычисленное прогнозное значение исследуемых показателей, на основе которого можно делать выводы о дальнейшем поведении организма.

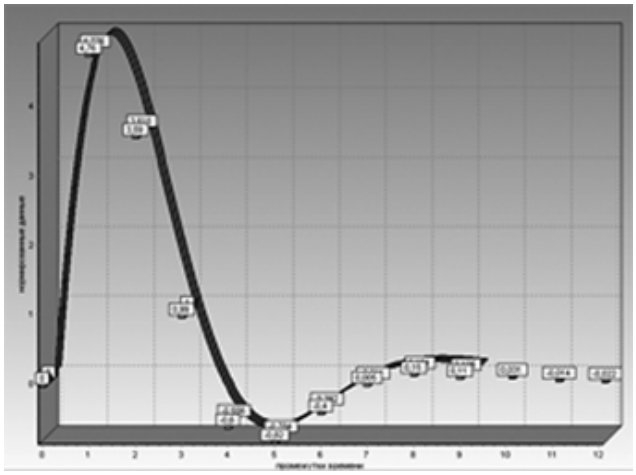


Рис. 1. Гликемическая кривая, стабилизирующаяся к прежнему уровню содержания глюкозы в крови: ордината – концентрация глюкозы или сахаров крови в мг %, абсцисса – время взятия пробы, мин

Но самой гликемической кривой можно выделить гипергликемическую фазу, или фазу повышения концентрации глюкозы в крови после нагрузки, зависящую от быстроты абсорбции глюкозы. Понижение гликемической кривой после достигнутого максимума, или гипогликемическая фаза кривой объясняется выделением из поджелудочной железы инсулина. Следовательно, характер гипергликемической и гипогликемической фаз зависит от функционального состояния многих систем организма, в том числе и сахарорегулирующих систем.

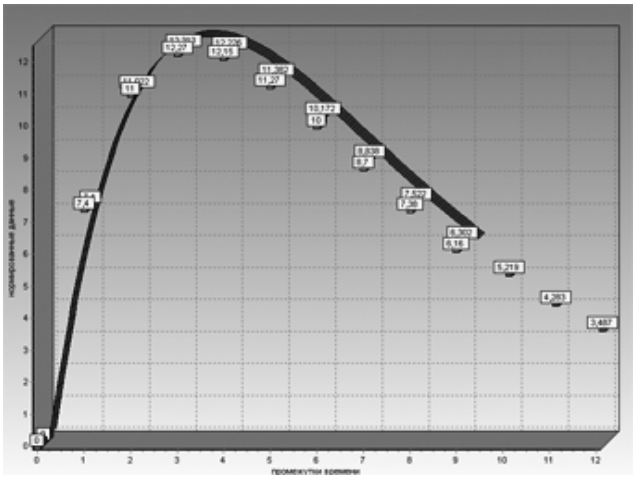


Рис. 2. Гликемическая кривая, стабилизирующаяся к новому уровню содержания глюкозы в крови (обозначения аналогичны обозначениям рис. 1)

В основу математического анализа на ЭВМ гликемии у обследованных новорожденных детей были положены разработанные в работе [6] подходы к математическому прогнозированию гомеостатических систем.

Исходный массив данных состоит из результатов проведения СГТТ у 345 детей пришлого и 47 детей коренного населения Крайнего Севера (около 800 гликемических кривых по глюкозе и общим сахарам крови). Эти данные были обработаны с помощью модифицированного алгоритма Прони.

Результаты обработки 847 наборов клинико-лабораторных данных по содержанию глюкозы (275) и сахаров (572) крови показали, что большую часть данных можно аппроксимировать с помощью той или иной модификации метода Прони (метод Прони второго порядка, метод Прони третьего порядка, метод Прони с переходом на новый уровень). Причиной обработки именно таких данных послужила актуальность проблемы изучения процессов физиологической адаптации организма человека к различным климатогеографическим регионам, а также формирования адаптационных возможностей организма уже с рождения человека.

Дальнейшее применение алгоритмов классификации к результатам, полученным в процессе обработки данных методом Прони и его модификациями, позволит выделять различные типы организмов по виду реакции на внешнее воздействие [7]. Другими словами, такой подход помогает определить состояние здоровья человека на основе исследования поведения организма как системы, а также его прогнозирования в будущем.

Представленные в данной статье процедуры метода Прони и его модификаций также можно использовать при математическом описании и прогнозе динамики про-

цессов адаптации к экстремальным условиям Крайнего Севера пришлого населения [8]. В этом случае метод Прони позволяет количественно оценить и прогнозировать значения физиологических норм гомеостаза в различных организмах с учетом условий внешней среды.

В результате работы программы при анализе уровня различных компонентов крови (эритроцитов, лейкоцитов, глюкозы, сахаров, липидов) получены некоторые интересные результаты [9]:

– во-первых, выяснено, что модифицированный алгоритм Прони позволяет достаточно точно описать динамику изменения содержания компонентов крови у различных групп населения;

– во-вторых, в значениях показателей здоровых и больных (перенесших ОРЗ, бронхиальную астму и др.), и у групп населения, проживших менее 1 месяца и более 1 года в экстремальных природных условиях выявлены существенные отличия.

Эти данные позволяют количественно оценить некоторые показатели адаптационных возможностей организма [10].

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать выводы о целесообразности применения метода Прони и аналогичных методик для исследования различных гомеостатических систем организма. Это позволит выявлять патологические изменения в организме человека, определять предрасположенность к тем или иным заболеваниям, выяснять способности к адаптации в различных климатических регионах и в конечном счете улучшить качество медицинского обслуживания.

Библиографический список

1. Марпл, С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С. Л. Марпл. М. : Мир, 1990.

2. Маергойз, Л. С. Асимптотические характеристики целых функций и их приложения / Л. С. Маергойз. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1991.

3. Маергойз, Л. С. Об одной модификации метода Прони / Л. С. Маергойз, Б. Н. Вараввa // Сиб. журн. индустр. математики. 2007. Том X, № 2 (30). С. 93–100.

4. Анистратенко, О. Ю. Автоматизированная система для комплексной обработки клинико-лабораторных данных с помощью модифицированного алгоритма Прони / О. Ю. Анистратенко, Б. Н. Варава // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 2(9). С. 5–9.

5. Варава, Б. Н. Математический анализ системы гликемического гомеостаза в экологических условиях Крайнего Севера / Б. Н. Вараввa // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 2(9). С. 14–19.

6. Варава, Б. Н. Математический анализ состояния гликемического гомеостаза организма новорожденных в экологических условиях Крайнего Севера / Б. Н. Варава. – Красноярск, 1986.

7. Варава, Б. Н. Математический метод оценки состояния гликемического гомеостаза в различных экологических условиях / Б. Н. Вараввa // Механизмы гомеостаза в изолированных системах и организме : сб. науч. тр. Красноярск, 1984. С. 120–126.

8. Машанов, А. А. Описание адаптивных реакций организма к экологическим условиям Крайнего севера с использованием количественного модифицированного алгоритма Прони / А. А. Машанов, Б. Н. Варава, О. Ю. Терлеева // Производство экологически безопасной продукции : прил. к Вестнику Краснояр. гос. аграр. ун-та . 2005. Вып. 1. С. 3.

9. Варава, Б. Н. Количественный анализ процессов начального периода адаптации к новым экологическим условиям системы липидных фракций и активных ферментов лимфоцитов крови / Б. Н. Варава, А. А. Машанов // Вестник Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2005. Вып. 8. С. 143–144.

10. Терлеева, О. Ю. Применение модифицированного метода Прони при анализе медицинских данных / О. Ю. Терлеева // Материалы докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых. Новосибирск. 2003. С. 76–77.

B. N. Varava, O. Yu. Anistratenko

THE MAHTEMATICAL ANALYSIS OF MEDICAL AND BIOLOGICAL DISCRET DATA BY MEANS OF THE MODIFIED PRONY METHOD

The given article consiolers mathematical method of discret medical and biological data analysis, givenon a uniform grid and characterizing the dynamic parameters of the homeostasis systems of the organism.

Keywords: Prony method, homeostas, analysis, prognosis, discret data, dynamic parameters.

УДК 535, 004.942

К. Ю. Литвинцев

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЕЧНО-ОБЪЕМНОГО, ДИСКРЕТНО-ОРДИНАТНОГО И ДИФФУЗИОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА

Приведено сравнение методов решения уравнения радиационного теплопереноса: конечно-объемного, дискретно-ординатного и диффузионного приближения – на примере решения прикладных и тестовых задач. Рассмотрена целесообразность применения этих методов для различных задач.

Ключевые слова: излучение, КОМ, ДОМ, диффузионное приближение.

Моделирование процесса радиационного теплообмена является очень сложной и ресурсоемкой задачей, так как в этом случае в отличие от остальных процессов тепломассопереноса каждый элементарный объем среды находится в непосредственном взаимодействии со всеми другими элементарными объемами и решение интегрально-дифференциальных уравнений, описывающих данное явление, очень трудоемко. Размерность уравнения, описывающего радиационный теплоперенос, может достигать шести измерений: три пространственных координаты x, y, z, две угловых координаты описывающие направление распространения излучения, и частота излучения.

Проблема выбора модели радиационного теплопереноса для расчета прикладных задач заключается в поиске баланса между временем счета и точностью, так как временные затраты на решение только уравнения радиационного теплопереноса (УРТ)

$$\frac{dI(\vec{r},\hat{s})}{ds} = -\beta(\vec{r})I(\vec{r},\hat{s}) + \kappa(\vec{r})I_b(\vec{r}) + \frac{\sigma(\vec{r})}{4\pi}\int_{4\pi} I(\vec{r},\hat{s}')\Phi(\hat{s}',\hat{s})d\Omega' \quad (1)$$

могут существенно превосходить затраты на решение всех остальных процессов. Здесь I – интенсивность, Вт/(ср · м^2); I_b – интенсивность абсолютно черного тела; σ – коэффициент рассеивания, м$^{-1}$; κ – коэффициент поглощения, м$^{-1}$; β – коэффициент затухания ($\beta = \kappa + \sigma$), м$^{-1}$; Ω – телесный угол, рад; r – радиус-вектор, м; s – угловое направление, м; Φ – функция рассеивания.

Краткий обзор методов решения уравнения радиационного теплопереноса. Ниже будут рассмотрены три подхода к решению (1): диффузионное (P1) приближение, конечно-объемный метод (КОМ), дискретно-ординатный метод (ДОМ).

Для решения прикладных задач с радиационным теплопереносом наиболее распространено использование P1-приближения. Оно основывается на предположении от изотропности поля излучения. Основные его плюсы – это простота и относительно малые затраты времени на одну итерацию. Ограничение, накладываемое на применение этого метода, вытекает из предположения, лежащего в его основе, сравнительно слабая анизотропия поля излучения [1].

Методы ДОМ и КОМ являются лучевыми. Они не имеют ограничений по применению, их точность зависит прежде всего от дискретизации углового пространства, однако временные затраты на одну итерацию могут быть существенно выше P1-приближения. Отличие КОМ от ДОМ заключается в том, что при переходе к разностному аналогу (1), в ДОМ происходит интегрирование только по объему:

$$\int_{\Delta V}\left(\mu^l\frac{dI^l}{dx} + \xi^l\frac{dI^l}{dy} + \eta^l\frac{dI^l}{dz}\right)dV = \int_{\Delta V}\left(-\beta I^l + S^l\right)dVd\Omega, \quad (2)$$

а в КОМ – еще и по угловому пространству [2]:

$$\int_{\Delta\Omega^l}\int_{\Delta V}\frac{dI^l}{ds}dVd\Omega = \int_{\Delta\Omega^l}\int_{\Delta V}\left(-\beta I^l + S^l\right)dVd\Omega, \quad (3)$$

$$S^l(\vec{r},\hat{s}) = \kappa(\vec{r})I_b(\vec{r},\hat{s}) + \frac{\sigma(\vec{r})}{4\pi}\int_{4\pi} I(\vec{r},\hat{s}')\Phi(\hat{s}',\hat{s})d\Omega', \quad (4)$$

где м, x, h – направляющие косинусы; l–l-е угловое направление для ДОМ или l-й дискретный телесный угол для КОМ.

Сравнение диффузионного приближения КОМ и ДОМ при решении различных задач. Область применения диффузионного приближения – это оптически толстые среды. Примером такой задачи может служить моделирование газовой топки.

Как правило, в газовых котлах критерий Буггера >> 1 и P1-приближение достаточно хорошо описывает распределение поля излучения. Но в данной статье приведен пример нештатной работы котла, когда через две горелки поступает только воздух без топлива. Это способствует возникновению сильного градиента температуры в области расположения данных горелок. Моделирование проводилось на основе программы «sFlow», разработанной совместно сотрудниками Красноярского филиала Институт теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук, ООО «ТОРИНС» и Сибирского федерального университета. Использование методов P1, КОМ и ДОМ для решения (1) приводит к формированию отличной друг от друга структуры поля течения (рис. 1). Так, P1 и КОМ с 8 направлениями имеют структуру поля температур, отличную от остальных (рис. 1). При использовании ДОМ с направлениями поле температур выглядит схожим с полем ДОМ с 24 направлениями и КОМ с 32 направлениями, но применение в ДОМ такой малой дискретизации приводит к большой ошибке по тепловым потокам на стенках топки (табл. 1).

Таким образом, использование P1-приближения в оптически толстых средах дает малое отклонение по

тепловому потоку от лучевых методов (в данном случае ~3 %), но может привести формированию другой структуры поля течения. Что касается лучевых методов, то использование малой угловой дискретизации в этом случае приводит к существенным ошибкам по тепловым потокам на стенки топки для ДОМ и по распределению поля температур для КОМ, поэтому для лучевых методов целесообразнее использовать большее число направлений.

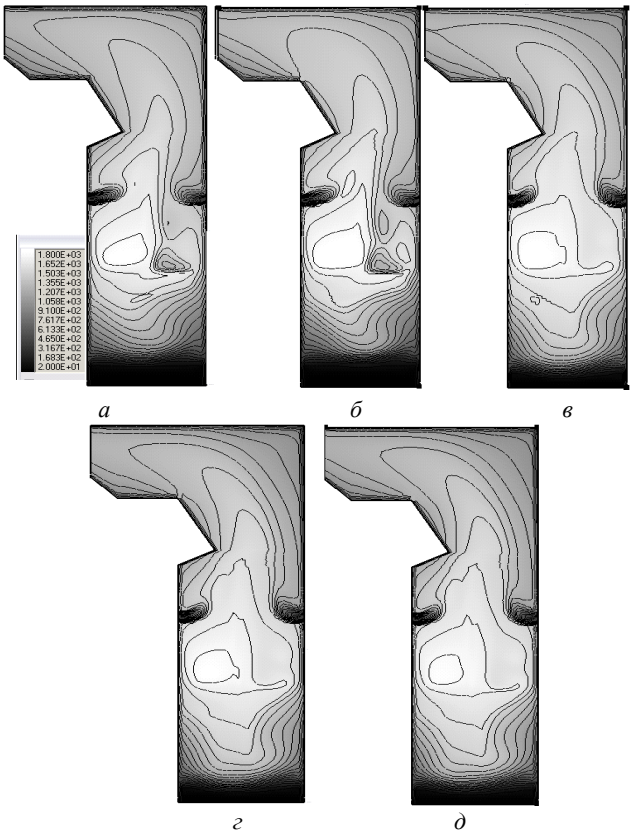


Рис. 1. Распределение поля радиационной температуры в котле (шкала 20–1 800 °С): *а* – P1; *б* – КОМ (8 направлений); *в* – ДОМ (8 направлений); *г* – КОМ (32 направления); *д* – ДОМ (24 направления)

При снижении критерия Буггера меньше единицы в P1-приближении, не только падает точность расчета, но и существенно возрастает количество итераций, требующихся для сходимости решения. Это может привести к тому, что основным критерием окончания расчета будет сходимость радиационной задачи, что в целом увеличивает время решения всей задачи радиационного теплопереноса.

В работе [3], где рассмотрено решение для идеализированной печи (рис. 2), критерий Буггера равен 0,8. Результаты расчетов сравнивались с эталонным решением задачи методом Хоттеля. Ошибка по температуре для P1 от эталонного решения составила порядка 1 %, но по тепловым потокам на стенку – уже около 13 %. Лучевые же методы показали решение, очень близкое к эталонному.

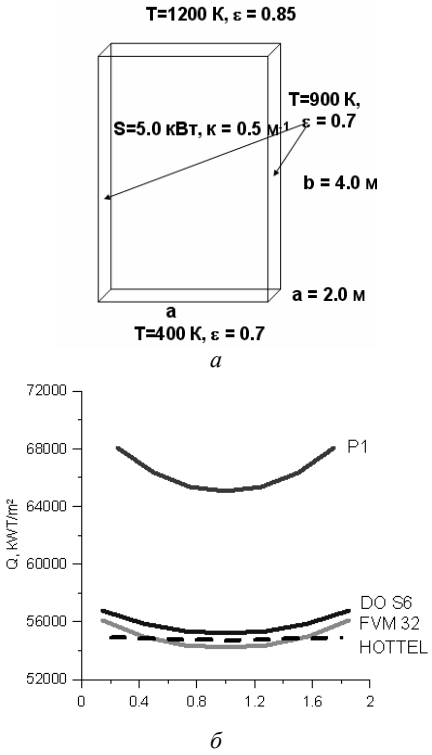


Рис. 2. Идеализированная печь: *а* – постановка задачи; *б* – тепловой поток с горячей стенки для разных методов решения УРТ: P1-приближения: ДОМ с 48 дискретными направлениями *DO S6*; *FVM 32* – КОМ с 32 дискретными направлениям; *HOTTEL* – эталонного решения зональным методом [4]

Лучевые методы по сравнению с диффузионным приближением сходятся быстрее, особенно в оптически тонких средах, но время, требуемое ими на одну итерацию возрастает примерно в *n* раз, где *n* – число угловых направлений. Сократить временные затраты можно путем замораживания радиационных источниковых членов в уравнении энергии в течение нескольких итераций.

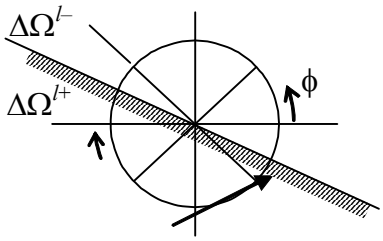
Один из недостатков лучевых методов (в большей степени КОМ) связан с их использованием для геометрически сложных объектов. В этом случае может наблюдаться угловое перекрытие, т. е. пересечение грани контрольного объема и дискретного телесного угла (рис. 3), и при недостаточном угловом разбиении в сильноанизотропных средах возникает серьезная ошибка. Для разрешения этой проблемы в КОМ можно использовать дополнительное разбиение телесного угла на два угла плоскостью грани, пересекающей телесный угол.

Таблица 1

Сравнение методов по температуре и величине теплового потока на стенки котла

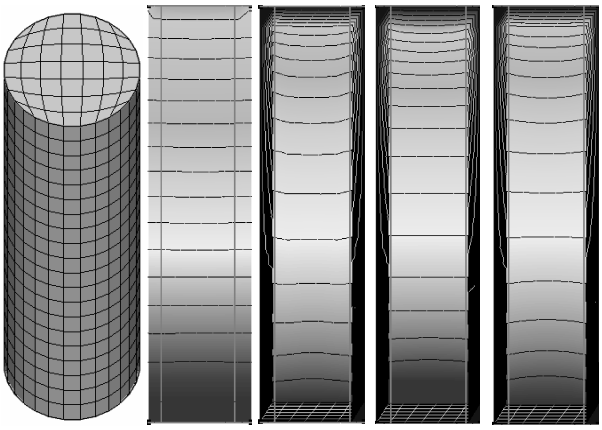
Метод решения уравнения радиационного теплопереноса	Величина тепловой потока, Вт/м^2
КОМ (8 направлений)	1,32E + 08
КОМ (32 направления)	1,30E + 08
P1	1,26E + 08
ДОМ (8 направлений)	1,55E + 08
ДОМ (24 направления)	1,29E + 08

Представим расчет поля радиационной температуры в цилиндре радиусом 0,5 м и высотой 4 м, $\kappa = 0{,}1$ м$^{-1}$ (рис. 4), стенки которого имеют различные температуру и степень черноты. При малом количестве угловых направлений наблюдается сильный дисбаланс по энергии, если не учитывать угловое разбиение (табл. 2). В этой задаче среда является оптически тонкой и P1-приближение показывает сильное расхождение с лучевыми методами.



Грань контрольного объема

Рис. 3. Угловое перекрытие



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 4. Сравнение методов на сетке с неортогональными ячейками (для P1 шкала 600...630 °С, для лучевых – 500...670 °С): *а* – сетка; *б* – P1-приближение; *в* – ДОМ (48 направлений); *г* – КОМ (8 направлений с учетом углового перекрытия); *д* – КОМ (288 направлений без учета углового перекрытия)

Использование угловой многоблочности в КОМ. Конечно-объемный метод обладает дополнительным инструментом, позволяющим сократить время расчета. Этот инструмент – угловая многоблочность [4], когда различные расчетные области задачи могут иметь различную угловую дискретизацию (рис. 5).

Такой подход позволяет сокращать время расчета, если примерно известны оптические свойства среды. Приведем пример использования угловой многоблочности (рис. 6). Расчетная область имеет кубическую форму. Среда принимается неизлучающей, т. е. $\kappa = 0$. Во всей области $x < 0{,}5$ м коэффициент рассеивания s принимается равным 2 м$^{-1}$, в остальной – равным нулю. На нижней стенке задается поток излучения q. Остальные стенки считаются абсолютно черными и неизлучающими. Размерность пространственной сетки составляет $22 \times 22 \times 22$ узла.

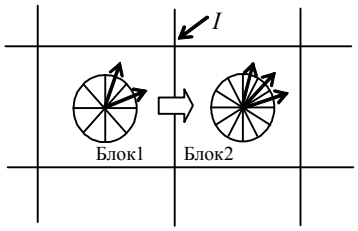


Рис. 5. Схематическое отображение угловой многоблочности

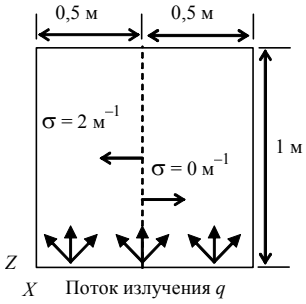


Рис. 6. Использование угловой многоблочности

Представим результаты расчетов трех вариантов (рис. 7): первый вариант – 288 телесных углов, второй – 32 телесных угла, третий – 32 телесных угла в области $\sigma = 2$ м$^{-1}$ и 288 телесных углов, в области $\sigma = 0$ м$^{-1}$. При использовании малого количества угловых разбиений (2-й вариант) наблюдался нефизичный провал. Для получения точного решения было существенно увеличено разбиение углового пространства (1-й вариант). Это привело к существенному росту времени счета (табл. 3). Использование угловой многоблочности (3-й вариант) позволило получить решение, достаточно близкое к 1-му варианту, при этом общее время счета уменьшилось в три раза. Возросло только количество итераций, что связано с дополнительной обработкой границы угловых блоков.

Интенсивный рост производительности вычислительных систем делает использование лучевых методов доступным для решения прикладных задач, но в геометрически сложных объектах в условиях сильной анизотропии излучения требуется достаточно сильная дискретизация этих методов по угловому пространству, что может привести к серьезному увеличению ресурсоемкости задачи. Диффузионное приближение в области прикладного моделирования до сих пор остается более привлекательным по соотношению времени счета к точности ре-

Таблица 2

Пример влияния углового перекрытия

Угловое разбиение (кол-во углов)	Потери энергии за счет схемы ($\lvert E_{пад} - E_{исх}\rvert / E_{исх}$), %		
	КОМ без учета углового перекрытия	КОМ с учетом углового перекрытия	ДОМ
8	207	12	∞
24	57	5	77
48	10	–	4
288	4	–	–

шения, однако его использование в оптически тонких средах и при наличии сильных градиентов поля температуры приводит, к существенным ошибкам по распределению поля излучения и радиационным потокам на поверхности исследуемого объекта.

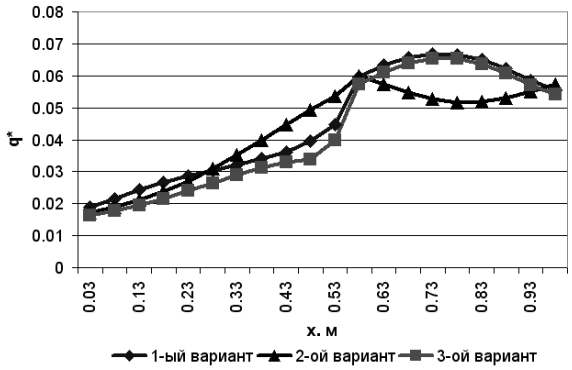


Рис. 7. Распределение падающего теплового потока вдоль линии $z = 1$ м, $y = 0{,}5$ м

Библиографический список

1. Четверушкин, Б. Н. Математическое моделирование задач динамики излучающего газа / Б. Н. Черверушкин. М. : Наука, 1988.
2. Chai, J. C. Finite-volume method for radiation heat transfer, to Appear in Advances in Numerical Heat Transfer / J. C. Chai, S.V. Patankar. Editors : Minkowycz and Sparrow, Vol. 2. 2000.
3. Файвлэнд, В. А. Решение уравнения радиационного теплопереноса методом дискретных ординат / В. А. Файвлэнд // Аэрокосмическая техника. 1989. № 9.
4. Chai, J. C. Angular-multiblock procedure for radiation heat transfer / J. C. Chai, J. P. Moder // Intern. Conf. on Computational Heat and Mass Transfer. Famagusta, Cyprus, 1999.

Таблица 3

Сравнение сходимости и времени расчета для вариантов без использования угловой многоблочности и с ее использованием

Угловое разбиение	Число итераций	Общее время счета, с	Затраты времени на одну итерацию, с
32	6	6	1
288	6	219	36,5
32 + 288	7	73	10,4

K. Yu. Litvitsev

FEATURES OF THE FINITE – VOLUME METHOD, DISCRETE – ORDINATES METHOD AND P1 APPROXIMATION APPLICATION FOR RADIATION HEAT TRANSFER EQUATION

The article presents a comparison of the finite – volume method and P1 approximation for radiation heat transfer equation. The expediency of these methods application for various problems are considered.

Keywords: radiation, FVM, DOM, P1 approximation.

УДК 519.68

Е.С. Семенкин, К. А. Токмин

КОЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Предложен коэволюционный подход к решению задач многокритериальной оптимизации с ограничениями на основе метода обобщенного лагранжиана и эволюционных алгоритмов. Проведено исследование эффективности разработанного алгоритма на тестовых и практических задачах.

Ключевые слова: задача многокритериальной условной оптимизации, коэволюционный алгоритм.

Практические задачи оптимизации не всегда могут быть эффективно решены средствами классической теории оптимизации [1; 2], так как эти задачи обладают свойствами, существенно затрудняющими их решение: дискретными или смешанными переменными, алгоритмически заданными целевыми функциями и (или) ограничениями, отсутствием удобных для оптимизации свойств или, по крайней мере, информации о таких свойствах и т. д. К тому же характерной чертой, объединяющей классические подходы к решению многокритериальных задач, является то, что в каждом из них задача многокритериальной оптимизации сводится к одной или нескольким задачам однокритериальной оптимизации.

Но таким образом теряется суть решаемой задачи, ее отличительная особенность, состоящая в одновременном учете многих критериев.

Алгоритмы, основанные на эволюционном подходе решения задач многокритериальной оптимизации [3], позволяют избавиться от основных недостатков классических методов: они подходят для задач большой размерности, не требуют информации о свойствах входящих в задачу функций и способных сформировать аппроксимацию множества Парето [4] даже при однократном запуске алгоритма. Однако большинство из этих подходов [3] не предусматривает возможности учета ограничений на переменные оптимизации, что затрудняет их применение в практических задачах. Таким образом, возникает необходимость в разработке специализированных эволюционных алгоритмов, способных эффективно решать сложные практические задачи с векторным критерием и ограничениями.

Методы решения задачи с векторным критерием. Многие задачи принятия решений не могут быть сформулированы как задачи выбора единственной наилучшей в каком-либо смысле альтернативы из допустимого множества. В большинстве случаев результатом решения многокритериальной задачи будет несколько эффективных решений, при этом все они будут оптимальными в смысле Парето и ЛПР и для того, чтобы определить наиболее подходящее из них, придется сравнивать значения целевых функций, соответствующих точкам Парето [4]. Однако чтобы сделать окончательный выбор альтернативы, необходимо сначала сформировать (аппроксимировать) исходное множество Парето.

Можно выделить три наиболее часто используемых подхода к формированию множества Парето [4]:

– ранжирование частных критериев по важности и их последовательное применение;

– выделение главного критерия и перевод остальных в ограничения.

– построение обобщенного критерия в форме свертки частных критериев.

В теории оптимизации известен эволюционный подход, широко применяемый при решении сложных практических задач. Используя множество (популяцию) решений и применяя концепцию парето-оптимальности, эволюционные алгоритмы способны получать несколько различных парето-оптимальных решений одновременно. В отличие от большинства классических подходов к многокритериальной оптимизации, когда для нахождения каждой отдельной точки необходимо производить отдельный запуск алгоритма поиска парето-оптимальных решений, при применении эволюционного подхода возможно получение различных точек множества Парето даже при одном прогоне алгоритма. Данное обстоятельство является очевидным преимуществом эволюционного подхода к решению задач многокритериальной оптимизации перед традиционными методами.

В качестве основы алгоритма решения многокритериальных задач в теории эволюционных алгоритмов используется процедура общего эволюционного алгоритма. При этом отличие всех методов многокритериальной оптимизации генетическими алгоритмами (ГА) состоит в модификации этапов назначения пригодности и селекции. Эти этапы реализуются различными методами, но таким образом, чтобы направить поиск к парето-оптимальному множеству и решить проблему поддержания разнообразия в популяции для предотвращения преждевременной сходимости и достижения хорошо распределенного (представительного) множества недоминируемых решений [3].

Коэволюционный алгоритм для решения многокритериальных задач условной оптимизации. Рассмотренные в [3] методы решения задач многокритериальной оптимизации позволяют достаточно эффективно находить подходящее решение. Но большинство практических задач оптимизации являются многокритериальными и одновременно содержат ограничения на переменные. В этих случаях обычно рекомендуется приводить задачу к однокритериальной с ограничениями, т. е. переводить критерии в ограничения или к многокритериальной без ограничений, т. е. переводить ограничения в критерии. Как первый, так и второй способы меняют условия исходной задачи.

Преимуществом однокритериального коэволюционного алгоритма [5] является его высокая эффективность при решении сложных задач оптимизации [6]. В основе этого алгоритма лежит стандартный генетический алгоритм для однокритериальной безусловной оптимизации. Его особенностью является применение метода обобщенного Лагранжиана в качестве механизма учета ограничений, а в качестве механизма глобальной минимаксной оптимизации выступает эволюционный алгоритм. При этом в точке, являющейся решением, достигается минимум по переменным задачи и максимум по коэффициентам Лагранжа (для задачи минимизации). Если бы оптимальные коэффициенты Лагранжа были известны заранее, то решение задачи условной оптимизации было бы сведено к однократному решению задачи безусловной оптимизации. Однако эти коэффициенты неизвестны и процесс решения задачи условной оптимизации состоит в поочередном решении задачи безусловной минимизации функции Лагранжа по объектным переменным и задачи безусловной максимизации по коэффициентам Лагранжа:

$$L(X,\Lambda) = F(X) + \sum_{i=1}^{m} g_i(\mathrm{X}) \cdot \lambda_i \to \min_X,$$

$$L(X,\Lambda) = F(X) + \sum_{i=1}^{m} g_i(\mathrm{X}) \cdot \lambda_i \to \max_\Lambda.$$

Процесс решения задачи многокритериальной условной оптимизации коэволюционным генетическим алгоритмом состоит в поочередной работе с популяциями решений и множителей Лагранжа. Генетический алгоритм многокритериальной оптимизации сначала работает с популяцией A объектных переменных, находя таким образом парето-оптимальные решения x^*, а затем – с популяцией B коэффициентов Лагранжа, находя коэффициенты Лагранжа λ^*, которые также являются парето-оптимальными. Для назначения пригодности индивидам генетический алгоритм использует функцию Лагранжа, составленную для соответствующего критерия. Парето-оптимальность получаемых решений обеспечивает один из генетических алгоритмов многокритериальной оптимизации (FFGA, NPGA, SPEA [3]), а соответствие системе ограничений – применение метода обобщенного лагранжиана.

Общая схема такого алгоритма выглядит следующим образом:

1. Создается начальная популяция A объектных переменных.

Создается начальная популяция B коэффициентов Лагранжа.

2. Популяция A оценивается по всем критериям с использованием функции Лагранжа:

$$A \leftrightarrow L_i(X, Л^*) = f_i(X) + \Sigma Л^* \cdot g(X), \text{ где } i = 1, \ldots, K.$$

Популяция B оценивается по всем критериям с использованием функции Лагранжа:

$$B \leftrightarrow L_i(X^*, Л) = f_i(X) + \Sigma Л \cdot g(X^*), \text{ где } i = 1, \ldots, K.$$

3. Генерация популяций потомков ($c_{\max}$ запусков):

MULTI GA1 $\rightarrow$ популяция A ($a_{\max}$ поколений):

оценить A: $A \leftrightarrow L_i(X, Л_t^*) = f_i(X) + \Sigma Л_t^* g(X)$, где $i = 1, \ldots, K$;

MULTI GA2 $\rightarrow$ популяция B ($b_{\max}$ поколений):

оценить B: $B \leftrightarrow L_i(X_t^*, Л) = f_i(X_t^*) + \Sigma Л g(X_t^*)$, где $i = 1, \ldots, K$.

Сохранение недоминируемых индивидов.

4. Если условие останова выполнено, то вывести множество недоминируемых индивидов; иначе, нужно перейти на шаг 3.

Таким образом, в результате работы алгоритма мы получаем репрезентативное множество парето-оптимальных решений, удовлетворяющих системе ограничений.

Исследование эффективности коэволюционного алгоритма на тестовых задачах многокритериальной условной оптимизации. Исследование эффективности алгоритма проводилось на основании качества аппроксимации множества Парето, получающейся при решении задачи недоминируемыми точками.

Для большей наглядности тестовые задачи для коэволюционного алгоритма были выбраны в виде двух- и трехкритериальных задач оптимизации с ограничениями.

Работа алгоритма проверялась с различными сочетаниями параметров, после чего были выбраны наиболее подходящие их значения. Общие параметры алгоритма сведены в таблицу:

Параметры алгоритма	CoEvGA
Количество вычислений целевой функции	10 000
Границы поискового пространства $[a,b]$	[0, 10 00]
Точность вычислений ε	0,001
Тип скрещивания	Одноточечный
Вероятность скрещивания p_c	0,8

Результаты решения тестовых задач коэволюционным генетическим алгоритмом многокритериальной оптимизации с соответствующими настройками параметров представлены в виде рисунков, отображающих получившиеся при решении той или иной задачи недоминируемые точки, которые удовлетворяют системе ограничений.

Далее используются следующие обозначения:

– П – множество Парето;

– Д – множество допустимых решений;

– П′ – множество недоминируемых решений;

– П′ ⋂ Д = П.

1. Двухкритериальная задача с квадратичными функциями и ограничениями. В пространстве решений в виде прямой изображено множество Парето, которое в идеале должно получиться при решении данной задачи, точками обозначены недоминируемые решения, полученные в ходе работы коэволюционного алгоритма, а ограничения представлены в виде дуг окружностей (рис. 1, 2).

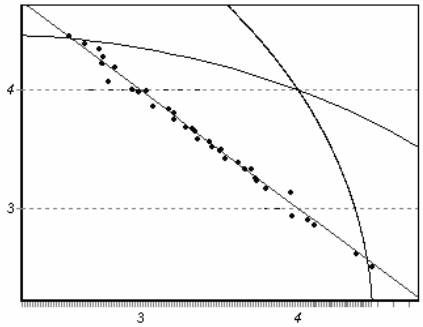


Рис. 1. Множество П′ в пределах множества Д: П′ ⋂ Д ≠ ∅

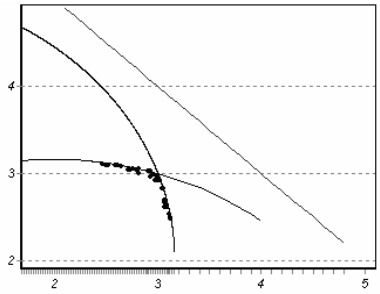


Рис. 2. Множество П′ за пределами множества Д: **П′ ⋂ Д** = ∅

2. Двухкритериальная задача с критериальными функциями Розенброка и Растригина и ограничениями вида $g(x_1, x_2) = 10 + x_1^2 - 10\cos(2\pi x_1) - x_2 \le 0$. Решением задачи, без учета ограничений, является кривая, соединяющая точки (0,0) и (1,1) (рис. 3). Множество допустимых решений состоит из пяти несвязных областей, которые образованы функцией ограничения. Таким образом, множество Парето состоит из двух точек (0,0) и (1,1).

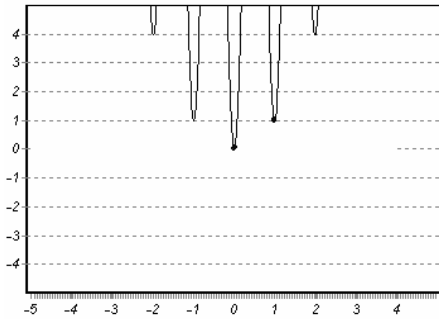


Рис. 3. Множество П′ в пределах множества Д: П′ ⋂ Д ≠ ∅

3. Двухкритериальная задача с критериальными функциями Розенброка и Растригина и ограничением – функцией Гриванка. Решением задачи, с учетом ограничений, является множество точек, которые на рис. 4 окрашены темно-серым цветом. Множество допустимых ре-

шений состоит из восьми связных областей, которые образованы функцией ограничения.

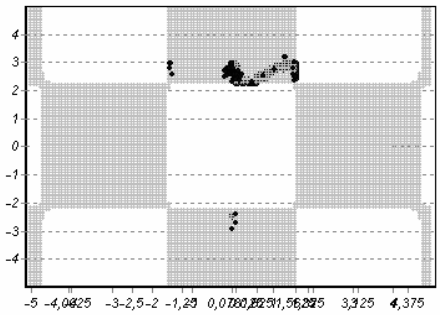


Рис. 4. Множество П′ в пределах множества Д: П′ ⋂ Д = ∅

4. Трехкритериальная задача с квадратичными функциями и ограничениями. При решении трехкритериальной задачи с критериями – квадратичными функциями, результирующее множество Парето представляет собой уже не прямую, а треугольник в пространстве решений, при этом множество Парето включает все точки этого треугольника: как внутри него, так и на границе (рис. 5, 6 и 7).

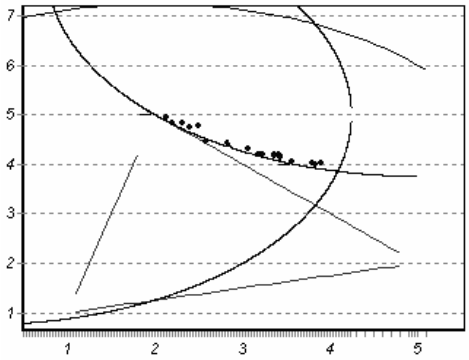


Рис. 5. Множество П′ соприкасается с множеством Д: П′ ⋂ Д ≠ ∅

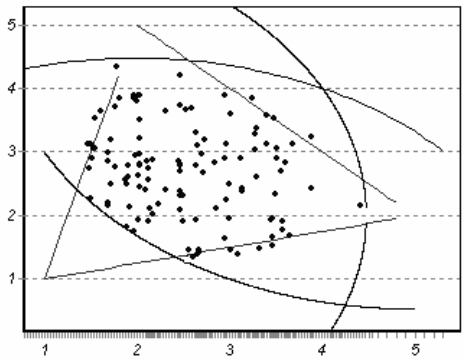


Рис. 6. Множество П′ в пределах множества Д: П′ ⋂ Д ≠ ∅

Итак, мы видим, что коэволюционный генетический алгоритм успешно справился с тестовыми задачами многокритериальной оптимизации с ограничениями. Индивиды-решения достаточно равномерно распределены на множестве Парето, аппроксимируют границу множества и удовлетворяют ограничениям задачи. При этом пространство допустимых решений (после бинаризации переменных, требуемой генетическими алгоритмами) составляет примерно 0,002 5 % от всего пространства поиска. Тестирование алгоритма на задачах с различными вариациями взаиморасположения допустимого и паретомножеств наглядно демонстрирует его эффективность при решении задач различной сложности.

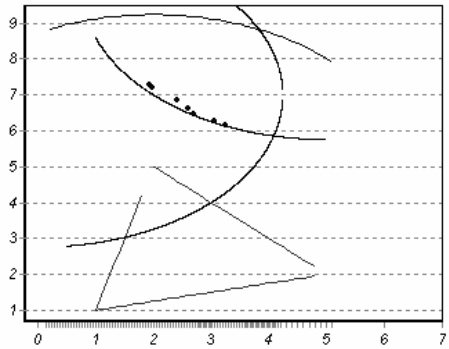


Рис. 7. Множество П′ за пределами множества Д: П′ ⋂ Д = ∅

Наибольшую трудность для коэволюционного алгоритма представляет случай, когда множества Парето и допустимых решений расположены на значительном удалении друг от друга. Тогда представительность полученного множества решений несколько хуже, чем в случае пересечения множеств.

Решение задачи формирования оптимального кредитного портфеля банка коэволюционным алгоритмом. Управление формированием оптимального кредитного портфеля при наличии жестких ограничений по суммам имеющихся в наличии свободных кредитных ресурсов, их стоимости, процентным ставкам на выдаваемые кредиты, срокам привлечения ресурсов, максимальному размеру кредита на одного заемщика – постоянная процедура, которую выполняют специалисты банков. При этом от правильности этих решений зависит финансовая стабильность банка, а значит, и защита интересов его инвесторов. Серьезные проблемы с ликвидностью, испытываемые основной массой коммерческих банков, требуют повышения эффективности процесса управления формированием активных и пассивных операций. Это в полной мере касается кредитных операций, составляющих до 60 % активов.

Анализ проблемы и постановка задачи подробно описаны в [7]. Исходные данные также взяты из [7].

Ожидаемые проценты от комбинации кредитных заявок будут определяться по формуле

$$E(x_i) = \sum_{i \in I} (k_i + k_i d_i t_i) x_i .$$

Таким образом, целевая функция задачи максимизации дохода может быть представлена в следующем виде:

$$E(x_i) \to \max_{x_i},$$

а целевая функция задачи минимизации риска в виде

$$R(x_i) = \sum_{i \in I} P_i x_i \to \min$$

при следующем ограничении на объем выдаваемых кредитов:

$$\sum_{i=1}^{I} k_i x_i \le F,$$

где $i = \overline{1, I}$; F – сумма свободных пассивов, которыми располагает банк; k_i – сумма кредита, запрашиваемая i-м заемщиком; t_i – период размещения средств; x_i – бу-

лева переменная, принимающая значения {0, 1}; d_i – проценты за пользование i-м кредитом; P_i – вероятность невыполнения заемщиком обязательств по возврату кредита и процентов.

Анализ эффективности ГА проводился для случая, когда объём кредитных заявок равнялся 20. Здесь мы имеем возможность получить множество допустимых недоминируемых решений с помощью полного перебора всех возможных решений. Размерность множества Парето составляла 0,001 % от всего пространства поиска. Полученные решения сравнивались с решениями из множества Парето.

При применении оптимальных структур множество решений, найденых с помощью коэволюционного генетического алгоритма, содержало от 5 до 10 возможных вариантов. Все решения удовлетворяли ограничениям задачи, но парето-оптимальными из них были от 4 до 7 решений. Остальные же не принадлежали множеству Парето, но значения целевых функций незначительно отличались от парето-оптимальных и в общем случае могли быть использованы в качестве решения исходной задачи. Кроме того, получающимися при решении задачи точками, достаточно точно могут быть аппроксимированы фронт и множество Парето (рис. 8).

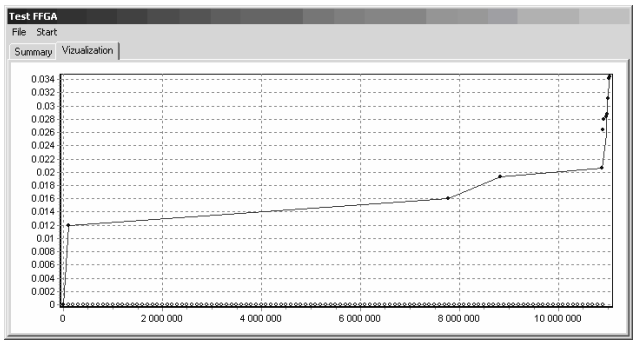


Рис. 8. Фронт Парето и недоминируемые индивиды

Затем решалась исходная задача формирования кредитного портфеля банка, когда объем кредитных заявок был равен 50. В связи с ростом сложности задачи количество разрешенных вычислений целевой функции было увеличено до 50 000.

Оптимальная структура коэволюционного ГА для решения данной задачи совпадает с оптимальной структурой коэволюционного ГА для задачи с 20 заявками.

При применении оптимальных структур множество решений, получаемое с помощью коэволюционного генетического алгоритма (рис. 9), содержало от 10 до 25 возможных вариантов. Индивиды-решения достаточно равномерно покрывают пространство решений и обеспечивают представительность множества Парето. Большинство полученных решений более эффективны, чем представленные в [7].

Таким образом, авторами обоснован и разработан коэволюционный подход к решению сложных практических задач условной многокритериальной оптимизации. Проведен анализ эффективности алгоритма при решении тестовых задач, а также успешно решена реальная практическая задача формирования оптимального кредитного портфеля банка, где коэволюционный алгоритм показал высокую эффективность.

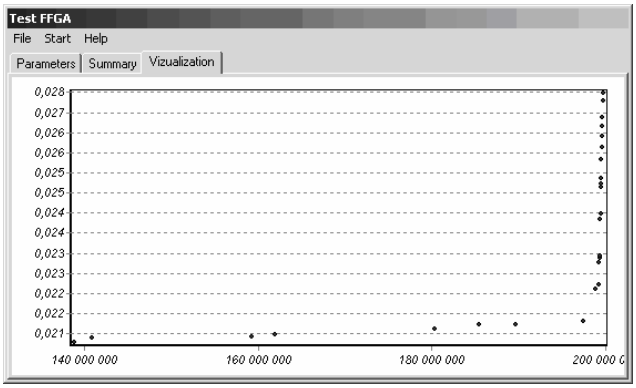


Рис. 9. Недоминируемые индивиды, полученные при решении задачи

Библиографический список

1. Zilinskas, A. System Analysis, Design and Optimization. An Introduction / A. Zilinskas [et al.]. Krasnoyarsk, 1993.

2. Моисеев, Н. Н. Методы оптимизации / Н. Н. Моисеев [и др.]. М. : Наука, 1978.

3. Zitzler, E. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach / E. Zitzler, L. Thiele // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1999.

4. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения много-критериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. М. : Наука, 1982.

5. Barbosa, H. J. C. On genetic algorithms for mini-max problems / H. J. Barbosa // EvCA'96: program and procedeengs. 1996. С. 99–109.

6. Процыков, Г. В. Об эффективности коэволюционного подхода в практических задачах оптимизации / Г. В. Процыков, Е. С. Семенкин, К. А. Токмин // Вестник КГУ. Серия «Физико-математические науки». 2005. № 4. С. 233–239.

7. Пуртиков, В. А. Оптимизация управления формированием кредитного портфеля банка: дис. ... канд. техн. наук / В. А. Пуртиков ; Сиб. аэрокосмич. акад. Красноярск, 2001.

E. S. Semenkin, K. A. Tokmin

CO-EVOLUTIONARY APPROACH TO CONSTRAINED MULTICRITERIA OPTIMIZATION PROBLEMS

Co-evolutionary approach to constrained multicriteria optimization problems based on augmented Lagrangian and evolutionary algorithms is suggested. The Investigation on test real problems efficiency of the given algorithm is carried out.

Keywords: cnstrained multicriteria optimization problems, co-evolutionary algorithm.

УДК 519.8

П. В. Симаков

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПИСАНИЙ ДИСКРЕТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ПОЗАКАЗНОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается задача оптимизации расписаний дискретных производств позаказного типа, используется несколько различных критериев оптимизации, для оценки значений критериев и проверки ограничений применяется имитационная модель производственного процесса. Для выбора параметров имитационной модели, дающих расписание, близкое к оптимальному, применяется генетический алгоритм. Приводятся результаты применения генетического алгоритма для решения задачи оптимизации расписаний дискретных производств позаказного типа.

Ключевые слова: теория расписаний, производственное планирование, имитационное моделирование.

В последние десятилетия многие производители в области машиностроения, в мебельной промышленности, в некоторых пищевых и других производствах существенно изменили подходы в организации производства по причине изменения потребительских ожиданий. Чтобы удовлетворить потребительские ожидания, производителю в настоящее время приходится изготовлять продукцию, удовлетворяющую самым разным запросам, требованиям заказчиков, например, по размерам, цвету, конфигурации тех или иных изделий. Таким образом, мы наблюдаем переход от массового производства, господствующего почти до конца XX в., к так называемому позаказному производству, при котором размер партий самих изделий, их компонентов, запускаемых в производство на определенном горизонте планирования, уменьшается, а номенклатура изделий существенно расширяется.

Как следствие этого факта и факта, что входящий поток заказов является нестационарным как по составу, так и по количеству тех или иных изделий, в цехах позаказного производства стало появляться так называемое «плавающее узкое место», выражающееся в том, что в разные моменты времени перед разными станками стали накапливаться очереди из деталей, требующих обработки. В то же время другие станки, указанные в технологических маршрутах этих деталей, могут простаивать в ожидании деталей. По сведениям Международной ассоциации инженеров-технологов, «коэффициент загрузки технологического оборудования, даже при наличии переполненного портфеля заказов, не превышаетт 50 %» [1]. Такие плавающие узкие места нельзя расширить покупкой дополнительного оборудования, потому что придется удваивать или утраивать количество станков, так как узкие места могут возникать в любом месте. Увеличение же заделов, незавершенного производства приводит к замораживанию оборотных средств.

Единственным решением в такой ситуации остается применение компьютерных систем, использующих специальные оптимизационные методы по составлению и коррекции производственных расписаний, что может повысить коэффициент загрузки до 80 % и существенно увеличить скорость исполнения производственных заказов.

Производственные расписания могут строиться, исходя из нескольких критериев, с использованием различных наборов ограничений технологического характера. Так, С. М. Джонсон в 1954 г. показал, что составление расписания уже для трех станков относится к классу NP-сложных задач, поэтому в общем случае задача составления расписания за приемлемое время может быть решена только эвристически.

Однако несмотря на серьезную разработку проблем, предлагаемые на рынке программные системы строят лишь допустимое, но не оптимальное расписание, ограничивая поиск одной или двумя итерациями. Именно поэтому разработка математической модели для составления расписаний для позаказных производств и эффективных эвристических алгоритмов, решающих задачу составления расписаний, является актуальной.

Расчетом сроков исполнения заказов занимается первый уровень планирования рассматриваемого подхода планирования на позаказных производствах. Этим первым уровнем является APS-система (от английского Advanced Planning and Scheduling) [2]. Результатом работы уровня APS являются минимальные начальные сроки начала и максимальные конечные сроки выполнения каждой из производственных операций.

Применение генетических алгоритмов для решения задачи оптимизации производственных расписаний рассмотрены в работах [3; 4; 5].

Исходные данные для задачи. Введем обозначения, касающиеся задачи составления производственного расписания, используя в качестве основы общую постановку задачи составления цехового расписания, рассмотренную в [6; 7; 8].

1. На горизонте планирования T имеются работы (партии деталей, пищевых продуктов) $j = 1, \ldots, n$ и m машин $M_1, ..., M_m$, множество $M = \{M_1, ..., M_m\}$. Далее будем говорить о партиях деталей, имея в виду машиностроение или мебельную промышленность.

2. Маршрут каждой из деталей из j-й партии состоит из n_j операций $O_{1j}, ..., O_{n_j,j}$, $i = 1, ..., n_j$. Множество $O = \{O_{1j}, ..., O_{n_j,j}\}$. Мощность множества O равна $N = \sum_{j=1}^{n} n_j$. Две операции из маршрута одной детали не могут производиться одновременно.

3. Каждой машине M_k из множества операций O соответствует подмножество $O^k \subset O$ операций, которые могут производиться на данной машине. Операция O_{ij} имеет длительность t_{ijk} и стоимость c_{ijk}, если $O_{ij} \in O^k$.

Если $O_{ij} \notin O^k$, то $t_{ijk} = 0$ и $c_{ijk} = 0$. Отношения предшествования существуют между любыми операциями.

4. Для последовательных операций O_{ij} и $O_{i,j+1}$ может быть задан временной интервал $t_{ij,j+1}^{\max}$ – максимальное время между двумя последовательными операциями одной и той же работы. Началом данного интервала может быть начало и конец первой операции, концом – начало или конец второй операции.

5. Для операции O_{ij} может быть задано максимальное относительное превышение длительности $t_{ij}^{\max}$ с учетом прерываний данной операции. Оно выражается в процентах. При этом, $t_{ij}^{\max} = 0\,\%$ означает, что операция O_{ij} не может быть прервана ни при каких условиях (конец смены с окончанием операции в следующей смене, перерыв на обед и т. д.).

6. Для последовательных операций O_{ij} и $O_{i,j+1}$ может быть задан временной интервал $t_{ij,j+1}^{\min}$ – минимальное время между двумя этими операциями. Пример применения: отливки и поковки сначала должны остынуть, прежде чем пойти на механическую обработку.

7. Задано разбиение $\widehat{O} = \left\{\widehat{O}_1, ..., \widehat{O}_g\right\}$ множества O на группы операций, $\bigcap_{h=1}^{g} \widehat{O}_h = \varnothing$. Для каждой группы операций $\widehat{O}_h$ ($h = \overline{1,g}$) задано множество $\widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right) = \left\{M_1, ..., M_{m_h}\right\} \subseteq M$ машин (группа оборудования) – множество возможных исполнителей операций $O_{ij} \in \widehat{O}_h \subseteq O$, (например, все токарные станки, все фрезерные станки, все маляры и т. д.), причем некоторые машины или рабочие могут входить в несколько групп, то есть пересечение множеств $\bigcap_{p=1}^{P} \widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right)$ не всегда равно пустому множеству, где P – число групп оборудования.

Для общности множество $\widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right)$ может быть равно пустому множеству: $\widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right) = \varnothing$. Последнее означает, что для выполнения операций группы $\widehat{O}_h$ не требуется никаких ресурсов (например, сушка покрашенной поверхности).

8. Подмножества $\widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right)$ могут содержать машины одного из двух типов:

а) либо машины, способные обрабатывать только одну деталь одновременно (например, токарные станки);

б) либо машины, требующие для своей работы партию деталей по стоимостным, технологическим причинам (например, печи термообработки, транспорт).

Для машин второго типа существует максимальная вместимость машины $V_k^{\max}$ и минимальный допустимый объем загруженных в нее деталей $V_k^{\min}$ (если количество деталей, скопившихся перед печью термообработки, меньше минимального допустимого количества, то печь не запустится). Величины и , а также габариты различных деталей измеряются в условных единицах объема.

Группировка деталей для обработки на таких машинах происходит на основе технологических характеристик – атрибутов операций. Например, для одновременной термообработки группы деталей, все они в соответствии со своими технологическими процессами должны находиться в печи одинаковое время при одинаковой температуре.

9. Для множества операций $\left\{O_{i_1 j}, ..., O_{i_d j},\right\}$ может быть задано условие одновременной обработки на одной машине M_k. Пример применения: технологические сборы, обусловленные одновременной обработкой технологически сопрягаемых поверхностей (например, совместная шлифовка нескольких деталей по шаблону, когда не могут обеспечивать заданную точность для соединения).

10. Каждая машина $M_k \in \widehat{M}_p\left(\widehat{O}_h\right) \subset M$, $k = \overline{1,m}$, на горизонте планирования T имеет свой график работы $\Gamma_k = \bigcup_{l=1}^{L_k}\left[t_{k_l}^s, t_{k_l}^e\right]$, где L_k – число непересекающихся временных отрезков $\left[t_{k_l}^s, t_{k_l}^e\right]$, $l = \overline{1, L_k}$, $t_{k_{l-1}}^e \le t_{k_l}^s$. Концы этих отрезков – моменты начала и окончания рабочей смены, моменты начала и окончания обеденного перерыва.

11. Для каждой машины $M_k \in \left\{M_1, ..., M_m\right\}$ для каждой пары операций $O_a, O_b \in O^k$, где существует число p_{abk}, равное времени переналадки машины M_k с операции O_a на операцию O_b, индексы *a* и *b* являются комбинациями индексов *i* и *j*.

12. Для каждой партии деталей $j = 1, ..., n$ известны минимальные начальные сроки начала $\tau_j^{н}$ и максимальные конечные сроки выполнения τ_j^d, следовательно, можно вычислить максимальные конечные сроки выполнения τ_{ij}^d каждой операции O_{ij}.

13. Для каждого варианта *s* расписания для каждой машины M_k существует подмножество O_s^k операций из множества *O*, выполняемых на данной машине в данном варианте расписания.

Оптимизационные критерии при составлении производственных расписаний. Используются следующие критерии (F_1–F_5).

1. Максимум коэффициента загрузки оборудования для варианта *s* расписания:

$$F_1 = \frac{\sum_{k=1}^{m} \frac{\sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} \left(t_{ijk} + p_{abk}\right)}{T_k}}{m} \to \max,$$

где T_k – суммарная длительность отрезков из графика работы $\Gamma_k = \bigcup_{l=1}^{L_k}\left[t_{k_l}^s, t_{k_l}^e\right]$ для машины M_k на горизонте планирования T. Соответственно пригодность индивидов в популяции по этому критерию можно оценивать как $f_1 = F_1$.

2. Минимум числа используемых станков.

Пусть из *m* станков на горизонте планирования будет использоваться только m_{cur} число станков. Следовательно, критерий минимума числа используемых станков:

$$F_2 = m_{cur} \to \min.$$

Соответственно пригодность индивидов в популяции по этому критерию можно оценивать как $f_2 = m - m_{cur}$.

3. Равномерная загрузка оборудования.

Пусть $\eta_k = \frac{\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n_j}\left(t_{ijk} + p_{abk}\right)}{T_k}$ – коэффициент загрузки машины M_k на в варианте расписания *s* горизонте планирования *T*. Тогда

$$F_3 = \eta = \sum_{h=1}^{g}\sum_{q=1}^{m_h}\left|\frac{\sum_{k=1}^{m_h}\eta_k}{m_h} - \eta_q\right| \to \min$$ – критерий, отра-

жающий равномерную загрузку оборудования. Здесь вначале вычисляется коэффициент средней загрузки в каждой из групп, потом коэффициенты каждой из групп суммируются.

Соответственно пригодность индивидов в популяции по этому критерию можно оценивать как $f_3 = 1 - \eta = 1 - F_3$.

4. Минимум числа переналадок.

Пусть $F_4 = \sum_{k=1}^{m} \sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} p_{abk}^*$ – количество переналадок, где $p_{abk}^* = \begin{cases} 1, \text{ если } p_{abk} > 0 \\ 0, \text{ если } p_{abk} = 0 \end{cases}$.

Тогда критерий минимума числа переналадок выглядит так:

$$F_4 = \sum_{k=1}^{m} \sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} p_{abk}^* \to \min.$$

Соответственно пригодность индивидов в популяции по этому критерию можно оценивать как $f_4 = C_N^2 - F_4$, где C_N^2 – число сочетаний из $N = \sum_{j=1}^{n} n_j$ по 2.

5. Минимум всех непроизводительных затрат времени.

К их числу относятся:

– простои оборудования, связанные с переналадками;

– простои оборудования, связанные с ожиданием ДСЕ, находящихся на обработке на предыдущих операциях;

– простои оборудования, связанные с ожиданием ДСЕ, находящихся в процессе транспортирования;

– простои оборудования, связанные с ожиданием обслуживания ДСЕ транспортными устройствами;

– простои оборудования, связанные с ожиданием обслуживания ДСЕ складскими устройствами;

– простои оборудования в конце смены – когда станок освободился и больше на него ничего не грузится, так как остаток фонда времени не позволяет загрузить ни одну из ДСЕ.

$$F_5 = \sum_{k=1}^{m} \left(T_k - \sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} t_{ijk} \right) \to \min.$$

Соответственно пригодность индивидов в популяции по этому критерию можно оценивать как

$$f_5 = \sum_{k=1}^{m} T_k - \sum_{k=1}^{m} \left(T_k - \sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} t_{ijk} \right) = \sum_{k=1}^{m} \sum_{j, O_{ij} \in O_s^k} \sum_{i, O_{ij} \in O_s^k} t_{ijk}.$$

Управляемые факторы. При использовании имитационной модели в задаче составления производственного расписания встречается два типа правил диспетчирования:

– выбор операции из очереди операций, ожидающих обработки перед одним станком или группой взаимозаменяемых станков; происходит в случае, когда ресурс освобождается и существует несколько операций, ждущих обработки на данном ресурсе;

– выбор станка из группы взаимозаменяемого оборудования происходит в случае, когда для выполнения одной операции доступно более одного свободного ресурса из одной группы.

В случае, когда в текущий момент времени требуется назначить исполнителя на более чем одну операцию, а самих доступных исполнителей тоже более одного, то сначала выбирается из очереди операция, затем для выбранной операции происходит выбор станка из группы.

Порядок работы имитационной модели будет такой: если операция может производиться на одной из машин, сгруппированных в группы взаимозаменяемого оборудования, то эта операция встает в очередь перед данной группой оборудования. Соответственно количество таких очередей во всей станочной системе будет равно количеству групп оборудования.

Для определения размеров партий деталей перед оптимизационной процедурой запускается специальная вычислительная процедура. Партии разбиваются на подпартии, исходя из количества взаимозаменяемых станков в группе на лимитирующей операции конкретного техпроцесса. За каждой передаточной подпартией система осуществляет индивидуальный диспетчерский контроль.

Таким образом, для одного или нескольких критериев, используемых при составлении расписания одновременно, требуется определить:

– правила диспетчирования для каждой из очередей, возникающих перед группами оборудования;

– правила выбора машины для операции из группы взаимозаменяемого оборудования.

При этом должны быть соблюдены технологические ограничения по последовательности операций, ограничения для динамических сборов ДСЕ, не должны быть превышены максимальные конечные сроки выполнения работ для каждой из партий ДСЕ.

Определив правила из указанных групп, мы можем запустить имитационную модель с найденными правилами, и тем самым определить моменты начала, окончания и исполнителей всех операций на заданном горизонте планирования, что, собственно, и будет являться производственным расписанием.

Рассмотрим отдельно каждую из групп параметров управления.

Правила диспетчирования для каждой из очередей, возникающих перед оборудованием. Очередь перед станком может быть отсортирована в соответствии с одним из следующих правил.

1. Shortest processing time (SPT) – очередь операций O_{ij} сортируется по возрастанию в соответствии с величиной длительности операции t_{ijk}.

2. Longest processing time (LPT) – очередь операций O_{ij} сортируется по убыванию в соответствии с величиной длительности операции t_{ijk}.

3. Earliest due date (EDD) – очередь операций O_{ij} сортируется по возрастанию в соответствии с максимальными конечными сроками τ_{ij}^d операций .

4. Minimum slack (MINSLACK) – очередь операций O_{ij} сортируется по возрастанию в соответствии с резервами времени операций, вычисляемыми как $s_{ij} = \tau_{ij}^d - t_{\text{тек}} - t_{ijk}$, где $t_{\text{тек}}$ – момент времени сортировки очереди.

5. First-in-first-out (FIFO) – операции в очереди стоят в соответствии с порядком поступления.

6. Коэффициент напряженности. В любом случае партия деталей может выйти из цеха без запоздания, если момент окончания его выполнения $\tau_j^{\text{кн}}$ не позднее ди-

ративного срока выпуска, т. е. должно выполняться условие $\tau_j^{кн} \le \tau_j^d$. Тогда напряженность для любого j-го заказа на партию деталей можно представить в виде его коэффициента напряженности $K_j = \dfrac{\sum_{i=i_{тек}}^{n_j} \max_k t_{ijk}}{\tau_j^d - t_{тек}}$, где $t_{тек}$ – момент времени сортировки очереди, $i_{тек}$ – номер текущей операции в маршруте -й партии деталей, $\max_k t_{ijk}$ – максимальная длительность операции O_{ij} на машине, принадлежащей множеству машин $\widehat{M}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, способных выполнять соответствующие операции из группы $\widehat{O}_h$, $k = \overline{1, \left|\widehat{M}_h\left(\widehat{O}_h\right)\right|}$. Чем больше коэффициент напряженности, тем меньше времени остается, чтобы выполнить все операции этой партии деталей в срок. Очередь операций O_{ij} сортируется по убыванию в соответствии с величиной K_j.

Правила выбора оборудования. После выбора операции из очереди и размера партии необходимо выбрать из группы взаимозаменяемого оборудования станок, на котором будет производиться операция в данном расписании. Выбор осуществляется в соответствии с одним из следующих правил:

1. Earliest End Time (EET) – из множества машин $\widehat{M}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, способных выполнить операцию $O_{ij} \in \widehat{O}_h$, выбирается машина M_k, которая первая закончит обработку.

2. Earliest Start Time (EST) – из множества машин $\widehat{M}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, способных выполнить операцию $O_{ij} \in \widehat{O}_h$, выбирается машина M_k, которая первая начнет обработку.

3. Latest End Time (LET) – из множества машин $\widehat{M}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, способных выполнить операцию $O_{ij} \in \widehat{O}_h$, выбирается машина M_k, которая последней закончит обработку.

4. Same as Previous Operation (SPO) – выбирается машина M_k, которая была выбрана для предыдущей операции.

Результаты исследования. Рассмотрим скорость работы алгоритмов при применении различных одиночных критериев и их различных сочетаний при многокритериальной оптимизации. Результаты, усредненные по применению различных скалярных и векторных критериев оптимизации расписаний, приведены в таблице:

Как видно из результатов численных исследований, применение в производственной среде полной процедуры генетического алгоритма в режиме реального времени, где необходимо будет пересчитывать расписание при серьезных отклонениях производственных процессов от рассчитанного расписания, невозможно.

Следовательно, применение полной процедуры генетического алгоритма необходимо при первоначальной настройке параметров имитационной модели в условиях определенного станочного парка. После настройки параметров модели, во время эксплуатации системы в режиме реального времени, требующего частого пересчета расписаний по причине возникающих отклонений, расписание стоит считать всего несколькими итерациями. Но чтобы выбрать для этих нескольких итераций необходимые правила диспетчирования и правила выбора оборудования из групп, нужно исследовать чувствительность результирующего расписания к параметрам модели.

Библиографический список

1. Фролов, Е. Б. Оперативно-календарное планирование и диспетчирование в MES-системах [Электронный ресурс] / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин. Режим доступа: http://erpnews.ru/doc2936.html. Загл. с экрана.

2. Питеркин, С. В. Когда MRP не работает… / С. В. Питеркин // Директор информ. службы. 2004. №1. С. 62–69.

3. Jones, A. Survey of job shop scheduling techniques [Электронный ресурс] / A. Jones. Режим доступа: http://citeseer.ist.psu.edu/331527.html. Загл. с экрана.

4. A comparison of genetic sequencing Operators [Электронный ресурс] / T. Starkweather, S. McDaniel, C. Whitley et al. Режим доступа: http://citeseer.ist.psu.edu/starkweather91comparison.html. Загл. с экрана.

5. Bartschi, W. M. A genetic algorithm for resource-constrained scheduling [Электронный ресурс] / W. M. Bartschi. Режим доступа: http://lancet.mit.edu/~mbwall/phd/thesis/thesis.pdf. Загл. с экрана.

6. Brucker, P. Complex scheduling problems [Электронный ресурс] / P. Brucker. Режим доступа: ftp://ftp.mathematik.uni-osnabrueck.de/pub/osm/preprints/complex.ps.gz/. Загл. с экрана.

№ п/п	Количество групп оборудования	Среднее количество машин групп оборудования	Итого машин		Количество деталеопераций на горизонте планирования	Количество возможных вариантов	Количество проверенных индивидов	Время	
			Общее	Из них машин для одновременной обработки деталей				проверки пригодности одного индивида, с	Нахождения искомого набора параметров модели, мин
1	10	5	50	5	500	2^{50}	1 000	2	33,3
2	10	5	50	5	1 000	2^{50}	1 000	2	33,3
3	10	5	50	5	2 000	2^{50}	1 000	2	33,3
4	10	5	50	5	4 000	2^{50}	1 000	2	33,3
5	15	10	150	10	500	2^{75}	2 000	3	100
6	15	10	150	10	1 000	2^{75}	2 000	3	100
7	15	10	150	10	2 000	2^{75}	2 000	3	100
8	15	10	150	10	4 000	2^{75}	2 000	3	100
9	20	10	200	10	500	2^{100}	3 000	4	200
10	20	10	200	10	1 000	2^{100}	3 000	4	200
11	20	10	200	10	2 000	2^{100}	3 000	4	200
12	20	10	200	10	4 000	2^{100}	3 000	4	200

7. Complexity results for scheduling problems [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mathematik.uni-osnabrueck.de/research/OR/class/. Загл. с экрана.

8. A simulation-based finite capacity scheduling system [Электронный ресурс] / D. Cormier, A. J. Weintraub, A. Zozom. Режим доступа: http://www.informs-cs.org/wsc97papers/0838.PDF. Загл. с экрана.

P. V. Simakov

ABOUT JOB SHOP SCHEDULING OPTIMIZATION WITH SIMULATION IN MAKE-TO-ORDER DISCRETE ENVIRONMENT

A job shop scheduling optimization problem with simulation in make-to-order discrete environment is covered. Several optimization criteria are used for that purpose. Simulation model is used for evaluation of the optimization criteria and constraints. Genetic algorithm is used for optimal simulation model parameters selection. The results of genetic algorithm usage for solving job shop scheduling optimization problem in make-to-order discrete environment are shown.

Keywords: scheduling theory, finite capacity scheduling, simulation.

УДК 681.3.06

М. Г. Доррер

ВЗВЕШЕННАЯ ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА БИЗНЕС-ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗМОВ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Предлагается подход к оценке стоимостных и временных показателей бизнес-процесса на основании его формальной модели в виде конечной цепи Маркова и собранных статистических данных о его функционировании. Предлагаются два подхода к построению взвешенных оценок бизнес процесса: на основе накопленных по времени вероятностей пребывания процесса в заданных состояниях и на основе оценки среднего числа пребываний процесса в данных состояниях. Полученные оценки могут применяться для сравнения различных вариантов выполнения бизнес-процесса, при выполнении процедуры бенчмакинга и при оценке последствий улучшения бизнес-процессов.

Ключевые слова: бизнес-процесс, цепь Маркова, взвешенные оценки.

Введение. При управлении и модернизации бизнес-процессов актуальной является задача получения обобщенных характеристик, оценивающих эффективность их функционирования [1; 2]. Единого, сложившегося подхода к решению этой задачи не выработано. В данной работе предлагается подход, основанный на совместном использовании методологии ARIS EPC и формализмов цепей Маркова. Метод дополняет и отчасти заменяет процедуры имитационного моделирования бизнес-процессов, предоставляя четкий и однозначный ответ о стоимости и времени выполнения бизнес-процесса на основе его статистических характеристик, а также позволяет оценить изменения временных и стоимостных характеристик процесса в результате совершенствования бизнес-процесса.

Данная работа начинается изложением основных положений формализма конечных цепей Маркова применительно к описанию бизнес-процессов. Затем на примере условного бизнес-процесса излагается методика оценки временных и стоимостных характеристик процесса путем взвешивания вероятностей пребывания в заданных состояниях процесса. И наконец эта же задача решается на основе оценки среднего числа пребываний процесса в заданных состояниях. Показано, что эти два метода дают близкие результаты.

Формальная модель бизнес-процессов. Представляет собой динамическую систему, находящуюся в каждый из моментов t_k в одном из n состояний множества $\boldsymbol{S} = \{S_1, ..., S_n\}$, $t_k \in \mathbf{T}$, где $\mathbf{T}$ – множество моментов времени, в которые рассматривается система [3; 4; 5]. Переменная t_k представляет собой шаг выполнения процесса и не обязательно связана с календарным временем.

Состояния изменяются со временем случайным образом. Это изменение определяется матрицей переходных вероятностей

$$P(t_k) = \left\| p_{ij}(t_k) \right\|. \quad (1)$$

Каждый элемент матрицы $p_{ij}(t_k), i, j = 1, ..., n$ показывает вероятность того, что если система в момент t_k находилась в состоянии S_i, то в момент t_{k+1} она окажется в состоянии S_j: $p_{ij}(t_k) = \Pr\{S(t_{k+1}) = S_j \mid S(t_k) = S_i\}$.

Каждая строчка матрицы P соответствует состоянию, в котором процесс находится на данном шаге, а каждый столбец – состоянию, в которое переходит процесс на следующем шаге. Переходы во все возможные состоя-

ния (в том числе в себя) образуют полную группу событий, поэтому $\sum_{j=1}^{n} p_{ij}(t_k) = 1$ для всех $i = 1, ..., n$, $t_k \in \mathbf{T}$.

В данной работе мы предполагаем, что вероятности не зависят от времени, т. е. цепь Маркова однородна, матрица P является числовой. В отношении бизнес-процесса с установившейся технологией исполнения это ограничение представляется обоснованным.

Вектор-строка $X(t_k) = [x_1(t_k), ..., x_N(t_k)]$ описывает распределение вероятностей нахождения системы в соответствующих состояниях в момент t_k, то есть $x_j(t_k)$ – это вероятность того, что в момент t_k система находится в состоянии S_j. При этом $\sum_{i=1}^{n} x_i(t_k) = 1$, $t_k \in \mathbf{T}$. Пересчет распределения вероятностей на следующем шаге производится по формуле

$$X(t_{k+1}) = X(t_k)P. \quad (2)$$

Должно быть также задано начальное условие: $X(t_0) = X_0$, которое определяет состояние процесса на начальном шаге выполнения бизнес-процесса.

Вычисляя последовательно $X(t_1)$, $X(t_2)$, …, $X(t_k)$, мы можем получить вероятностный прогноз развития состояний бизнес-системы в процессе ее функционирования.

Множество состояний S в рассматриваемом случае подразделяется на множество невозвратных состояний S^1 и множество поглощающих состояний S^2. Состояния, относящиеся к множеству S^2, соответствуют завершению выполнения бизнес-процесса и не влияют на его трудоемкость. Поэтому исключив из матрицы P строки и столбцы, соответствующие состояниям из S^2, и обозначив оставшуюся матрицу Q, можно вычислить так называемую фундаментальную матрицу цепи Маркова:

$$N = (I - Q)^{-1}, \quad (3)$$

где I – единичная матрица размерности m, где m – количество состояний невозвратного множества.

Каждый элемент n_{ij} матрицы N представляет собой среднее число пребываний процесса в состоянии S_j при старте из состояния S_i, причем $S_i, S_j \in S^1$.

Описание бизнес-процессов. В данной работе выбрана методология ARIS EPC [6; 7; 8], которая, впрочем, безболезненно может быть заменена на IDEF3 или UML State-Chart Diagram, словом – на любую нотацию, предназначенную для описания сценариев выполнения бизнес-процессов.

При этом связи модели EPC будут соответствовать переходам между состояниями цепи Маркова. В тех случаях, когда связь безальтернативна, вероятность соответствующего перехода будет единичной. Тогда же, когда процесс предполагает ветвление, вероятность перехода сопоставляется с вероятностями срабатывания соответствующих связей. При этом условие равенства единице суммы переходных вероятностей по строке матрицы переходных вероятностей соблюдается, поскольку в EPC на вероятность связей также накладывается условие равенства единице суммы вероятностей связей после ветвления.

Рассмотрим сопоставление на примере условного бизнес-процесса производства и сбыта заказных изделий (см. рисунок).

Определим состав элементов модели бизнес-процесса, их характеристики и соответствующие элементам состояния цепи Маркова (табл. 1).

В соответствии с приведенной моделью бизнес-процессов можно построить матрицу переходных вероятностей цепи Маркова.

Полученная матрица переходных вероятностей позволяет получить по формуле (2) распределение вероятностей нахождения системы в различных состояниях на каждом следующем шаге.

Значения вектора $X(t_0)$, задающего распределение вероятностей перед началом функционирования системы, можно определить из следующих соображений:

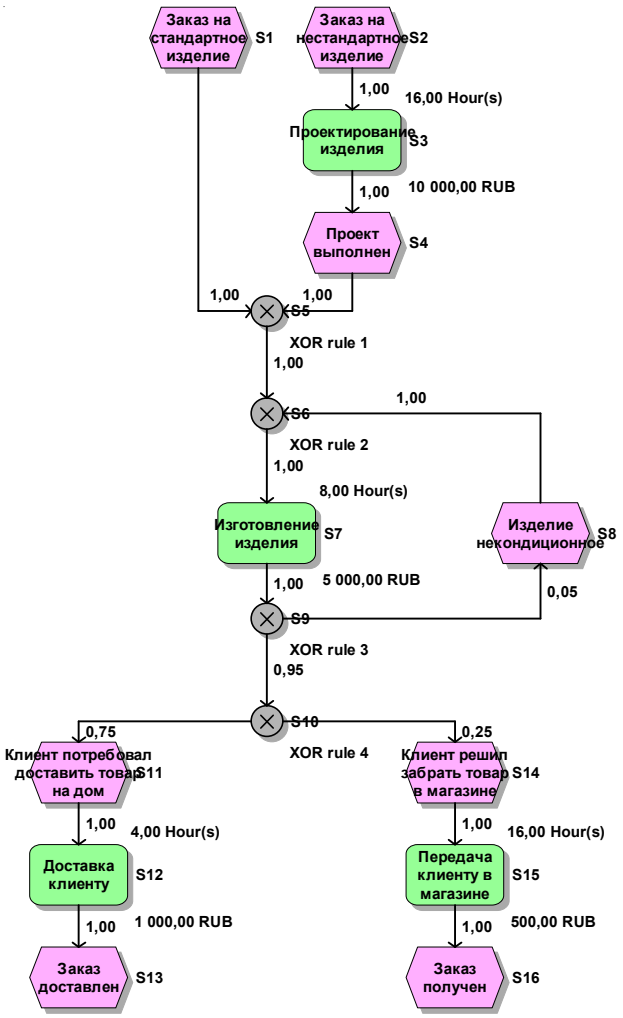
– вероятности состояний, соответствующие стартовым событиям, принимают значения, соответствующие вероятности наступления данного события на старте процесса; по очевидным причинам сумма этих вероятностей должна быть равна единице;

Таблица 1

Состав элементов модели бизнес-процессов и их сопоставление с событиями цепи Маркова

Наименование объекта модели	Тип объекта модели EPC	Среднее время выполнения, ч	Средняя стоимость выполнения, руб.	Состояние цепи Маркова
Заказ на нестандартное изделие	Событие	0,00	0,00	S_1
Заказ на стандартное изделие	Событие	0,00	0,00	S_2
Проектирование изделия	Процесс	16,00	10 000,00	S_3
Проект выполнен	Событие	0,00	0,00	S_4
XOR rule 1	Перекресток	0,00	0,00	S_5
XOR rule 2	Перекресток	0,00	0,00	S_6
Изготовление изделия	Процесс	8,00	5 000,00	S_7
Изделие некондиционное	Событие	0,00	0,00	S_8
XOR rule 3	Перекресток	0,00	0,00	S_9
XOR rule 4	Перекресток	0,00	0,00	S_{10}
Клиент потребовал доставить товар на дом	Событие	0,00	0,00	S_{11}
Доставка клиенту	Процесс	4,00	1 000,00	S_{12}
Заказ доставлен	Событие	0,00	0,00	S_{13}
Клиент решил забрать товар в магазине	Событие	0,00	0,00	S_{14}
Передача клиенту в магазине	Процесс	16,00	500,00	S_{15}
Заказ получен	Событие	0,00	0,00	S_{16}

– все остальные вероятности состояний должны быть равны нулю – ни в каком состоянии, кроме стартового, система на старте находиться не может.



Модель бизнес-процесса в нотации *ARIS*

В приведенном примере примем вероятность поступления заказа на стандартное изделие равной 0,8, а на нестандартное – 0,2.

Количество шагов определяется по стандартному правилу, когда расчет останавливается после достижения суммой вероятностей нахождения системы в поглощающих состояниях значения 0,95. В приведенном примере это соответствует 11 шагу расчета.

Полученный расчет позволяет получить взвешенную оценку стоимости и времени выполнения процесса.

Для этого введем значения C_i и T_i, означающие соответственно среднюю стоимость выполнения и среднее время выполнения каждого из состояний (см. табл. 1). Для всех состояний, кроме соответствующих бизнес-процессам, они равны нулю. Взвешивание произведем по x_i^{Σ} – суммарным значениям вероятности нахождения системы в каждом состоянии, вычисляющимся по формуле:

$$x_i^{\Sigma} = \sum_{k=1}^{M} x_i\left(t_k\right), \tag{4}$$

где M – количество шагов расчета.

Далее рассчитываем взвешенное время выполнения $\tilde{T}$ и взвешенную стоимость выполнения процесса $\tilde{C}$:

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^{N} x_i^{\Sigma} T_i, \tag{5}$$

$$\tilde{C} = \sum_{i=1}^{N} x_i^{\Sigma} C_i. \tag{6}$$

Полученные формулы позволяют оценить воздействие на бизнес-систему, во-первых, внешних условий – в приведенном примере они моделируются соотношением стандартных и нестандартных заказов; во-вторых – изменения внутреннего качества системы – в приведенном примере это задается как прямой стоимостью и временем выполнения входящих в бизнес-процесс функций, так и изменением соотношения кондиционных и некондиционных изделий, что описывается изменением соответствующих переходных вероятностей.

Подобный подход применяется при оценке инвестиционных рисков [6; 9], поэтому применение стоимостной и временной оценки процесса, взвешенной на вероятность обращения к каждой из функций этого процесса представляется обоснованной.

Для иллюстрации проведем несколько численных экспериментов. Исследуем взвешенную стоимость и взвешенное время выполнения процесса, приведенного в примере при варьировании параметров внешней среды – соотношения стандартных и нестандартных заказов как 50/50, 75/25 и 90/10, а также при варьировании качества работы системы – процент брака 10 %, 20 % и 30 %.

Расчет проведем по формулам (2), (4), (5) и (6) (табл. 2).

Оценка бизнес процесса на основе значений фундаментальной матрицы цепи Маркова. Приведем фундаментальную матрицу для рассматриваемого примера, рассчитанную по формуле (3) (табл. 3).

Таблица 2

Взвешенные оценки процесса $\tilde{T}$ и $\tilde{C}$ при варьировании параметров внутренней и внешней среды предприятия

Вероятность брака	Показатель	Соотношение стандартные/ нестандартные		
		50/50	75/25	90/10
10 %	$\tilde{T}$	23,495	19,653	17,347
	$\tilde{C}$	11 376,875	8 896,563	7 408,375
20 %	$\tilde{T}$	24,080	20,360	18,128
	$\tilde{C}$	11 970,000	9 505,000	8 026,000
30 %	$\tilde{T}$	24,755	21,123	18,943
	$\tilde{C}$	12 654,375	10 200,313	8 727,875

файл испорчен ряда
формул нету в файле

Поскольку каждый элемент n_{ij} матрицы N представляет собой среднее число пребываний процесса в состоянии S_j при старте из состояния S_i, то можно использовать значения этих элементов для получения взвешенной оценки времени и стоимости выполнения процесса. Строка k фундаментальной матрицы позволяет оценить время $\widehat{T}_k$ и стоимость $\widehat{C}_k$ выполнения процесса при запуска из k-го состояния по следующим формулам:

$$\widehat{T}_k = \sum_{i=1}^{N} n_{ki} T_i \,, \tag{7}$$

$$\widehat{C}_k = \sum_{i=1}^{N} n_{ki} C_i \,. \tag{8}$$

Тогда взвешенное время $\widehat{T}$ и стоимость $\widehat{C}$ всего бизнес-процесса может быть рассчитана путем взвешивания $\widehat{T}_k$ и $\widehat{C}_k$ на p_k – вероятность запуска процесса с k-го состояния (процесса, события).

$$\widehat{T} = \sum_{k=1}^{N} p_k \widehat{T}_k \,, \tag{9}$$

$$\widehat{C} = \sum_{k=1}^{N} p_k \widehat{C}_k \,. \tag{10}$$

В приведенном примере p_k соответствует вероятностям стартовых событий («Заказ на стандартное изделие» и «Заказ на нестандартное изделие»). Стартовые вероятности остальных состояний равны нулю.

Для иллюстрации проведем несколько численных экспериментов, аналогично тому, как это было сделано для $\tilde{T}$ и $\tilde{C}$. Исследуем взвешенную стоимость и взвешенное время выполнения процесса, приведенного в примере при варьировании параметров внешней среды – соотношения стандартных и нестандартных заказов как 50/50, 75/25 и 90/10, а также при варьировании качества работы системы – процент брака 10 %, 20 % и 30 %.

Расчет проведем по формулам (9), (10) (табл. 4).

Сравнение табл. 4 и 6 показывает, что оба способа оценки взвешенной стоимости и времени процессов дают близкие результаты при одинаковых исходных данных. Оба метода верно отражают тенденцию изменения времени и стоимости процесса при изменении внутренней и внешней среды.

На практике предложенные взвешенные оценки $\tilde{T}$ и $\tilde{C}$ и $\widehat{T}$, $\widehat{C}$ могут быть востребованы для сравнительной оценки аналогичных бизнес-процессов двух предприятий (бенчмакинг), а также для оценки последствий внутренних изменений. Так, в приведенном примере можно оценить в деньгах и затраченном времени эффект от мероприятий по повышению качества продукции.

Мы видим, что предложенная методика позволяет оценить поведение системы, исходя из ее вероятностных

Таблица 3

Фундаментальная матрица цепи Маркова для приведенного примера

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{14}	S_{15}
S_1	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_2	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_3	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_4	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	1,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S_9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,11	0,00	1,11	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_{10}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,75	0,75	0,25	0,25
S_{11}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00
S_{12}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
S_{14}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
S_{15}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

Таблица 4

Взвешенные оценки процесса и при варьировании параметров внутренней и внешней среды предприятия

Вероятность брака	Показатель	Соотношение стандартные/ Нестандартные заказы	
	50/50	75/25	90/10
10 %	23,889	19,889	17,489
	1 1430,556	8 930,556	7 430,556
20 %	25,000	21,000	18,600
	12 125,000	9 625,000	8 125,000
30 %	26,429	22,429	20,029
	13 017,857	10 517,857	9 017,857

характеристик. Описание системы формируется в виде формальной модели бизнес-процесса, наполненной статистическими характеристиками – временами и стоимостями выполнения функций, вероятностями развития процесса по вариантам. Расчет изменения вероятности пребывания системы в состояниях по шагам, а также среднего числа пребываний в состояниях невозвратного множества позволяет накопить статистику по каждому состоянию, показывающую общее число пребываний процесса в данном состоянии (среднее количество выполнения каждой функции, наступления каждого события). Сумма времен и стоимостей выполнения функций, взвешенная на накопленные таким образом вероятности, позволяет оценить бизнес-процесс. При этом изменение управляемых параметров позволяет оценить изменение стоимости и времени бизнес-процесса при различных состояниях внутренней и внешней среды предприятия. Развитие предложенных методов может состоять в автоматизации процессов построения цепей Маркова и их исследовании по структурным схемам бизнес-процессов.

Библиографический список

1. Conventions for process-oriented modeling of a risk management system with ARIS [Электронный ресурс] // IDS Sheer AG. Режим доступа: www.ids-scheer.de. Загл. с экрана.

2. Доррер, Г. А. Моделирование учебного процесса на основе теории цепей Маркова / Г. А. Доррер, А. Г. Доррер, Г. М. Рудакова // Информ. технологии. 2005. № 11. С. 63–69.

3. Доррер, М. Г. Восстановление структуры модели бизнес-процессов организации на основании параметров цепи Маркова, рассчитанных исходя из данных электронного документооборота / М. Г. Доррер, А. А. Некрасова // Вестник СибГАУ. 2006. Вып. 5(12). С. 87–90.

4. Каменнова, М. Моделирование бизнеса. Методология ARIS. Практическое руководство / М. Каменнова, А. Громов, М. Ферапонтов, А. Шматалюк. М. : Весть-Метатехнология, 2001.

5. Кемени, Дж. Конечные цепи Маркова / Дж. Кемени, Дж. Снелл. М. : Наука, 1970.

6. Марголин, А. М. Экономическая оценка инвестиционных проектов / А. М. Марголин. М. : Экономика, 2007.

7. Харрингтон, Дж. Оптимизация бизнес-процессов документирование, анализ, управление, оптимизация / Дж. Харрингтон, К. С.Эсселинг, Х. Ван Нимвеген. М. : Азбука, 2002.

8. Шеер, А. В. Бизнес-процессы. Основные понятия. Теория. Методы : пер. с англ. / А. В. Шеер. 2-е изд., испр. и доп. М. : Просветитель, 1999.

9. Шеер, А. В. Моделирование бизнес-процессов : пер. с англ. / А. В. Шеер. 2-е изд., испр. и доп. М. : Серебряные нити, 2000.

M. G. Dorrer

WEIGHED PROBABILITY ESTIMATION OF THE BUSINESS PROCESS BASED ON THE FORMAL DESCRIPTION OF MARKOV CHAINS

The approach to the estimation of cost and time parameters on the basis of the business – process formal model and the collected statistics is offered. Two approaches for weighed estimation of the business process are offered: on the basis of the total time probabilities of the process period in the prescribed state and on the basis of the average number of the process periods in these conditions state. The received estimations can be applied for comparison of business process performance at procedure implementation and at consequences of business – process improvement estimation.

Key words: business process, Markov chains, weighed estimation

УДК 519.2

Н. В. Степанова, А. Ф. Терпугов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПАРТИИ ТОВАРА СКОРОПОРТЯЩЕЙСЯ ПРОДУКЦИИ

Находится оптимальный объем партии скоропортящегося товара, обеспечивающий получение максимальной прибыли.

Ключевые слова: скоропортящийся товар, прибыль, объем партии.

Постановка проблемы. Пусть имеется некоторая скоропортящаяся продукция (например, молоко, сметана, свежая рыба и т. д.), которая должна быть продана в течение торговой сессии (например, дня). Непроданный товар снимается с реализации и подлежит утилизации.

Продавец покупает (или получает от поставщика) партию товара объема Q по оптовой цене d_{opt} (это может

быть и себестоимость продукции) и продает ее по розничной цене c. Ставится задача нахождения значений Q и c, при которых средняя прибыль будет максимальной.

Результаты данной работы являются обобщением полученных ранее Е. В. Новицкой [1; 2].

Нахождение средней прибыли. Будем считать, что покупатели приобретают товар независимо друг от друга и объем покупки ξ есть случайная величина с $M\{\xi\} = a_1$ и $M\{\xi^2\} = a_2$. Для вывода формул будем считать, что даже если вся партия товара продана, то совершаются некоторые фиктивные покупки, то есть, если бы товар был, то покупатели покупали бы его.

Пусть число покупателей n фиксировано. Тогда объем спроса на товар x_n в течение торговой сессии можно представить в виде

$$x_n = \xi_1 + \xi_2 + \ldots + \xi_n.$$

Пусть нам удалось найти плотность вероятностей $p_n(x)$ величины x_n. Пусть нам также удалось найти распределение вероятностей $p(n)$ числа возможных покупок n. Если через x обозначить общий объем спроса на товар в течение торговой сессии, то плотность вероятностей $p(x)$ величины x найдется следующим образом:

$$p(x) = \sum_{n=1}^{\infty} p_n(x)p(n).$$

Представим себе, что мы нашли $p(x)$. Подсчитаем теперь среднюю прибыль продавца, если на продажу выставляется партия товара объема Q.

На покупку товара объема Q он потратил Qd_{opt} денег.

Если $x > Q$, то будет продана вся партия товара. Это произойдет с вероятностью $\int_Q^{\infty} p(x)dx$, и продавец получит Qc денег.

Если x J Q, то будет продана партия товара объема x, и продавец получит xc денег. Партия товара объема $Q - x$ останется непроданной и ее придется направить на утилизацию. Если через d_{ut} обозначить цену утилизации единицы непроданного товара, то на утилизацию придется потратить $d_{\text{ut}}(Q - x)$ денег. Средняя выручка продавца составит в этом случае величину

$$c\int_0^Q xp(x)dx - d_{\text{ut}}\int_0^Q (Q-x)p(x)dx.$$

Общая средняя прибыль продавца составит в этом случае

$$S = cQ\int_Q^{\infty} p(x)dx + c\int_0^Q xp(x)dx - \\ -d_{\text{ut}}\int_0^Q (Q-x)p(x)dx - d_{\text{opt}}Q, \tag{1}$$

или

$$S = cQ\int_Q^{\infty} p(x)dx + c\int_0^Q xp(x)dx - \\ -d_{\text{ut}}Q\int_0^Q p(x)dx + d_{\text{ut}}\int_0^Q xp(x)dx - d_{\text{opt}}Q.$$

Оптимальный объем партии товара, выставляемый на продажу, найдется из условия $S \Rightarrow \max_Q$, которое в нашем случае примет вид

$$\frac{dS}{dQ} = 0.$$

Вычисляя производные, получим

$$\frac{dS}{dQ} = c\int_Q^{\infty} p(x)dx - \\ -cQp(Q) + cQp(Q) - d_{\text{ut}}\int_0^Q p(x)dx - \\ -d_{\text{ut}}Qp(Q) + d_{\text{ut}}Qp(Q) - d_{\text{opt}} = 0,$$

или

$$c\int_Q^{\infty} p(x)dx - d_{\text{ut}}\int_0^Q p(x)dx = d_{\text{opt}}. \tag{2}$$

Но, с другой стороны,

$$\int_0^Q p(x)dx = 1 - \int_Q^{\infty} p(x)dx,$$

и поэтому уравнение (2) принимает вид

$$(c + d_{\text{ut}})\int_Q^{\infty} p(x)dx = d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}},$$

или, в явном виде,

$$\int_Q^{\infty} p(x)dx = \frac{d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}}}{c + d_{\text{ut}}}. \tag{3}$$

Это уравнение и является уравнением для определения оптимального объема выставляемой на продажу партии товара.

Заметим, что при $d_{\text{ut}} = 0$ это уравнение переходит в уравнение, полученное Е. В. Новицкой.

Таким образом, осталось найти $p(x)$.

Нахождение $p(x)$. Обозначим через $g(\omega)$ характеристическую функцию случайной величины ξ, т. е.

$$g(\omega) = M\{e^{i\omega\xi}\}.$$

Если $D\{\xi\} = a_2 - a_1^2$ есть дисперсия величины x, то для $\ln g(\omega)$ имеет место разложение [3]:

$$\ln g(\omega) = i\omega a_1 - \frac{\omega^2 D\{a\}}{2} + O(\omega^3). \tag{4}$$

Рассмотрим случай, когда число покупок $n >> 1$. Принимая во внимание те соображения, которые приводят к центральной предельной теореме, можно считать, что n является нормальной случайной величиной с $M\{n\} = m_T$ и $D\{n\} = \sigma_T^2$, а сами величины m_T и σ_T^2 при больших T асимптотически пропорциональны T.

Тогда характеристическая функция величины $x_n = \sum_{i=1}^{n} \xi_i$ есть $g^n(\omega)$, а характеристическая функция $G_x(\omega)$ величины x равна

$$G_x(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} g^n(\omega)p(n). \tag{5}$$

Учитывая асимптотическую нормальность величины n, при $T >> 1$, можно приближенно записать

$$G_x(\omega) = \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} g^z(\omega)e^{-\frac{(z-m_T)^2}{2\sigma_T^2}}dz = \\ = \frac{1}{\sigma_T\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty} e^{z\ln g(\omega)}e^{-\frac{(z-m_T)^2}{2\sigma_T^2}}dz. \tag{6}$$

Принимая во внимание формулу 3.323.2 [4]

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-ax^2+bx}dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}}\exp\left(\frac{b^2}{4a}\right)$$

и вычисляя интеграл (6), получаем

$$G_x(\omega) = \exp\left(m_T \ln g(\omega) + \frac{\sigma_T^2}{2} \ln^2 g(\omega) \right).$$

Подставляя сюда разложение (4) для $g(w)$, получим

$$G_x(\omega) = \exp\left(i\omega a_1 m_T - \frac{\omega^2}{2}(m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2) + TO(\omega^3) \right).$$

Перейдем от величины x к величине

$$\zeta = \frac{x - a_1 m_T}{\sqrt{m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2}}$$

и, используя свойства характеристических функций, получим, что

$$G_\zeta(\omega) = \exp\left(-\frac{\omega^2}{2} + TO\left(\frac{\omega^3}{(m_T D\{\xi\} + a_1^2 \sigma_T^2)^{3/2}} \right) \right).$$

Устремляя T ® Ґ, получим, что в пределе

$$\lim_{T\to\infty} G_\zeta(\omega) = \exp\left(-\frac{\omega^2}{2} \right),$$

т. е. ζ является асимптотически стандартной нормальной случайной величиной $N(0, 1)$. Поэтому при больших n и T можно приближенно считать, что x является нормальной случайной величиной с $M\{x\} = m_x = a_1 m_T$ и $D\{x\} = \sigma_x^2 = m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2$, что и дает нам явный вид $p(x)$:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2)}} \times \exp\left(-\frac{(x - a_1 m_T)^2}{2(m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2)} \right). \quad (7)$$

Это позволяет окончательно решить вопрос об оптимальном объеме Q_{opt} выставляемой на продажу партии товара. Он определится уравнением

$$\int_{Q_{\text{opt}}}^{\infty} p(x)dx = 1 - \Phi\left(\frac{Q_{\text{opt}} - a_1 m_T}{\sqrt{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}} \right) = \frac{d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}}}{c + d_{\text{ut}}},$$

где $\Phi(\cdot)$ есть функция Лапласа. Обозначая через $\Psi(\cdot)$ функцию, обратную функции $\Phi(\cdot)$, получаем окончательно

$$Q_{\text{opt}} = a_1 m_T + \sqrt{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}\,\Psi\left(1 - \frac{d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}}}{c + d_{\text{ut}}} \right). \quad (8)$$

Рассмотрим некоторые частные случаи этой формулы.

1. Пусть поток покупателей является стационарным пуассоновским потоком интенсивности l. Тогда согласно [5], $m_T = lT$, $\sigma_T^2 = \lambda T$ и формула (8) приобретает вид

$$Q_{\text{opt}} = a_1 \lambda T + \sqrt{a_2 \lambda T}\,\Psi\left(1 - \frac{d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}}}{c + d_{\text{ut}}} \right).$$

При $d_{\text{ut}} = 0$ эта формула сводится к формуле Е. В. Новицкой [1].

2. Поток покупателей является нестационарным пуассоновским потоком с интенсивностью $\lambda(t)$. Тогда, согласно [5],

$$m_T = \int_0^T \lambda(t)dt = \Lambda(T),\ \sigma_T^2 = \Lambda(T),$$

и формула (8) приобретает вид

$$Q_{\text{opt}} = a_1 \Lambda(T) + \sqrt{a_2 \Lambda(T)}\,\Psi\left(1 - \frac{d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}}}{c + d_{\text{ut}}} \right).$$

3. Поток покупателей является дважды стохастическим пуассоновским потоком, т. е. интенсивность $\lambda(t)$ этого потока является стационарным случайным процессом с $M\{\lambda(t)\} = \bar{\lambda}$ и функцией ковариации $\text{cov}(\lambda(t_1), \lambda(t_2)) = R(t_2 - t_1)$.

Тогда, при фиксированной реализации $l(t)$,

$$M\{n \mid \lambda(t)\} = \int_0^T \lambda(t)dt,$$

$$M\{n^2 \mid \lambda(t)\} = \int_0^T \lambda(t)dt + \int_0^T\int_0^T \lambda(t_1)\lambda(t_2)dt_1 dt_2.$$

Усредняя по реализациям $\lambda(t)$, получим

$$\text{M}\{n\} = m_T = \bar{\lambda}T,$$

$$\text{M}\{n\} = \bar{\lambda}T + \int_0^T\int_0^T \left(\bar{\lambda}^2 + R(t_2 - t_1) \right) dt_1 dt_2 = \bar{\lambda}T + m_T^2 + \int_0^T\int_0^T R(t_2 - t_1)\, dt_1 dt_2,$$

так что

$$\sigma_T^2 = \bar{\lambda}T + \int_0^T\int_0^T R(t_2 - t_1)\, dt_1 dt_2.$$

Последний интеграл можно преобразовать к виду

$$\int_0^T\int_0^T R(t_2 - t_1)\, dt_1 dt_2 = 2T\int_0^T \left(1 - \frac{w}{T} \right) R(w)dw.$$

При $T \to \infty$ асимптотически

$$\int_0^T\int_0^T R(t_2 - t_1)\, dt_1 dt_2 \sim 2T\int_0^\infty R(w)dw$$

и поэтому при $T \to \infty$

$$\sigma_T^2 \sim \bar{\lambda}T + 2T\int_0^\infty R(w)dw = T\left(\bar{\lambda} + 2\int_0^\infty R(w)dw \right).$$

4. Поток покупателей является рекуррентным потоком с плотностью вероятностей $p(\tau)$ интервалов времени τ между отдельными покупателями. Пусть $M\{\tau\} = \bar{\tau} = 1/\lambda$, $D\{\tau\} = \kappa_2$. Тогда согласно [6], при $T \to \infty$

$$m_T \sim \lambda T,\ \sigma_T^2 \sim \lambda^3 \kappa_2 T.$$

Таким образом, во всех рассмотренных случаях однозначно определяется оптимальный объем Q_{opt} выставляемой на продажу партии товара.

Явное выражение для средней прибыли и его оптимизация. Выпишем теперь явное выражение для средней прибыли, заменяя в интегралах вида $\int_0^Q \cdots$ нижний предел на -Ґ. Тогда выражение для $S(1)$ можно записать в виде

$$S = (c + d_{\text{ut}}) \left[Q\int_Q^\infty p(x)dx + \int_{-\infty}^Q xp(x)dx \right] - (d_{\text{opt}} + d_{\text{ut}})Q. \quad (9)$$

Для краткости введем обозначения

$$m_x = a_1 m_T,\ \sigma_x^2 = m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2.$$

Заметим, что в общем случае m_T и σ_T^2 зависят от цены продажи c, так что m_x и σ_x^2 также зависят от c.

Вычислим входящие в (9) интегралы. Имеем

$$\int_Q^\infty p(x)dx = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\int_Q^\infty e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}dx = 1-\Phi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right),$$

$$\int_{-\infty}^Q xp(x)dx = \int_{-\infty}^Q (x-m_x)\frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}dx +$$

$$+m_x\int_{-\infty}^Q \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}dx =$$

$$= \frac{\sigma_x}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{(Q-m_x)/\sigma_x} ze^{-z^2/2}dz + m_x\Phi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right) =$$

$$= m_x\Phi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right) - \sigma_x\varphi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right),$$

где

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{z^2}{2}\right).$$

Тогда выражение для S примет вид

$$S = (c+d_{\text{ut}})\times$$
$$\times\left[Q\left(1-\Phi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right)\right) + m_x\Phi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right) - \sigma_x\varphi\left(\frac{Q-m_x}{\sigma_x}\right)\right] - \quad (10)$$
$$-(d_{\text{opt}}+d_{\text{ut}})Q.$$

Так как m_x и σ_x^2 зависят от цены продажи c, то, при известной их зависимости, оптимальное значение цены продажи c находится из условия $S \Rightarrow \max\limits_c$, или $\frac{\partial S}{\partial c} = 0$.

Обозначим для краткости

$$\frac{d_{\text{opt}}+d_{\text{ut}}}{c+d_{\text{ut}}} = D(c).$$

Если поддерживать объем выставляемой на продажу партии товара на оптимальном уровне Q_{opt}, то для него будет верно соотношение

$$1-\Phi\left(\frac{Q_{\text{opt}}-m_x}{\sigma_x}\right) = D(c),$$

$$\frac{Q_{\text{opt}}-m_x}{\sigma_x} = \Psi(1-D(c)),$$

и выражение для средней прибыли приобретает несколько иной вид:

$$S = (c+d_{\text{ut}})\times$$
$$\times\left[Q_{\text{opt}}D(c) + m_x(1-D(c)) - \sigma_x\varphi(\Psi(1-D(c)))\right] -$$
$$-(d_{\text{opt}}+d_{\text{ut}})Q.$$

Подставляя сюда явное выражение для Q_{opt} и максимизируя полученное выражение по c, можно найти и оптимальную цену продажи товара.

Плотность вероятностей длительности продажи партии товара. Найдем в диффузионном приближении плотность вероятностей $p(\tau)$ длительности продажи партии товара объема Q.

Пусть продажи образуют стационарный случайный процесс. Обозначим

$$\lim_{T\to\infty}\frac{a_1m_T}{T} = m_0,\ \lim_{T\to\infty}\frac{m_T(a_2-a_1^2)+\sigma_T^2a_1^2}{T} = \sigma_0^2.$$

Тогда диффузионное приближение для процесса $x(t)$ имеет вид

$$dx(t) = m_0dt + \sigma_0dw_t, \quad (11)$$

где w_t – стандартный винеровский случайный процесс.

Обозначим через $\tau(x)$ случайное время достижения процессом $x(t)$ порогового значения Q, если в начальный момент времени t значение процесса $x(t)$ было равно x.

Введем функцию

$$g(s,x) = \mathrm{M}\{e^{-s\tau(x)}\},$$

которая есть преобразование Лапласа от плотности вероятностей величины $\tau(x)$.

Рассмотрим момент времени $t+\Delta t$. Тогда за промежуток времени Δt процесс $x(t)$ приобретет приращение Δx, и время, оставшееся до достижения процессом $x(t)$ порогового значения Q, станет равным $\tau(x+\Delta x)$. Так как время Δt уже прошло, то мы получим соотношение

$$g(s,x) = M\{e^{-s\tau(x)}\} = M\{e^{-s(\Delta t+\tau(x+\Delta x))}\} = e^{-s\Delta t}M_{\Delta x}\{g(s,x+\Delta x)\},$$

где $M_{\Delta x}$ означает усреднение по величине Δx.

Далее имеем

$$e^{-s\Delta t} = 1-s\Delta t+o(\Delta t),$$
$$g(s,x+\Delta x) = g(s,x) +$$
$$+\frac{\partial g(s,x)}{\partial x}\Delta x + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 g(s,x)}{\partial x^2}(\Delta x)^2 + \ldots.$$

Усредняя по Δx, получим

$$g(s,x) = (1-s\Delta t)\,\mathrm{M}_{\Delta x}\times$$
$$\times\left\{g(s,x) + \frac{\partial g(s,x)}{\partial x}\Delta x + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 g(s,x)}{\partial x^2}(\Delta x)^2\right\} +$$
$$+o(\Delta t) =$$
$$= (1-s\Delta t)\times$$
$$\times\left\{g(s,x) + m_0\Delta t\frac{\partial g(s,x)}{\partial x} + \frac{\sigma_0^2}{2}\frac{\partial^2 g(s,x)}{\partial x^2}\Delta t\right\} +$$
$$+o(\Delta t) =$$
$$= g(s,x) +$$
$$+\left\{-sg(s,x) + m_0\frac{\partial g(s,x)}{\partial x} + \frac{\sigma_0^2}{2}\frac{\partial^2 g(s,x)}{\partial x^2}\right\}\times$$
$$\times\Delta t + o(\Delta t).$$

Сокращая $g(s,x)$, деля на Δt, и делая предельный переход $\Delta t \to 0$, получим, что $g(s,x)$ удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению в частных производных:

$$\frac{\partial^2 g(s,x)}{\partial x^2} + \frac{2m_0}{\sigma_0^2}\frac{\partial g(s,x)}{\partial x} - \frac{2s}{\sigma_0^2}g(s,x) = 0, \quad (12)$$

которое надо решить при граничном условии $g(s,Q) = 1$ (так как $\tau(Q) = 0$).

Характеристическое уравнение

$$z^2 + 2\frac{m_0}{\sigma_0^2}z - \frac{2s}{\sigma_0^2} = 0$$

имеет корни

$$z_1(s) = \sqrt{\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}} - \frac{m_0}{\sigma_0^2} > 0,$$

$$z_2(s) = -\sqrt{\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}} - \frac{m_0}{\sigma_0^2} < 0.$$

Общее решение уравнения (12) имеет вид

$$g(s,x) = C_1(s)e^{z_1(s)x} + C_2(s)e^{z_2(s)x}.$$

При этом возникает одна тонкость: при x ® -Ґ $g(s,x)$ имеет экспоненциально нарастающее слагаемое, что не

соответствует действительности. Поэтому следует считать $C_2(s) \equiv 0$ и писать решение в виде

$$g(s,x) = C_1(s)e^{z_1(s)x}.$$

Так как $g(s,Q) = 1$, то

$$g(s,x) = e^{z_1(s)(x-Q)}.$$

Процесс продаж начинается в момент времени $t = 0$ со значения $x = 0$. Поэтому нас интересует лишь

$$g(s,0) = e^{-z_1(s)Q} = \\ = \exp\left(\frac{m_0}{\sigma_0^2}Q - Q\sqrt{\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}}\right). \quad (13)$$

Для нахождения плотности вероятностей $p(t)$ длительности продаж t надо найти обратное преобразование Лапласа от $g(s,0)$. Для этого представим его в виде

$$g(s,0) = e^{-z_1(s)Q} = \\ = \exp\left(\frac{m_0}{\sigma_0^2}Q - \sqrt{\frac{2}{\sigma_0^2}}Q\sqrt{s + \frac{m_0^2}{2\sigma_0^2}}\right). \quad (14)$$

Пользуясь свойствами преобразования Лапласа [7] и формулой (204) [7], получим явный вид $p(t)$:

$$p(t) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi\sigma_0^2}t^{3/2}}\exp\left(-\frac{m_0^2}{2\sigma_0^2 t}\left(t - \frac{Q}{m_0}\right)^2\right). \quad (15)$$

Прежде чем выписывать приближенное выражение для $p(t)$, найдем $M\{t\}$ и $\Delta\{t\}$. Имеем

$$\psi(s) = \ln g(s,0) = \frac{m_0}{\sigma_0^2}Q - Q\sqrt{\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}}.$$

Отсюда

$$\psi'(s) = -\left[\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}\right]^{-1/2}\frac{Q}{\sigma_0^2}$$

и поэтому

$$M\{t\} = -\psi'(0) = \frac{Q}{m_0} = \frac{Q}{a_1 m_T}T. \quad (16)$$

Далее,

$$\psi''(s) = \left[\frac{m_0^2}{\sigma_0^4} + \frac{2s}{\sigma_0^2}\right]^{-3/2}\frac{Q}{\sigma_0^4}$$

и поэтому

$$D\{t\} = \psi''(0) = \frac{\sigma_0^2}{m_0^3}Q = \\ = \frac{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}{a_1^3 m_T^3}Q \cdot T^2. \quad (17)$$

Рассмотрим случай, когда

$$\frac{M\{t\}}{\sqrt{D\{t\}}} = \sqrt{Q\frac{m_T a_1}{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}} >> 1.$$

В этом случае в сомножителях $t^{3/2}$ и t можно приближенно заменить t на $M\{t\}$ и тогда приближенно

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_t}\exp\left(-\frac{1}{2\sigma_t^2}\left(t - \frac{Q}{a_1 m_T}T\right)^2\right), \quad (18)$$

где

$$\sigma_t^2 = D\{t\} = \frac{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}{a_1^3 m_T^3}Q \cdot T^2,$$

т. е. приближенно длительность продажи распределена по нормальному закону

$$t \sim N\left(\frac{QT}{a_1 m_T}, \frac{m_T(a_2 - a_1^2) + \sigma_T^2 a_1^2}{a_1^3 m_T^3}QT^2\right).$$

Таким образом, найден оптимальный объем партии скоропортящегося товара, выставляемого на продажу, обеспечивающий получение максимальной прибыли. Получено уравнение для определения оптимальной розничной цены и найдена плотность вероятностей длительности продажи партии товара.

Библиографический список

1. Новицкая, Е. В. Оптимизация розничной продажи скоропортящейся продукции / Е. В. Новицкая, А. Ф. Терпугов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2004.
2. Китаева, А. В. Оптимизация продажи скоропортящейся продукции / А. В. Китаева, Е. В. Новицкая, А. Ф. Терпугов Обработка данных и управление в сложных системах. Вып. 6. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2004. С. 95–105.
3. Гнеденко, Б. В. Курс теории вероятностей / Б. В. Гнеденко М. : Наука, 1988.
4. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. М. : Физматгиз, 1963.
5. Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. М. : Наука, 1987.
6. Кокс, Д. Р. Теория восстановления / Д. Р. Кокс, В. А. Смит. М. : Сов. радио, 1967.
7. Диткин, В. А. Интегральное преобразование и операционное исчисление / В. А. Диткин, А. П. Прудников. М. : Наука, 1974.

N. V. Stepanova, A. F. Terpugov

DETERMINATION OF OPTIMAL AMOUNT OF PERISHABLE GOODS

The optimal amount of perishable goods that gives the maximum of profit is estimated.

Key words: perishable good, profit, amount of goods.

УДК 539.374

Л. В. Яхно

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕШЕНИЯ НАДАИ В РЕШЕНИЕ ПРАНДТЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДВУМЕРНОЙ ИДЕАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ

Приводится общий алгоритм преобразования точных решений системы плоской идеальной пластичности среды Мизеса с использованием принципа суперпозиции, возникающего как следствие того, что система допускает бесконечномерную группу симметрии. В качестве примера рассматривается связь между известными точными решениями: решением Прандтля для тонкого слоя, сжимаемого шероховатыми твердыми плитами, и решением Надаи для радиального распределения напряжений в пластическом клине.

Ключевые слова: симметрии, двумерная пластичность, точные решения.

Рассмотрим хорошо известную систему теории плоской идеальной пластичности с условием текучести Сен-Венана-Мизеса, записанную для функций у(x, y), и(x, y) в декартовой системе координат [1]:

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\sigma}{\partial x}-2k\left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\cos 2\theta+\frac{\partial\theta}{\partial y}\sin 2\theta\right)=0,\\&\frac{\partial\sigma}{\partial y}-2k\left(\frac{\partial\theta}{\partial x}\sin 2\theta-\frac{\partial\theta}{\partial y}\cos 2\theta\right)=0,\end{aligned}\qquad(1)$$

где $\sigma(x, y)$ –гидростатическим давление, $\theta(x, y)+\pi/4$ – угол между главным направлением тензора напряжений и осью Ox.

Система (1) является гиперболического типа, два семейства характеристик задаются следующими уравнениями:

$$\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}=\operatorname{tg}\theta,\quad \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}=-\operatorname{ctg}\theta.\qquad(2)$$

Как известно [1], система (1) линеаризуется преобразованием годографа

$$x=x(\sigma,\theta),\quad y=y(\sigma,\theta)$$

в области, где якобиан соответствующего преобразования отличен от нуля. Линеаризованная система имеет вид

$$\begin{aligned}&\frac{\partial x}{\partial\theta}-2k\left(\frac{\partial x}{\partial\sigma}\cos 2\theta+\frac{\partial y}{\partial\sigma}\sin 2\theta\right)=0,\\&\frac{\partial y}{\partial\theta}-2k\left(\frac{\partial x}{\partial\sigma}\sin 2\theta-\frac{\partial y}{\partial\sigma}\cos 2\theta\right)=0.\end{aligned}\qquad(3)$$

Ввиду линеаризуемости, система (1) допускает бесконечномерную группу точечных симметрий [2] с оператором

$$X=x_0(\sigma,\theta)\frac{\partial}{\partial x}+y_0(\sigma,\theta)\frac{\partial}{\partial y},\qquad(4)$$

где (x_0, y_0) является произвольным решением системы (3). Соответствующие точечные преобразования, переводящие любое точное решение системы (1) в решение этой же системы имеют вид

$$x'=x+ax_0(\sigma,\theta),\quad y'=y+ay_0(\sigma,\theta),\qquad(5)$$

где a – достаточно малый вещественный групповой параметр.

Рассмотрим два точных решения линейной системы (3):

$$\begin{aligned}&\chi_1=(x_1(\sigma,\theta),y_1(\sigma,\theta)),\\&\chi_2=(x_2(\sigma,\theta),y_2(\sigma,\theta))\end{aligned}\qquad(6)$$

и возьмем в качестве функций (x_0, y_0) разности

$$x_0=x_1-x_2,\quad y_0=y_1-y_2.\qquad(7)$$

Тогда в силу (5) будем иметь так называемое размноженное решение

$$\begin{aligned}x&=x'(\sigma,\theta)=x_2(\sigma,\theta)+ax_0(\sigma,\theta)=\\&=ax_1(\sigma,\theta)+(1-a)x_2(\sigma,\theta),\\y&=y'(\sigma,\theta)=y_2(\sigma,\theta)+ay_0(\sigma,\theta)=\\&=ay_1(\sigma,\theta)+(1-a)y_2(\sigma,\theta),\end{aligned}\qquad(8)$$

которое в силу линейности системы (3) задает ее решение как линейную комбинацию точных решений. Но (8) задает неявным образом решение и для системы (1). Этот принцип можно назвать принципом суперпозиции для системы плоской пластичности (1). На основе этого принципа любое точное решение системы (1) можно связать с другим точным решением.

Получаемые таким образом решения требуют, конечно, механической интерпретации, т. е. определения конкретной граничной задачи. Отметим, что соотношения (8) задают семейство решений, зависящее от параметра a.

Рассмотрим известное решение Надаи для сходящегося канала, имеющее вид [3]:

$$\begin{aligned}\sigma_r&=-2kc\ln r+k\cos 2\psi-\\&-kc\ln(c-\cos 2\psi)+A,\\\sigma_\varphi&=-2kc\ln r-k\cos 2\psi-\\&-kc\ln(c-\cos 2\psi)+A,\\\tau_{r\varphi}&=k\sin 2\psi,\quad \sigma_r-\sigma_\psi=\\&=2k\cos 2\psi>0,\end{aligned}\qquad(9)$$

где σ_r, σ_φ, $\tau_{r\varphi}$ – компоненты тензора напряжений в полярной системе координат (r, φ). Для угла ψ выполняются соотношения

$$\varphi=\int_0^\psi\frac{\cos 2\psi}{c-\cos 2\psi}d\psi,\ \varphi'=\frac{c-\cos 2\psi}{\cos 2\psi},\ c>1.\qquad(10)$$

Здесь постоянная c связана с углом раствора канала 2б следующим образом:

$$\begin{aligned}&\alpha+\frac{\pi}{4}=\frac{c}{\sqrt{c^2-1}}\operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c+1}{c-1}}\right\},\\&\alpha\in\left(0,\frac{\pi}{2}\right),\end{aligned}\qquad(11)$$

а k является постоянной пластичности. Интегрируя (10), получаем неявную зависимость между полярным углом φ и углом ψ:

$$\varphi=-\psi+\frac{c}{\sqrt{c^2-1}}\operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c+1}{c-1}}\operatorname{tg}\psi\right\}.\qquad(12)$$

Условие на константу c необходимо для сходимости интеграла (10), константа A произвольная. Данное решение описывает напряженное состояние в клиновидной области, в котором границы клина являются огибающими линий скольжения.

Запишем решение (9)– (12) в терминах функций σ и θ системы (1), пользуясь формулами связи компонент девиатора напряжений в полярной и декартовой системах координат [4]:

$$s_r = -s_\varphi = -k\sin 2\theta\cos 2\varphi + \\ +k\cos 2\theta\sin 2\varphi = k\sin 2(\varphi-\theta), \qquad (13)$$
$$\tau_{r\varphi} = k\cos 2(\varphi-\theta).$$

Таким образом, в декартовой системе координат решение (9) для системы (1) имеет вид

$$\sigma = \frac{\sigma_r+\sigma_\varphi}{2} = \\ = -kc\left[\ln(x^2+y^2)+\ln(c-\cos 2\psi)\right]+A, \qquad (14)$$
$$\theta = \varphi - \frac{1}{2}\arccos\frac{\tau_{r\varphi}}{k} = \varphi+\psi-\frac{\pi}{4}.$$

Из (12) находится выражение для φ + ψ, и с учетом второго соотношения из (14) будем иметь:

$$\varphi+\psi = \theta+\frac{\pi}{4} = \\ = \frac{c}{\sqrt{c^2-1}}\operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c+1}{c-1}}\operatorname{tg}\psi\right\} \Rightarrow \qquad (15)$$
$$\psi = \operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c-1}{c+1}}\operatorname{tg}\frac{\sqrt{c^2-1}}{c}\left(\theta+\frac{\pi}{4}\right)\right\}.$$

Кроме того, имеем

$$\cos 2\psi = \cos\left(2\theta-2\varphi+\frac{\pi}{2}\right) = \sin(2\varphi-2\theta),$$

и тогда решение Надаи для сходящегося канала в терминах y и и принимает вид

$$\sigma = -kc\left[\ln(x^2+y^2)+\ln\left\{c+\sin\left(2\theta-2\operatorname{arctg}\frac{y}{x}\right)\right\}\right]+A, \\ \theta = \operatorname{arctg}\frac{y}{x}-\frac{\pi}{4}+\operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c-1}{c+1}}\operatorname{tg}\frac{\sqrt{c^2-1}}{c}\left(\theta+\frac{\pi}{4}\right)\right\}. \qquad (16)$$

Граничные условия для решения (16) следующие. Канал образован прямыми φ = ±α, вдоль которых (берем только верхнюю прямую L: φ = α)

$$\psi = \frac{\pi}{4}, \quad \tau_{r\varphi} = k,$$

тогда

$$\theta|_L = \alpha, \\ \sigma|_L = -kc\ln(x^2+y^2)+A. \qquad (17)$$

Теперь запишем решение Надаи для линеаризованной системы пластичности, т.е. выразим x и y из(16):

$$x_N = \pm e^{-\frac{\sigma-A}{2kc}}/S(\theta), \quad y_N = \pm x_N T, \\ T = \operatorname{tg}\left[\theta+\frac{\pi}{4}-\operatorname{arctg}\left\{\sqrt{\frac{c-1}{c+1}}\operatorname{tg}\frac{\sqrt{c^2-1}}{c}\left(\theta+\frac{\pi}{4}\right)\right\}\right], \qquad (18) \\ S(\theta) = \sqrt{c+cT^2+(1-T^2)\sin 2\theta-2T\cos 2\theta},$$

здесь индекс N указывает, что это решение A. Nadai. Теперь достаточно просто построить линии скольжения, полагая в (18)

$$\sigma = 2k(C_1-\theta), \quad \sigma = 2k(C_2+\theta) \qquad (19)$$

и беря и в качестве параметра (рис. 1). При этом параметр и принимает значения от –α – π/2 до α.

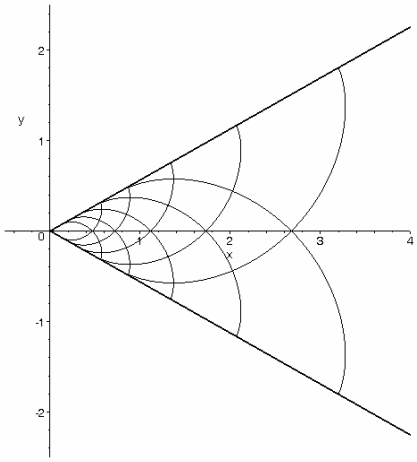


Рис. 1. Линии скольжения решения Надаи для сходящегося канала

Рассмотрим решение Прандтля

$$\sigma = -p_1 - k\frac{x}{h}+k\sqrt{1-\frac{y^2}{h^2}}, \qquad (20) \\ y = h\cos 2\theta,$$

описывающее сжатие тонкого слоя параллельными плоскими шероховатыми плитами. Здесь $2h$ = const является шириной слоя, $-p_1$ = const является значением гидростатического давление при $x = 0$. Граничные условия выражаются формулами (берем только верхнюю границу $y = h$)

$$\theta|_{y=h} = 0, \quad \sigma|_{y=h} = -p_1 - k\frac{x}{h}.$$

Соответствующее решение линеаризованной системы (3) имеет вид (индекс P)

$$x_P = -\sigma\frac{h}{k} - p_1\frac{h}{k} - h\sin 2\theta, \qquad (21) \\ y_P = h\cos 2\theta.$$

Уравнения линий скольжения получаются из (21) заменой (19). Для решения Прандтля соответствующие характеристики изображены на рис. 2.

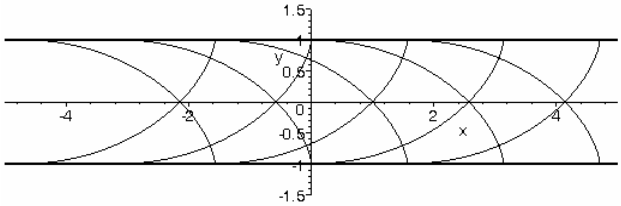


Рис. 2. Линии скольжения решения Прандтля для сжимаемого слоя

Размноженное решение (8), получаемое из принципа суперпозиции решений (18) и (21) имеет вид

$$x = ax_N + (1-a)x_P, \\ y = ay_N - (1-a)y_P. \qquad (22)$$

Для построения огибающих линий скольжения для размноженного решения (22) производим замену (19) и используем необходимое условие существования огибающей семейства кривых

$$x = x(\theta, C_i), \quad y = y(\theta, C_i),$$

выражаемое равенством

$$\frac{\partial x}{\partial C_i}\frac{\partial y}{\partial \theta} - \frac{\partial y}{\partial C_i}\frac{\partial x}{\partial \theta} = 0, \quad i = 1, 2,$$

которое в силу (2) дает два уравнения для значений C_1 первого и C_2 второго семейств характеристик:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial x}{\partial C_1} - \frac{\partial y}{\partial C_1}\operatorname{ctg}\theta = 0, \\ &\frac{\partial x}{\partial C_2} + \frac{\partial y}{\partial C_2}\operatorname{tg}\theta = 0. \end{aligned} \tag{23}$$

Решая (23), получим

$$\begin{aligned} C_1 &= -\theta + \frac{A}{2k} - c\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1-T\operatorname{ctg}\theta}\right), \\ C_2 &= \theta + \frac{A}{2k} - c\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1+T\operatorname{tg}\theta}\right), \\ &a \neq 0,1. \end{aligned} \tag{24}$$

Подставляя (24) в уравнения характеристик, получим уравнения огибающих:

$$\Gamma_1 : \begin{cases} x_{C_1} = -(1-a)h \times \\ \times\left(\sin 2\theta - 2c\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1-T\operatorname{ctg}\theta}\right)\right) - \\ -\frac{2(1-a)hc}{1-T\operatorname{ctg}\theta} - \frac{(1-a)h}{k}(A + p_1), \\ y_{C_1} = (1-a)h\cos 2\theta - \\ -\frac{2(1-a)hc}{1-T\operatorname{ctg}\theta}T, \quad \theta \in (0, \alpha); \end{cases} \tag{25}$$

$$\Gamma_2 : \begin{cases} x_{C_2} = -(1-a)h \times \\ \times\left(\sin 2\theta - 2c\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1+T\operatorname{tg}\theta}\right)\right) - \\ -\frac{2(1-a)hc}{1+T\operatorname{tg}\theta} - \frac{(1-a)h}{k}(A + p_1), \\ y_{C_2} = (1-a)h\cos 2\theta - \frac{2(1-a)hc}{1+T\operatorname{tg}\theta}T, \\ \theta \in \left(-\alpha - \frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2}\right); \end{cases} \tag{26}$$

Можно заметить, что огибающая Γ_1 переходит в огибающую Γ_2 при замене θ на $-\pi/2 - \theta$.

Таким образом, размноженное решение (22) при $a \neq 0$, 1 является новым точным решением в замкнутой форме уравнений (3), а значит, задает в неявной форме точное решение исходной системы (1); описывает напряженное состояние слоя с границами (25), (26) (рис. 3) и имеет следующие граничные условия заданные параметрически:

$$\begin{aligned} &\sigma|_{\Gamma_1} = A - 2kc\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1-T\operatorname{ctg}\theta}\right), \\ &x = x_{C_1}(\theta), \quad y = y_{C_1}(\theta), \quad \theta \in (0, \alpha); \\ &\sigma|_{\Gamma_2} = A - 2kc\ln\left(-2hc\frac{1-a}{a}\frac{S(\theta)}{1+T\operatorname{tg}\theta}\right), \\ &x = x_{C_2}(\theta), \quad y = y_{C_2}(\theta), \quad \theta \in \left(-\frac{\pi}{2} - \alpha, -\frac{\pi}{2}\right). \end{aligned} \tag{27}$$

При $a = 0$ решение (22) совпадает с решением Прандля, при $a = 1$ – с решением Надаи.

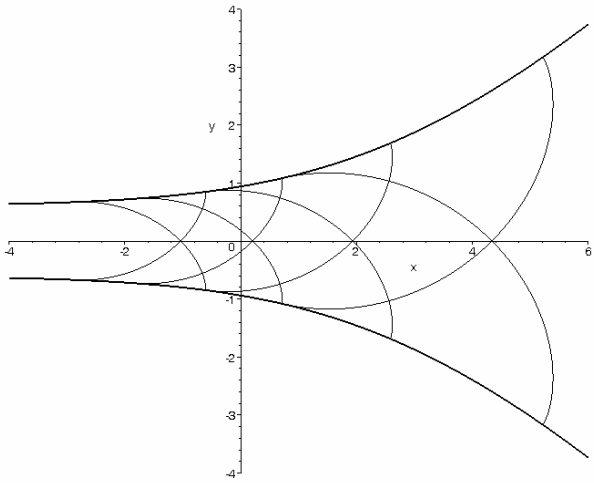


Рис. 3. Линии скольжения размноженного решения

Библиографический список

1. Качанов, Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. М. : Наука, 1969.

2. Senashov, S. I. Symmetries and conservation laws of 2-dimensional ideal plasticity / S. I. Senashov, A. M. Vinogradov // Proc. Edinburgh Math. Soc. (2). 1988. V. 3. № 3. C. 415–439.

3. Hill, R. The mathematical theory of plasticity / R. Hill. Oxford : Calderon press. 1950.

4. Соколовский, В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. М. : Высш. шк., 1969.

L. V. Yakhno

SOLUTIONS TRANSFORMATION OF NADAI AND PRANDTL FOR THE PLANE IDEAL PLASTICITY SYSTEM

A general algorithm of transformation of the exact solutions for the plane ideal plasticity system with Mises yielding criterion by means of superposition principle is proposed. This principle is a result of infinite-dimensional symmetry group admitted by the system. As an example, the relation of Nadai solution for the converging channel and Prandtl solution for compression of a block between perfectly rough plates is considered.

Keywords: symmetries, plane plasticity, exact solutions.

УДК 517.958, 550.31, 551.16

Ю. М. Григорьев, О. Е. Скрябина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО ЯДЕР ЗЕМЛИ

На основе кинематического подхода разработана плоская математическая модель приливных деформаций Земли с учетом наличия внутреннего твердого ядра. Разработан метод малого параметра для решения получаемых в модели краевых задач. При решении краевых задач для двусвязной области, получаемых в модели, использовано комплексное представление общего решения системы Стокса. Модель описывает явления дифференциального вращения внутреннего ядра Земли.

Ключевые слова: математическая модель, приливная деформация, ядро Земли, дифференциальное вращение.

Введение. Изучение динамики внутренних масс Земли может осуществляться несколькими способами. Первый способ основан на обработке сейсмических данных. Современные представления о структуре Земли (кора, мантия, жидкое ядро, твердое ядро) получены именно таким образом [1]. Этим способом получено и наиболее значимое в динамике геосфер открытие последнего времени, заключающегося в том, что внутреннее ядро имеет скорость вращения несколько большую, чем Земля в целом, т. е. имеет место так называемый восточный дрейф ядра [2]. Второй способ изучения осуществляется с помощью лабораторных экспериментов. Так, в Институте горного дела СО РАН (Новосибирск) на плоской и трехмерной математических моделях показана справедливость гипотезы существования переноса внутренних масс для случая однородной Земли. Имеются экспериментальные данные о том, что в зависимости от параметров материала и области возможен как западный (скорость вращения ядра немного меньше скорости вращения Земли), так и восточный (скорость ядра немного больше скорости Земли) дрейф ядра [3].

Третий способ основан на построении математических моделей [4; 5]. Представляется, что все три указанных способа изучения динамики внутренних масс Земли взаимно дополняют друг друга.

В литературе наблюдается широкий разброс значений скорости дифференциального вращения ядра Земли, полученных из сейсмологических данных [6]: от 0,2 до 3 градусов в год с восточным направлением [7; 8], причем в последних работах наблюдается тенденция уменьшения этой величины [9; 10; 11]. Разработана математическая модель планеты, подверженной приливных деформациям, состоящей из двух твердых тел – ядра и оболочки, между которыми находится сферический слой вязкой несжимаемой жидкости [5]. Получено значение средней угловой скорости вращения ядра относительно оболочки в восточном направлении 0,38 минуты в год. Проведена оценка эффектов приливного переноса внутренних масс Земли без учета наличия внутреннего твердого ядра [4].

Постановка задачи. Ставилась задача оценить эффекты переноса масс в ядре Земли приливными волнами. Остальные существенные факторы процесса деформирования Земли (температура, неоднородность мантии и др.) не учитывались.

При построении математической модели представим Землю в виде тонкой оболочки, заполненной вязкой несжимаемой жидкостью (жидкое ядро); имеется также твердое внутреннее ядро. Для описания движения масс жидкого ядра при достаточно малых высотах приливной волны и малой скорости движения можно ограничиться ползущим приближением, тогда уравнение Навье-Стокса линеаризуется и сводится к системе Стокса:

$$\mu\Delta\mathbf{v} - \nabla p = 0,\ \nabla\mathbf{v} = 0\,, \qquad (1)$$

где $\mathbf{v}(\mathbf{r})$ – вектор скорости, $p(\mathbf{r})$ – давление, μ – динамический коэффициент вязкости.

Применим следующий кинематический подход [12]: заранее зададим форму деформируемого тела и граничные скорости, имитирующие движение приливной волны. Для простоты будем считать, что возмущающая масса только одна (в данном случае ею является Луна), и она лежит в экваториальной плоскости Земли. При таких предположениях для упрощения используемых методов можно применять плоскую модель. Правомерность применения плоской модели объясняется тем, что из-за физических условий и симметрии задачи не должно происходить переноса вещества через экваториальную плоскость. Следовательно, явление можно промоделировать только на экваториальной плоскости, причем в условиях плоской деформации. Хотя плоские модели дают только качественные результаты, но для случая однородной Земли они совпадают с полученными экспериментальными лабораторными данными [4].

Форму оболочки в кинематической модели выберем в виде эллипса с малым эксцентриситетом. Форму внутреннего ядра возьмем в виде окружности. На внешней границе (эллипсе) заранее задается граничная скорость, имитирующая направленное движение приливной волны, на внутренней границе жидкость–твердое ядро задаем условие полного прилипания.

Таким образом, в рамках принятой выше кинематической постановки необходимо решить первую краевую задачу для системы Стокса внутри эллипса с круговым отверстием:

$$\begin{cases} \mu\nabla\mathbf{v} - \nabla p = 0,\ \nabla\mathbf{v} = 0, \\ v_r = \mathrm{const}, \quad v_n = 0. \end{cases} \qquad (2)$$

На внутренней границе (окружности) задается постоянная касательная скорость, которая является заранее неизвестной угловой скоростью вращения внутреннего ядра Земли. Метод определения этой скорости будет рассмотрен ниже.

Поставленная задача решается методом малого параметра. Естественным малым параметром является эксцентриситет эллипса. После решения краевой задачи можно оценить реально наблюдаемые эффекты.

Геометрия метода малого параметра. Для системы Стокса рассмотрим плоскую задачу в двусвязной области S, ограниченной изнутри окружностью L_1 радиуса R_1, снаружи – эллипсом L_2. Уравнение внешней границы L_2 запишем в полярных координатах r и ϑ:

$$r = \frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon^2\cos^2\vartheta}},\ \ \varepsilon^2 = 1-\frac{b^2}{a^2},\ a>b. \qquad (3)$$

Граничное поле скоростей в принятой кинематической постановке имеет следующий вид:

$$\begin{cases} v_r = \omega R_1 = \text{const},\ v_n = 0,\ \mathbf{r}\in L_1, \\ v_r = v_0 = \text{const},\ \ v_n = 0,\ \mathbf{r}\in L_2, \end{cases} \qquad (4)$$

где v_r, v_n – соответственно касательная и нормальная компоненты скорости, ω – заранее неизвестная угловая скорость вращения внутреннего твердого ядра.

Рассмотрим часть области S (рис. 1), в которой a – большая полуось эллипса, b – малая полуось эллипса, R_1 – радиус внутренней границы, R_2 – внешний радиус, равный большой оси; угол ϑ является полярным углом; угол ϑ_1 образован нормалью к внешнему эллипсу; $\vartheta^* = \vartheta_1 - \vartheta$ – угол между нормалью и полярным радиусом $\boldsymbol{r}$; $\boldsymbol{\tau}$, $\boldsymbol{n}$ – орты касательной и нормали; $\mathbf{n}_r$, $\mathbf{n}_\vartheta$ – орты полярной системы координат.

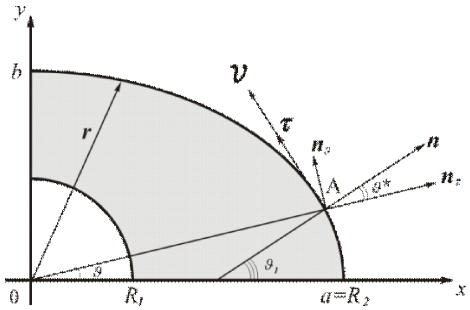


Рис. 1. Геометрия области

Проектируя граничную скорость v_0 на внешней границе L_2, которая направлена вдоль $\boldsymbol{\tau}$, на направления $\mathbf{n}_r$ и $\mathbf{n}_\vartheta$, напишем граничные условия (2.2) в полярных координатах:

$$v_r\,|_{r=R_2} = -v_0\sin\vartheta^*,\ v_\vartheta\,|_{r=R_2} = v_0\cos\vartheta^*. \qquad (5)$$

Для решения первой краевой задачи для системы Стокса в области S с граничным полем скоростей (5) применим метод малого параметра. Естественным малым параметром λ поставленной задачи является эксцентриситет эллипса ε:

$$\lambda = \frac{\varepsilon^2}{2}.$$

Следуя [13], разложим уравнение внешней границы в ряд по степеням λ:

$$r = \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n r_n(\vartheta) = r_0 + \lambda\bar{r},\ \ \bar{r} = \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n r_{n+1}(\vartheta). \qquad (6)$$

Если взять $r_0 = R_2$, то

$$\begin{gathered} r_0 = R_2,\ r_1(\vartheta) = -r_0\sin^2\vartheta, \\ r_2(\vartheta) = -\frac{1}{2}r_0\sin^2\vartheta(1+3\cos^2\vartheta)... \end{gathered} \qquad (7)$$

Для угла ϑ_1 справедливы соотношения

$$\cos\vartheta_1 = \frac{dy}{ds},\ \ \sin\vartheta_1 = -\frac{dx}{ds}. \qquad (8)$$

где ds – дифференциал дуги. Если уравнение границы записать в виде $x = x(\vartheta)$ и $y = y(\vartheta)$, то

$$\cos\vartheta_1 = \frac{y'}{\sqrt{x'^2+y'^2}},\ \ \sin\vartheta_1 = -\frac{x'}{\sqrt{x'^2+y'^2}}, \qquad (9)$$

где штрих означает дифференцирование по ϑ. Согласно (6) можно записать

$$\begin{gathered} x = (r_0+\lambda\bar{r})\cos\vartheta, \\ y = (r_0+\lambda\bar{r})\sin\vartheta, \\ x' = -(r_0+\lambda\bar{r})\sin\vartheta + \lambda\bar{r}'\cos\vartheta, \\ y' = (r_0+\lambda\bar{r})\cos\vartheta + \lambda\bar{r}'\sin\vartheta. \end{gathered} \qquad (10)$$

Учитывая, что

$$\begin{gathered} \cos\vartheta^* = \cos(\vartheta_1-\vartheta) = \\ = \cos\vartheta_1\cos\vartheta + \sin\vartheta_1\sin\vartheta, \\ \sin\vartheta^* = \sin(\vartheta_1-\vartheta) = \text{s} \\ = \text{in}\,\vartheta_1\sin\vartheta - \cos\vartheta_1\cos\vartheta, \end{gathered} \qquad (11)$$

из (11), (9), (10) получим

$$\begin{gathered} \cos\vartheta^* = \frac{r_0+\lambda\bar{r}}{\sqrt{(r_0+\lambda\bar{r})^2+(\lambda\bar{r}')^2}}, \\ \sin\vartheta^* = -\frac{\lambda\bar{r}'}{\sqrt{(r_0+\lambda\bar{r})^2+(\lambda\bar{r}')^2}}. \end{gathered} \qquad (12)$$

Теперь можно выписать разложения

$$\begin{gathered} \cos\vartheta^* = 1+\lambda C_1+\lambda^2 C_2+..., \\ \sin\vartheta^* = 1+\lambda S_1+\lambda^2 S_2+... \end{gathered} \qquad (13)$$

где

$$\begin{gathered} C_1 = 0,\ C_2 = -\frac{1}{2}\sin^2 2\vartheta,\ ...,\ S_1 = \sin 2\vartheta, \\ S_2 = 4\cos^3\vartheta\sin\vartheta,\ ... . \end{gathered} \qquad (14)$$

Метод малого параметра. Суть метода малого параметра заключается в том, что решение задачи (2) ищем в следующем виде:

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}) = \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n\mathbf{v}^{(n)}(\mathbf{r}),$$

или

$$\begin{gathered} v_r(r,\vartheta) = \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_r^{(n)}(r,\vartheta), \\ v_\vartheta(r,\vartheta) = \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_\vartheta^{(n)}(r,\vartheta). \end{gathered} \qquad (15)$$

Подставим (15) в граничное условие на внешней границе (эллипсе) (5) с учетом (6):

$$\begin{gathered} \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta) = -v_0\sin\vartheta^*, \\ \sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_\vartheta^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta) = -v_0\cos\vartheta^*. \end{gathered} \qquad (16)$$

В формуле (16) разложение правых частей получается с помощью (13). Теперь найдем разложения левых частей (16) в ряды по степеням λ:

$$\begin{gathered} v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta) = \\ = v_r^{(n)}(r_0,\vartheta) + \lambda\frac{\partial v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta)}{\partial\lambda}\Big|_{\lambda=0} + \\ + \frac{\lambda^2}{2}\frac{\partial^2 v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta)}{\partial\lambda^2}\Big|_{\lambda=0} + ... \end{gathered} \qquad (17)$$

Используя (6), найдем коэффициенты этого ряда:

$$\frac{\partial v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta)}{\partial\lambda}|_{\lambda=0}=$$
$$=\left(\frac{\partial v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial\lambda}\right)|_{\lambda=0}= \qquad (18)$$
$$=\frac{\partial v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial r}|_{r=r_0}\ r_1(\vartheta),$$
$$\frac{\partial^2 v_r^{(n)}(r_0+\lambda\bar{r},\vartheta)}{\partial^2\lambda}|_{\lambda=0}=$$
$$=\left[\frac{\partial^2 v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial^2 r}\left(\frac{\partial r}{\partial\lambda}\right)^2+\frac{\partial v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial r}\frac{\partial^2 r}{\partial^2\lambda}\right]|_{\lambda=0}=$$
$$\frac{\partial^2 v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial^2 r}|_{r=r_0}\ r_1^2(\vartheta)+\frac{\partial v_r^{(n)}(r,\vartheta)}{\partial r}|_{r=r_0}\ 2r_2(\vartheta).$$

Подставляя в граничные условия (5) разложения (13) и (17) с учетом (18) и приравнивая выражения при одинаковых степенях λ, получаем систему «зацепляющихся» граничных условий для поправок $\mathbf{v}^{(n)}$. Таким образом, краевые условия на эллипсе сводятся к краевым условиям на границе $r_0=R_2$. Ограничимся первым порядком приближения и выпишем эти условия:

$$v_r^{(0)}=0, v_\vartheta^{(0)}=v_0; v_r^{(1)}=$$
$$=-v_0S_1-r_1(\vartheta)\frac{\partial v_r^{(0)}}{\partial r}, \qquad (19)$$
$$v_\vartheta^{(1)}=-r_1(\vartheta)\frac{\partial v_\vartheta^{(0)}}{\partial r}.$$

В силу линейности задачи каждая поправка $\mathbf{v}^{(n)}$ также удовлетворяет системе Стокса, а граничное условие для него вычисляется из предыдущих поправок и задается на окружности радиуса $r=R_2$. Таким образом, последовательно решая ряд краевых задач для системы Стокса внутри кругового кольца радиусом R_2 и внутренним R_1, мы можем найти решение в виде рядов (3.1). Когда параметр λ достаточно мал, следует ожидать достаточно быструю сходимость этих рядов.

Запишем теперь краевые условия на внутренней границе L_1 (окружности):

$$\begin{cases} v_{r|r=R_1}=\sum\limits_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_r^{(n)}(R_1,\vartheta)=0, \\ v_{\vartheta|r=R_1}=\sum\limits_{n=0}^{\infty}\lambda^n v_\vartheta^{(n)}(R_1,\vartheta)=\omega R_1. \end{cases}$$

Отсюда получаем следующее:

$$\begin{cases} v_r^{(n)}|_{r=R_1}=0,\ n=\overline{0,\infty}, \\ v_\vartheta^{(0)}|_{r=R_1}=\omega R_1,\ n=0, \\ v_\vartheta^{(n)}|_{r=R_1}=0,\ n\ge 1. \end{cases} \qquad (20)$$

Таким образом, для решения исходной задачи с граничным полем скоростей вида (5) получен ряд краевых задач для кругового кольца с внутренним радиусом R_1, внешним – R_2 и с краевыми условиями (19) и (20).

Решение краевых задач методом комплексных функций. Для решения краевых задач для системы Стокса внутри кругового кольца, возникающих в методе малого параметра, применим метод комплексных функций. В [14] показано, что в плоском случае кватернионное представление общего решения системы Стокса переходит в комплексное, выраженное через две аналитические функции $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ комплексного переменного $z=x+iy$:

$$\mu(u+iv)=\varphi(z)-z\overline{\psi'(z)}+\overline{\psi(z)}, \qquad (21)$$

где u и v – декартовы компоненты скорости. Такое представление аналогично формулам Колосова–Мусхелишвили из теории упругости.

Согласно методу малого параметра в нулевом приближении необходимо решить следующую краевую задачу для системы Стокса в круговом кольце:

$$\begin{cases} \nabla\mathbf{v}^{(0)}=0,\quad \nabla p-\mu\Delta\mathbf{v}^{(0)}=0, \\ v_r^{(0)}|_{r=R_1}=0,\quad v_\vartheta^{(0)}|_{r=R_1}=\omega R_1, \\ v_r^{(0)}|_{r=R_2}=0,\quad v_\vartheta^{(0)}|_{r=R_2}=v_0, \end{cases} \qquad (22)$$

где $v_0=\text{const}$ – граничная скорость, имитирующая движение приливной волны.

Решение задачи (22) известно [15] и имеет следующий вид:

$$v_r=0,$$
$$v_\vartheta=\frac{-r^2R_2v_0+R_1^2\left[(r^2-R_2^2)\omega+R_2v_0\right]}{r(R_1^2-R_2^2)}. \qquad (23)$$

Задача (22) решена также с помощью комплексного представления (21), при этом комплексные потенциалы имеют вид:

$$\varphi(z)=iz\frac{R_1^2\omega-R_2v_0}{2(R_1^2-R_2^2)},$$
$$\psi(z)=\frac{1}{z}\frac{iR_1^2R_2}{R_1^2-R_2^2}(R_2\omega-v_0). \qquad (24)$$

Если потенциалы (24) подставить в формулу (21), то после перехода к полярным координатам, получим поле скоростей вида (23).

Согласно методу малого параметра, используя (23) для решения исходной задачи в первом приближении, необходимо решить следующую краевую задачу для системы Стокса в круговом кольце:

$$\begin{cases} \nabla\mathbf{v}^{(1)}=0, \\ \nabla p-\mu\Delta\mathbf{v}^{(1)}=0, \\ v_r^{(1)}|_{r=R_1}=0, \\ v_\vartheta^{(1)}|_{r=R_1}=0, \\ v_r^{(1)}|_{r=R_2}=-v_0\sin 2\vartheta, \\ v_\vartheta^{(1)}|_{r=R_2}=\sin^2\vartheta\dfrac{v_0(R_1^2+R_2^2)-2R_1^2R_2\omega}{R_2^2-R_1^2}. \end{cases} \qquad (25)$$

Введенные в (21) аналитические функции $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ ищутся в виде разложений Лорана с учетом их многозначности в двусвязной области. Коэффициенты ряда находят из систем линейных алгебраических уравнений, получаемых из краевых условий. В первом порядке приближения комплексные потенциалы получены в следующем виде:

$$\varphi(z)=a_{-1}\frac{1}{z}+a_1z+a_3z^3,$$
$$\psi(z)=b_{-3}\frac{1}{z^3}+b_{-1}\frac{1}{z}+b_1z, \qquad (26)$$

где $a_1, a_{-1}, a_3, b_{-3}, b_{-1}, b_1$ – выражены через коэффициенты разложения в комплексный ряд Фурье краевых условий из (25).

Полученные комплексные потенциалы $\varphi(z)$ и $\psi(z)$ подставляем в выражение (21), затем, отделяя реальную и мнимую части полученного выражения, получаем декартовы компоненты искомого поля скоростей $\mathbf{v}^{(1)}$, в ко-

рисунков нету-
файл испорчен

торых как параметр входит неизвестная заранее угловая скорость вращения внутреннего ядра. Ввиду громоздкости полученных выражений здесь они не приведены.

Метод определения угловой скорости движения внутреннего ядра. Угловая скорость движения твердого внутреннего ядра определяется из условия стационарности движения нашей системы, которая заключается в следующем: суммарный момент всех сил **M**, приложенных к ядру, должен быть равен нулю. Это условие выразим через тензор вязких напряжений $\sigma_{r\vartheta}$ следующим образом:

$$\mathbf{M} = \oint_{L_1} \mathbf{r} \times (\sigma_{r\vartheta} \mathbf{n}_\vartheta) dl = \mathbf{k} R_1 \oint_{L_1} \sigma_{r\vartheta} dl = 0 . \qquad (27)$$

В свою очередь, тензор вязких напряжений можно выразить через тензор скоростей деформации ε, зависящий только от угловой скорости ядра ω:

$$\sigma_{r\vartheta} = 2\mu\varepsilon_{r\vartheta} = \\ = \mu\left[\frac{1}{r}\frac{\partial v_r(\omega)}{\partial\vartheta} + \frac{\partial v_\vartheta(\omega)}{\partial r} - \frac{v_\vartheta(\omega)}{r}\right]. \qquad (28)$$

Подставляя уравнение (28) в (27) и интегрируя по полярной координате $d\vartheta$, мы получаем уравнение с одной неизвестной щ:

$$\frac{2\pi R_1 R_2^2}{(R_1^2 - R_2^2)^2} \times \\ \times \left\{ \begin{matrix} R_1^2\left[\omega_0(\lambda-2) - 2\omega(\lambda-1)\right] + \\ + R_2^2\left[-2\omega + \omega_0(\lambda+2)\right] \end{matrix} \right\} = 0, \qquad (29)$$

где ω_0 – угловая скорость вращения внешней границы.

Из (29), как и следовало ожидать, в нулевом приближении угловая скорость ядра равна внешней угловой скорости ω_0, т. к. имеем задачу о вращении кругового кольца как жесткого целого, т. е.

$$\omega_0 = v_0 / R_2,$$

где $v_0 = \text{const}$ – скорость на внешней границе (эллипсе), R_2 – внешний радиус кольца, в котором решаются краевые задачи (большая полуось эллипса).

Решая алгебраическое уравнение (29), находим угловую скорость внутреннего ядра в виде:

$$\omega = \omega_0 \frac{R_1^2(\lambda-2) + R_2^2(\lambda+2)}{2(R_2^2 + R_1^2(\lambda-1))} . \qquad (30)$$

Численные расчеты. После определения поля скоростей ставится задача нахождения траекторий частиц жидкости. Для этого необходимо решить задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

Приведем траектории частиц жидкости после одного полного оборота внешней частицы λ = 0,08; a = 3, b = 2,598 (рис. 2); покажем также положения частиц, находившихся на большой полуоси y = 0 в момент времени t = 0, после 30 оборотов внешней частицы λ = 0,08; a = 3, b = 2,598 (рис. 3).

Следует прокомментировать переход от кинематической модели к реальной ситуации с приливными деформациями. В кинематической модели наблюдатель находится на вершине приливной волны. Он видит неподвижную область в виде эллипса, граничные точки которого плывут с постоянной скоростью (рис. 2). Реальный наблюдатель движется вместе с границей. С точки зрения этого наблюдателя движение приливной волны – это движение волны деформации по неподвижному кругу. Когда волна подходит к нему, он совершает вертикальное колебание. Один оборот внешней точки в кинематической постановке соответствует одному обороту приливной волны. Картина, видимая наблюдателю, будет более наглядной, если следить за концами траекторий частиц, которые в начальный момент времени (в кинематической постановке) находились на одном радиусе. Реальный наблюдатель, который в начальный момент времени находился на вершине приливной волны, увидеть эффект переноса внутренних масс под действием приливной волны после ее оборотов (рис. 3).

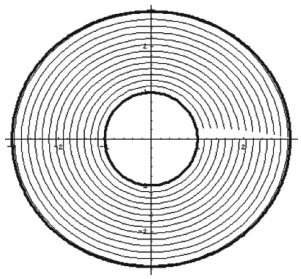


Рис. 2

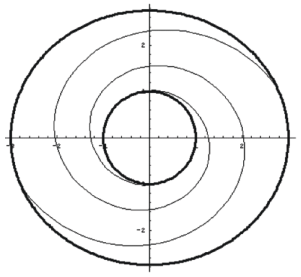


Рис. 3

Оценим скорость вращения внутреннего твердого ядра Земли. Для этого разложим выражение (30) по малому параметру λ (до первого порядка):

$$\omega = \omega_0\left(1 + \frac{\lambda}{2}\right). \qquad (31)$$

Высота приливной волны для реальной Земли составляет 0,5 м, но так как областью нашего исследования является жидкое ядро с твердым внутренним ядром, берем высоту порядка 0,2...0,25 м. Тогда малый параметр λ получается порядка 10^{-7}. Согласно формуле (31) получаем, что опережение внутреннего твердого ядра составляет 0,39 минуты в год. Эта цифра хорошо согласуется с оценкой из [5], полученной другим, более сложным методом.

Таким образом, на основе кинематического подхода разработана плоская математическая модель приливных деформаций Земли с учетом наличия внутреннего твердого ядра. Разработан метод малого параметра для решения получаемых в модели краевых задач. Получена аналитическая формула для оценки величины угловой скорости вращения твердого внутреннего ядра Земли до первого порядка приближения. На основании результатов можно утверждать, что основной причиной дифференциального вращения внутреннего твердого ядра Земли с восточным дрейфом являются приливные деформации Земли. Получена оценка восточного дрейфа твердого ядра, которая составила 0,39 минуты в год.

Библиографический список

1. Ботт, М. Внутреннее строение Земли / М. Ботт. М. : Мир, 1974.
2. Song, X. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core / X Song, P. G. Richards // Nature. 1996. Vol. 382. P. 221–224.
3. Ревуженко, А. Ф. О течении сыпучей среды с возможными неограниченными скольжениями по поверхности локализации / А. Ф. Ревуженко, А. П. Бобряков, В. П. Косых // Физико-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. 1997. № 3. С. 37–42.
4. Григорьев, Ю. М. Плоская задача о переносе внутренних масс приливными волнами / Ю. М. Поляков // Мат. заметки ЯГУ. 1999. Т. 6. Вып. 2. С. 9–20.
5. Вильке, В. Г. Об относительном движении ядра и оболочки планеты в гравитационном поле точечной массы / В. Г. Вильке // Прикл. математика и механика. 2006. Т. 70. Вып. 4. С. 617–630.
6. Кузнецов, В. В. Анизотропия и супервращение внутреннего ядра Земли / В. В. Кузнецов // Науки о Земле. Современ. пробл. сейсмологии : сб.ст. М., 2001. С. 68–83.
7. Овчинников, В. М. О скорости относительного вращения внутреннего ядра Земли / В. М. Овчинников, В. В. Адушкин, В. А. Ап // Докл. АН. 1998. Т. 362. С. 1000–1003.
8. Laske, G. Limits on differential rotation of the inner core from an analysis of the Earth's free oscillations / G. Laske, G. Masters // Nature. 1999. 402. №. 6757. P. 66–69.
9. Souriau, A. Inner core rotation: a test of the wordwide scale / A. Souriau, G. Poupinet // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2000. Vol. 118. P. 13–27.
10. Song, X. Support for differential inner core superrotation from earth-quakes in Alaska recorded at South Pole station / X. Song, A. Li // Journal of geophysical research. 2000. Vol. 105. B1. P. 623–630.
11. Xu, X. Evidence for inner core super-rotation from time-dependent differential PKP traveltimes observed at Beijing Seismic Network / X. Xu, X. Song // Geophys. J. Int. 2003. 152. № 3. P. 509–514.
12. Ревуженко, А. Ф. Механика упруго-пластических сред и нестандартный анализ / А. Ф. Руженко ; Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2000.
13. Григорьев, Ю. М. Пространственная задача о переносе масс приливными волнами / Ю. М. Григорьев, А. Ф. Ревуженко // Вычисл. технологии. 2000. Т. 4. 5. С. 40–54.
14. Валландер, С. В. Лекции по гидроаэромеханики / С. В. Валландер // Л. : Изд-во Ленинград. гос. ун-т, 1978.
15. Григорьев, Ю. М. Математические проблемы моделирования направленного переноса внутренних масс Земли приливными деформациями / Ю. М. Григорьев, О. Е. Скрябина // Динамика сплошной среды. Вып. 122. Новосибирск, 2004. С. 57–62.

Y. M. Grigoryev, O. E. Skryabina

MATHEMATICAL MODELING OF RELATIVE DYNAMICS OF THE EARTH LIQUID AND SOLID INNER CORES

On the base of the kinematical approach two-dimensional mathematical model of the Earth tidal deformations taking into account inner solid core is presented. A method of the least parameter for solving boundary value problems in this model is developed. Solving boundary value problems for the Stokes system in a biconnected domain a complex function method is used. The model describes the effect of the differential rotation of the Earth inner core.

Keywords: mathematical modeling, tidal deformations, inner core, differential rotation.

УДК 004.052

А. В. Котенок

К ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА МУЛЬТИВЕРСИОННОЙ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Исследована проблема выбора мультиверсионной модели. В качестве разрешения проблемы предлагается метод теоретической оценки надежности каждой модели с использованием математической статистики. Приводятся графики, отображающие характер изменения «корректности» системы от характеристик мультиверсионной модели.

Ключевые слова: мультиверсионные модели, модель восстанавливающихся блоков, мультиверсионное программирование.

Модели повышения отказоустойчивости можно разделить на две группы: моноверсионные и мультиверсионные. Для работы первых требуется только один вариант алгоритмического модуля, в то время как для вторых

– несколько различных модулей с одинаковой спецификацией (мультиверсий одного модуля).

Моноверсионные модели обеспечения надежности в соответствии с их целями (предупреждение ошибок, обнаружение ошибок, исправление ошибок и обеспечение устойчивости к отказам) можно разбить на четыре группы [1]. К первой группе относятся модели, позволяющие минимизировать или вообще исключить ошибки. Модели второй группы сосредоточивают внимание на функциях самого программного обеспечения, помогающих выявлять ошибки. К третьей группе относятся модели, предназначенные для исправления ошибок или их последствий. Устойчивость к ошибкам – это способность программного комплекса продолжать функционирование независимо от наличия ошибок. По своей природе моноверсионные модели могут дополнять мультиверсионные, работать совместно.

Все мультиверсионные модели основаны на двух методологиях: модели восстанавливающихся блоков (МВБ) [2] и мультиверсионном программировании (МВП) [3]. Мультиверсии могут выполняться как последовательно, так и параллельно. Они используются как альтернативы (с отдельными средствами обнаружения ошибок), в парах (для обнаружения ошибок путем сравнения реплик) или в больших группах (для обхода ошибок через голосование). Использование множества версий имеет смысл только в том случае, когда такие версии существенно отличаются (созданы разными разработчиками или разными средствами разработки, работают по разным алгоритмам и т. д.) [3]. Такой подход гарантирует, что в случае сбоя одного варианта на некотором наборе данных, хотя бы один из оставшихся сможет вернуть приемлемый результат.

При проектировании высоконадежных программных систем возникает вопрос о том, какую именно мультиверсионную модель выбрать. Данная проблема связана в первую очередь с тем, что, зная характеристики создаваемой системы (количество мультиверсий, ориентировочную надежность каждой мультиверсии, оценочную вероятность обнаружения ошибочного результата проверочным модулем), сложно заранее определить, какая модель подойдет наилучшим образом.

Получим в аналитическом виде оценку «корректности» системы в зависимости от этих характеристик. Свойство «корректности» очень важно при разработке отказоустойчивого программного обеспечения. Чем выше его величина, тем надежнее система. Это свойство даже более важное, чем доступность и надежность, так как если мы знаем величину «корректности», мы можем с уверенностью сказать, сколько результатов не содержит ошибок, и использовать только их, тем самым увеличив точность системы. А чем выше точность системы, тем выше ее доступность и надежность.

Модель восстанавливающихся блоков. МВБ получает «корректный» результат, когда хотя бы одна мультиверсия возвращает «корректный» результат, и проверочный модуль принимает правильное решение.

Пусть мы имеем n версий, их надежности равны $r_1, r_2, \ldots, r_n$ соответственно. Надежность проверочного модуля есть b. Определим соотношение между корректностью выхода системы (S_n) и количеством мультиверсий (n).

При $n = 1$ система возвращает «корректный» результат, если один модуль возвращает «корректный» результат (обозначим как m_1+), и проверочный модуль принимает правильное решение (обозначим как $b+$) тогда $S_1 = r_1 b$.

При $n = 2$ возможно две ситуации:

1. Первый модуль возвращает корректный результат (m_1+), и проверочный модуль принимает правильное решение ($b+$). Вероятность этой ситуации есть $r_1 b$;

2. Вызывается второй модуль, так как первый модуль вернул ошибку (m_1-) и проверочный модуль это обнаружил ($b+$), либо первый модуль отработал правильно (m_1+), а в проверочном модуле произошла ошибка ($b-$). Вероятность этой ситуации есть $(r_1(1-b) + (1-r_1)\,b)\,r_2 b$.

Тогда $S_2 = r_1 b + (r_1(1-b) + (1-r_1)\,b)\,r_2 b = S_1 + (r_1(1-b) + (1-r_1)\,b)\,r_2 b$.

При $n = 3$ возможно несколько ситуаций:

1. Решение будет принято с помощью первых двух модулей. Вероятность этого есть S_2.

2. Будет вызвана третья версия, т.к. произойдет одна из следующих ситуаций:

$m_1+, b-, m_2+, b-$: вероятность этого равна $r_1(1-b)\,r_2(1-b)$;
$m_1-, b+, m_2+, b-$: вероятность этого равна $(1-r_1)b\,r_2(1-b)$;
$m_1+, b-, m_2-, b+$: вероятность этого равна $r_1(1-b)\,(1-r_2)b$;
$m_1-, b+, m_2-, b+$: вероятность этого равна $(1-r_1)b\,(1-r_2)b$;
Отсюда

$$S_3 = S_2 + [\,r_1(1-b)\,r_2(1-b) + (1-r_1)b\,r_2(1-b) + r_1(1-b)\,(1-r_2)b + (1-r_1)b\,(1-r_2)b]\,r_3 b$$

или

$$S_3 = S_2 + [r_1(1-b) + (1-r_1)b]\,[r_2(1-b) + (1-r_2)b]\,r_3 b.$$

Продолжив рассуждения, получим

$$S_n = S_{n-1} + [r_1(1-b) + (1-r_1)b]\ldots [r_{n-1}(1-b) + (1-r_{n-1})b]\,r_n b. \quad (1)$$

В случае, если все модули обладают некоторой средней надежностью $\bar{r}$, то

$$S_n = S_{n-1} + [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^{n-1} \cdot \bar{r}\,b. \quad (2)$$

Данную формулу можно доказать методом математической индукции. Для этого избавимся от рекурсивности S_n.

Пусть $q = [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]$, тогда $S_n = S_{n-1} + q^{n-1}\,\bar{r}\,b = \bar{r}\,b + q\,\bar{r}\,b + q^2\,\bar{r}\,b + \ldots + q^{n-1}\,\bar{r}\,b$.

Пусть $q \neq 1$ (в противном случае S_n равна 1), тогда можно S_n умножить и разделить на $(1-q)$:

$$S_n = \bar{r}\,b\,\frac{[1 + q + q^2 + \ldots + q^{n-1}](1-q)}{1-q} = \bar{r}\,b\,\frac{1-q^n}{1-q};$$

$$S_n = \bar{r}\,b \cdot (1 - [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^n) / (1 - [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]).$$

При $n = 1$ формула верна: $S_1 = \bar{r}\,b$.

Пусть $S_n = S_{n-1} + [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^{n-1} \cdot \bar{r}\,b$ верна, проверим ее для $n + 1$:

$$S_{n+1} = S_n + [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^n \cdot \bar{r}\,b;$$

$$S_{n+1} = \bar{r}\,b'''(1 - [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^n)/(1 - [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]) + [\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]^n \cdot \bar{r}\,b.$$

Заменим $[\,\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r}\,)b]$ на q:

$$S_{n+1} = \bar{r}\, b \frac{1-q^n}{1-q} + q^n \cdot \bar{r}\, b;$$

$$S_{n+1} = \bar{r}\, b \frac{1-q^n + (1-q)q^n}{1-q};$$

$$S_{n+1} = \bar{r}\, b \frac{1-q^{n+1}}{1-q};$$

$$S_{n+1} = \bar{r}\, b \cdot (1 - [\bar{r}\,(1-b) + +(1-\bar{r})b]^{n+1}) / (1 - [\bar{r}\,(1-b) + (1-\bar{r})b]).$$

Как видно из формул (1) и (2), чем выше n, тем меньше каждый новый модуль увеличивает S_n. Поэтому при разработке систем, использующих модель восстанавливающихся блоков, следует принимать во внимание стоимость разработки модулей.

Рассмотрим некоторые особые случаи.

1. Надежность проверяющего модуля равна единице ($b = 1$):

$$S_n = \bar{r} + \bar{r}\,(1-\bar{r}) + r(1-\bar{r})^2 + \ldots + \bar{r}\,(1-\bar{r})^{n-1};$$

$$S_n = 1 - (1-\bar{r}) + \bar{r}\,(1-\bar{r}) + r(1-\bar{r})^2 + \ldots + \bar{r}\,(1-\bar{r})^{n-1}.$$

Пусть $t = 1 - \bar{r}$, тогда:

$$S_n = 1 - t + (1-t)t + (1-t)t^2 + \ldots + (1-t)t^{n-1};$$

$$S_n = 1 - t + t - t^2 + t^2 - t^3 + \ldots + t^{n-1} - t^n = 1 - t^n;$$

$$S_n = 1 - (1-\bar{r})^n.$$

Легко заметить, что $S_n \to 1$, если $n \to \infty$. В этом случае мы получаем систему, в которой можно не беспокоиться о надежности отдельных модулей: главное, чтобы их количество было достаточно велико.

2. Средняя надежность программного модуля равна единице ($\bar{r} = 1$):

$$S_n = 1 - (1-b)^n.$$

Так же, как и в предыдущем случае, $S_n \to 1$ при $n \to \infty$. Здесь надежность проверочного модуля не имеет значения: главное, чтобы количество мультиверсий было достаточно велико.

Мультиверсионное программирование. При использовании методологии МВП, надежность системы во многом определяется алгоритмом, применяемым для согласования результатов мультиверсий [4; 5]. Из всех распространенных алгоритмов голосования [6], оценить все возможные условия, влияющие на выход системы, может только голосование абсолютным большинством (ГАБ).

ГАБ получат «корректный» результат, если более половины мультиверсий возвращают «корректный» результат и алгоритм голосования выбирает один из них. Предположим, что все программные модули обладают некоторой средней надежностью $\bar{r}$, надежность модуля принятия решения – b, корректность выхода системы S_n, где n – количество мультиверсий в системе.

Пусть m модулей вернули «корректный» результат, а ($n - m$) вернули ошибку, тогда вероятность такой ситуации можно записать как

$$P_n(m) = C_n^m \cdot \bar{r}^{\,m} \cdot (1-\bar{r})^{n-m}.$$

Тогда S_n можно представить как сумму вероятностей того, что $m = \left[\frac{n}{2} + 1\right]$ модулей вернули «корректный» результат и алгоритм голосования принял правильное решение:

$$S_n = b \sum_{j=m}^{n} C_n^j \bar{r}^{\,j} (1-\bar{r})^{n-j}.$$

Голосование согласованным большинством, нечеткое голосование согласованным большинством, а также взвешенные варианты алгоритмов голосования служат для того, чтобы приблизить S_n к 1 для того же m. Получить выражения в аналитическом виде для данных алгоритмов не представляется возможным, но оценить предел улучшения данных алгоритмов можно, положив, что m достаточно мало – менее 0,5 от n, как в случае с ГАБ, – например, 0,4 от n.

Стоит отметить, что для МВП, b отклоняется от 1 за счет ошибок в конкретной реализации модуля мультиверсионного голосования. Следовательно, для данной модели, b можно бесконечно приблизить к 1 за счет качественной отладки, а основным критерием, влияющим на S_n, является m (косвенно зависящий от $\bar{r}$). В то же время, для МВБ, b характеризует в первую очередь качество проверочного модуля, а уже потом наличие ошибок в программной реализации.

Рассмотрим графические оценки моделей мультиверсионного программирования и восстанавливающихся блоков для характеристик систем (рис. 1, 2).

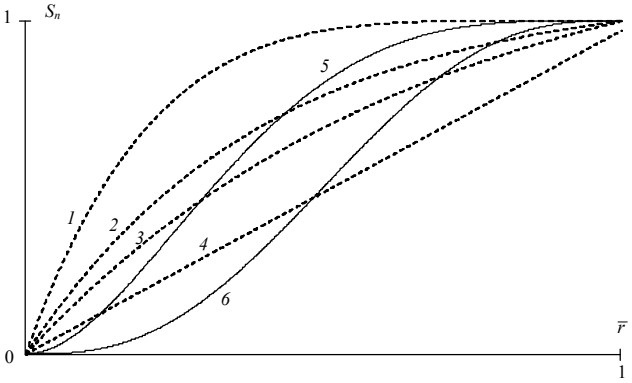


Рис. 1. Оценка эффективности основных мультиверсионных моделей при $n = 5$: *1* – МВБ, $b = 1{,}0$; *2* – МВБ, $b = 0{,}8$; *3* – МВБ, $b = 0{,}7$; *4* – МВБ, $b = 0{,}5$; *5* – МВП, $m = 2$; *6* – МВП, $m = 3$ (ГАБ)

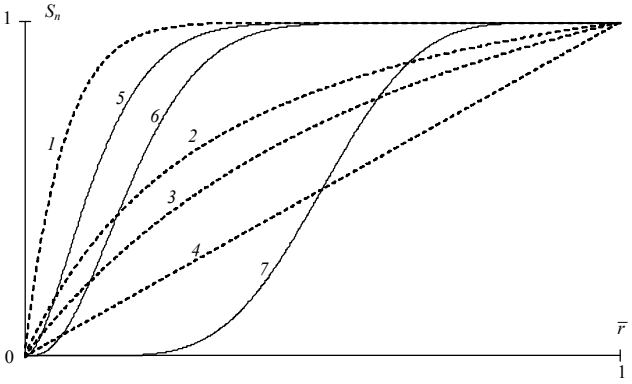


Рис. 2. Оценка эффективности основных мультиверсионных моделей при $n = 15$: *1* – МВБ, $b = 1{,}0$; *2* – МВБ, $b = 0{,}8$; *3* – МВБ, $b = 0{,}7$; *4* – МВБ, $b = 0{,}5$; *5* – МВП, $m = 2$; *6* – МВП, $m = 3$; *7* – МВП, $m = 8$ (ГАБ)

Очевидно, что для модели восстанавливающихся блоков надежность проверочного алгоритма существенно

влияет на «корректность» системы. Если проверка будет делать хотя бы две ошибки на десять результатов, то данная модель покажет существенно худшие результаты, чем мультиверсионное программирование с базовым алгоритмом голосования (голосованием абсолютным большинством).

Библиографический список

1. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения / Г. Майерс, В. Ш. Кауфман ; пер. с англ. Ю. Ю. Галимова. М. : Мир, 1980.

2. Randell, B. The Evolution of the Recovery Block Concept / B. Randell, J. Xu ; University of Newcastle upon Tyne. England, 1995.

3. Avizienis, A. On the implementation of N-version programming for software fault-tolerance during execution / A. Avizienis, L. Chen // Proc. IEEE COMPSAC 77. ноябрь 1977. P. 149–155.

4. Ковалев, И. В. Имитационная система для среды мультиверсионного исполнения программных модулей (программная система «ИС СМВИ v1.0») / И. В. Ковалев // Компьютерные учебные программы и инновации. 2007. № 2.

5. Ковалев, И. В. Имитационная система для среды мультиверсионного исполнения программных модулей (программная система «ИС СМВИ v1.0») / И. В. Ковалев, А. В. Котенок / Номер гос. регистрации 50200501597 от 24.11.2005 г. М. : ВНТИЦ. 2005.

6. Ковалев, И. В. К проблеме выбора алгоритма принятия решения в мультиверсионных системах / И. В. Ковалев, А. В. Котенок // Информационные технологии. 2006. №9. С. 39 44.

A. V. Kotenok

PRELIMINARIES TO CHOOSING OF A N-VERSION APPROACH TO FAULT TOLERANT SOFTWARE SYSTEMS

This paper describes troubles of an appropriate N-Version Approach choosing. It introduces the feature«Correctness» in evaluating systems and find out the relation between this property and the reliability of the used Acceptance Test and the number of versions of system. The chart displaying representing the relation between system «Correctness» and properties of N-Version System is presented.

Keywords: N-Version Approach, model Recovery Blocks, N-Version Programming.

УДК 89.57.35

Е. А. Юрикова, А. А. Кокутенко, А. И. Сухинин

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ SPOT-4 ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРАМИ УЧАСТКОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Рассматривается возможность применения данных, полученных со спутника SPOT-4, для дешифрирования изображений поврежденных пожарами участков растительности. Для анализа информативности данных растительного покрова использовались 2, 3 и 4-й каналы спектрорадиометра HRVIR. Используя программный пакет Erdas Imagine, проведена тематическая обработка изображения, в результате представлена модель расчета нормализованного дифференциального вегетационного индекса, построены спектральные сигнатуры и оценена площадь растительности, поврежденная пожарами.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, нормализованный дифференциальный вегетационный индекс, площадь поврежденная пожаром, тестовая гарь.

Введение. Дистанционное зондирование (ДЗ) определяют как процесс или метод получения информации об объекте, участке поверхности или явлении путем анализа данных, собранных без контакта с изучаемым объектом. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства [1].

Основные области применения спутникового дистанционного зондирования, получение информации о состоянии окружающей среды и землепользовании, изучение растительных сообществ, оценка урожая сельскохозяйственных культур, оценка последствий стихийных бедствий – наводнений, землетрясений, извержений вулканов, лесных пожаров [2].

Одной из главных задач дистанционного зондирова-

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского Краевого Фонда Науки (18G152).

ния Земли является изучение и анализ биофизических параметров состояния растительности. На обширных территориях Сибири только космическими средствами можно оценить повреждения леса, вызванные природными и антропогенными факторами.

Для анализа информативности данных спектрорадиометра HRVIR спутника SPOT-4 была выбрана территория, поврежденная пожарами, т. е. гари. Поврежденные пожарами участки леса представляют наибольший интерес для исследования, поскольку используя ДЗ, можно проводить оценку ущерба на глобальном уровне, с малыми экономическими и временными затратами.

На спутнике второго поколения была установлена усовершенствованная съемочная система, состоящая из двух оптических сенсоров, один из которых – HRVIR (High Resolution Visible and Infra Red) – имеет дополнительный канал регистрации излучения в среднем инфракрасном диапазоне (1,980...1,730 мкм) (табл. 1), использующийся для изучения растительного покрова.

Дешифрирование. Космический снимок содержит подробную информацию о состоянии объектов земной поверхности в момент съемки. Дешифрирование – это процесс распознавания объектов, их свойств и взаимосвязей по их изображениям на снимке [1; 3]. На первоначальном этапе исследовательской работы был проведен процесс визуального дешифрирования тестовых гарей – участков растительного покрова, поврежденных пожарами. Одним из самых распространенных методов выделения объектов на космических изображениях Земли является сегментация. Используя метод сегментации, путем наращивания областей были созданы векторные контуры, по которым на растровом изображении были вырезаны тестовые гари.

Этот метод носит черты и детерминированного, и статистического подходов. Под сегментацией, в широком смысле, понимают преобразование полутоновых или цветных изображений в изображения, имеющие меньшее число тонов или цветов, чем исходные. В узком смысле сегментацией называют преобразование полутонового изображения в двухуровневое (бинарное), содержащее всего два уровня яркости – минимальный (обычно это 0) и максимальный (обычно 255). При этом объект и фон разделены, легко определить число объектов, характеристики их местоположения (координаты, поворот выделенной оси объекта относительно координатных осей и т. п.), геометрические характеристики (например, площадь каждого объекта, периметр, средний, минимальный, максимальный размеры) и, наконец, идентифицировать объект – указать, что это такое [2].

Целью сегментации является выделение областей, однородных в каком-то определенном заданном смысле (сегментов). Такие области принято называть кластерами. Однородность является признаком принадлежности области к определенному классу.

Существует три основных способа сегментации изображений: пороговая сегментация, сегментация путем наращивания областей, сегментация путем выделения границ. По сравнению с другими методами, сегментация путем наращивания областей обеспечила самое высокое качество распознавания.

Схема алгоритма сегментации путем наращивания областей предусматривает выбор стартового пиксела и рассмотрение смежных с ним пикселов для проверки близости их значений, например, по евклидову расстоянию. Если значения яркости текущего и какого-либо смежного пикселов оказываются близкими, то эти пикселы зачисляются в одну область. Таким образом, область формируется в результате сращивания отдельных пикселов. На определенном этапе (зависящем от модификации алгоритма) область проверяется на однородность и, если результат проверки оказывается отрицательным, то область разбивается на более мелкие участки. Процесс продолжается до тех пор, пока все выделенные области не выдержат проверки на однородность. Возможны реализации алгоритма, предусматривающие формирование областей как сращиванием отдельных пикселов, так и сращиванием небольших областей.

Общая схема проверки области на однородность состоит в следующем. Пусть $F(R)$ – заданная мера однородности области R. Если $R_{12} = R_1) \bigcap R_2$, то критерий однородности можно задать, потребовав, чтобы выполнялось условие $F(R_{12}) \le \varepsilon$, где ε – заданный порог.

Различные алгоритмы сегментации классифицируются прежде всего по виду меры $F(R)$. В самых простых случаях в качестве F могут использоваться величины размаха

$$F(R) = \max_{(i,j)\in R} f_{ij} - \min_{(k,m)\in R} f_{km}, \qquad (1)$$

либо выборочные дисперсии:

$$F(R) = \frac{1}{n}\sum_{i,j\subset R}\left(f_{ij} - \frac{1}{n}\sum_{k,m\subset R} f_{km}\right)^2, \qquad (2)$$

где n – площадь (число пикселов) области R.

Таким образом, в результате дешифрирования было идентифицировано четыре тестовых гари, общая площадь поврежденной территории составила 1 541,4 га.

Нормализованный дифференциальный вегетационный индекс. Для анализа состояния растительного покрова на тестовых участках гари была использована мо-

Таблица 1

Технические характеристики спектрорадиометра HRVIR спутника SPOT-4

Электромагнитный спектр и номер канала	Пространственное разрешение, м	Спектральное разрешение, нм	Радиометрическое разрешение, Bit
Моноканал	10	610...680	8
B1: зеленый	20	500...590	8
B2: красный	20	610...680	8
B3: ближний инфракрасный	20	780...890	8
B4: средний инфракрасный	20	1580...1750	8

дель расчета нормализованного дифференциального вегетационного индекса.

Установленная на спутнике аппаратура в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне регистрирует солнечную энергию, отраженную и рассеянную поверхностью Земли. Особый интерес представляет отражательная способность растительного покрова, которая определяется пигментами листа, особенно хлорофиллом. В синей и красной области видимого диапазона отражательная способность листа низкая из-за наличия полос поглощения с центрами при $\lambda_1 = 0{,}45$ и $\lambda_2 = 0{,}65$ мкм. Поглощение между полосами, т. е. в зеленой области, незначительное, минимум поглощения, т. е. максимум отражательной способности, лежит приблизительно при 0,54 мкм. Из-за этого нормальная, здоровая листва воспринимается глазом как зеленая. Когда растение находится в состоянии стресса и образование хлорофилла уменьшается, происходит уменьшение поглощения энергии в полосах λ_1 и λ_2, отражательная способность повышается, особенно это заметно глазом в красной области. Поэтому растение кажется желтоватым [2].

Сравнивая между собой яркости изображения растительности в красном и ближнем ИК участках, можно судить о состоянии растений в данном районе.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный дифференциальный вегетационный индекс – показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Вычисляется по следующий формуле:

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR} - \mathrm{RED}}{\mathrm{NIR} + \mathrm{RED}}, \qquad (3)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Если растение находится в нормальном здоровом состоянии, то NDVI принимает значения, близкие к 0,60...0,65, более низкие значения NDVI свидетельствуют о недостатке влаги или о заболевании растения. Большие площади растительного покрова, как известно, поражены пожарами, поэтому NDVI можно использовать для качественного анализа гарей, для изучения восстановительного процесса внутри поврежденной территории.

Для отображения индекса NDVI используется стандартизованная непрерывная градиентная или дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне – 1...1 в %-й или в так называемой масштабированной шкале в диапазоне 0...255 (используется для отображения в некоторых пакетах обработки ДЗЗ, соответствует количеству градаций серого), или в диапазоне 0...200 (–100...100), что более удобно, так как каждая единица соответствует 1 % изменения показателя [4].

Рассмотрим отображение тестовой гари после расчета NDVI (рис. 1). Более темные участки соответствуют низкому значению вегетационного индекса, более светлые – высокому. Полученные результаты демонстрируют наличие разницы в состоянии растительного покрова, поэтому участки тестовой гари по полученным значениям вегетационного индекса можно представить и объединить в несколько классов:

– 1-й класс поражения, NDVI 0,3...0,2;
– 2-й класс поражения, NDVI 0,2...0,1;
– 3-й класс поражения, NDVI 0,1...0,0;
– 4-й класс поражения, NDVI 0,0...– 1.

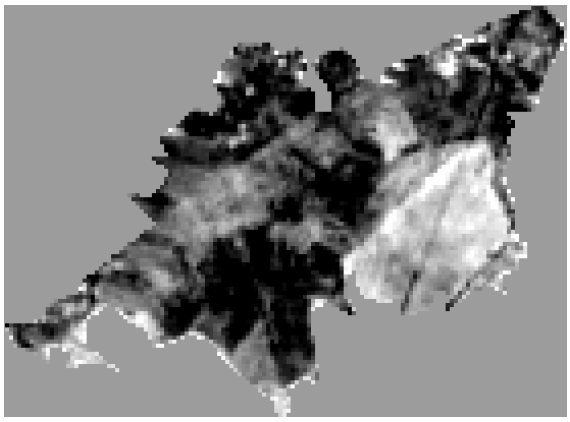


Рис. 1. Отображение NDVI на тестовой гари

Классификация. Таким образом, при визуальном дешифрировании были выделены однородные группы пикселов, отнесенных к таким пространственным объектам, как тестовые гари.

В отличие от визуальной, цифровая классификация заключается в том, чтобы на основе спектральной информации из различных диапазонов проанализировать каждый пиксел и отнести его к тому или иному классу. Этот тип классификации называют также распознаванием спектральных образов. В обоих случаях целью является распределение пикселов снимка по определенным классам объектов. Результирующее изображение является, по существу, тематической картой [1].

При анализе тестовых гарей была использована контролируемая классификация, которая включает в себя создание эталонных областей. Эталон – совокупность спектральных признаков, задающих один класс пикселов на цифровом снимке. В качестве статистических показателей для обучающей выборки были заданы экспериментальные значения вегетационного индекса.

В результате созданы эталонные области, которые принадлежат к определенному информационному классу, определены четыре класса состояния растительности, каждый класс имеет свой цвет (рис. 2). Проведена оценка точности классификации.

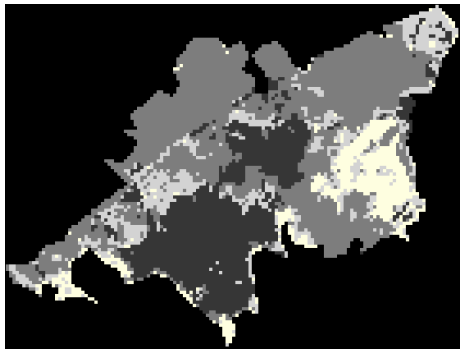


Рис. 2. Результаты цифровой классификации

Выделены следующие классы: 1-й класс (черная область внутри контура) и 2-й класс (темно-серая область

внутри контура) – участки восстанавливающейся растительности; 3-й класс (светло-серая область внутри контура) – менее интенсивно поврежденные участки растительности; 4-й класс (белая область внутри контура) – интенсивно поврежденные участки растительности, т. е. открытые почвы после пожара.

Приведем кривые для различных классов степени нарушенности (рис. 3).

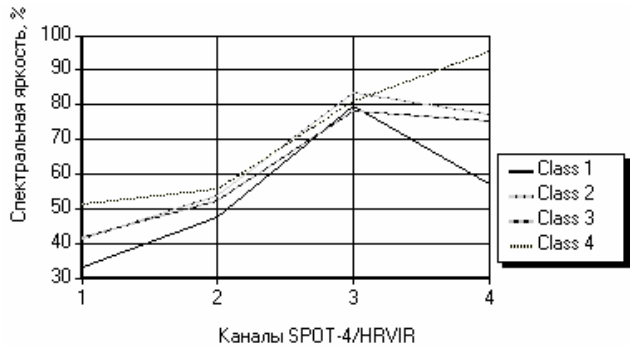


Рис. 3. Спектральные сигнатуры

Анализ спектральных сигнатур (рис. 3) показывает, что в 3-м канале все классы нарушенной пожаром растительности имеют максимум спектральной яркости, в то время как во 2-м канале спектрорадиометра HRVIR максимум спектральной яркости имеет интенсивно поврежденная растительность, т. е. открытая почва. Первый класс имеет минимальное значение спектральной яркости во втором канале, что соответствует появлению восстанавливающейся растительности на гарях.

После проведения классификации, на последнем этапе работы для каждого класса тестовых гарей была рассчитана площадь (табл. 2).

Расчет показывает, что участок 1-го и 2-го классов от общей площади повреждения составляют 17 % и 42 % – это участки гари на которых только начались восстановительные процессы; на участке 3-го класса приходится 22 %, открытые почвы занимают всего 19 %.

Исследована возможность использования данных спутника SPOT-4 для анализа поврежденной пожарами территории. Методом сегментации путем наращивания областей оконтурены тестовые гари, для каждой гари рассчитан нормализованный дифференциальный вегетационный индекс, который показал наличие различных степеней поражения растительности. Проведена классификация каждой тестовой гари и построены спектральные кривые. Оценка точности классификации составила 0,05 %, что говорит о хорошей согласованности данных. Рассчитана площадь для каждого класса тестовых гарей.

Сопоставив экспериментальные данные с теоретическими, можно сделать вывод, что данные, получаемые со спутника SPOT-4, можно использовать для изучения растительного покрова Земли. Высокое пространственное разрешение спектрорадиометра позволяет более точно проводить оконтуривание обеспечивает большую информативность исследования любых объектов.

Библиографический список

1. Чандра, А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. М. : Техносфера, 2008.

2. Кашкин, В. Б. Дистанционное зондирование земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. М. : Логос, 2000.

3. Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков / И. А. Лабутина. М. : Аспект Пресс, 2004.

4. GIS-Lab [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Cop. 2002–2008. Режим доступа: http://gis-lab.info/qa/ndvi.html. Загл. с экрана.

Таблица 2

Оценка поврежденной территории

Класс	Гарь № 1, га	Гарь № 2, га	Гарь № 3, га	Гарь № 4, га
1-й	65,6	71,5	67,4	58,2
2-й	389,3	93,8	128,1	36,8
3-й	226,5	46,7	40,3	27,3
4-й	112,2	64,9	27,4	85,4
Общая площадь, га	793,6	276,9	263,2	207,7

E. A. Yurikova, A. A. Kokutenko, A. I. Sukhinin

RESEARCH OF OPPORTUNITIES OF APPLICATION OF DATA SPOT-4 FOR INTERPRETATION THE AREAS OF VEGETATION DAMAGED BY FIRES

The opportunity of application of the data received from satellite SPOT-4 for vegetation areas decoding damaged by fires is considered. For the self-descriptiveness data analysis of a vegetative cover, 2, 3 and 4 channels of spectroradiometer HRVIR were used. Using software package Erdas Imagine of thematic image processing, the model of the normalized differential vegetative index calculation as a result is presented, spectral signatures are constructed and the vegetation area damaged by fires is estimated.

Keywords: remote probing, normalized differential vegetative index, area damaged by fires.

УДК 004.627

Т. Н. Салтыкова

АЛГОРИТМ ЭТАЛОННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЖАТЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

Предлагается алгоритм оценки качества сжатого изображения с использованием метода нечеткой классификации объектов на основе гипотезы λ-компактности, что позволит приблизить автоматическую оценку качества изображения к экспертной.

Ключевые слова: оценка качества сжатого изображения, λ-компактность.

Проведенный анализ существующих методов и критериев оценки качества сжатых изображений позволяет автору данной работы согласиться с мнением большинства исследователей по вопросу оценки качества изображений: в настоящий момент лучшим инструментом для проведения оценки качества изображения являются человеческие глаза. Каждый из известных количественных критериев оценки качества имеет свои особенности и предполагает наличие определенных требований к оцениваемому изображению.

Исходя из этого, было принято решение проанализировать возможность использования методов распознавания образов (изображений) для оценки качества сжатых изображений с целью максимально приблизить эффективность количественного критерия оценки качества изображения к его визуальной оценке.

Распознавание образов – это отнесение наблюдаемых данных к определенному классу на основе выделения существенных признаков, характеризующих эти данные [1].

В целом, можно выделить три метода распознавания образов [2].

В основе первого из них, метод перебора, лежит сравнение объекта с базой данных, где для каждого вида объектов представлены всевозможные модификации отображения. Например, для оптического распознавания образов можно применить метод перебора вида объекта под различными углами, с разными масштабами, смещениями, деформациями и т. д. Для букв нужно перебирать шрифт, свойства шрифта и т. д. В случае распознавания звуковых образов происходит сравнение с некоторыми известными шаблонами (например, словом, произнесенным несколькими людьми).

При втором подходе проводится более глубокий анализ характеристик образа. В случае оптического распознавания это может быть определение различных геометрических характеристик, звуковой образец может подвергается частотному, амплитудному анализу и т. д.

Наконец, третий метод – это использование искусственных нейронных сетей (ИНС). Метод требует либо большого количества примеров при обучении, либо специальной структуры нейронной сети, учитывающей специфику данной задачи. Тем не менее, его отличает более высокая, по сравнению с другими методами, эффективность и производительность.

Выделяют следующие типы задач распознавания:

1) задача распознавания – отнесение предъявленного объекта по его описанию к одному из заданных классов;

2) задача автоматической классификации – разбиение множества объектов, ситуаций, явлений по их описаниям на систему непересекающихся классов (таксономия, кластерный анализ, самообучение);

3) задача выбора информативного набора признаков при распознавании;

4) задача приведения исходных данных к виду, удобному для распознавания;

5) динамическое распознавание и динамическая классификация аналогично задачам 1 и 2, но для динамических объектов;

6) задача прогнозирования – по сути, задача 5, в которой решение должно относиться к некоторому моменту в будущем.

Во многих прикладных задачах измерять степень сходства объектов существенно проще, чем формировать признаковые описания. Например, гораздо легче сравнить две фотографии и сказать, что они принадлежат одному человеку, чем понять, на основании каких признаков они схожи. Задача классификации объектов на основе их сходства друг с другом, когда принадлежность обучающих объектов каким-либо классом не задается, называется задачей кластеризации.

Кластерный анализ предназначен для разбиения множества объектов на заданное или неизвестное число классов на основании некоторого математического критерия качества классификации (англ. *cluster* – гроздь, пучок, скопление, группа элементов, характеризуемых каким-либо общим свойством) [3].

Критерий качества кластеризации в той или иной мере отражает следующие неформальные требования:

а) внутри групп объекты должны быть тесно связаны между собой;

б) объекты разных групп должны быть далеки друг от друга;

в) при прочих равных условиях распределения объектов по группам должны быть равномерными.

Требования *а* и *б* выражают стандартную концепцию компактности классов разбиения; требование *в* состоит в том, чтобы критерий не навязывал объединения отдельных групп объектов.

Узловым моментом в кластерном анализе считается выбор метрики (или меры близости объектов). От этого выбора решающим образом зависит окончательный вариант разбиения объектов на группы при заданном алгоритме разбиения. Для каждой конкретной задачи этот выбор производится по-своему, с учетом главных целей исследования, физической и статистической природы используемой информации и т. п.

Другой важной величиной в кластерном анализе является расстояние между целыми группами объектов.

Выбор той или иной меры расстояния между кластерами влияет, главным образом, на вид выделяемых алгоритмами кластерного анализа геометрических группировок объектов в пространстве признаков. Так, алгоритмы, основанные на расстоянии ближайшего соседа, хорошо работают в случае группировок, имеющих сложную, в частности, цепочечную структуру. Расстояние дальнего соседа применяется, когда искомые группировки образуют в пространстве признаков шаровидные облака. И промежуточное место занимают алгоритмы, использующие расстояния центров тяжести и средней связи, которые лучше всего работают в случае группировок эллипсоидной формы.

Нацеленность алгоритмов кластерного анализа на определенную структуру группировок объектов в пространстве признаков может приводить к неоптимальным или даже неправильным результатам, если гипотеза о типе группировок неверна. В случае отличия реальных распределений от гипотетических указанные алгоритмы часто «навязывают» данным несвойственную им структуру и дезориентируют исследователя. Поэтому экспериментатор, учитывающий данный факт, в условиях априорной неопределенности прибегает к применению батареи алгоритмов кластерного анализа и отдает предпочтение какому-либо выводу на основании комплексной оценки результата работы этих алгоритмов.

Решение задачи кластеризации принципиально неоднозначно, и тому есть несколько причин. Во-первых, не существует наилучшего критерия качества кластеризации. Известен целый ряд достаточно разумных критериев, а также ряд алгоритмов, не имеющих четко выраженного критерия, но осуществляющих достаточно разумную кластеризацию «по построению». Все они могут давать разные результаты. Во-вторых, число кластеров, как правило, не известно заранее и устанавливается в соответствии с некоторым субъективным критерием. В-третьих, результат кластеризации существенно зависит от метрики, выбор которой, как правило, также субъективен и определяется экспертом.

В классической задаче классификации считается, что множество классов $\Omega = \{\omega_1, ..., \omega_m\}$ является конечным, и классы образуют полную группу подмножеств из U. В общем случае классов может быть и бесконечно много и они могут не составлять полную группу множеств [4].

Классифицировать образ $x \in U$ по классам $\omega_1, ..., \omega_m$ – это значит найти так называемую индикаторную функцию $g{:}U \to Y$, $Y = \{y_1, \ldots, y_m\}$, которая ставит в соответствие образу $x \in U$ метку $y_i \in Y$ того класса ϖ_i, которому он принадлежит, т. е. $g(x) = y_i$, если $x \in \varpi_i$.

Автоматическое нахождение границ классов – одна из основных задач теории распознавания образов. Границы классов распознаваемых объектов можно определять по-разному, например, с помощью понятия решающей функции.

Линейными решающими функциями (ЛРФ) называются решающие (дискриминантные) функции вида $d(\mathbf{x}) = d(x_1, x_2, ..., x_n) = w_1x_1 + ... + w_nx_n + w_{n+1} = (\mathbf{w}, \mathbf{x})$, где $\mathbf{w}$ – вектор весовых коэффициентов ЛРФ, $\mathbf{x}$ – вектор параметров образа: $\mathbf{w} = (w_1, ..., w_n, w_{n+1})^T$, $\mathbf{x} = (x_1, ..., x_n, 1)^T$. Разделяющая поверхность $d(\mathbf{x}) = 0$ представляет собой гиперплоскость в пространстве R^n.

Если классы нельзя разделить с помощью ЛРФ в пространстве R^n, то следует вложить эти классы в пространство R^l большей размерности $l > n$ с помощью некоторого отображения φ: $R^n \to R^l$, причем это отображение должно быть таким, чтобы классы в R^l можно было линейно разделить.

Пространство образов $\mathbf{x}^* = \varphi(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in R^n$, в котором классы будут линейно разделимы, называется спрямляющим пространством, а отображение φ – спрямляющим отображением. Для построения спрямляющего отображения можно использовать обобщенные решающие функции (ОРФ) вида: $d(\mathbf{x}) = w_1f_1(\mathbf{x}) + ... + w_{l-1}f_{l-1}(\mathbf{x}) + w_l$, где $f_i(\mathbf{x})$ – скалярные функции в R^n

Классификация с помощью функций расстояния предполагает определение функции, оценивающей меру принадлежности предъявленного для классификации образа x классу ϖ_i, т. е. некоторой функции $d(x, \varpi_i)$, которая удовлетворяла бы условию $x \in \varpi_i$, если $d(x, \varpi_i) \le d(x, \varpi_j)$ для всех $j \ne i$.

Чтобы определить меру принадлежности образа x классу ϖ, нужно выбрать способ определения меры близости между двумя образами, между образом и классом и, наконец, между двумя классами. Так как каждый образ x характеризуется некоторым вектором признаков $\mathbf{x}$, то меру близости между образами x и y можно задать с помощью меры близости $d(\mathbf{x},\mathbf{y})$ между векторами-образами $\mathbf{x}$ и $\mathbf{y}$ их признаков. В качестве такой меры близости чаще всего используют метрику.

Векторы признаков, между которыми измеряется расстояние, могут иметь разную размерность, разные порядки величин, различные приоритеты. Поэтому прежде чем использовать метрики, желательно нормализовать и стандартизировать значения признаков.

Рассмотрим гипотезу λ-компактности применительно к задачам распознавания образов.

Зрительный аппарат человека обладает уникальными способностями делать классификацию (таксономию) множества объектов, если они представлены точками на плоскости [5]. Результаты этой естественной для человека таксономии не могут быть получены или объяснены с позиции гипотезы компактности. Гипотеза же λ-компактности позволяет легко получать и просто объяснять такие результаты.

Если определить расстояния между всеми парами точек множества A, то можно построить полный граф, соединяющий все точки со всеми, и найти самое длинное ребро – диаметр графа (D). Выделим две любые точки a и b и обозначим длину связывающего ребра через $\alpha(ab)$. Будем считать нормированным расстояние между этими точками величину $d = \alpha/D$.

Теперь среди ребер, смежных ребру (ab), найдем самое короткое, длину которого обозначим через β_{min}. Отношение длин этих смежных отрезков обозначим через $\tau^* = \alpha/\beta_{min}$. Чтобы сделать эту величину нормированной в диапазоне от 0 до 1, найдем в полном графе наибольшее значение τ_{max}. Величина $\tau = \tau^*/\tau_{max}$ является нормированной характеристикой локальной неоднородности плотно-

сти множества в окрестностях точек a и b. Использование λ-расстояний вместо евклидовых позволяет получать более естественную таксономию, совпадающую с результатами, полученными экспертами. При этом оказалось, что параметр d играет более важную роль по сравнению с параметром τ. Наилучшее совпадение экспертных суждений с формальными получалось в том случае, если в качестве меры расстояния использовалась величина $\lambda = \tau^2 \cdot d$.

Находя λ-характеристики для всех отрезков, соединяющих точки множества A, мы делаем отображение этого множества из евклидова пространства в новое λ-пространство. В этом пространстве можно построить граф без петель, который связывает между собой все точки и имеет минимальную суммарную λ-длину своих ребер. Такой граф в евклидовом пространстве называется кратчайшим незамкнутым путем (КНП). По аналогии, КНП в λ-пространстве обозначим через λ-КНП. Строятся такие графы следующим образом [6]. Сначала находятся две самые близкие точки, которые соединяются ребром. Затем соединяется ребром следующая пара самых близких точек. Для каждой следующей пары ближайших точек предварительно проверяется, нельзя ли пройти из одной в другую ребрами уже построенного графа. Если можно, то они из дальнейшего рассмотрения исключаются, а если нет, то строится ребро графа между ними. Так продолжается до объединения в общий граф всех m точек множества A. Теперь λ-расстоянием между двумя любыми точками считаем сумму λ-характеристик тех ребер, по которым проходит путь между ними по λ-КНП.

Если геометрическая близость точек связывалась с понятием компактности, то близость по λ-расстояниям назавем λ-компактностью. Исходя из этого, по аналогии с гипотезой компактности, гипотезу λ-компактности (λH) можно сформулировать следующим образом: реализации одного и того же образа обычно отражаются в признаковом λ-пространстве в близкие точки, образуя λ-компактные сгустки [7].

Если выделить n описывающих признаков X и целевой признак z, то в пространстве (X, z) λ-компактное множество объектов A характеризуется тем, что оно λ-компактно одновременно и по признакам X, и по признаку z. Это означает, что между признаками X и z есть закономерная связь или что система описывающих признаков X информативна для предсказания значений целевого признака z. Если к множеству A добавить новый объект q с известными значениями описывающих признаков X и неизвестным значением целевого признака z и при этом окажется, что множество (A, q) λ-компактно в пространстве X, то из гипотезы λ-компактности следует, что оно будет λ-компактно и в пространстве (X, z). Это дает возможность предсказывать значение целевого признака z для любого объекта q.

Обозначим факт λ-компактности объектов A в пространстве X символом λC_A^X. Тогда тестовый алгоритм гипотезы λ-компактности можно представить следующим выражением:

$$\text{if } \left(\lambda C_A^{X,z} \,\&\, \lambda C_{A,q}^X\right) \text{ then } \lambda C_{A,q}^z .$$

Сформулированное выше условие компактности для решения задач распознавания образов является необходимым, но не достаточным. Условие, при котором точки разных образов (A и B) взаимно не компактны, т. е. сгустки точек разных образов не налагаются друг на друга, обозначим через $\lambda C_{A,B}^{-X}$. С учетом этого гипотезу λ-компактности λH для распознавания образов можно записать в следующем виде:

$$\text{if } \left(\lambda C_{A,B}^{-X} \,\&\, \lambda C_A^{X,z} \,\&\, \lambda C_{A,q}^X\right) \text{ then } \lambda C_{A,q}^z .$$

В задачах разделения множества A на таксоны простой формы, которые описываются непересекающимися выпуклыми оболочками, стремление к наибольшей компактности или λ-компактности приводит к одинаковым результатам. Но для более сложных случаев гипотеза λ-компактности обеспечивает получение результата, более естественного по сравнению с гипотезой компактности. Следовательно, гипотеза λ-компактности является более сильной эмпирической гипотезой, чем широко применяемая сейчас гипотеза компактности.

В результате проведенного анализа методов кластеризации и классификации объектов, принято решение использовать для разработки алгоритма оценки качества сжатых изображений метод нечеткой классификации объектов на основе гипотезы λ-компактности.

У нас имеется множество A пикселов оригинала изображения, у каждой точки в качестве признаков имеются координаты точки, яркость и цвет (допустим, в системе RGB). Также имеется множество B пикселов сжатого изображения с теми же характеристиками.

Первый шаг алгоритма. Предлагается провести таксономии всех точек как множества A, так и множества B методом нечеткой классификации с использованием гипотезы λ-компактности. Количество необходимых классов можно определить одним из двух способов:

– с помощью проведения иерархической классификации, когда на первом этапе все множество объектов помещается в один большой класс, а на следующем шаге классификации этот класс разбивается на два более мелких класса, и так далее до достижения некоторого установленного допустимого минимального значения λ-расстояния между объектами;

– установив конкретное значение заранее в зависимости от необходимых результатов и требований к алгоритму.

В результате первого шага алгоритма мы получим две выборки точек, составляющих границы «сгустков» сжатого изображения и оригинала.

Второй шаг алгоритма. Допускается, что полученные на предыдущем шаге выборки будут содержать точки с несовпадающими номерами пикселов. Поэтому для адекватного сравнения необходимо привести их к единому виду, что достигается достаточно просто, дополнением выборки отсутствующими точками. Полученные выборки сортируются по возрастанию номеров пикселов в исходном и сжатом изображениях. Далее, проходом по векторам точек границ сгустков множеств A и B определяются как точки из границ множества A, отсутствующие в векторе границ множества B, так и наоборот, точки из границ множества B, отсутствующие в векторе границ множества A. При обнаружении таких точек выборка с точками границ из множества A дополняется точками

множества A с соответствующими координатами, и, соответственно, при обнаружении таких точек выборка с точками границ из множества B дополняется точками множества B с соответствующими координатами. В результате второго шага мы получим две выборки точек с совпадающим количеством пикселов и их координатами, но, возможно, с различными значениями их признаков.

Третий шаг алгоритма. Предполагается проведение процедуры сравнения полученных на предыдущем шаге выборок точек границ таксонов исходного и сжатого изображений. Сравнение может производиться с использованием любых существующих метрик качества изображения, когда выполняется сравнение сжатого изображения с оригиналом. Предлагается использовать среднеквадратичное отклонение, рассчитываемое по формуле

$$MSE(I_1, I_2) = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}\left\|I_1(i,j) - I_2(i,j)\right\|,$$

где $I_1(i, j)$ – пиксел полученной выборки точек границ классов исходного изображения; $I_2(i, j)$ – пиксел полученной выборки точек границ классов сжатого изображения.

Таким образом, в результате предложенного алгоритма оценки качества сжатого изображения мы получим адекватную количественную метрику качества сжатия изображения, основанную на реальных возможностях и особенностях зрительного аппарата человека. Что позволит приблизить автоматическую оценку качества изображения к экспертной.

Главное отличие предложенного алгоритма от существующих состоит в том, что для проведения оценки качества сжатого изображения не рассматривается все множество точек изображения, а проводится предварительная классификация всех точек изображений и выбираются пикселы границ различных объектов на изображении. Данный метод особенно хорошо применим к изображениям, содержащим картографические данные, которые отличаются достаточной однородностью и возможностью выделения отдельных областей картинки.

Для большей эффективности проведения оценки качества сжатого изображения с менее однородной структурой можно использовать сочетание предложенного алгоритма с уже существующими стандартными методами оценки. Однако этот вопрос требует выполнения дополнительных исследований, которые могут быть проведены в будущих работах автора.

Библиографический список

1. Бондарев, В. Н. Искусственный интеллект : учеб. пособие для вузов / В. Н. Бондарев, Ф. Г. Аде ; Севостоп. нац. техн. ун-т. Севастополь, 2002.

2. Горелик, А. Л. Методы распознавания : учеб. пособие для вузов / А. Л. Горелик, В. А. Скрипник. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1989.

3. Мандель, И. Д. Кластерный анализ / И. Д. Мандель. М. : Финансы и статистика. 1988.

4. Лепский, А. Е. Математические методы распознавания образов : курс лекций / А. Е. Лепский, А. Г. Броневич. Таганрог : Изд-во Таганрог. гос. радиотехн. ун-та, 2007.

5. Загоруйко, Н. Г. Какими решающими функциями пользуется человек? / Н. Г. Загоруйко // Вычисл. системы. Новосибирск, 1967. Вып. 28. С. 69–79.

6. Прим, З. Л. Кратчайшие связывающие сети и некоторые обобщения / З. Л. Прим // Кибернетический сб. 1961. № 2. С. 95–107.

7. Загоруйко, Н. Г. Гипотезы компактности и λ-компактности в методах анализа данных / Н. Г. Загоруйко // Сиб. журн. индустр. математики. 1998. Вып. 1. С. 114–126.

T. N. Saltykova

ABSOLUTE STANDARD RATING ALGORITHM TO EVALUATE IDENTIFY QUALITY OF THE SHRUNK IMAGES USING THE OBJECT FUZZY CLASSIFICATION METHOD

The paper proposes an absolute standard rating algorithm to identify quality of the shrunk images using the object fuzzy classification method based on the λ-compactness hypothesis, which makes it possible to approximate automatic rating quality of the images to expert one.

Keywords: quality rating of the shrunk images, λ-compactness.

УДК 621.77.016.3

Д. В. Вавилов, А. А. Иптышев, В. И. Усаков

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКАТЫВАНИЯ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ЗАДАННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА

Рассматривается численное моделирование процесса профилирования мелкомодульных зубчатых передач с заданными показателями качества, пластическим деформированием. Проведено сравнение численного и натурного экспериментов. Представлены рекомендации для выбора технологического оборудования, выполнение которых необходимо для достижения точности профилирования.

Ключевые слова: накатка, мелкомодульные зубчатые колеса, профилирование, пластические деформации, численное моделирование.

Учитывая широкий спектр применения зубчатых передач, весьма актуальной является задача управления их качественными показателями на этапе проектирования.

Одним из методов повышения качества зубчатых передач (ЗП) является профилирование при помощи пластического деформирования (накатка). Этот способ может быть предпочтительным в ряде случаев, в частности, когда требуется обеспечить плавность хода для мелкомодульных передач или получить эффект упрочнения деформируемой поверхности (наклеп).

На сегодняшний день существует множество технологий формообразования зубчатых и шлицевых профилей.

Условно технология профилирования пластическим деформированием – накатка – делится на горячую и холодную [1]. При горячем накатывании материал заготовки подвергают термическому нагреву непосредственно перед процессом профилирования. Это позволяет увеличить пластичность материала заготовки, что наиболее актуально для зубчатых колес с модулем более 2 мм [2]. Нагревание производится горелками, токами высокой частоты, индукционными нагревателями и т. д. Недостатком горячего накатывания является образование окалины у ряда сплавов в процессе нагрева, а также термическое расширение материала заготовки в процессе разогрева [3]. Термическое расширение материала, а точнее, уменьшение линейных размеров тела в процессе остывания заготовки существенно влияет на геометрию и, следовательно, на качественные показатели зубчатой пары [4].

Для прецизионных приводов предпочтительно холодное накатывание, так как оно позволяет получить более точную геометрию готового изделия и высокий класс шероховатости без применения финишных операций [5]. При холодном накатывании степень поверхностного упрочнения материала выше [6]. Остаточные напряжения в поверхностных слоях зубьев колеса позволяют использовать такие передачи с более высокими нагрузками до 20 % [7]. Но наиболее актуален данный способ для профилирования мелкомодульных зубчатых колес. Как правило, крупномодульные колеса подвергают термическому или химико-термическому упрочнению. Это повышает твердость материала, но при этом материал становится более хрупким, что недопустимо для гибких колес волновых передач [8].

Действующие государственные стандарты в области зубчатого зацепления не позволяют на этапе проектирования оценить эксплуатационные качества зубчатой передачи, нарезанной стандартным режущим инструментом. Исследования, проведенные в последние годы, дали возможность выработать ряд критериев, позволяющих с достаточной достоверностью определить требуемые параметры привода на этапе проектирования. Одним из таких параметров, не регламентируемых государственным стандартом, является отсутствие кромочного взаимодействия.

Одним из путей решения данной проблемы является использование численного моделирования. Уровень развития программных пакетов в этой области сегодня дает возможность на этапе проектирования моделировать поведение приводных систем с высокой степенью достоверности. Кроме того, CAE (Computer Aided Engineering) позволяет оптимизировать технологию профилирования. Большинство работ по данной тематике направлено на оптимизацию геометрии зуба для получения требуемых качеств. Однако при таком подходе требуется использование нестандартного режущего инструмента, что в условиях развития машиностроительного кластера приведет к удорожанию изделий. Иными словами, для изготовления каждой передачи будет необходим свой станок. Более сложной задачей с точки зрения оптимизации путем численного моделирования является использование стандартного режущего инструмента: при таком подходе возникает множество ограничений, связанных с геометрией режущего инструмента и технологическими параметрами профилирующего оборудования.

Адекватность численного решения во многом зависит от заданных ограничений, настроек решателя, конечно-элементной сетки и модели описания материала.

Для пластичного, нелинейно-упругого и гиперупругого поведения материала характерна нелинейная связь напряжений и деформаций [9]. Вязкопластичность, ползучесть и вязкоупругость представляют собой явления, в которых величина напряжений зависит от таких факторов, как время, температура или скорость деформирования [10].

Выбор модели материала. Для полноценного учета пластического поведения материала при анализе требуется знать условие начала текучести, закон течения и закон упрочнения. Условие начала текучести позволяет свести трехмерное, объемное напряженное состояние к эквивалентному напряжению, которое сравнивается с пределом текучести для того чтобы определить, происходит ли течение материала. Закон течения указывает направ-

ление, в котором происходит деформирование материала. Закон упрочнения описывает, как ведет себя поверхность текучести с ростом деформаций в материале [11].

В CAE-пакетах представлено множество моделей поведения материала (например, в LS-Dyna – более 200). Каждая модель применима для определенных условий нагружения. Для выбора модели позволяющей адекватно моделировать задачи накатки, была решена тестовая задача теории пластичности – внедрение клина (рис. 1).

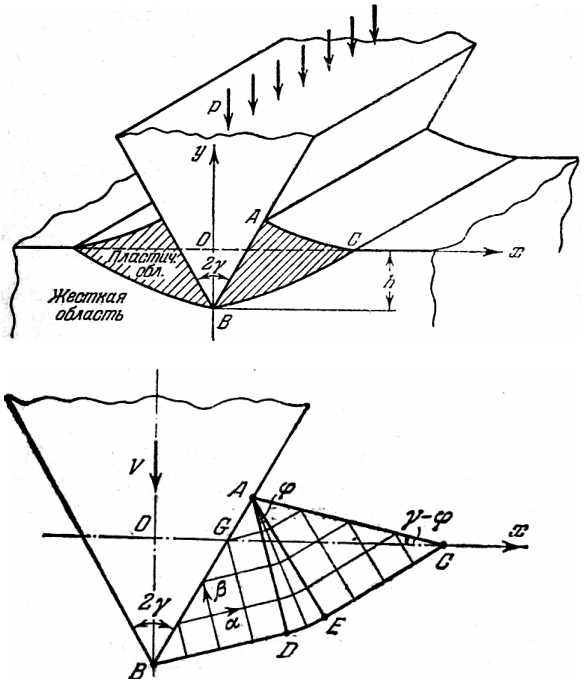


Рис. 1. Внедрение абсолютно жесткого клина в жестко-пластичную среду

Согласно теории пластичности, длина образующей AC, (рис. 1) обозначенная через l равна

$$l = h/[\cos(\gamma) - \sin(\gamma - \phi)], \quad (1)$$

где h – глубина внедрения клина; γ – половина угла раствора клина.

Угол ϕ численно находим из следующего уравнения:

$$2\gamma = \phi + \arccos[\mathrm{tg}(\pi/4 - \phi/2)]. \quad (2)$$

При глубине внедрения $h = 15$ мм и угле $\gamma = 30^{\circ}$ длина образующей равна 23 мм.

Далее определим усилие на клине при глубине внедрения 15 мм.

Давление p – одно из главных напряжений – равно

$$P = -2k(l + \phi). \quad (3)$$

Полное усилие на единицу длины клина равно

$$P = 2pl \cdot \sin(\gamma). \quad (4)$$

В результате теоретического расчета усилие на единицу клина при заданных параметрах составило 465 000 Н.

Существующее программное обеспечение позволяет решать задачу внедрение клина с достаточной точностью. Для этого задавались следующие свойства материала: Ст3 при температуре 20 С°: модуль Юнга 210 000 МПа, предел текучести 250 МПа, коэффициент Пуассона 0,3.

Для численного моделирования были выбраны две наиболее адекватные модели поведения материала – билинейные с изотопным и кинематическим упрочнением. Использование модели кинематического упрочнения дает более точное решение, чем использование модели изотропного упрочнения (рис. 2).

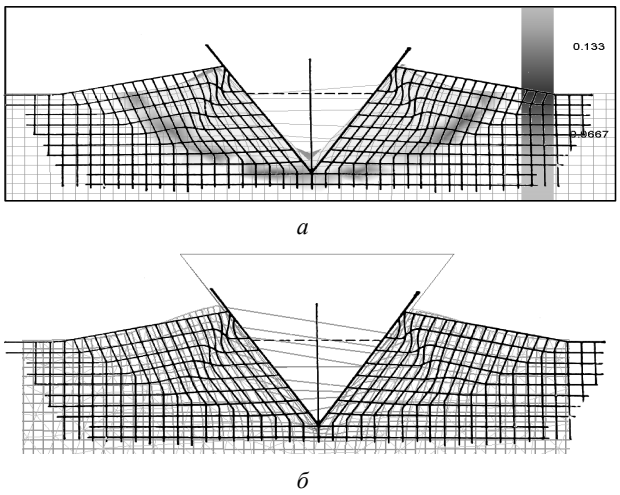


Рис. 2. Сопоставление численной модели с теоретической: *а* – при использовании модели с изотропным упрочнением; *б* – при использовании модели материала с кинематическим упрочнением

Полученная с помощью численного моделирования длина образующей OA (рис. 3) составила 23,303 мм, а по результатом теоретического расчета [13] 23 мм. Относительная погрешность вычисления длины образующей составила 1,3 %.

Полученное суммарное усилие на клин – 459 000 Н; по результатам теоретического расчета – 465 000 Н.

Таким образом, относительная погрешность вычисления усилия на клине составила 1,4 %.

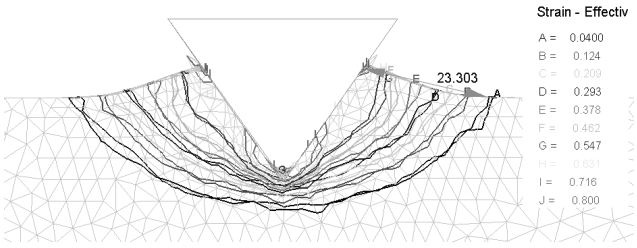


Рис. 3. Сходимость теории и численного эксперимента

Моделирования накатки зубчатого профиля. В качестве исходных параметров для моделирования накатки зубчатого профиля взята зубчатая пара быстроходной ступени привода системы поворота антенны спутника. Параметры накатываемой передачи: число зубьев колеса $Z_к = 76$, число зубьев накатника $Z_Н = 198$, модуль $m = 0{,}3$ мм. Моделирование процесса профилирования проводилось в CAE-пакете MSC.Marc (рис. 4). Для моделирования использовался материал Д16Т.

В результате численного моделирования была получена геометрия зубчатого венца (рис. 5). Наклон зубьев объясняется «резким» внедрением инструмента в заготовку. Данный венец получен за один проход накатника.

Для проверки адекватности модели была разработана конструкция приспособления к токарному станку для накатывания зубчатого профиля (рис. 6).

Ниже представлены результаты экспериментальной проверки процесса накатывания. Накатывание производится на цилиндричекой заготовке, после чего требуется отрезать накатанную часть в результате на поверхности реза образуется заусенец, который необходимо зашлифовывать (рис. 7).

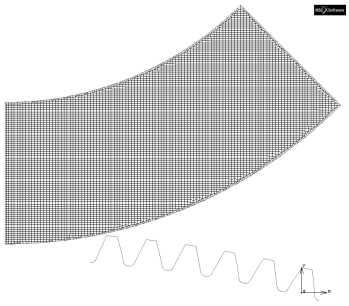


Рис. 4. Численная модель процесса накатывания колеса

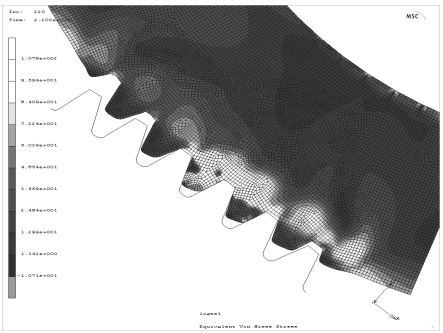
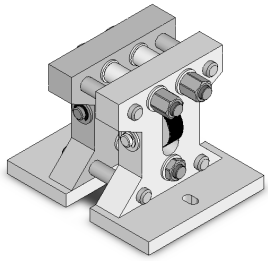


Рис. 5. Результаты численного моделирования



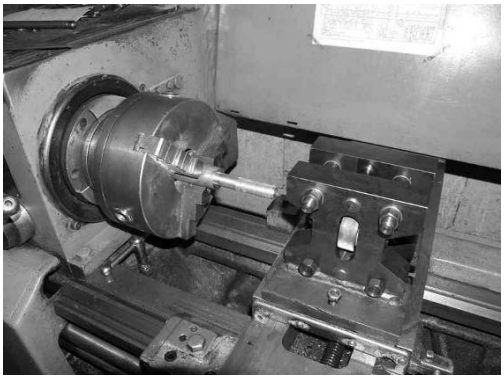


Рис. 6. Приспособления для экспериментальной проверки адекватности модели

После удаления заусенца можно проводить сравнение с численной моделью (рис. 8). Сравнение профилей происходит путем наложения. В численной модели накатник является абсолютно жестким телом и имеет характреные размеры (высота зуба – 0,675 мм). По известному размеру определяется масштаб и находятся величины отклонений. Максимальные отклонения составляют 5,21 %.

Рис. 7. Торцовая поверхность заготовки до обработки заусенца (увеличение)

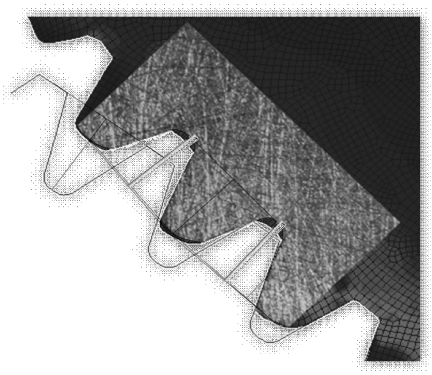


Рис. 8. Сравнение численного и натурного эксперимента

Полученная точность численной модели позволяет использовать моделирование для определения факторов, влияющих на точность передачи.

Для устранения ассиметрии зуба при накатывании цилиндрическим накатником требуется плавный вход накатника в заготовку. В различных схемах накатывания это осуществляется по-разному. При использовании цилинрических накатников с осевой подачей заготовки на накатнике формируют заходные и калибрующие участки сложной геометрии. Однако на мелкомодульном накатнике сформировать заходный участок достаточно сложно и трудоемко. Другой распространенный способ – радиальная подача накатника, когда заготовка вращается на месте, а накатники двигаются в радиальном направлении по отношению к заготовке. В таком случае необходимо осуществлять либо непрерывную (рис. 9), либо ступенчатую подачу.

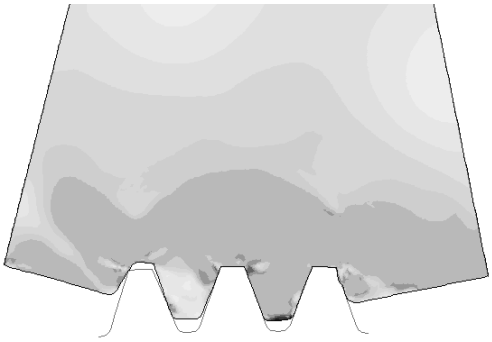


Рис. 9. Результаты численного моделирования процесса накатывания зубчатого профиля

Для минимизации погрешности шага следует синхронизировать движение заготовки и накатников (например, через эталонную зубчатую передачу). Это позволит более точно поделить заготовку в начале процесса. В завершающей стадии требуется применение калибровки в виде калибровочного накатника, либо применение доводочных операций, таких, как приработка.

Профилирование мелкомодульного зубчатого колеса методом пластического деформирования – один из немногих способов упрочнения поверхности гибкого колеса волнового привода. Так как колесо должно оставаться гибким, неприменимы способы объемной закалки. Способы поверхностного упрочнения тоже малоэффективны вследствие малых размеров зубьев.

Итак, численное моделирование помогает на этапе проектирования технологии накатывания моделировать различные схемы и технологические параметры с достаточной степенью достоверности. Тем не менее, в процессе моделирования инженер сталкивается с рядом проблем по настройке пакета (выбор модели материала, учет искажения конечноэлементной сетки, достижения точности модели и т. д.), разрешение которых требует от него высокой квалификации.

Для достижения точности накатываемого колеса требуется: применения точного, жесткого профилирующего инструмента; синхронизация вращения накатника и заготовки; ступенчатая или непрерывная подача инструмента; применение калибрирующего накатника или участка накатника; приработка.

При реализации рассмотренной методики достижим 6...7 класс точности. Увеличение нагрузочной способности колеса зависит от степени упрочнения, которая в свою очередь определяется характеристиками материала. В материалах, применяемых для накатывания зубчатого привода, используют хромоникелевые стали с возможностью двукратного упрочнения.

Библиографический список

1. Барбарич, М. В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес / М. В. Барбарич, М. В. Хоруженко. М. : Машиностроение, 1970.

2. Богоявленский, К. Н. Изготовление деталей пластическим деформированием / К. Н. Богоявленский, П. В. Камнев. Л. : Машиностроение, 1975.

3. Третьяков, А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. М. : Металлургия, 1973.

4. Капитонов, И. М. Проектирование инструмента для горячей накатки зубчатых колес с осевой подачей инструмента / И. М. Капитонов // Кузнечно-штамповочное пр-во. 1966. № 3.

5. Яковлева, А. П. Технологическое повышение нагрузочной способности зубчатых колес комбинированной обработкой / дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. П. Яковлева. М., 2005.

6. Кроха, В. А. Кривые упрочнения металлов при холодной деформации / В. А. Кроха. М. : Машиностроение, 1968.

7. Мазуренко, Ю. П. Холодное накатывание зубчатых венцов цилиндрических колес / Ю. П. Мазуренко. Львов, 1980.

8. Абрамов, В. В. Напряжения и деформации при термической обработке стали / В. В. Абрамов. Донецк : Вища шк., 1985.

9. Соколовский, В. В. Теория пластичности / В. В. Соколовский. М. : Высш. шк., 1969.

10. Simo, J. C. On fully three-dimensional finite strain viscoelastic damage model: Formulation and computational aspects / J. C. Simo // Computer methods in applied mechanics and engineering. 1987. Vol. 60. P. 153–173.

11. Chen, W. F. Plasticity for Structural Engineers / W. F. Chen, D. J. Han. N. Y. : Springer-Verlag, 1988.

12. Качанов, Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. М., 1956.

13. Володин, Н. И. Накатка цилиндрических зубчатых колес / Н. И. Володин ; Центр. ин-т НТИ машиностроения. М., 1962.

D. V. Vavilov, A. A. Iptyshev, V. I. Usakov

SIMUALTION OF THE SPUR GEAR SERRATION ROLLING PROCESS WITH PRESCRIBED QUALITY INDICATORS

It is covered numeric simulation of serration gears profiling process with the prescribed quality indicators. A comparison of numeric and natural experiments is applied. Recommendations for technological equipment to obtain profiling precisionare presented.

Keywords: rolling, serration gears, profiling, plastic strain, numeric simulations.

УДК 502.3: 504.064.3

Е. В. Сугак, Е. Н. Окладникова, Л. В. Ермолаева

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РИСКОМ

Основным компонентом экологического риска является риск нанесения ущерба здоровью людей. Существующие методики оценки степени влияния на здоровье населения различных факторов не позволяют обрабатывать большие объемы данных и оперативно устанавливать взаимосвязи между входными и выходными параметрами. Разработана обобщенная модель влияния вредных выбросов на здоровье населения, основанная на нейросетевых технологиях.

Ключевые слова: социально-экологический риск, информационные технологии, нейросетевые технологии, моделирование, экологическая безопасность, анализ риска.

Загрязнение окружающей среды – один из значимых факторов, обусловливающих ухудшение здоровья и высокую смертность населения [1]. В России только загрязнение атмосферного воздуха является причиной от 2...3 до 17,5 % общей смертности городского населения [2; 3]. В городах Европы вследствие воздействия загрязненного атмосферного воздуха наступает до 23 тыс. дополнительных смертельных исходов [4].

В России в экологически неблагоприятных регионах проживает около 50 % населения. Общая площадь этих регионов составляет около 10 % земельного фонда страны. Неблагоприятная окружающая среда приводит к снижению качества жизни человека, поэтому экологическую безопасность следует рассматривать как необходимый элемент устойчивого развития общества и как составную часть национальной безопасности [5].

Ускоренное развитие промышленности в России в XX в. привело к строительству ряда промышленных предприятий без соблюдения экологических ограничений и учета природных факторов. Достаточное количество дешевой рабочей силы в 30–50-е гг. дало возможность для возведения индустриальных гигантов на Урале, Дальнем Востоке и в Сибири. Так что именно в этих районах на фоне тяжелых климатических условий загрязненная окружающая среда оказывает наиболее выраженное отрицательное воздействие на здоровье населения [2].

На территориях Сибирского федерального округа (СФО) выбрасывается в атмосферный воздух 2 млн т загрязняющих веществ от автотранспорта и 5,6 млн т от стационарных источников [6]. Красноярский край лидирует по вкладу в суммарные выбросы вредных веществ в атмосферу от автотранспорта (более 300 тыс. т) и стационарных источников (2 454 тыс. т) в СФО (в целом 36 %), на него приходится самый высокий показатель поступления вредных веществ в атмосферу на одного жителя (972 кг/чел.). Характер загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах Красноярского края оценивается как интенсивный и многофакторный, санитарно-эпидемиологическая обстановка в промышленных городах – как неблагополучная [6].

Для таких районов оценка и прогнозирование риска негативного воздействия окружающей среды на здоровье человека (социально-экологического риска) представляется наиболее актуальной задачей. Несмотря на это, методологическая база данного научного направления разработана пока недостаточно.

Для достоверной оценки влияния загрязненной окружающей среды на показатели здоровья населения необходима надежная информация об этих параметрах и обоснованная методика оценки экологической безопасности. Только на основании достоверных данных можно определить наиболее острые проблемные ситуации на территории страны или отдельных регионов и городов.

Стержнем концепции экологической безопасности является теория экологического риска, который определяется в первую очередь вредным воздействием окружающей среды на здоровье населения [7]. Риск – одна из важнейших категорий, отражающих меру опасности ситуаций, в которых имеются потенциальные факторы, способные неблагоприятно воздействовать на человека, общество и природу [8]. В системе социально-гигиенического мониторинга экологическим риском считается потенциальная опасность для здоровья отдельной личности, группы лиц, части населения или населения в целом, возникающая или ожидаемая в связи с неблагоприятным воздействием отдельных факторов окружающей среды. Рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) определяют риск как «ожидаемую частоту нежелательных эффектов, возникающих от заданного воздействия загрязнителя» [9; 10]. Согласно глоссарию американского Агентства охраны окружающей среды (EPA US), риск есть «вероятность повреждения, заболевания или смерти при определенных обстоятельствах» [11].

В целом, понятие риска используется во многих общественных и естественных науках [12]. В техносфере риск обычно интерпретируется как вероятностная мера наступления техногенных или природных событий, сопровождающихся влиянием вредных факторов и нанесением социального, экономического, экологического и других видов ущерба [13]. Однако единого представления о количественной мере риска, связанного с проявлением конкретных природных и техносферных процессов, не сложилось. Разнообразие мнений о сущности такого риска объясняется не только многоплановостью оцениваемых явлений, но и недостаточным и неадекватным использованием этой категории в реальной практике и управленческой деятельности [8; 12].

Тем не менее, в последнее время все большее распространение получает подход к определению риска неблагоприятного события, который учитывает не только вероятность этого события, но и все его возможные по-

следствия [8; 14; 15]. При этом вероятность события или процесса выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (ущерб) – другим. Такое «двумерное» определение риска используется при его количественном оценивании – риск может быть определен как произведение вероятности рассматриваемого события (или процесса) на магнитуду (меру) ожидаемых последствий (социальных, экологических, экономических, моральных и т. д.) [12–17]:

$$R = \sum_{i=1}^{n} p_i U_i ,$$

где p_i – вероятность i-го события, U_i – ущерб (убытки, потери) при реализации i-го события.

Данная функция может использоваться как для оценки безопасности, так и при выборе оптимальных проектных и управленческих решений и представляет собой простейший вариант модели «ожидаемой полезности» в теории принятия решений.

В системе управления социально-экологическим риском в качестве ущерба U могут использоваться как количественные показатели (индикаторы) здоровья населения, совокупность которых дает адекватную оценку состоянию здоровья человеческой популяции (средняя продолжительность жизни, число смертей или случаев заболевания и т. д.) или их изменение под влиянием вредных воздействий, так и их экономические эквиваленты, а в качестве вероятности p – вероятностная или частотная характеристика негативного последствия (например, число летальных случаев на 100 тыс. населения или вероятность смерти человека в течение года) [7].

За основу перечня индикаторов здоровья населения можно взять соответствующие рекомендации ВОЗ [18]. Однако для использования внутри страны, ввиду слишком широкого разнообразия условий проживания по регионам, список необходимо расширить, дополнив показателями, позволяющими сравнивать территории и оценивать динамику состояния здоровья населения и среды обитания [7].

Анализ информативности индикаторов с точки зрения оценки взаимосвязи параметров здоровья и окружающей среды, надежности используемых методик сбора и обработки информации, позволяет принять перечень основных индикаторов здоровья населения, которые можно разбить на четыре группы [7]: ожидаемая продолжительность жизни (в том числе по категориям населения); смертность (в том числе по различным причинам); показатели физического развития детей; заболеваемость (в том числе по видам и категориям).

В целях снижения воздействия на природные компоненты техносферы и уменьшение социально-экологического риска необходимо осуществлять постоянный процесс управления экологическими рисками (рис. 1) [19].

В настоящее время разработаны основные принципы управления риском [7]:

– оправданность практической деятельности: никакая практическая деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее для общества в целом не превышает вызываемого ею ущерба;

– оптимизация защиты: продление среднестатистической ожидаемой продолжительности предстоящей жизни, в течение которой личность может вести полнокровную и деятельную жизнь в состоянии физического, душевного и социального благополучия;

– интегрированный подход: политика управления риском может считаться эффективной, если в управление риском включен весь совокупный спектр опасностей и вся информация о принимаемых решениях общедоступна;

– экологическая политика: политика в области управления риском должна реализоваться в рамках строгих ограничений в отношении воздействий на природные экосистемы.

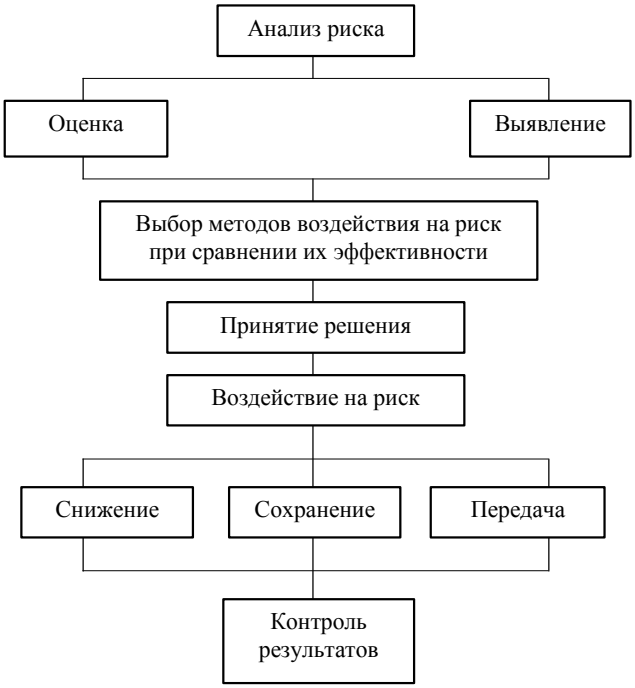


Рис. 1. Общая схема управления экологическим риском [20]

Вместе с тем существует ряд проблем, затрудняющих внедрение и использование методологии оценки риска и, соответственно, системы экологического менеджмента. В нашей стране до настоящего времени методология оценки риска как инструмента научной экспертизы, как правило, основывается либо на принципах установления причинно-следственных связей «среда–здоровье», либо на выполнении специальных медицинских исследований, направленных на изучение механизмов биологического действия факторов или агентов при различных экспозиционных нагрузках. Такой подход требует проведения объемных исследований в течение достаточно длительного времени. При комбинированном действии различных агентов решение задачи еще более усложняется. В связи с этим принятие оперативных управленческих решений в области защиты здоровья населения и охраны окружающей среды на традиционной основе не всегда является возможным. Кроме того, результаты значительного количества исследований непригодны для использования в практике управления из-за сложности методик, несоответствия реальным возможностям практики, отсутствия четкого алгоритма практического использования, необходимости вложения значительных финансовых средств [7]. Наконец, в России существует ряд территорий, где требования нормативов качества окружающей среды практически невыполнимы. В таких случаях, если

ориентироваться только на действующую нормативную систему, становится невозможным проведение экологической оценки ситуации и прогнозирование ее развития.

Выход из создавшегося положения должен находиться в адаптации методологической базы, основанной на мировом опыте по оценке и управлению риском, к реальным возможностям и потребностям с использованием существующего опыта и наработок в области регламентирования вредных факторов окружающей среды. Так, с одной стороны, необходимо учитывать, что при разработке нормативов получено большое количество данных, на основе которых возможно прогнозирование неблагоприятных для здоровья эффектов при различных дозовых нагрузках. С другой стороны, развитие современных технологий, основанных на работе в едином информационном пространстве, открывает качественно новые возможности анализа экологической ситуации. На период разработки новых отечественных критериев оценки риска и появления соответствующих нормативно-методических документов предлагается пользоваться такими понятиями, как референтная доза (концентрация) и потенциала рисков, разработанными EPA US [7]. Использование методологии оценки риска в сочетании с медико-статистическими и эпидемиологическими методами является основой для установления причинно-следственных связей в системе «среда–здоровье».

В международной практике процедура оценки риска здоровью, при анализе качества окружающей среды, состоит из четырех основных этапов [7; 20]:

– идентификация опасности (выявление факторов, представляющих угрозу для здоровья человека);

– оценка экспозиции (получение информации о дозовых нагрузках населения);

– выявление зависимости «доза–эффект» (прогноз изменений в состоянии здоровья человека или группы людей в результате воздействия вредного агента);

– характеристика риска (оценка количественных величин риска, анализ и характеристика неопределенностей и обобщение информации).

Анализ подходов, методов и методик проведения всех этапов оценки риска показывает, что наиболее серьезного развития требует третий этап – оценка зависимости «доза–эффект» [7]. Для обеспечения возможности его реализации, методологически он должен, с одной стороны, основываться на тех же принципах, что и существующая система нормирования вредных факторов окружающей среды, но, с другой стороны, максимально использовать современные вычислительные и информационные технологии. Альтернативный подход – создание специализированной нормативной информационной базы, имеющей правовой статус, широкую доступность и четкие инструкции по ее применению, – является важной задачей, но реализация такого подхода возможна лишь в весьма отдаленной перспективе, так как требует привлечения большого объема временных, трудовых и финансовых ресурсов [7].

Одним из перспективных методов построения зависимости «доза–эффект» представляется использование нейросетевых технологий, которые позволяют обрабатывать большие объемы данных и оперативно устанавливать взаимосвязи между входными и выходными параметрами.

Для проверки приемлемости использования нейросетевых технологий для оценки экологического риска построена обобщенная модель влияния вредных выбросов на здоровье населения Красноярского края [7; 21]. В качестве индикаторов состояния окружающей среды использовались объемы выбросов в атмосферу загрязняющих веществ – общие (табл. 1) и веществ 1 и 2-го классов опасности (табл. 2) [22]. В качестве основных индикаторов здоровья населения принимались данные о динамике естественного движения населения (рис. 2), ожидаемой продолжительность жизни (рис. 3) и заболеваемости (рис. 4).

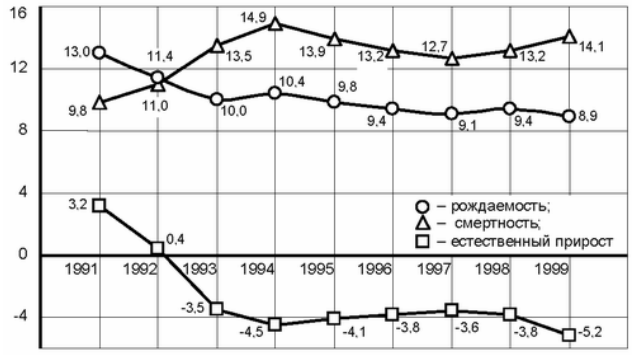


Рис. 2. Динамика естественного движения населения (число случаев на 1000 человек)

Для построения нейросетевой модели использовались стандартные методики программного пакета Neuro Office.

Тестовые расчеты показывают, что нейросетевая модель вполне удовлетворительно описывает исходные дан-

Таблица 1

Динамика выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, тыс. т

Годы	Суммарные выбросы	Выбросы от стационарных источников	Выбросы от автотранспорта
1991	3 509,9	3 185,1	324,8
1992	3 106,6	2 784,7	321,9
1993	3 026,6	2 498,8	527,8
1994	2 686,4	2 414,5	271,9
1995	2 767,3	2 505,9	261,4
1996	2 814,1	2 610,9	203,2
1997	2 822,4	2 670,8	151,6
1998	2 783,9	2 617,1	166,8
1999	2 818,7	2 644,2	174,5

ные – погрешность по различным индикаторам составляет от 1,9 до 4,7 %.

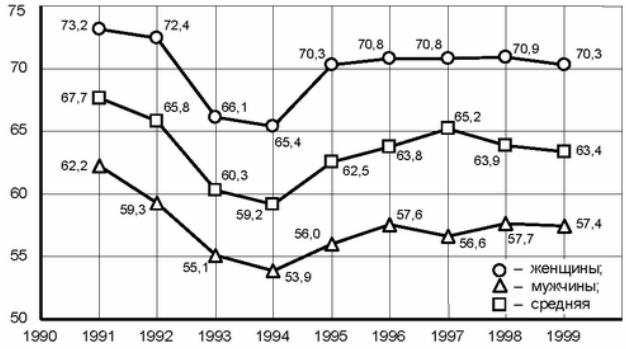


Рис. 3. Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)

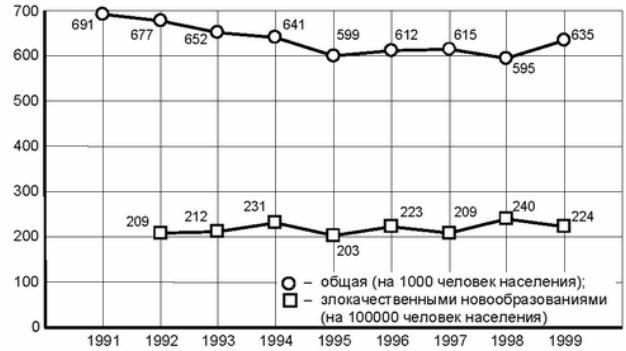


Рис. 4. Заболеваемость, впервые выявленная в жизни

Нейросетевая модель позволяет не только оценить влияние отдельных факторов на состояние здоровья населения, но и прогнозировать социальную эффективность природоохранных мероприятий. Так, например, расчеты по модели показывают, что снижение объемов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на 10 % (при прочих равных условиях) может привести к увеличению средней продолжительности предстоящей жизни населения Красноярского края на 1,5...2 года и снижению индивидуального риска на 10^{-4} в год, риска социального ущерба (или социальному эффекту) в стоимостном выражении – на 180...420 млн руб. [21].

Расчеты, выполненные на основе предлагаемого подхода, по-видимому, имеют большую степень неопределенности по сравнению с результатами, полученными при точном соблюдении требований научной экспертизы. Однако его преимуществом является то, что уже сейчас имеются все необходимые правовые, методические и информационные возможности для его внедрения в практику экологической экспертизы и контроля состояния природной среды.

Кроме того, предложенный метод анализа риска может позволить, при необходимости, получить объективную количественную информацию о степени опасности конкретного действующего или проектируемого производственного объекта, выявить зоны и территории, где уровень риска превышает значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятия определенных мер по его снижению и обеспечению нормативной безопасности производственного персонала и населения.

Библиографический список

1. Горелов, А. А. Социальная экология / А. А. Горелов. М. : Изд-во ин-т философии Рос. акад. наук, 1998.

2. Ревич, Б. А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России / Б. А. Ревич. М. : Акрополь, 2007.

3. Рахманин, Ю. А. Современные научные проблемы совершенствования методологии оценки риска здоровья населения / Ю. А. Рахманин, С. М. Новиков, С. И. Иванов // Гигиена и санитария. 2005. № 2. С. 7–10.

4. Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors / Editors M. Ezzati, A. D. Lopez, A. Rodgers, C. J. L. Murray. Vol. 1–3. World Health Organization. Geneva, 2004.

5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности. Красноярский край. М. : Знание, 2001.

6. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 г. : гос. докл. М. : Центр международных проектов, 2007.

7. Сугак, Е. В. Системный анализ экологических рисков. Современные методы математического моделиро-

Таблица 2

Объем выбросов в атмосферу основных загрязняющих веществ и веществ 1...2-го классов опасности

Загрязняющие вещества	Объемы выбросов по годам, т					
	1991	1995	1996	1997	1998	1999
Бенз(а)пирен	3	4	4	4	4	3
Фенол	83	25	26	7	6	11
Формальдегид	46	21	20	5	35	38
Диоксид азота	81 660	65 845	72 950	67 500	70 315	69 565
Фтористый водород	1 974	1 673	1 668	1 653	1 154	752
Сероводород	1 443	741	85	498	377	375
Сероуглерод	3 708	1 582	1 252	1 114	1 004	844
Хлор	327	188	173	62	62	51
Пыль	281 734	180 020	184 114	175 400	164 659	169 850
Диоксид серы	2 569 517	2 070 268	2 135 707	2 221 400	2 186 679	2 220 597
Аммиак	129	125	103	425	467	614
Оксид углерода	161 075	143 529	174 925	157 400	148 784	133 637

вания природных и антропогенных катастроф / Е. В. Сугак // Тр. VIII Всерос. конф. Кемерово. 2005. С. 303–321.

8. Владимиров, В. А. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика / В. А. Владимиров, Ю. Л. Воробьев, С. С. Салов и др. М. : Наука, 2000.

9. Биомаркеры и оценка риска: концепции и принципы. Гигиенические критерии состояния окружающей среды: Бюл. ВОЗ. Вып. 155. М., 1996.

10. Оценка рисков для организма человека, создаваемых химическими веществами: обоснование ориентировочных величин для установления предельно допустимых уровней экспозиции по показателям влияния на состояние здоровья: Бюл. ВОЗ. Вып. 170. М., 1995.

11. Мартынюк, В. Ф. Анализ риска и его нормативное обеспечение / В. Ф. Мартынюк и др. // Безопасность труда в промышленности. 1995. № 11. С. 55–61.

12. Буянов, В. П. Рискология. Управление рисками / В. П. Буянов, К. А. Кирсанов, Л. М. Михайлов. М. : Экзамен, 2003.

13. Владимиров, В. А. Катастрофы и экология / В. А. Владимиров, В. И. Измалков. М. : Контакт-Культура, 2000.

14. Ваганов, П. А. Экологические риски / П. А. Ваганов, Им Манг-Сунг. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та. 2001.

15. Окладникова, Е. Н. Оптимизация системы технического обслуживания потенциально опасных объектов : дис. ... канд. техн. наук : 18.06.2008 / Е. Н. Окладникова. Красноярск, 2008.

16. Алымов, В. Т. Анализ техногенного риска / В. Т. Алымов, В. П. Крапчатов, Н. П. Тарасова. М. : Круглый год, 2000.

17. Гражданкин, А. И. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А. И. Гражданкин, М. В. Лисанов, А. С. Печеркин // Безопасность труда в пром-сти. 2001. № 5. С. 33–41.

18. Окружающая среда и здоровье населения России : атлас. М. : ПАИМС, 1995.

19. Золотарев, А. П. Управление экологическими рисками на промышленном предприятии / А. П. Золотарев / / Тр. Том. гос. ун-та. Сер. биол. 2004. Т. 266. С. 35–39.

20. Моделирование и проектирование экологически безопасных процессов и систем // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. XV междунар. науч. конф. в 10 т. Т. 4. Тамбов, 2002.

21. Сугак, Е. В. Вычислительные и информационные технологии анализа и оценки социально-экологических рисков / Е. В. Сугак, Е. Н. Окладникова, Е. Н. Кузнецов // Экология и пром-сть России. 2008. № 8. С. 24–29.

22. О состоянии окружающей природной среды Красноярского края в 1999 г. : гос. докл. / Гос. ком. по охране окружающей среды Краснояр. края. Красноярск, 2000.

E. V. Sugak, E. N. Okladnikova, L. V. Ermolaeva

INFORMATION CONTROL TECHNOLOGIES OF SOCIALAND-ECOLOGIC RISK

The risk of causing damage to the health of people is the basic component of ecological risk. The existing procedures existing to evaluate the degree of the influence the population health of different factors do not make it possible to process data and to operationally establish the interrelations between the input and output parameters. The unified model of the harmful ejections influence on the population health, based on the neural-networks technologies is developed.

Keywords: socially-ecological risk, information technologies, neural-networks technologies is developed, modeling, ecological safety, risk analysis.

УДК 519.8

О. И. Антамошкина, П. А. Кравцов

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАСПИСАНИЙ В УСЛОВИЯХ РИСКА И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Предлагается алгоритм формирования оперативно-производственных планов с учетом рисков (брак, недопоставка) и неопределенности (продолжительность выполнения работ), основанный на циклической альтернативной сетевой модели, позволяющий определить минимально возможный срок завершения производственной программы.

Ключевые слова: производственные расписания, риск, неопределенность, сетевые модели.

Задача составления оперативно-производственного плана состоит в следующем: для заданного уровня достоверности p (например, с вероятностью $p = 0,95$) определить минимально возможный срок окончания работ по новому поступающему заказу с учетом ограничений по загрузке оборудования и поставкам покупных комплектующих и материалов. Более подробную формулировку см. в [1; 2].

Для решения данной задачи в условиях рисков и неопределенности предлагается следующий алгоритм:

1. Формируется производственная модель предприятия.

1.1. Задаются два конечных множества: $O=\{O_1,...,O_N\}$ и $R=\{R_1,...,R_M\}$, элементы которых называются соответственно операциями и ресурсами. Ресурсы – это как оборудование, так и персонал, причем если при какой-то операции требуется использование некоторого оборудования и персонала одновременно, то единица оборудования и единица персонала (рабочий) считаются неразрывными. Множество O содержит *все* операции, которые могут выполнять *все* ресурсы из множества R.

1.2. Задается разбиение $\widehat{O}=\{\widehat{O}_1,...,\widehat{O}_g\}$ множества O на *группы операций*, $\bigcap_{h=1}^{g}\widehat{O}_h=\varnothing$. Для каждой группы операций $\widehat{O}_h$ ($h=\overline{1,g}$) задано множество $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)=\left\{R_1\left(\widehat{O}_h\right),...,R_{r_h}\left(\widehat{O}_h\right)\right\}\subseteq R$ ресурсов (*группа оборудования*) – множество возможных исполнителей операций $O_f\in\widehat{O}_j\subseteq O$, $\overline{f=1,N}$ (например, все токарные станки, все фрезерные станки, все маляры и т. д.), $\bigcap_{h=1}^{g}\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)=\varnothing$.

Для каждой единицы оборудования строго определен круг персонала, допущенный к работе на данном оборудовании.

Ресурс $R_r\left(\widehat{O}_h\right)\in\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, если может выполнять хотя бы одну операцию $O_f\in\widehat{O}_h$, $r=\overline{1,r_h}$, r_h – мощность множества $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$. Это означает, что в самой группе ресурсов могут находиться вложенные друг в друга подгруппы: $\widehat{R}_h^1\left(\widehat{O}_h\right)\subseteq...\subseteq\widehat{R}_h^{Q_h}\left(\widehat{O}_h\right)\subseteq\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, где Q_h – любое натуральное число. Таким способом моделируется ситуация, которую проиллюстрируем примерами:

– если для некоторой операции требуется токарь 2-го разряда, то ее может выполнить и токарь 6-го разряда, но до операции, для которой необходим токарь 6-го разряда, токарь 2-го разряда не может быть допущен;

– когда в одной группе $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$ находятся однотипные станки разных возрастов – новый точный станок и более старый менее точный станок, то обработку некоторой детали, требующей высокой точности выполняют на новом станке, если же такая точность не требуется, то данную деталь можно обрабатывать как на новом, так и на старом станке. Также новый станок может производить те же операции, что и старый, плюс такие операции, которые не были заложены производителями оборудования в старую модель.

Для общности множество $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$ может быть равно пустому множеству: $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)=\varnothing$. Последнее означает, что для выполнения операций группы $\widehat{O}_h$ не требуется никаких ресурсов (например, сушка покрашенной поверхности).

1.3. Для каждого ресурса на любом временном интервале определяется свой график работы.

Каждый ресурс $R_m\in\widehat{R}_h^q\left(\widehat{O}_h\right)\subseteq\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)\subseteq R$, $m=\overline{1,M}$, $q=\overline{1,Q_h}$ на любом временном интервале $[T_1,T_2]$ имеет свой график работы $\Gamma_m=\bigcup_{l=1}^{L_m}\left[t_{m_l}^a,t_{m_l}^b\right]$, где L_m – число непересекающихся временных отрезков $\left[t_{m_l}^a,t_{m_l}^b\right]$, $l=\overline{1,L_m}$, $t_{m_1}^a=T_1$, $t_{m_{L_m}}^b=T_2$, $t_{m_{l-1}}^b\le t_{m_l}^a$. Концы этих отрезков – моменты начала и окончания рабочей смены, моменты начала и окончания обеденного перерыва, «текущие» сроки начала $b_{i,j}^k$ и окончания $e_{i,j}^k$ операций $(i,j)_k$, относящихся к изделиям «в производстве» (п. 3.5) и т. д.

2. Формируется модель материально-технического обеспечения производства.

2.1. Задается перечень складов.

2.2. Анализируется уровень запасов по складам и местам складирования. Пусть $B=\{b_1,...,b_{\overline{B}}\}$ – множество покупных комплектующих изделий, полуфабрикатов и материалов, $\overline{B}=|B|$ – количество номенклатурных единиц покупных комплектующих изделий компьютерной базы складов предприятия, полуфабрикатов и материалов, q_β^t – количество «свободных» комплектующих изделий или материалов номенклатурной единицы b_β на складах предприятия в момент времени t ($\beta=\overline{1,\overline{B}}$). «Свободные» материалы – материалы, не зарезервированные для производства других изделий; q_β^t имеет соответствующую единицу измерения (штука, кг, м, м^2, м^3 и т. д.).

2.3. Производится выборка по срокам поставок покупных комплектующих и материалов от поставщиков $t_\beta^{\text{пост}}$.

3. Формируется модель незавершенного производства. Множество $X=\{x_1,...,x_n\}$ изделий в производстве – «незавершенное производство».

3.1. Разрабатывается спецификация изделий – дерево сборки каждого изделия C_k $k=\overline{1,n}$.

Дерево (граф) $C_k=(V_k,S_k)$, где $V_k=B_k\cup P_k$ – множество вершин c_a^k графа C_k – компонентов изделия x_k ($a=\overline{1,A_k}$, $A_k=|V_k|$ – число вершин графа C_k), равное объединению множества покупных комплектующих изделий, полуфабрикатов и материалов $B_k=\{b_1^k,...,b_{\beta_k}^k\}\subseteq B$ ($\beta_k=|B_k|$) и множества узлов собственного производства P_k; S_k – множество ребер графа C_k, обозначающих отношения вложенности узлов друг в друга.

Если задать направления просмотра данного дерева сверху вниз, т. е. спускаться от вершины «Изделие x_k» вниз по каждой ветви, то все вершины, находящиеся на уровнях с первого по предпоследний, принадлежат множеству узлов собственного производства P_k. Вершины, находящиеся на последнем уровне, могут быть двух типов:

– покупными, т. е. принадлежать множеству B_k (например заготовки деталей, стандартные болты, гайки, электрические компоненты и т. д.);

– полученными способом раскроя (например листовой металл, трубы и т. д.).

Обозначим $q_\beta^{k,t}$ – потребность в покупных комплектующих изделиях, полуфабрикатах или материалах $b_\beta\in B_k\subseteq B$ для изделия k в момент времени t. $q_\beta^k=\sum_t q_\beta^{k,t}$ – общая потребность в покупных комплектующих изделиях, полуфабрикатах или материалах $b_\beta\in B_k\subseteq B$ для изделия k.

3.2. Строится циклический орграф пооперационного технологического процесса сборки каждого изделия, получаемый из дерева C_k сборки изделия x_k – для каждой детали определяется некоторая совокупная последовательность технологических операций, которая может быть как строго определенной, так и произвольной. Все операции, относящиеся к одной детали (узлу) c_a^k ($a=\overline{1,A_k}$), объединяются в одну работу. Технологичес-

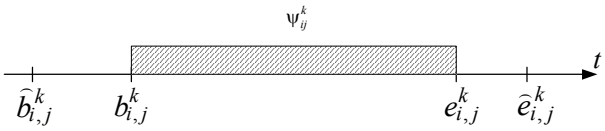
кий процесс представляется в виде циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ) $X_k\left(\Omega_k, A_k\right)$, где X_k – циклический орграф техпроцесса *k*-го изделия в производстве ($k=\overline{1,n}$), состоящий из множества событий Ω_k и дуг $\left(i_k, j_k\right)$ $\left(i_k, j_k \in \Omega_k\right)$, определяемых матрицей смежности $A_k=\left\{p_{ij}^k\right\}$. Далее $\left(i_k, j_k\right)$ будем обозначать как $(i,j)_k$. Выполняется условие $0 \le p_{ij}^k \le 1$, причем $p_{ij}^k=1$ задает детерминированную дугу $(i,j)_k$, а условие $0<p_{ij}^k<1$ определяет альтернативное событие i_k, которое с вероятностью p_{ij}^k связано дугой с событием j_k. В п. 5.1 будет дано разъяснение, что такое p_{ij}^k. Множество дуг подразделяется на дуги-работы (производственные операции) и дуги-связи. Первые реализуют определенный объем производственной деятельности во времени, второй тип дуг отражает исключительно логические связи между событиями. Поставка покупных материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий также рассматривается как работы. Событиями могут быть как моменты заказа и поступления комплектующих, начала и окончания производственных операций, так и некоторые их промежуточные состояния. Момент свершения события i_k обозначим T_i^k.

3.3. Определяется принадлежность дуг-работ одной из групп операций, назначается ресурс из группы возможных исполнителей на выполнение этой операции. Каждая из дуг-работ $(i,j)_k$ принадлежит какой-то одной из групп операций $\widehat{O}_h$ ($h=\overline{1,g}$) и, соответственно, ее может исполнять один из ресурсов подгруппы $\widehat{R}_h^q\left(\widehat{O}_h\right)$ группы $\widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right)$, $q \in \left[1, Q_h\right]$, q – целое число.

3.4. Вводятся нормировочные данные о трудоемкости/длительности операций – длительность ψ_{ij}^k операции $(i,j)_k$ (если длительность данной операции не зависит от объема назначенного на нее производственного ресурса), трудоемкость w_{ij}^k операции $(i,j)_k$, $k=\overline{1,n}$.

3.5. Определяются «временные ворота», в пределах которых может быть произведена операция, с учетом рассчитанных ранее «текущих» сроков начала и окончания операций, а также ранних сроков начала и поздних сроков окончания операций с привязкой к ресурсам.

Рассчитанные ранее «текущие» сроки начала $b_{i,j}^k$ и окончания $e_{i,j}^k$ операций $(i,j)_k$ ($b_{i,j}^k+\psi_{i,j}^k=e_{i,j}^k$), а также ранние сроки начал и поздние сроки окончаний операций с привязкой к ресурсам (в том числе и утвержденные сроки окончания изготовления каждого изделия T_{fin}^k): $\widehat{b}_{i,j}^k$ – ранний срок начала операции $(i,j)_k$ изделия *k*, $\widehat{e}_{i,j}^k$ – поздний срок окончания операции $(i,j)_k$ изделия *k*, $k=\overline{1,n}$. Это так называемые «временные ворота» (см. рисунок), в пределах которых может быть произведена операция $(i,j)_k$: $\widehat{b}_{i,j}^k \le b_{i,j}^k$ и $e_{i,j}^k \le \widehat{e}_{i,j}^k$.



«Временные ворота» производственной операции

Для операций $(i,j)_k$, которые означают доставку покупных комплектующих и материалов, $\widehat{b}_{i,j}^k$ – ранний срок оформления заявки на приобретение соответствующего материала, $\widehat{e}_{i,j}^k$ – поздний срок доставки соответствующего материала.

3.6. Определяются коэффициенты напряженности всех операций K_{ij}^k изделия k, $k=\overline{1,n}$. Так как каждое изделие представляется отдельным орграфом ЦАСМ, то коэффициенты напряженности операций рассчитываются только из учета данного орграфа.

4. Исходя из п. 1 и 3, рассчитываются коэффициенты загрузки оборудования на каждом временном отрезке.

4.1. Для ресурса $R_m \in \widehat{R}_h^q\left(\widehat{O}_h\right) \subseteq \widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right) \subseteq R$, $q=\overline{1,Q_h}$, для которого невозможно совмещение во времени производственных операций (например, выточка одной детали), коэффициент загрузки на временном отрезке $\left[t_1, t_2\right]$ равен

$$\gamma_m^{t_1,t_2}=\sum_{\substack{(i,j)_k \in [t_1,t_2] \\ k=1,\dots,n}} \frac{\psi_{ij}^k}{t_2-t_1} \cdot 100\,\%.$$

4.2. Для ресурса $R_m \in \widehat{R}_h^q\left(\widehat{O}_h\right) \subseteq \widehat{R}_h\left(\widehat{O}_h\right) \subseteq R$, $q=\overline{1,Q_h}$, для которого совмещение во времени некоторой совокупности производственных операций возможно (например, совместная термическая обработка некоторых деталей), коэффициент загрузки на временном отрезке $\left[t_1, t_2\right]$ равен

$$\gamma_m^{t_1,t_2}=\frac{V_m^{t_1,t_2}}{V_m} \cdot 100\,\%,$$

где V_m – постоянная максимальная вместимость ресурса, выражаемая соответствующей единицей измерения (количество обрабатываемых деталей или операций, килограмм, литр и т. д.), $V_m^{t_1,t_2}$ – потребность в ресурсе R_m с момента t_1 до момента t_2, выражаемая той же самой единицей измерения (количество операций, назначенных на данный ресурс на отрезке $\left[t_1, t_2\right]$, масса или объем обрабатываемых деталей и т. д.).

5. В графе ЦАСМ задаются параметры дуг.

5.1. Для всех когда-либо производимых деталей и узлов c_z ($z=\overline{1,Z}$) существуют данные о проценте удачного производства ρ_{c_z} (%), проценте производственного брака δ_{c_z} (%), приводящего либо к полному переделыванию данного узла, либо к доработке – $\theta_{c_z}^1, \dots, \theta_{c_z}^{\mu_z}$ (%) (может быть несколько вариантов доработки), $\rho_{c_z}+\delta_{c_z}+\sum_{q=1}^{\mu_z}\theta_{c_z}^q=100\,\%$. В графе ЦАСМ для изделия *k* вероятности p_{ij}^k переходов из вершины i в вершину *j* равны либо ρ_{c_z}, либо δ_{c_z}, либо $\theta_{c_z}^q$ ($q=1,\mu_z$).

5.2. Для всех операций $O_f \in \widehat{O}_j \subseteq O$, $f=\overline{1,N}$ существует выборка длительностей данных операций $\left\{O_f^\lambda\right\}$, $\lambda=1,\Lambda_f$. Данные выборки заполняются следующим образом: значение последней произведенной операции O_f ставится на первое место в данной выборке, все остальные элементы выборки при этом сдвигаются на одну позицию вправо.

6. Анализируется заказ на новое изделие *Y*.

6.1. Разрабатывается спецификация изделий (аналогично п. 3.1).

6.2. Строится циклический орграф пооперационного технологического процесса сборки изделия (аналогично п. 3.2).

6.3. Задаются нормативы трудоемкости/длительности операций – длительность ψ_{ij}^Y операции $(i,j)_Y$ (если дан-

ную операцию может выполнять ресурс, объемом не более 1), трудоемкость w_{ij}^{Y} операции $(i,j)_Y$.

6.4. Определяются предварительные сроки отгрузки изделия $T_Y^{\text{fin}0}$ (пожелания заказчиков).

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет решить следующую задачу составления оперативно-производственного плана.

Для заданного уровня достоверности p определить:

– ранние сроки начала $\widehat{b}_{i,j}^{Y}$ и поздние сроки окончания $\widehat{e}_{i,j}^{Y}$ всех производственных операций $(i,j)_Y$ изделия Y в привязке каждой операции к конкретному ресурсу $R_m \in R$;

– $q_\beta^{Y,t}$ – потребности в покупных комплектующих изделиях, полуфабрикатах или материалах $b_\beta \in B_k \subseteq B$ для изделия Y в моменты времени $t \in \left[T_0, T_Y^{fin}\right]$ с учетом возможного брака;

– минимальный срок окончания работ по изделию Y при выполнении ограничений:

$$\forall (i,j)_k, \forall x_k \in X \quad \widehat{b}_{i,j}^{k} \le b_{i,j}^{k} \text{ и } e_{i,j}^{k} \le \widehat{e}_{i,j}^{k},$$

$$\forall R_m \in R, \ \forall [t_1, t_2] \subseteq [T_0, T] \qquad \gamma_m^{t_1,t_2} \le 100\%,$$

где T_0 – момент расчета плана, условное начало координат на временной оси, $T \ge \max\left\{\max\limits_{x_k \in X}\left\{T_k^{\text{fin}}\right\}, T_Y^{\text{fin}}\right\}$ – горизонт планирования, и

$$\forall t \in \left[T_0, T_Y^{\text{fin}}\right], \ q_\beta^{Y,t} \le q_\beta^{t}.$$

Последнее ограничение означает, что в любой момент времени $\forall t \in \left[T_0, T_Y^{\text{fin}}\right]$ потребность $q_\beta^{Y,t}$ в некотором материале $b_\beta \in B_Y \subseteq B$ для нового изделия Y должна быть не больше наличествующего на складах предприятия количества «свободного» q_β^{t} материала b_β. При этом подразумевается, что для всех изделий «в производстве» $x_k \in X$ ($k = \overline{1,n}$) все потребности $q_\beta^{k,t}$ рассчитаны и обеспечены, т. е. материалы для изделий x_k либо находятся на складах, либо определены сроки их поставок. Использование материалов, предназначенных для изделия x_k, при производстве других изделий запрещено, точнее, разрешается использование только излишков материалов и комплектующих после производства соответствующих узлов или изделий (потребности в материалах планируются с учетом возможного брака).

Библиографический список

1. Авербах, Л. И. Моделирование задач планирования и управления проектами в условиях риска и неопределенности с использованием циклической альтернативной сетевой модели [Электронный ресурс] / Л. И. Авербах, В. И. Воропаев, Я. Д. Гельруд. Режим доступа: http://www.sovnet.ru/pages/casm2. doc. 3–4. Загл. с экрана

2. Ерыгина, Л. В. Планирование на предприятии машиностроения : учеб. пособие / Л. В. Ерыгина, Г. И. Латышенко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

O. I. Antamoshkina, P. A. Kravtsov

ALGORITHM FOR PRODUCTION SCHEDULE FORMATION IN CONDITIONS OF RISKS AND UNCERTAINTY

Algorithm for day-to-day production planning formation taking into consideration risks (defective goods, uncompleted delivery) and uncertainty (production run) is suggested. The algorithm is based on the cyclic alternative network model and permits to determine the minimal terms of production program carrying out.

Keywords: production schedule, risk, uncertainty, network model.

УДК 539.3

Е. М. Сигова, С. В. Доронин

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗАПАСА В КОНСТРУКЦИЯХ С РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНОЙ

Предложен методический подход к оценке коэффициентов запаса для конструкций с развивающейся усталостной трещиной, получены расчетные и экспериментальные оценки коэффициентов запаса для образцов оболочечных элементов конструкций.

Ключевые слова: коэффициенты запаса, развивающаяся усталостная трещина, оболочечные элементы конструкций.

Обоснование формулировок и количественных значений коэффициентов запаса является одним из основных элементов системы проектных расчетов машиностроительных конструкций.

Наиболее распространенны три подхода к определению запаса прочности: метод допускаемых напряжений, метод дифференциальных коэффициентов запаса, метод предельных состояний. В этих подходах используются формальные коэффициенты запаса, не всегда учитывающие реальные резервы прочности, которые связаны со статистическим рассеянием характеристик материалов, нагруженности, дефектности, геометрии. При рассмотрении

вероятностных распределений величин, определяющих прочность конструкции, возможно пересечение областей разброса текущих и критических параметров при больших коэффициентах запаса (отношениях средних значений параметров). Такие случаи рассматриваются в модели «нагрузка–прочность».

Элементы конструкций характеризуются различными предельными состояниями и условиями работы. В связи с этим запасы прочности вычисляются по различным параметрам, характеризующим степень близости к этим предельным состояниям [1].

На протяжении многих десятилетий количественные значения запасов прочности назначались в соответствии с эмпирическим или статистическим подходами.

Исторически сложившиеся при эмпирическом подходе значения коэффициентов запаса не являются научно обоснованными в полном смысле слова [2–4]. Они не вычисляются, а назначаются и утверждаются соответствующими контрольными органами. Основой для принятия решений являются экспертные оценки, накопленный опыт, анализ действующих отечественных в смежных отраслях и зарубежных норм проектирования. При этом наличие длительного опыта эксплуатации позволяет в большинстве случаев постепенно снижать коэффициенты запаса, что является общеизвестной тенденцией [5].

Впервые статистическая природа запаса прочности в нашей стране была показана Н. Ф. Хоциаловым, за рубежом М. Майером. Здесь впервые подверглась критике концепция допускаемых напряжений и коэффициентов запаса. В противовес этому было предложено использование статистических методов прочностных расчетов. Работы Н. С. Стрелецкого [6] содержат существенное развитие идей Н. Ф. Хоциалова и М. Майера. Дальнейшее развитие методов теории вероятностей в области прочности конструкций было реализовано в работах А. Р. Ржаницина [7], В. В. Болотина [8]. В работах С. В. Серенсена, Е. Г. Буглова [9; 10] коэффициент запаса, ранее рассматривавшийся как основная компонента при оценке прочности, является одним из параметров для оценки надежности.

В настоящее время предпринимаются попытки развития новых методических подходов к определению запасов прочности. Они направлены: 1) на разработку новых методов вычисления количественных значений коэффициента запаса, при этом физический смысл величин $A_к$ и $A_т$ в числителе и знаменателе выражения $n = A_к/A_т$ остается неизменным [11; 12]; 2) развитие представлений о величине текущего $A_т$ [13–15] и критического $A_к$ [15] параметров. Вместе с тем остается актуальной задача разработки алгоритма обоснования коэффициентов запаса прочности с учетом особенностей деформирования и возможных предельных состояний несущих элементов конструкций, в том числе содержащих трещиноподобные дефекты. В данной работе развиваются и конкретизируются подходы к определению коэффициентов запаса [1] на стадии роста усталостных трещин в элементах конструкций при циклическом нагружении.

Предусмотренные нормативными документами расчетные коэффициенты запаса прочности не позволяют в полной мере решить задачу предотвращения разрушений и аварий конструкций при эксплуатации. В связи с этим актуальными являются исследования коэффициентов запаса при наличии начальных технологических дефектов и эксплуатационных повреждений с учетом прогнозируемого их развития.

Для решения задач конструкционной прочности наибольший интерес представляют не столько абсолютные текущие значения размеров трещин, скоростей их роста, параметров механики разрушения, сколько их относительные значения, характеризующие близость к предельному состоянию, выражаемую коэффициентами запаса.

Для классических коэффициентов запаса прочности по напряжениям, имеющих длительную историю развития, в процессе которого накоплен значительный опыт анализа, расчетного и экспериментального обоснования, в большинстве случаев можно указать диапазон требуемых (приемлемых) проектных значений. Фактические значения коэффициентов должны соответствовать проектным в ограниченном количестве наиболее нагруженных конструктивных зон, и превышают их, иногда значительно, в целом по конструкции.

Этого нельзя сказать о коэффициентах запаса по параметрам, связанным с наличием развивающейся трещины. Для таких коэффициентов отсутствуют не только рекомендуемые значения, но и результаты систематических исследований их соотношения с классическими коэффициентами запаса по напряжениям. Для модельных задач (пластина с краевой или центральной трещиной, цилиндрическая оболочка с трещиной, параллельной или перпендикулярной образующей) эти соотношения могут быть установлены с использованием аналитических зависимостей механики разрушения, позволяющих вычислить коэффициенты интенсивности напряжений, критический размер и скорость роста трещины при различных уровнях номинальных напряжений. Для элементов конструкций с более сложной конфигурацией необходимо проведение серии физических и вычислительных экспериментов и выполнение расчетов, учитывающих особенности кинетики роста трещин в различных конструктивных формах. При этом особый интерес представляет сравнительный анализ оценок коэффициентов запаса, полученных по экспериментальным данным и расчетным путем.

Методику оценки коэффициентов запаса в связи с кинетикой усталостных трещин рассмотрим в предположении упругого деформирования тонкостенных конструкций в пределах, обеспечивающих адекватность применения линейной упругой механики разрушения.

Рассмотрим локальную зону элемента конструкции с уровнем номинальных напряжений σ. Классический коэффициент запаса по напряжениям (на примере запаса по пределу текучести $\sigma_т$) определяется по формуле

$$n_т = \sigma_т / \sigma .$$

При наличии трещины длиной l с вершиной в этой локальной зоне коэффициент интенсивности напряжений, как известно, представляется выражением

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi l}Y ,$$

где Y – поправочная функция, учитывающая особенности расчетной схемы элемента конструкции.

При известном критическом значении коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} коэффициент запаса по этому параметру определяется формулой

$$n_K = K_{Ic} / K_I = K_{Ic} / \left(\sigma\sqrt{\pi l}Y\right). \quad (1)$$

Учитывая, что критический размер трещины

$$l_c = (1/\pi)\cdot\left(K_{Ic}/\sigma Y\right)^2,$$

коэффициент запаса по длине трещины определим как

$$n_l = \frac{1}{\pi l}\cdot\left(\frac{K_{Ic}}{\sigma Y}\right)^2. \quad (2)$$

Приняв в качестве кинетического уравнения роста трещины известное уравнение

$$v = \frac{dl}{dN} = C\left(\Delta K\right)^m,$$

для условий отнулевого цикла нагружения получим критическую скорость роста

$$v_c = \left(\frac{dl}{dN}\right)_c = C\left(K_{Ic}\right)^m. \quad (3)$$

Тогда коэффициент запаса по скорости роста трещины

$$n_v = \left(\frac{dl}{dN}\right)_c / \left(\frac{dl}{dN}\right) = \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma\sqrt{\pi l}Y}\right)^m. \quad (4)$$

При наличии начального трещиноподобного дефекта длиной l_0 максимальная долговечность элемента конструкции (число циклов нагружения, за которое длина дефекта достигнет критического значения l_c) вычисляется интегрированием кинетического уравнения роста

$$N_c = \int_{l_0}^{l_c}\left(\frac{dl}{dN}\right)^{-1} dl = \frac{1}{C\left(\sigma\sqrt{\pi}\right)^m}\int_{l_0}^{l_c}\left(Y\sqrt{l}\right)^m dl.$$

Соответственно, остаточный ресурс при любом текущем значении длины трещины l

$$N_l = \int_{l}^{l_c}\left(\frac{dl}{dN}\right)^{-1} dl = \int_{l}^{l_c}\frac{dl}{C\left(\sigma Y\sqrt{\pi l}\right)^m} =$$

$$= \frac{1}{C\left(\sigma\sqrt{\pi}\right)^m}\int_{l}^{l_c}\left(Y\sqrt{l}\right)^m dl,$$

а накопленное эксплуатационное число циклов нагружения

$$N_l^* = \int_{l_0}^{l}\left(\frac{dl}{dN}\right)^{-1} dl = \frac{1}{C\left(\sigma\sqrt{\pi}\right)^m}\int_{l_0}^{l}\left(Y\sqrt{l}\right)^m dl.$$

Очевидно, $N_c = N_l^* + N_l$.

Тогда в качестве коэффициента запаса по долговечности следует рассматривать величину

$$n_N = \frac{N_c}{N_l^*} = \frac{N_c}{N_c - N_l}, \quad (5)$$

стремящуюся к единице при приближении длины l трещины к критическому значению l_c.

Таким образом, на первый взгляд коэффициенты запаса по величинам, учитывающим наличие растущей трещины (n_K, n_l, n_v, n_N) однозначно связаны с уровнем номинальных напряжений s (и коэффициентом запаса по напряжениям $n_т$) посредством выражений (1, 2, 4, 5). Другими словами, зная коэффициент запаса $n_т$, можно определить все остальные коэффициенты запаса n_K, n_l, n_v, n_N.

Однако здесь встречается ряд затруднений, основным из которых является то, что выражение (3) (или кинетическое уравнение другого типа) основано на некоторой гипотезе о закономерности роста усталостной трещины и, соответственно, представляет собой лишь одну из возможных моделей скорости роста. Тогда расчетные коэффициенты запаса n_v и n_N оказываются зависимыми от принимаемого вида кинетического уравнения и могут изменяться в широком диапазоне при неизменных технических и физических параметрах решаемой задачи. Кроме того, известные уравнения роста трещин содержат напряжения (рассчитываемые на их базе параметры механики разрушения), которые предполагаются известными (вычисляемыми). Точность оценки напряжений по длине траектории трещины в элементе конструкции достаточно сложной конфигурации, характеризующемся возможным наличием полей остаточных напряжений, невелика, что приводит к низкой точности оценок коэффициентов запаса n_v и n_N. В связи с этим, если коэффициенты запаса n_l и n_K могут быть приняты по результатам соответствующих расчетов, то расчетные коэффициенты запаса n_v и n_N требуется сопоставлять с таковыми, полученными по экспериментальным данным. При этом экспериментальные значения n_v могут быть получены только в определенном диапазоне длин трещин, а для экспериментальной оценки n_N требуется испытание образца/элемента конструкции до полного разрушения, что не всегда возможно и допустимо.

Рассмотрим получающиеся при реализации описанного предлагаемого подхода характерные результаты, полученные при циклическом нагружении образцов с развивающимися усталостными трещинами.

В качестве объекта исследования приняты три типа образцов, представляющие собой типичные конфигурации оболочечных элементов, их сочленения и местные подкрепления кольцевыми ребрами жесткости (рис. 1): образец *I* – цилиндрическая оболочка, подкрепленная кольцевыми ребрами жесткости (рис. 1, *а*), образец *II* – две цилиндрические оболочки с кольцевым подкреплением одной из них, сочлененные посредством конической оболочки (рис. 1, *б*), образец *III* – две цилиндрические и две конические оболочки с кольцевым подкреплением в зоне сочленения конических оболочек (рис. 1, *в*). В характерные зоны всех образцов внесены начальные трещиноподобные дефекты – надрезы (от 4 до 6 в каждый образец) длиной 20 мм, что соответствует эксплуатационным трещинам длиной десятки сантиметров. В качестве таких характерных зон рассматривались участки оболочек без каких-либо геометрических особенностей, а также вблизи кольцевых элементов жесткости и зон сочленения цилиндрических и конических оболочек. Трещины ориентировались в направлениях, близких к параллельному или перпендикулярному относительно образующей оболочек.

Вычисления по формулам (1, 2, 4, 5) с варьированием текущей длины трещины l позволили построить расчетные зависимости коэффициентов запаса от длины трещины $n_K = f(l)$, $n_l = g(l)$, $n_v = h(l)$, $n_N = q(l)$ (рис. 2–5). При подстановке в формулу (4) экспериментальных значений

скорости роста трещин получена зависимость экспериментального коэффициента запаса n_v* от длины трещины n_v* = $q(l)$ (рис. 6).

Аналогичные по форме зависимости получены для всех трещин всех рассмотренных типов образцов. Количественные значения коэффициентов запаса при этом отличаются в достаточно широком диапазоне в зависимости от длины трещины (табл. 1) и определяются в основном особенностями напряженно-деформированного состояния в конструктивных зонах, содержащих трещины. Наблюдается существенное (на порядок) различие между коэффициентами запаса по скорости роста трещин, полученными расчетным путем и по экспериментальным данным, причем разница в значениях расчетных и экспериментальных коэффициентов увеличивается с ростом длины трещины. Первоначально была выдвинута гипотеза, что эта разница обусловлена несоответствием расчетных и фактических (с учетом остаточных) напряжений. Для ее проверки выполнен подбор напряжений, подставляемых в (4) таким образом, чтобы расчетные и экспериментальные значения коэффициентов запаса совпадали как минимум при конкретном значении длины трещины. Анализ получаемых при этом результатов (рис. 7)

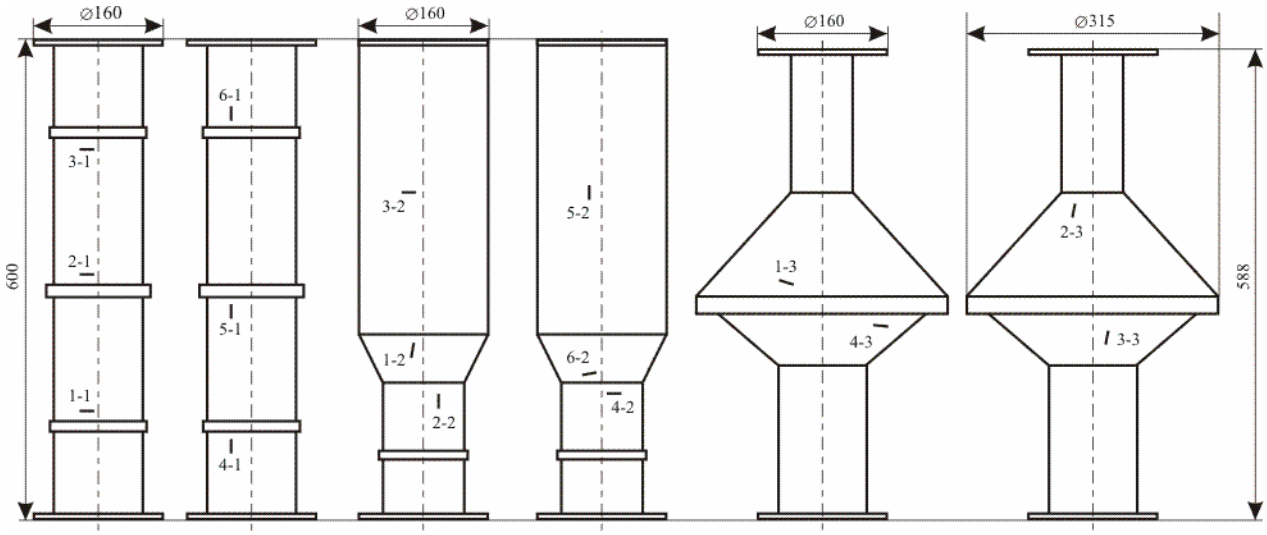


Рис. 1. Типы экспериментальных образцов. Цифрами обозначены зоны расположения исходных трещин

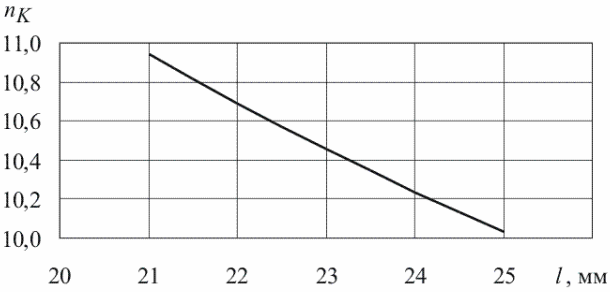


Рис. 2. Зависимость коэффициента запаса по коэффициенту интенсивности напряжений от длины развивающейся трещины для конструктивной зоны образца типа I, содержащей трещину 1-1

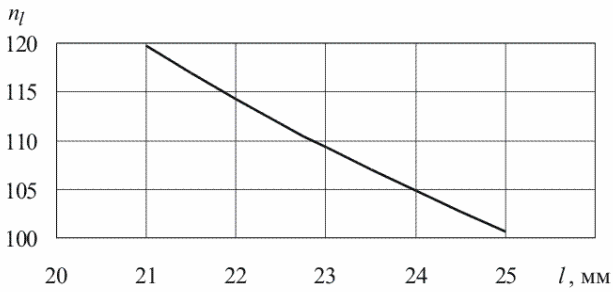


Рис. 3. Зависимость коэффициента запаса по длине развивающейся усталостной трещины от ее длины для конструктивной зоны образца типа I, содержащей трещину 1-1

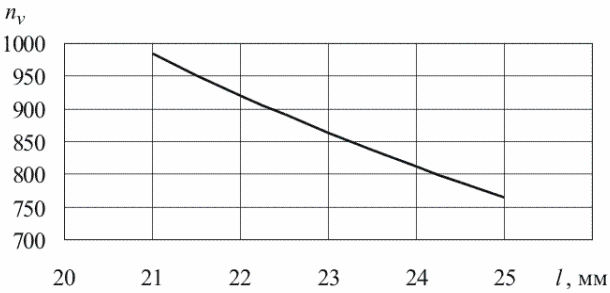


Рис. 4. Зависимость расчетного коэффициента запаса по скорости роста усталостной трещины от ее длины для конструктивной зоны образца типа I, содержащей трещину 1-1

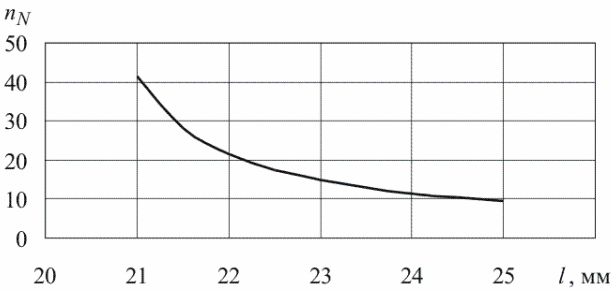


Рис. 5. Зависимость коэффициента запаса по долговечности от длины развивающейся трещины для конструктивной зоны образца типа I, содержащей трещину 1-1

показывает, что разница в расчетных и фактических напряжениях только частично объясняет различие между расчетными и экспериментальными коэффициентами запаса. Важнейшим фактором является неполная адекватность принятого кинетического уравнения для описания роста трещин при смешанных формах развития.

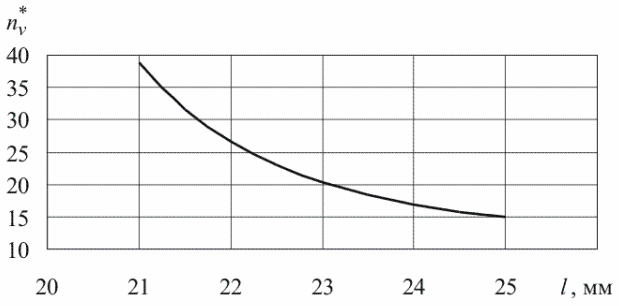


Рис. 6. Зависимость экспериментального коэффициента запаса по скорости роста усталостной трещины от ее длины для конструктивной зоны образца типа I, содержащей трещину 1-1

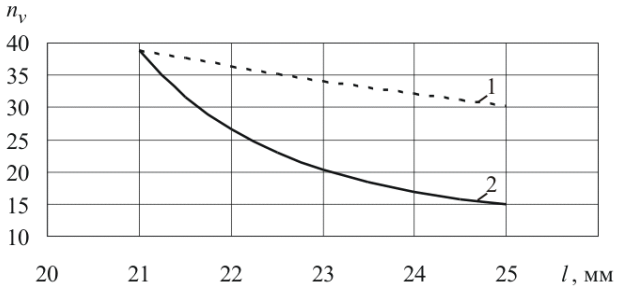


Рис. 7. Сопоставление расчетных (1) и экспериментальных (2) коэффициентов запаса по скорости роста трещины

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие основные выводы.

Количественные значения расчетных коэффициентов запаса по коэффициенту интенсивности напряжений n_K оказываются наименьшими, приближаются к средним по конструкции коэффициентам запаса по напряжениям и характеризуются наименьшим рассеянием. Наибольшими оказываются расчетные коэффициенты запаса по скорости роста трещины n_v и их рассеяние. Величины расчетных коэффициентов запаса по длине трещины n_l и долговечности n_N занимают промежуточное значение между всеми расчетными коэффициентами.

Рассмотрение количественных значений коэффициентов запаса в связи с характеристиками напряженно-деформированного состояния демонстрирует четкую тенденцию пропорционального снижения всех коэффициентов запаса с увеличением напряжений.

Расчетные оценки коэффициентов запаса по скорости роста трещин являются весьма чувствительными к принимаемым моделям кинетического уравнения роста, в связи с чем требуется тщательный анализ применимости последних с учетом особенностей напряженно-деформированного состояния конструктивных зон с трещиноподобными дефектами.

Таким образом, исследована динамика системы коэффициентов запаса с учетом кинетики роста трещин, которая должна быть положена в основу расчетно-экспериментального обоснования запасов прочности элементов конструкций с учетом возможного развития трещиноподобных дефектов.

Библиографический список

1. Махутов, Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность : в 2 ч. / Н. А. Махутов. Новосибирск : Наука, 2005.

2. Махутов, Н. А. Проблемы прочности, безопасности и ресурса в рамках концепции приемлемого риска / Н. А. Махутов, В. Т. Алымов, В. В. Лепов // Тр. I Всерос. симп. по пробл. прочности материалов и машин для регионов холодного климата. В 6 ч. Ч. 1. Якутск : Якут. фил. Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. С. 20–28.

3. Савчук, В. П. Статистическое оценивание коэффициента безопасности с помощью теоретической модели прочности и экспериментальных данных / В. П. Савчук, П. А. Гайдученко // Надежность и долговечность машин и сооружений. Вып. 15. Киев : Наук. думка, 1989. С. 1–6.

4. Кузнецов, А. А. Оптимизация коэффициента безопасности / А. А. Кузнецов // Тр. 10 науч. чтений, посвящ. 100-летию со дня рождения Ф. А. Цандера и разраб. его творч. наследия «Идеи Ф. А. Цандера и теория и конструкция летательных аппаратов», Рига, 19–21 мая, 1987. М., 1989. С. 121–125.

5. История создания и совершенствования Норм расчета на прочность котлов и трубопроводов / В. С. Котельников, Н. А. Хапонен, Ю. К. Петреня, Н. А. Махутов // Безопасность труда в промышленности. 1999. № 12. С. 8–11.

6. Стрелецкий, Н. С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений / Н. С. Стрелецкий. М. : Госстройиздат, 1947.

7. Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын. М. : Стройиздат, 1978.

8. Болотин, В. В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М. : Стройиздат, 1982.

9. Серенсен, С. В. О вероятностных представлениях переменной нагруженности / С. В. Серенсен, Е. Г. Буглов // Вестн. машиностроения. 1960. № 10. С. 10–17.

10. Серенсен, С. В. Развитие расчета прочности деталей машин в связи с оценкой надежности / С. В. Серенсен, Е. Г. Буглов // Вестн. машиностроения. 1965. № 2. С. 13–18.

Характеристика коэффициентов запаса в конструктивных зонах образцов, содержащих трещину длиной l = 21 мм

Значения	n_K	n_l	n_v	n_v*	n_N
max	13,31	177,5	1 729,1	79,1	42,4
min	3,09	9,6	25,9	34,4	30,0
max – min	10,22	167,9	1 703,2	44,7	12,4
(max – min)/min	3,31	17,5	65,8	1,3	0,4

11. Кучерявый, В. И. Оценка прочностной надежности газопроводов методом статистического моделирования / В. И. Кучерявый, С. Н. Мильков // Проблемы прочности и надежности машин. 2006. № 1. С. 26–30.

12. Иткис, М. Я. Определение запаса прочности при расчете на выносливость в общем случае нерегулярного нагружения / М. Я. Иткис // Вестн. машиностроения. 2001. № 7. С. 22–23.

13. Степнов, М. Н. Новый подход к расчету коэффициента запаса прочности при циклическом нагружении / М. Н. Степнов // Вестн. машиностроения. 2004. № 11. С. 14–17.

14. Агамиров, Л. В. Определение коэффициента запаса прочности детали при регулярном асимметричном нагружении / Л. В. Агамиров // Вестн. машиностроения. 2002. № 11. С. 22 –27.

15. Беленький, Д. М. Прочностная надежность деталей машин / Д. М. Беленький // Вестн. машиностроения. 2001. № 9. С. 12–18.

E. M. Sigova, S. V. Doronin

SETTLEMENT-EXPERIMENTAL ESTIMATION OF SAFETY FACTORS IN DESIGNS WITH A DEVELOPING FATIGUE CRACK

The methodical approach to an estimation of safety factors for designs with a developing fatigue crack is offered. Settlement and experimental estimations of safety factors for samples shell elements of designs are received.

Keywords: safety factors, developing fatigue crack, shell elements of designs.

УДК 004.891

А. А. Вовк

ОЦЕНКА СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И/ИЛИ-ДЕРЕВА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ[1]

Экспериментально проиллюстрирован процесс формирования обобщенного И/ИЛИ-дерева решения задач анализа изображений. Исследована сходимость процесса формирования И/ИЛИ-дерева. Исследована скорость сходимости экспериментального процесса и сопоставлена с теоретической оценкой скорости сходимости.

Ключевые слова: экспертная система, анализ изображений, дерево решения задач.

Задачей данной работы было экспериментально опробовать предложенную в [1] технологию формирования И/ИЛИ-дерева. Цель эксперимента: проиллюстрировать процесс формирования обобщенного И/ИЛИ-дерева для задач пользователя; исследовать процесс наращивания данного И/ИЛИ-дерева в результате объединения его с каждым вновь построенным решающим И-деревом для очередной задачи пользователя [2]; исследовать скорость сходимости данного процесса и сравнить ее с данной теоретической оценкой скорости сходимости.

Оценка скорости сходимости процесса построения обобщенного И/ИЛИ-дерева. Из приведенного в [1] критерия сходимости процесса построения обобщенного И/ИЛИ-дерева следует оценка скорости сходимости.

Утверждение 1: Пусть G – обобщенное И/ИЛИ-дерево, построенное в результате объединения n решающих И-деревьев $G_1, G_2, \ldots, G_n$ для заданного класса задач. Если для всех И-деревьев $G_i, i = 1, 2, \ldots, n+1$ задач заданного класса $\exists M \in N$ такое, что $q(G_i) \le M$, то $\forall \varepsilon > 0$ выполняется $d(G, G_{n+1}) < \varepsilon$ для $n > \frac{M-1}{\varepsilon}$, $\exists n \in N$.

Суть утверждения заключается в том, что если максимальное количество вершин во всех возможных решающих И-деревьях задач данного класса ограничено некоторым числом M, то необходимая точность е будет достигнута не более чем за $\frac{M-1}{\varepsilon}$ шагов.

Утверждение 2: Пусть A'_n – кластер, построенный в результате объединения n совпадающих кластеров $A_1, A_2, \ldots, A_n$, $E'_n = (e_n^1, e_n^2, \ldots, e_n^m)$ – эталон кластера, соответствующего данной вершине. Если для всех совпадающих вершин A_j, $j = 1, 2, \ldots, n+1$ $\exists M \in R$ такое, что $\rho(E_i, E_j) < M$ $i \ne j$, то $\forall \varepsilon > 0$ выполняется $D(A'_n, A_{n+1}) < \varepsilon$ для $n > \left(\frac{M}{\varepsilon}\right)^2 - 1$.

Суть утверждения заключается в том, что если эталоны некоторого множества совпадающих между собой кластеров расположены внутри гиперсферы радиуса $\frac{M}{2}$, то объединенный кластер для кластеров данного множества станет устойчивым через не более чем $\left(\frac{M}{\varepsilon}\right)^2 - 1$ шагов.

[1] Работа поддержана грантом РФФИ 07-01-00326 и аналитической целевой программой Минобрнауки РПН.3.1.1.5349.

Теоретическая оценка сходимости основывается на требовании принадлежности решаемых задач одному классу: *две задачи принадлежат одному классу задач тогда и только тогда, когда совпадают корневые вершины решающих И-деревьев данных задач.* Такая оценка является точной верхней гранью скорости сходимости, так как следует из предположения о минимальной схожести решающих И-деревьев задач одного класса.

Постановка задачи экспериментального исследования. В качестве исходных данных для эксперимента был использован космофотоснимок «Landsat TM» лесов Саян. На уровне пикселов данное изображение характеризуется 78 признаками. Изображение содержит 437 536 точек. Цель пользователя-природоведа состоит в выделении на данном изображении участков поверхности с необходимыми характеристиками. На поле анализируемого изображения пользователем задана выборка, элементы которой соответствуют текущей цели. Всего пользователем задано три выборки (рис. 1).

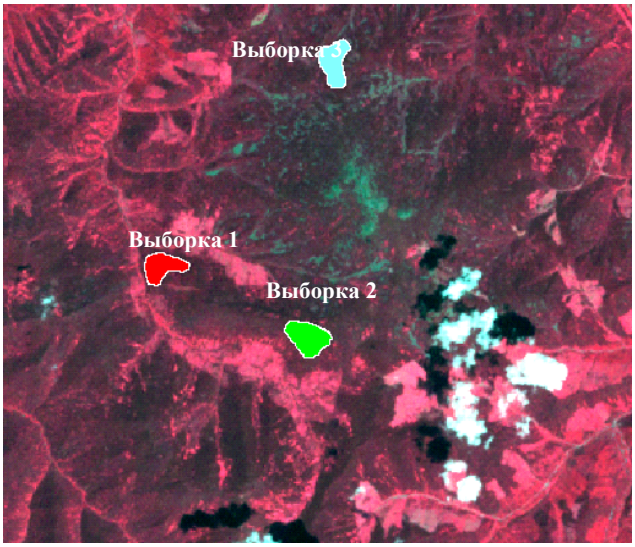


Рис. 1. Исходное изображение, выборки

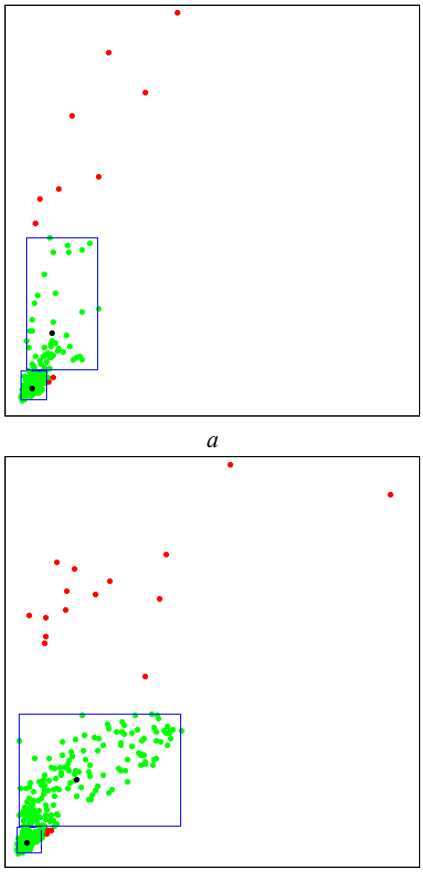
Ход эксперимента. Построим решающие И-деревья для первой и второй выборок, которые содержат соответственно 430 и 346 пикселов.

1. Вычисляются значения всех признаков уровня пикселов для всех элементов изображения.

2. Для каждой выборки и для «всего остального» (фона) вычисляются средние значения и среднеквадратичные отклонения по каждому признаку уровня пикселов.

3. Определяются информативные признаки для отделения элементов каждой выборки от фона таким образом, чтобы элементы каждой выборки и фон не пересекались. Наилучшим образом элементы и первой, и второй выборки отделяются от фона по одному и тому же набору признаков {10, 16, 22, 23} (табл. 1).

4. Для элементов каждой выборки выполняется построение кластеров. Элементы каждой выборки разбиваются на 2 кластера (табл. 2, рис. 2).



а

б

Рис. 2. Построенные 1-й и 2-й кластеры выборок плоскости 16-го и 22-го признаков:
а – первой выборки; *б* – второй выборки

5. Построенные кластеры первой выборки разделяются между собой по 22-му признаку (табл. 3). Кластеры второй выборки также разделяются между собой по 22-му признаку (табл. 4). Таким образом, получены признаковые описания двух вершин P_{11} и P_{12} уровня пик-

Таблица 1

Признаковое описание элементов выборок

№ выборки	№ признака	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение
1	10	1,000	91,000	18,369	13,294
	16	6,333	231,927	27,466	22,843
	22	9,088	569,731	47,339	66,484
	23	3,891	144,625	17,300	18,494
2	10	0,278	134,944	14,449	21,425
	16	2,167	281,490	22,221	28,470
	22	3,862	229,594	30,729	34,334
	23	2,653	49,480	11,874	8,280

селов И-дерева для первой выборки и P_{21} и P_{22} – для второй выборки.

6. Выделяются все элементы изображения, значения которых удовлетворяют выявленным допустимым диапазонам значений для каждого из построенных кластеров каждой выборки (рис. 3).

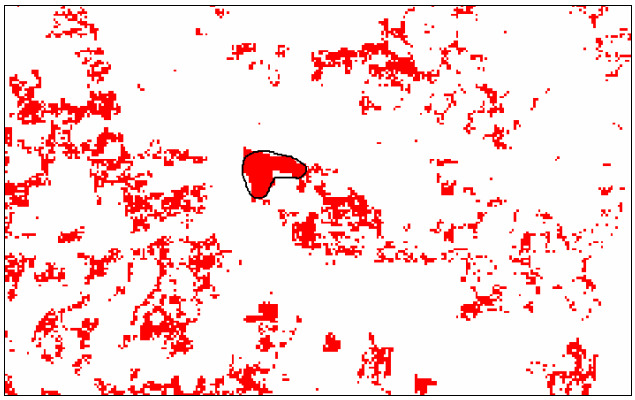


Рис. 3. Элементы 1-го кластера первой выборки на поле анализируемого изображения

7. Из множества выделенных элементов удаляются пиксели, заведомо не образующие пятна на поле изображения (т. е. не образующие связные, по принципу 8-соседства, области размером не менее 5 пикселов).

8. Для элементов каждого класса пикселов выделяются примитивы, затем для каждого примитива вычисляются средние значения по каждому признаку уровня пикселов и среднее значение по размеру образующихся примитивов. Построен 991 примитив на элементах 1-го класса и 1 643 – 2-го класса. Аналогично для второй выборки: 449 примитивов на элементах 1-го класса и 1 068 – 2-го класса. На основании полученных значений формируются эталоны классов примитивов и определяются их критерии компактности.

9. Лучше всего (с коэффициентом критерия компактности $k = 2{,}11$) выделенные классы примитивов первой выборки разделяются по 22-му признаку уровня пикселов (табл. 5). Классы примитивов второй выборки наилучшим образом разделяются также по 22-му признаку (коэффициент критерия компактности $k = 2{,}3$, табл. 6). Таким образом, получено признаковое описание вершин W_{11} и W_{12} уровня примитивов И-дерева для первой выборки и вершин W_{21} и W_{22} – для второй выборки.

Таблица 2

Разбиение элементов выборок на кластеры

№ выборки	№ кластера	Исходное кол-во элементов в выборке	Кол-во элементов в кластере	Процент элементов, попадающих в кластер	Кол-во элементов исходного изображения, попадающих в кластер
1	1	430	234	54,42	14 912
	2	430	174	40,47	54 730
	1 и 2		408	94,89	69 642
2	1	346	285	82,37	34 382
	2	346	51	14,74	31 458
	1 и 2		336	97,11	65 840

Таблица 3

Признаковое описание кластеров первой выборки

№ кластера	№ признака	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
1	10	1,000	91,000	18,369
	16	6,333	44,693	20,970
	22	9,088	51,243	27,146
	23	3,891	144,625	17,300
2	10	1,000	91,000	18,369
	16	6,333	116,917	50,302
	22	51,243	243,669	105,860
	23	3,891	144,625	17,300

Таблица 4

Признаковое описание кластеров второй выборки

№ кластера	№ признака	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
1	10	0,278	134,944	14,449
	16	2,167	17,373	7,856
	22	3,862	18,955	10,102
	23	2,653	49,480	11,874
2	10	0,278	134,944	14,449
	16	3,257	98,293	36,916
	22	18,955	84,830	46,909
	23	2,653	49,480	11,874

10. После того как были классифицированы примитивы, обладающие свойствами выборочных данных, может быть начат процесс классификации образуемых ими сегментов изображения. Вычисляются значения всех признаков для элементов изображения уровня сегментов (табл. 7). Всего выявлено 1 271 сегментов для примитивов первой выборки и 865 – второй выборки.

11. Сегменты изображения структурируются с помощью алгоритма ISODATA, с не заданным априори числом классов и параметром 95 % точек, не меняющих свой класс при последующей итерации. Расчет параметра B_5, характеризующего качество структурирования данных, показал, что наилучшим образом выделенные сегменты для примитивов каждой выборки, в полной системе признаков данного уровня, разделяются на 2 класса (рис. 4).

12. На основании полученных значений формируются эталоны классов сегментов каждой выборки и определяются их критерии компактности.

13. Лучше всего (с коэффициентом критерия компактности $k = 1{,}65$) выделенные классы сегментов для первой выборки разделяются по 3-му признаку уровня сегментов (табл. 8). Классы сегментов для второй выборки лучше всего разделяются также по 3-му признаку (коэффициент критерия компактности $k = 1{,}99$ (табл. 8). Таким образом, получено признаковое описание вершин S_{11} и S_{12} уровня сегментов И-дерева для первой выборки и S_{21} и S_{22} – для второй выборки.

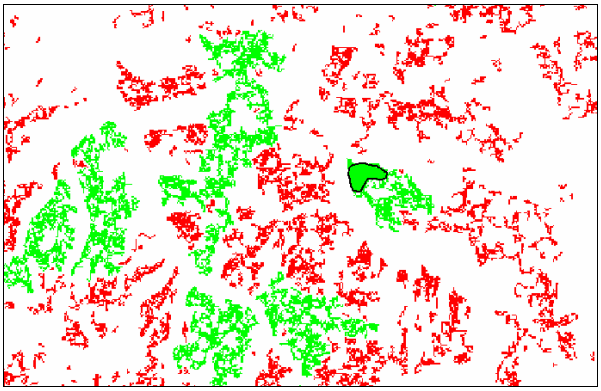


Рис. 4. Сегменты 1-го класса (темные) и 2-го класса (светлые) первой выборки

Таблица 5

Описание классов примитивов первой выборки по 22-му признаку

№ класса примитивов	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница
1	29,782	7,436	14,092	45,472
2	102,469	26,939	45,628	159,310

Таблица 6

Описание классов примитивов второй выборки по 22-му признаку

№ класса примитивов	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница
1	13,109	2,473	7,421	18,797
2	49,359	13,305	18,758	79,961

Таблица 7

Признаки уровня сегментов

№ признака	Обозначение	Наименование	Описание
1,2	a, $\underline{b}$	Диаметры Фере с углом наклона $\pi/2$	Длины сторон описанного прямоугольника
3	d_e	Эквивалентный диаметр	Диаметр круглого эталона эквивалентной площади или периметра
4	E	Компактность	NP^2/NS
5	NP	Периметр	$\|DE\|$
6	NS	Площадь	$\|DB\|$
7	T	Отношение толщины	$T = 4\pi\ (NS\ /\ NP^2)$

Таблица 8

Описание классов сегментов первой выборки по 3-му признаку уровня сегментов

№ класса сегментов	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница
1	12,585	7,021	1,000	24,170
2	41,748	10,608	24,245	59,251

Таблица 9

Описание классов сегментов второй выборки по 3-му признаку уровня сегментов

№ класса сегментов	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница
1	21,032	12,220	0,000	45,350
2	71,341	13,099	45,274	97,408

14. Рассчитав среднее значение по 3-му признаку уровня сегментов для сегментов обоих классов для каждой выборки, получим значение по 3-му признаку для вершины K_1 уровня «класс сегментов» И-дерева для первой выборки и K_2 – для второй выборки (табл. 10).

15. По найденным вершинам сформируем И-деревья целей G_1 и G_2 для первой и второй выборок (рис. 5).

16. В построенных деревьях присутствуют совпадающие вершины:

$$P_{11} \approx P_{22},\ W_{11} \approx W_{22},\ S_{11} \approx S_{21},\ K_1 \approx K_2.$$

Для данных вершин построим объединенные вершины: P_{31}, W_{31}, S_{31}, K_3.

Сформируем обобщенное И/ИЛИ-дерево G_3 (рис. 5). Построенное дерево содержит в себе решающие И-деревья для целей, представленных обеими выборками, следовательно, каждая из них может быть достигнута с помощью данного И/ИЛИ-дерева.

17. Вычислим коэффициенты изменения вершин:

$$D(P_{11}, P_{22}) = \rho(P_{11}, P_{31}) = 13{,}131;$$

$$D(W_{11}, W_{22}) = \rho(W_{11}, W_{31}) = 9{,}789;$$

$$D(S_{11}, S_{21}) = \rho(S_{11}, S_{31}) = 5{,}531;$$

$$D(K_1, K_2) = \rho(K_1, K_3) = 0{,}477;$$

$$\max_{G_1, G_2} D = D(P_{11}, P_{22}) = 13{,}131.$$

Вычислим коэффициент прироста дерева G_1 при объединении с деревом G_2:

$$d(G_1, G_2) = \frac{q(u(G_1, G_2)) - q(G_1)}{s(G_1)} = \frac{10-7}{7} \approx 0{,}429.$$

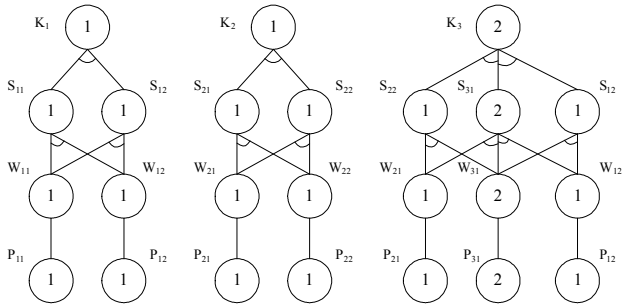


Рис. 5. Построенные И-деревья для первой и второй выборок, обобщенное И/ИЛИ-дерево, число в вершине – ее весовой коэффициент

18. Проделаем описанную процедуру для третьей выборки, в результате чего построим И-дерево G_4 (рис. 6). В И-дереве G_4 и обобщенном И/ИЛИ-дереве G_3 совпадают вершины:

$$P_{31} \approx P_{42},\ P_{21} \approx P_{41},\ W_{31} \approx W_{42},$$
$$W_{21} \approx W_{41},\ S_{31} \approx S_{41},\ K_3 \approx K_4$$

Для данных вершин построим объединенные вершины: P'_{21}, P'_{31}, W'_{21}, W'_{31}, S'_{31}, K'_3.

В результате объединения И/ИЛИ-дерева G_3 и И-дерева G_4 получим обобщенное И/ИЛИ-дерево G_5 (рис. 6).

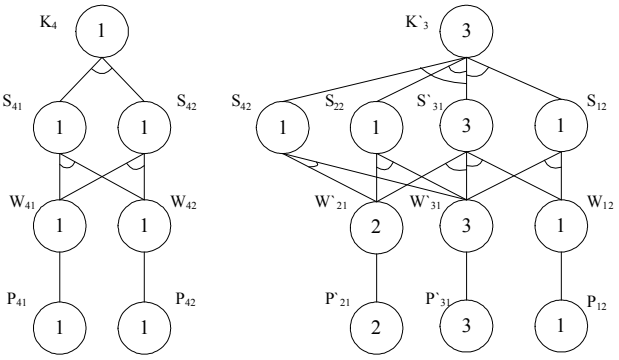


Рис. 6. Построенное И-дерево для третьей выборки, обобщенное И/ИЛИ-дерево для трех выборок

19. Вычислим коэффициенты изменения вершин:

$$D(P_{31}, P_{42}) = \rho(P_{31}, P`_{31}) = 3{,}995;$$

$$D(P_{21}, P_{41}) = \rho(P_{21}, P`_{21}) = 7{,}147;$$

$$D(W_{31}, W_{42}) = \rho(W_{31}, W`_{31}) = 8{,}927;$$

$$D(W_{21}, W_{41}) = \rho(W_{21}, W`_{21}) = 3{,}386;$$

$$D(S_{31}, S_{41}) = \rho(S_{31}, S`_{31}) = 0{,}17;$$

$$D(K_3, K_4) = \rho(K_3, K`_3) = 0{,}497;$$

$$\max_{G_3, G_4} D = D(W_{31}, W_{42}) = 8{,}927.$$

Вычислим коэффициент прироста дерева G_3 при объединении с деревом G_4:

$$d(G_3, G_4) = \frac{q(u(G_3, G_4)) - q(G_3)}{s(G_3)} = \frac{11-7}{14} \approx 0{,}071.$$

Видно, что с увеличением числа операций объединения И/ИЛИ-дерева с И-деревьями, коэффициенты изменения вершин и прироста дерева уменьшаются. Исходя из теоретической оценки скорости сходимости, при максимальном количестве узлов в решающих И-деревьях $M = 7$ коэффициент прироста дерева достигнет заданной точности $\varepsilon = 0{,}01$ не более чем за $\frac{7-1}{0{,}01} = 600$ шагов. При этом на первом шаге $d(G_1, G_2) = 0{,}429$, а на втором уже $d(G_3, G_4) = 0{,}071$. Это позволяет предположить, что требуемая точность $\varepsilon = 0{,}01$ может быть достигнута гораздо быстрее. Следовательно, решающие И-деревья для задач одного класса обладают большей степенью сходства, чем совпадение корневых вершин.

Таким образом, в ходе данного исследования экспериментально продемонстрирована работоспособность

Таблица 10

Описание вершин уровня «класс сегментов» по 3-му признаку уровня сегментов для каждой выборки

Класс сегментов	Среднее значение	Среднеквадратическое отклонение	Нижняя граница	Верхняя граница
K_1	5,809	4,924	0,885	10,733
K_2	6,736	7,119	0,000	13,855

разработанной технологии построения обобщенных И/ИЛИ-деревьев.

Процесс построения обобщенного И/ИЛИ-дерева проиллюстрирован на примере решения задач анализа космофотоснимков лесов Саян, сформировано И/ИЛИ-дерево, исследована сходимость процесса формирования И/ИЛИ-дерева.

Экспериментально установлено, что процесс формирования И/ИЛИ-дерева для класса задач сходится значительно быстрее приведенной точной верхней грани скорости сходимости. Это указывает на наличие большего сходства между решающими И-деревьями задач одного класса, чем совпадение корневых вершин.

Библиографический список

1. Вовк, А. А. Технология формирования И/ИЛИ-дерева решения задач анализа изображений / А. А. Вовк, Г. М. Цибульский, А. А. Латынцев // Вест. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. Вып. 2 (19). 2008. С. 33–41.

2. Рассел, С. Искусственный интеллект: Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. 2-е изд. М. : Вильямс, 2007.

A. A. Vovk

RATE OF CONVERGENCE ESTIMATION OF THE PROCESS FOR «AND/OR» DECISION TREE FORMATION FOR IMAGE ANALYSIS

The process of the AND/OR decision tree formation is illustrated by the experiments. The rate of convergence is given. The convergence of the decision tree process is studied. The experimental process is investigated. The experimental rate of convergence process is investigated and compared with the theoretical rate of convergence estimation.

Keywords: expert system, image analysis, decision tree.

УДК 621.452.3

М. В. Краев, Л. Н. Кайчук, Е. М. Краева

АНАЛИЗ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗАМКНУТОЙ СХЕМЫ

Выполнен анализ проточной части газовой турбины жидкостного ракетного двигателя замкнутой схемы, рассмотрена траектория движения в составе двухфазного газового потока одинокой капли, сформированной после газогенератора предкамерной турбины потока.

Ключевые слова: ракетоноситель, авария, турбонасосный агрегат, турбина, проточная часть, капля, траектория.

По итогам телеметрической информации аварийных ситуаций ракет-носителей (РН) разных классов и аварий РН «Протон» [1] Межведомственная комиссия пришла к выводу, что причиной аварии является возгорание турбонасосного агрегата третьего двигателя второй ступени 9Д412К (РД-0211) в стыке крышки и соплового аппарата из-за возможного попадания в сопловой аппарат алюминиевых частиц. Причина аварии квалифицируется как производственная, носит случайный характер и не может препятствовать пускам РН «Протон» при условии проведения дополнительных проверок и обеспечения чистоты пневмогидравлических трактов РН.

Для предотвращения в будущем попадания в двигатель посторонних частиц из баков двигательной установки (ДУ), комиссией был предложен ряд рекомендаций по доработке магистрали высокого давления двигателей РН. Это будет уже четвертая по счету доработка магистрали, начиная с 1965. В 1978 г. после трех за год аварий (две – из-за отказов двигателей второй ступени) тоже высказывались подобные претензии к низкой чистоте в баках РН при их изготовлении [1].

Другая специальная комиссия [2] по расследованию причин аварии 30.01.2007 г. РН «Зенит» пришла к заключению, что нештатная ситуация возникла из-за нештатной работы двигателя РД-171М ракеты-носителя «Зенит-3SL» в результате попадания в турбонасосный агрегат посторонней частицы и взрыва ТНА после возгорания газовой турбины.

В проточную часть газовой турбины рабочее тело из газогенератора с параметрами: давление на входе ($P_{вх}$), массовый расход ($G_г$), работоспособность газа (RT_0), K = 1,25, температура газа ($T_{вх}$) поступают в сопловой аппарат. В потоке возможны частицы случайных инородных включений, находящихся в магистрали РН, такие как стружка размером d_{max} = 0,7 мм в виде пластин алюминия АМГ-6; скатанные пористые микрочастицы (грязь, допустимая в компоненте) с наличием органических включений размеров d_{max} = 0,7 мм, суммарное количество которых не превышает 200 мг (согласно ТУ на компонент).

Траектория частицы в потоке определяется параметрами газового потока. Для осесимметричной схемы на частицу, ускоренную газовым потоком действует линейное ускорение за счет скорости газового потока $V_г$ и центробежная сила $P_{ц.б}$, обусловленная кривизной газового тракта с радиусом $P_{ср}$.

Примем, что капля объемом $Q_к$ и плотностью $\rho_к$ движется по средней линии радиусом $R_{ср}$, полученное выражение для центробежной силы будет выглядеть следующим образом:

$$P_{ц.б} = \frac{2}{3}\rho_к \cdot Q_к \cdot \omega^2 \cdot R_{ср}, \qquad (1)$$

где ω – угловая скорость движения частицы по радиусу $R_{ср}$, которая находится по формуле

$$\omega = \frac{V_к}{R_{ср}}. \qquad (2)$$

Скорость $V_к$ частицы в газовом потоке определим как скорость, обусловленную аэродинамическим увлечением частицы газовым потоком с силой $P_{ин}$, которая имеет вид

$$P_{ин} = c_x \cdot F_к \cdot \rho_г \frac{V_{газ}^2}{2}. \qquad (3)$$

Имеется большое число работ по изучению поведения частицы или капли в газовом потоке [3], [4], [6] и др. Величину силы аэродинамического увлечения $P_{а.у}$ частицы запишем для капли в газовом потоке:

$$P_{а.у} = \frac{c_x \cdot \rho_г \cdot \pi R_к^2 \cdot V_г^2}{2}. \qquad (4)$$

Для единичной частицы в работе [5] получено выражение для коэффициента сопротивления в виде

$$C_x = \frac{a}{\mathrm{Re}_к}, \qquad (5)$$

где a = 12,5 – экспериментальный коэффициент.

Выражение (5) рекомендуется использовать в диапазоне чисел $\mathrm{Re}_к = \frac{V_к d_к}{V_г} = 10\ldots1\,000$, что отвечает диапазону наших исследований.

Для анализа возможности дробления частицы в газовом потоке использовали известные зависимости работы [5] по величине критерия дробления Вебера, представляющего собой отношение аэродинамического давления к давлению поверхностного натяжения капли или частицы. Для полученной в результате скатанной из органических и твердых включений капли получим выражение

$$We = \frac{\rho_г \cdot W_г^2 \cdot d_к}{G_{пов}} = \frac{\rho_г (V_г - V_к)^2 d_к}{G_{пов}} = \mathrm{const}. \qquad (6)$$

По данным работы [5] получено, что при We < 10,7 – капля деформируется, но не распадается в газовом потоке; при We = 10,7 – капля раздваивается и при $We \geq 14$ происходит 100%-ое ее разрушение.

Анализ возможных вариантов показал, что в нашем случае капля сохранит свою первоначальную форму при

увеличении ее относительной скорости в газовом потоке ($V_г - V_к$).

Для анализа траектории полета капли в газовом потоке, примем, что на исследуемом участке она движется по баллистическим закономерностям и не подвержена существенному влиянию турбулентных пульсаций скорости газового потока [3].

Аэродинамический напор газового потока, стремящийся ускорить каплю в каждый момент времени уравновешивается инерционной силой по оси X: $P_{ин.x} = P_{а.у.}$; по оси R:

$$-R_{инR} = P_{ц.б} \pm P_с + P_{арх}. \quad (7)$$

Учитывая, что силы веса капли $P_с$ и выталкивающая архимедова сила $P_{арх}$ значительно меньше остальных слагаемых и имеет место увлечение капли при движении ее к периферии соплового аппарата. Коэффициент аэродинамического сопротивления частицы C_x, согласно [5], выразим в виде

$$C_x = \frac{12,5 \cdot \mu_г^{0,5}}{d_к^{0,5} \cdot W_к^{0,5} \cdot \rho_г^{0,5}}. \quad (8)$$

Относительная скорость движения частицы, с учетом выражения (8), при $V_к = V_г$ по оси X и в радиальном направлении при $V_{а.с} = 0$, получим

$$W_{кx} = V_г - V_к;$$
$$W_{кR} = V_{кR} - V_{а.с} = \omega_к \cdot R_{ср}. \quad (9)$$

С учетом выражений (7), (8), (9) запишем:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{2}{3} d_к \rho_к \frac{dV_{кx}^2}{dt} - \frac{\rho_г \cdot 12,5 \cdot \mu_г^{0,5} \cdot F_к^{0,5} \cdot \pi R_к^2 (V_г - V_к)}{2 d_к^{0,5} \cdot V_г^{0,5} \cdot \rho_г} = 0; \\ &\frac{2}{3} d_к \rho_к \frac{dV_к^2}{dt} - \frac{2}{3} \rho к \cdot Q_к \cdot \omega_к^2 \cdot R_{ср} = 0. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Оценим траекторию частицы в канале соплового аппарата и, следовательно, область их распределения по площади. Основные конструктивные параметры канала приведены на рис. 1.

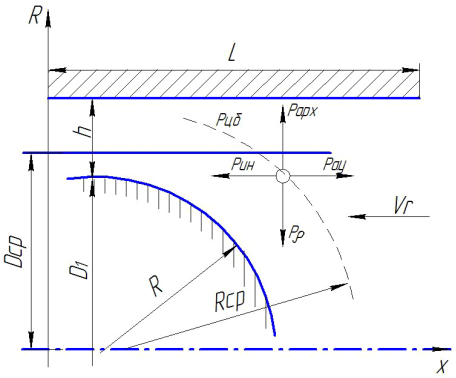


Рис. 1. Контуры газового тракта турбины

Решение системы уравнений (11) с помощью вычислительной техники по специально разработанной программе позволяет варьировать исходными данными. Для всего спектра исходных параметров, предельные значения которых следующие: $d_к = 0,3\ldots0,8$ мм, при

$$V_{ср.г} = \frac{V_{г.вх} + V_{г.с.а}}{2},$$

где $V_{г.вх}$ – скорость на входе в канал; $V_{г.с.а.}$ – скорость на входе в сопловой аппарат. Частицы распределены равномерно по сечению от R_{min} до R_{max}.

В результате анализа получена область наиболее вероятного распределения частиц по высоте лопаток сопловой решетки, она составила $(0,8\ldots1,0)h_л$.

Дальнейший полет капли, увлеченной газовым потоком продолжится в осевом зазоре между сопловым аппаратом и рабочей решеткой турбины. Капля, которая прошла сопловой аппарат, получила осевое ускорение и попала в область закрученного от вращения ротора газового потока осевого зазора «*a*».

С учетом основных закономерностей, полученных для траектории движения капли в газовом потоке рассмотрим ее поведение после соплового аппарата в осевом зазоре у рабочей решетки газовой турбины (рис. 2).

Исследования по замеру составляющих скорости газового потока в осевом потоке позволили выявить существенное воздействие на частицу закрученного потока, обусловленного вращением ротора с угловой скоростью щ, что позволило установить зависимость радиальной составляющей скорости от окружной в виде

$$\frac{V_{R.г}}{W_г \cdot R} = K_{R.г} = \text{const}, \quad (11)$$

где $K_{R.г}$ – величина постоянная по радиусу газовой турбины.

Это дает основание выразить скорость радиального течения газа в зазоре «*a*» с учетом закрутки потока в окружном направлении следующим образом:

$$V_{R.г} = U \cdot \varphi \cdot K_{R.г}. \quad (12)$$

В исследованном диапазоне параметров можно считать газ несжимаемым. Значение радиальной скорости газа будет иметь вид

$$V_{R.г} = \omega \cdot R_x \cdot K_{R.г} \cdot \varphi, \quad (13)$$

где значение комплекса ($K_{R.г} \cdot \varphi$) = 0,345 получено экспериментально (7).

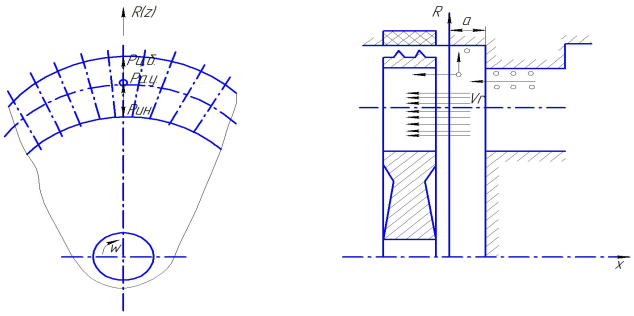


Рис. 2. Проточная часть ступени турбины

Радиальный газовый поток будет определять параметры частицы и ее траекторию полета в зазоре. На фоне воздействия аэродинамического напора газового потока частица в большей степени подвержена воздействию центробежных сил от вращения ротора и закрученного газового потока. Уравнение равновесия частицы по аналогии с (7) запишем по оси X: $P_{ин.x} = P_{а.у}$; по оси R:

$$-R_{инR} = P_{ц.б.} + P_{а.у.R} \pm P_с + P_{арх}. \quad (14)$$

Пренебрегая малыми составляющими типа $P_{арх}$ и $P_{а.у}$ уравнения (14), с учетом значений, входящих составляющих (8), (9) находится следующим образом:

$$\frac{dV_{кR}}{dt} + \frac{V_{кφ}^2}{R} - \frac{9,95 \cdot \rho_г^{0,5} \cdot \mu_г^{0,5}}{\rho_к \cdot d_к^{1,5}} \left(\frac{\omega \cdot R_{ср}^2 \cdot K_{Rг} \cdot \varphi}{R} + V_{кR} \right)^{1,5} = 0, \quad (15)$$

или, с учетом $V_{кR} = \omega_к \cdot R$, получим для радиального направления траекторию полета капли

$$\frac{dV_{кR}}{dt} R^{1,5} + \omega_к^2 \cdot R^{2,5} =$$

$$= \frac{9,95 \cdot \rho_г^{0,5} \cdot \mu_г^{0,5}}{\rho_к \cdot d_к^{1,5}} (\omega \cdot R_{ср}^2 \cdot K_{Rг} \varphi + R \cdot V_{кR})^{1,5}. \qquad (16)$$

В окружном направлении аэродинамический напор газового потока совместно с центробежной силой, действующей на частицу в каждый момент времени, уравновешивается инерционной силой, тогда имеем выражение

$$\frac{d\omega_к}{dt} = \frac{9,95 \cdot \rho_г^{0,5} \cdot \mu_г^{0,5}}{\rho_к \cdot d_к^{1,5}} R^{0,5} (\omega \cdot \varphi - \omega_к)^{1,5}. \qquad (17)$$

Систему дифференциальных уравнений движения частицы с учетом выражений

$$\omega_к = \frac{d\varphi_к}{dt}; \quad V_{кR} = \frac{dR}{dt}; \quad K = \frac{9,95 \cdot \rho_г^{0,5} \cdot \mu_г^{0,5}}{\rho_к \cdot d_к^{1,5}},$$

запишем в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} & R^{1,5} \frac{d^2R}{dt^2} + \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 R^{2,5} = \\ & = K\left(\omega \cdot R_{ср}^2 K_{Rг} \cdot \varphi - R\frac{dR}{dt}\right)^{1,5}; \\ & \frac{d^2\varphi_к}{dt^2} = K \cdot R^{0,5}\left(\omega \cdot \varphi - \frac{d\varphi_к}{dt}\right)^{1,5}. \end{aligned}\right\} \qquad (18)$$

Граничные условия: при $t = 0$; $R = R_{ср}$;

$$\frac{dR}{dt} = 0; \quad \frac{d\varphi_к}{dt} = \omega \cdot \varphi.$$

Исходными данными для решения системы приняты следующие параметры: $\varphi_{t=0}$; $R_{t=0}$; $X_{t=0}$, $Z_{t=0}$.

Система уравнений позволяет определить траекторию полета капли в осевом зазоре после сопловой решетки.

Исходная информация задается в виде коэффициентов в численном виде и начальных условий, например, для $R_{t=0} = R_{ср} = 76$ мм; щ = 2 160 рад/с; $P_г = 20,7$ МПа; $\varphi = 0,8$; $K_R \cdot \varphi = 0,345$; $d_к = 0,7 \cdot 10^{-3}$ м.

Исходные данные составят: $R_{t=0} = 0,076$ м; $t = 0$; $\varphi_{к\,(t=0)} = 0,8$;

$$\frac{dR}{dt_{t=0}} = 0;$$

$$\frac{d\varphi_к}{dt_{t=0}} = \omega \cdot \varphi = 2\,610 \cdot 0,8 = 2\,088 \ \ 1/с;$$

$$\frac{dR}{dt} = Z_{t=0} = 0; \quad K = \frac{9,95 \cdot \rho_г^{0,5} \cdot \mu_г^{0,5}}{\rho_к \cdot d_к^{1,5}}.$$

Многовариантные расчеты показали высокую вероятность движения капли в область периферии диска турбины. С учетом высокого перепада давления на рабочей решетке турбины $\Delta P = (P_{вх} - P_{вых}) = (20,0 - 17,0)$ МПа = 3 МПа частицы в виде капель металла попадают на бандаж и далее в осевой зазор, с ударом о выступы на бандаже рабочего колеса турбины, где и отмечались в последствие возгорания, взрыв, и как следствие, разрушение турбонасосного агрегата ДУ.

Библиографический список

1. Махов, В. Авария «Протона» / В. Махов, И. Извеков, М. Побединский // Новости космонавтики. 1999. № 9. С. 26–31.
2. Афанасьев, И. Против течения / И. Афанасьев, Д. Воронцов // Новости космонавтики. 2008. № 1. С. 36–37.
3. Ильяшенко, С. М. Теория и расчет прямоточных камер сгорания / С. М. Ильяшенко, А. В. Талантов. М. : Машиностроение, 1964. С. 248.
4. Малинин, В. И. Внутрикамерные процессы в установках на порошкообразных металлических горючих / В. И. Малинин. Екатеринбург ; Пермь : УрО РАН, 2009. 262 с.
5. Волынский, М. С. О дроблении капель в потоке воздуха / М. С. Волынский // Доклады АН ССР. 1948. Т. 62. № 3. С. 52–62.
6. Малинин, В. И. Особенности горения частицы алюминия в потоке активных газов / В. И. Малинин, Е. И. Коломин, И. С. Антипин // Физика горения и взрыва. 1999. Т. 35. № 1. С. 41–47.
7. Краев, М. В. Гидродинамические радиальные уплотнения высокооборотных валов / М. В. Краев, Б. В. Овсянников, А. С. Шапиро. М. : Машиностроение, 1976. 104 с.

M. V. Kraev, L. N. Kaichuk, E. M. Kraeva

THE FLOWING PART OF TURBINE ZHRD OF THE CLOSED CIRCUIT ANALYSIS

The flowing part of the gas turbine of the liquid rocket engine of the closed analysis is executed, the movement trajectory is considered in a biphase gas stream structure of the lonely drop, generated after gas generated the prechamber turbine of the stream.

Key words: carrier rocket, failure, turbine pump unit, turbine, a flowing part, drop, trajectory

УДК 629.735.017

О. Г. Бойко

ПРАВОМЕРНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена возможность использования интегральных функций распределения вероятностей отказа агрегатов в расчетах надежности сложных систем. Показана неправомерность замены вероятностей событий на интегральные функции распределения вероятностей при использовании теоремы умножения вероятностей в расчетах надежности сложных систем

Ключевые слова: интегральная функция, плотность вероятности, сложная система, вероятность отказа, теорема умножения вероятностей.

В работах [1; 2] показано, что расчеты надежности как функциональных систем самолетов, так и тестовых задач, выполненные по традиционной методике [3; 4] с использованием интегральных функций вероятностей отказа агрегатов, неизбежно приводят к реализации интегральной функции распределения вероятности отказа системы от времени, близкой по форме к кривой нормального закона распределения. Эта форма кривой сохраняется при использовании в тестовых примерах сложных систем различных законов распределения вероятности отказа агрегатов. При этом полученные плотности вероятности отказов и вероятности отказов на 1 час полета в функции времени близки по форме к плотности вероятности нормального распределения.

Рост вероятности отказа на 1 час полета до максимального значения и уменьшение до нуля, при неограниченном увеличении времени, представляется неоправданным. Особенно настораживает этот факт при использовании для вероятностей отказов агрегатов распределения равномерной плотности вероятности. При этом распределении, рекомендованном отраслевым стандартом [5], плотность распределения вероятности и вероятность отказа на 1 час строго равны друг другу, численно равны параметру потока отказов и не зависят от времени. Статус параметра потока отказов как среднего числа отказов, может быть серьезно повышен, если иметь в виду, что это стратегически среднее число отказов, которое приближается к математическому ожиданию числа отказов в 1 час, при увеличении объема статистики.

Представление о том, что вероятность отказа системы на 1 час, составленной из агрегатов, вероятности отказа которых на 1 час не зависят от времени, является возрастающей, а затем убывающей до нуля функцией времени и не выдерживает критики. Нам представляется, что причиной несоответствия результатов расчета надежности систем исходным данным и здравому смыслу скрыта в некорректном использовании теоремы умножения вероятностей.

При расчете сложных систем, в соответствии с теоремой умножения вероятностей, умножаются вероятности безотказной работы последовательно соединенных агрегатов и вероятности отказов при их параллельном соединении. В теории вероятностей [6] речь идет о умножении вероятностей событий. Событие – это понятие, относящееся к дискретным случайным величинам. Вероятность события – это конкретное числовое значение вероятности его реализации.

В известной учебной [3; 4], научной литературе и отраслевом стандарте [5], при построении методики расчета надежности сложных систем, в соответствии с теоремой умножения вероятностей, умножаются не вероятности событий, а интегральные функции вероятности отказа агрегатов, что далеко не одно и тоже. Рассмотрим к каким последствиям это приводит.

Во-первых, математическая модель расчета вероятности отказа сложной резервированной системы оказывается суммой произведений и степеней от интегральных функций вероятностей отказа агрегатов. Поскольку последние не существенно отличаются друг от друга, в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятностей, распределение суммы таких членов стремится к нормальному распределению при увеличении числа членов суммы. Нормальное распределение моделирует распределение вероятности случайных ограниченных в определенной области переменной. За пределами трех среднеквадратических отклонений случайных реализаций практически нет. Поэтому плотность вероятности и вероятность отказа на 1 час стремятся к нулю при неограниченном увеличении времени. Совокупность случайных событий отказов в авиационных системах непрерывна и может рассматриваться как неограниченная по времени. Последнее положение вполне достоверно, если параметр потока отказов принимается независящим от времени. Таковым он принимается во всех указанных выше источниках.

В отраслевом стандарте [5], при постоянном параметре потоков отказов r-агрегатов и параллельной схеме их соединения, получено выражение для вероятности отказа являющееся r-ой степенью времени. При этом вероятность отказа на 1 час полета системы, содержащей агрегаты, вероятности отказа которых на 1 час приняты независящими от времени, оказалась функцией $r-1$ степени времени.

Наконец интегральная функция распределения вероятности отказа определяет вероятность отказа в интервале времени от 0 до некоторого t_i. При этом не конкретизируется момент реализации отказа. Рассмотрим на примере привода руля высоты, к каким выводам это приводит. Пусть руль активизируется тремя одинаковыми рулевыми приводами, имеющими одинаковую наработку,

а параметр потока отказов примем постоянным. Тогда вероятность отказа такой системы рассчитываемая по традиционной методике определится следующим образом:

$$Q_c(t) = (\omega t)^3.$$

Эта вероятность трактуется как вероятность отказа системы, т. е. трех рулевых приводов одновременно и, естественно, как вероятность катастрофической ситуации. Но в действительности это выражение, содержащее интегральные функции ωt вероятности отказа агрегатов, определяет лишь тот факт, что в интервале времени от 0 до некоторого t_i с вероятностью $Q_c(t_i)$ откажут все три рулевых агрегата. Но далеко не факт, что они откажут одновременно, а не с интервалами в сотни и тысячи часов. Одиночные же отказы рулевых агрегатов не опасны и о катастрофической ситуации речи быть не может.

Отметим еще один недостаток традиционного метода расчета надежности сложных систем. Как уже отмечалось, математическая модель расчета надежности сложной системы содержит степенные функции от интегральных функций вероятностей отказов агрегатов. Такой вид математической модели принимается как окончательный и по нему осуществляется расчет. Здесь упущен тот факт, что расчетное выражение содержит функции от случайных величин, т. е. от интегральных функций вероятностей отказов. В этом случае вероятность отказа системы следует отыскивать как функцию случайных величин через плотности вероятности отказов агрегатов. Решение относительно сложно для числа агрегатов в системе более двух. Но процедуры расчета математического ожидания и среднеквадратического отклонения вероятности отказа системы содержащей n агрегатов затруднений не вызывают.

Указанных недостатков использования интегральных функций вероятностей отказа агрегатов можно избежать, изменив методологический подход к расчету надежности систем. При традиционном подходе задача расчета надежности решается относительно интегральной функции вероятности отказа системы, а вероятность отказа на 1 час полета предлагается определять вторым шагом как производную. В соответствии с предлагаемым нами подходом, при решении задачи надежности систем, в качестве первичной следует рассматривать задачу расчета вероятности отказа системы на единицу времени (1 час). Она решается, естественно, с использованием вероятностей отказа агрегатов на 1 час полета. В отличие от интегральной функции, вероятности отказа за единицу времени являются событиями, которые могут зависеть от текущего значения времени. При этом вполне правомерным становится использование теоремы умножения вероятностей. При необходимости построения интегральной функции вероятности отказа системы, она может быть определена интегрированием последней. Естественно, необходимо не забывать, что и вероятность отказа агрегата на единицу времени является случайной величиной и рассматривать вероятность отказа системы как функцию от случайных величин.

Библиографический список

1. Шаймарданов, Л. Г. Особенности анализа надежности функциональных систем самолетов / Л. Г. Шаймарданов, О. Г. Бойко // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. 2007. Вып. 2(15). С. 63–68.

2. Зосимов, А. Г. Метод расчета надежности функциональных систем самолетов по статистическим материалам эксплуатантов / А. Г. Зосимов, О. Г. Бойко, Л. Г. Шаймарданов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та. 2007. Вып. 4(17). С. 118–119.

3. Воробьев, В. Г. Надежность и эффективность авиационного оборудования / В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов. М. : Транспорт, 1995. 236 с.

4. Сугак, Е. В. Надежность технических систем / Е. В. Сугак, Н. В. Василенко, Г. Г. Назаров, А. Б. Патьшин. Красноярск : МПГ «Раско», 2001 г. 608 с.

5. ОСТ 1 00132–84. Надежность изделий авиационной техники. Методы количественного анализа безотказности функциональных систем при проектировании самолетов и вертолетов. М. : Изд-во стандартов, 1984.

6. Венцель, Е. С. Теория Вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. М. : Наука, 1988. 476 с.

O. G. Boyko

ABOUT ABILITY OF USING THE INTEGRAL FUNCTIONS OF ACCIDENTAL VALUES DISTRIBUTION IN CALCULATIONS OF THE FUNCTIONAL SYSTEMS RELIABILITY

The possibility of using the integral theory of probability distribution functions of units breakdown in calculations of complicated systems reliability is viewed. The impossibility of exchange the events probability to the integral probability distribution functions using the multiplying the probabilities theorem in complicated systems reliability calculation is shown.

Keywords: integral function, density of possibility, complicated system, possibility of rejection, possibility multiplication theorem.

УДК 629.7.017

А. А. Прейс

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТАРЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Д-30Ф6 ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрен процесс старения авиационных двигателей Д-30Ф6 и его комплектующих узлов и агрегатов при эксплуатации по интенсивности отказов λ(t).

Ключевые слова: старение систем, интенсивность отказов, двигатели, узлы, агрегаты, ресурсы.

С недавнего времени в средствах массовой информации и на страницах специальных изданий, посвященных авиации, все чаще стала затрагиваться проблема стареющего авиапарка гражданской авиации России.

Не обходит стороной проблема старения и авиационной техники, которая эксплуатируется в строевых частях Вооруженных Сил Российской Федерации.

И действительно, подавляющее большинство авиационной техники, находящейся на вооружении построена в период с 1979 по 1993 гг. Стратегические бомбардировщики ТУ-95МС и ТУ-22М3 произведены в основном между 1982 и 1991 гг., после 1987 г. ТУ-160. Военно-транспортные самолеты среднего и тяжелого класса ИЛ-76 и «Руслан», а также воздушный заправщик ИЛ-78 вошли в строй в подавляющем большинстве в период конца 70-х по конец 80-х гг., остающиеся на вооружении истребители СУ-27 построены в основном с 1987 по 1991 гг., МИГ-29 с 1986 по 1991 гг., истребитель-перехватчик МИГ-31 – с 1987 по 1993 г г.

Нельзя не отметить, что и на вооружении Военно-воздушных сил «потенциального противника» находятся самолеты ветераны. На экспозиции МАКС-2007 была представлена авиационная техника зарубежного производства, которая построена в период с 1960 по 1997 гг. «Патриархом» выставки оказался B-52H, который был произведен в 1960 г. F-16 построен в 1991 г., воздушный заправщик КС-135 находится в эксплуатации с 1963 г., а F-15 прибывший из Англии построен в 1984 г., но самым молодым оказался С-17 «Глоубмастер», самолет построен в 1997 г.

По мере эксплуатации авиационной техники заложенные запасы работоспособности уменьшаются («расходуются»), изделие «стареет». Одними из основных критериев, которые подразумевают деление авиационной техники на «старую» и «новую», выступает налет, наработка и срок службы с начала эксплуатации изделия авиационной техники. Перечисленные критерии оправданы, но не отражают количественные изменения *показателей надежности*, которые непосредственно влияют на безопасность полетов и, как следствие, выполнение полетных заданий.

Да, по мере увеличения налета, наработки, уменьшается запас ресурса, но это не значит, что авиационная техника не надежна или стареет. При старении происходит процесс постепенного изменения свойств материалов, формы и размеров деталей изделия, их коррозия во времени и влияние ряда других факторов, вследствие чего начинает возрастать количество отказов и повреждений.

В данной работе предложено оценивать процесс старения авиационной техники по числовой характеристике, которая путем учета количества отказавших однотипных объектов, позволила бы определить уровень надежности в любой момент времени. Этой числовой характеристикой является *интенсивность отказов*.

Она представляет собой долю изделий, отказавших на (i+1) интервале, от числа изделий, безотказно отработавших до начала данного интервала:

$$\lambda\left(t_{i+1}\right)=\frac{\Delta n_{i+1}}{N_i \Delta t}$$

где N_i – число изделий, работающих к началу i-го интервала времени; Δn_{i+1} – число изделий, отказавших на (I + 1)-м интервале.

Таким образом, интенсивность отказов – это условная вероятность отказа изделия в единицу времени, имеющая размерность 1/ч.

Значение $\lambda(t)$ рассчитывается на основании статистических данных, полученных в процессе эксплуатации технических объектов.

Контроль за изменением этого параметра надежности в процессе эксплуатации очень важен, так как, например, его возрастание по мере увеличения наработки может служить сигналом старения отдельных элементов систем или всего изделия в целом, в результате усталости, износа.

Величина интенсивности отказов в различные периоды эксплуатации для большинства изделий различна. По характеру изменения этого показателя надежности (рис. 1) можно выделить три периода жизненного цикла изделия.

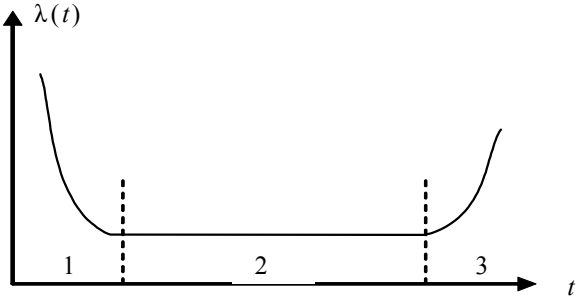


Рис. 1. Жизненные циклы изделия

Первый период жизненного цикла – изделие новое, только начало эксплуатацию. Надежность изделия низкая, а интенсивность отказов высокая. Это объясняется тем, что в изделие попадают элементы с не выявленными и пропущенными дефектами. Имеет место также и низкое качество сборки изделий, отклонение от принятой технологии ее проведения. Отказы, возникающие в начальном периоде эксплуатации, называются *приработочными*.

Наибольшее число приработочных отказов возникает в начальном периоде работы изделия, а затем по мере

их проявления и устранения интенсивность отказов начнет снижаться. В первом периоде могут возникать и конструкционные отказы, а также внезапные отказы, вызванные внешними факторами. Суммарная интенсивность будет складываться из интенсивности приработочных отказов и интенсивности отдельных случайных отказов по разным причинам.

В целях повышения надежности изделия в период приработки, это изделие до эксплуатации подвергается *тренировке* – испытанию по специальной программе. Тренировка позволяет отобрать наименее надежные объекты и не допустить их к эксплуатации.

Второй период жизненного цикла работы изделия называется периодом нормальной эксплуатации. После выявления и устранения приработочных изделие еще является «молодым», в это время износовые и усталостные отказы еще могут не появиться. Наступает период работы изделия, в течение которого в нем в основном могут возникать отдельные отказы, вызванные различными случайными факторами. В этот период интенсивность отказов при неизменных условиях эксплуатации изделия во втором периоде сохраняется примерно постоянной.

Третий период жизненного цикла работы изделия связан с его старением. Как только изделие начало выполнять свои рабочие функции и стала возрастать наработка t, в его элементах появляются необратимые процессы, связанные с износом, усталостью. В течение второго периода работы изделия эти необратимые процессы начинают накапливаться, степень повреждения растет, но до определенного времени она не достигает предельного значения и постепенные отказы практически не возникают. Однако после некоторой наработки они начинают проявляться и доля их постепенно увеличивается.

Ресурс изделия целесообразно ограничить первыми двумя периодами их работы, т. е. в третьем периоде они не должны работать. Однако в настоящее время требуемые ресурсы авиационной техники постоянно растут и определение наработки, при которой начинает заметно сказываться старение изделия, является сложной и ответственной задачей, на ее основе решается вопрос о назначении ресурса. При этом в первую очередь должны учитываться условия обеспечения безопасности полетов, а затем экономические соображения.

При написании статьи проводился анализ процесса старения авиационных двигателей Д-30Ф6, эксплуатирующихся в строевой части, по изменению интенсивности отказов.

В первую очередь, $\lambda(t)$ рассчитывалась для всего парка двигателей, по всем отказам и повреждениям, системам, узлам и агрегатам.

В эксплуатации находится 46 двигателей (N_i=46). Двигатели рассматриваются как невосстанавливаемый объект. За весь период эксплуатации было зафиксировано 36 отказов и повреждений. Число отказов Δn_i фиксировалось через интервалы времени Δt = 50 час. Временной интервал разбивался с таким учетом, чтоб в него попадало не менее двух отказов и повреждений. Все данные по отказам и повреждениям, в зависимости от наработки, сведены в таблице.

Рассчитываем интенсивность отказов следующим образом:

$$\lambda(0,\,50\text{ ч}) = \frac{3}{46\cdot 50} = \frac{3}{2\,300} = 0{,}13\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(50{,}100\text{ ч}) = \frac{7}{43\cdot 50} = \frac{7}{2\,150} = 0{,}32\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(100,\,150\text{ ч}) = \frac{5}{36\cdot 50} = \frac{5}{1\,800} = 0{,}27\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(150,\,200\text{ ч}) = \frac{6}{31\cdot 50} = \frac{6}{1\,550} = 0{,}38\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(200,\,250\text{ ч}) = \frac{6}{25\cdot 50} = \frac{6}{1\,250} = 0{,}48\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(250,\,300\text{ ч}) = \frac{2}{19\cdot 50} = \frac{2}{950} = 0{,}21\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(300,\,350\text{ ч}) = \frac{3}{17\cdot 50} = \frac{3}{850} = 0{,}35\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(350,\,400\text{ ч}) = \frac{2}{14\cdot 50} = \frac{2}{700} = 0{,}28\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

$$\lambda(400,\,450\text{ ч}) = \frac{2}{12\cdot 50} = \frac{2}{600} = 0{,}33\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч}.$$

Полученная зависимость $\lambda(t)$ от времени (рис. 2) показывает, что интенсивность отказов начинает возрастать при наработке 50 ч и составляет

$$\lambda(t) = 0{,}13\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч};$$

достигает своего максимума при наработке 250 ч и имеет вид

$$\lambda(t) = 0{,}48\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч},$$

а затем снижается до значения

$$\lambda(t) = 0{,}35\cdot 10^{-2}\ \text{1/ч}$$

и сохраняет его примерно на одном уровне. Если начало возрастания $\lambda(t)$ характеризуется отказом различных агрегатов по конструктивно-производственным недостаткам, то максимальное значения $\lambda(t)$ объясняется началом старения отдельных узлов, агрегатов и элементов конструкции двигателя.

Количество отказов и неисправностей в зависимости от наработки

Δt, ч	Δn_i
Δt_1 (0…50)	3
Δt_2 (50…100)	7
Δt_3 (100…150)	5
Δt_4 (150…200)	6
Δt_5 (200…250)	6
Δt_6 (250…300)	2
Δt_7 (300…350)	3
Δt_8 (350…400)	2
Δt_9 (400…450)	2
Δt_{10} (450…500)	–
Δt_{11} (500…550)	–

Для более детального исследования процесса старения была сделана выборка для двигателей, которые снимались с эксплуатации по отказам элементов конструкции.

Полученная зависимость $\lambda(t)$ для двигателей, снятых с эксплуатации по отказам элементов конструкции (рис. 3) показывает, что интенсивность отказов возрастает при наработке 350 ч, составляет $\lambda(t) = 0{,}43 \cdot 10^{-3}$ 1/ч и продолжает свой рост до $\lambda(t) = 0{,}68 \cdot 10^{-3}$ 1/ч при дальнейшей наработке. Рост интенсивности отказов объясняется началом процесса старения материалов, изнашиванием поверхностей сопряженных деталей конструкции двигателя в следствии работы этих узлов в тяжелых условиях.

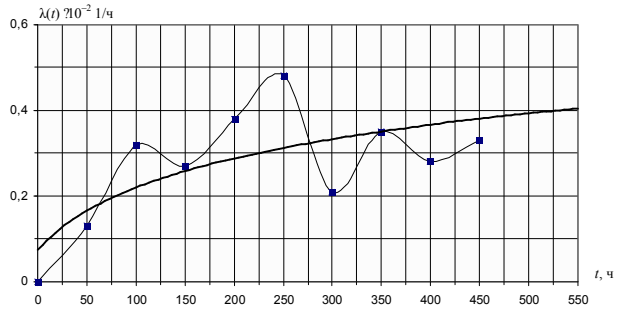


Рис. 2. Интенсивность отказов и повреждений всего парка авиадвигателей

Основные причины, по которым снимались двигатели с эксплуатации: прогар сопловых аппаратов турбины высокого давления, прогар жаровых труб основной камеры сгорания, прогар топливного коллектора основной камеры сгорания, разрушение упругодемпферных опор компрессора высокого давления.

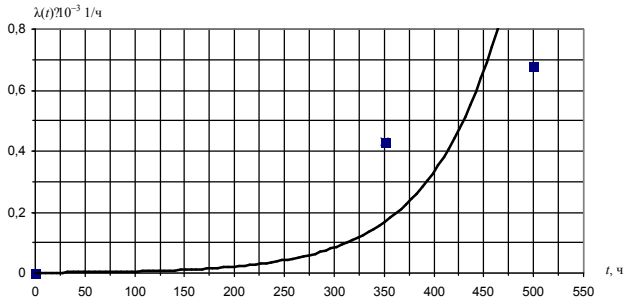


Рис. 3. Интенсивность отказов авиадвигателей, снятых с эксплуатации по отказам элементов конструкции

При анализе рассматривался процесса старения узлов и агрегатов, которые входят в состав авиационного двигателя. Это «узел 16» (реактивное сопло), трос регулирования сопла, который входит в узел обратной связи агрегата Регулятора Сопла (РС-3048МА) и ионизационный датчик пламени (ДПИ-1500-18), входящий в систему зажигания форсажной камеры сгорания.

Для реактивного сопла наиболее характерны следующие отказы: течь топлива по гидроцилиндрам управления, обрыв штоков гидроцилиндров управления, разрушение тяги силового кольца, срез болтов крепления гидроцилиндров. Полученная зависимость $\lambda(t)$ для реактивного сопла (рис. 4) показывает, что интенсивность отказов начинает возрастать при наработке двигателей 200 ч $\lambda(t) = 0{,}45 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, и достигает $\lambda(t) = 0{,}76 \cdot 10^{-3}$1/ч при наработке 400 ч.

Трос регулирования сопла снимался с эксплуатации по причине порыва. Порыв троса начинался при наработке двигателей 350 ч, интенсивность отказов для данной наработки составляет $\lambda(t) = 0{,}54 \cdot 10^{-3}$1/ч и продолжался рост, при наработке 460 часов $\lambda(t) = 0{,}79 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Полученная зависимость $\lambda(t)$ для троса регулирования сопла представлена на рис. 5.

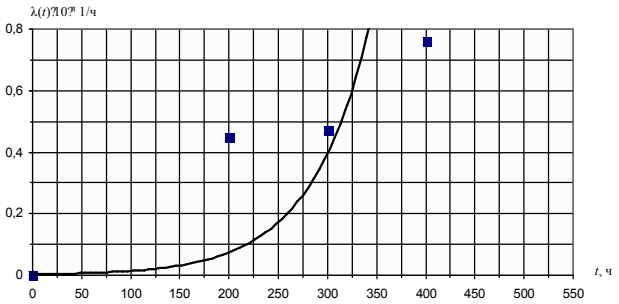


Рис. 4. Интенсивность отказов реактивного сопла

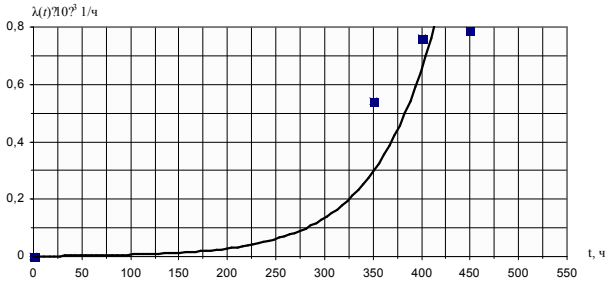


Рис. 5. Интенсивность отказов троса регулирования реактивного сопла

Основные причины, по которым снимался с эксплуатации ионизационный датчик пламени (ДПИ-1500-18), прогар и оплавление. Прогар и оплавление ДПИ-1500-18 обусловлены его установкой в форсажной камере сгорания и, как следствие, его работа в условиях высокой температуры.

Перечисленные отказы начинают возникать при наработке в 90 ч. Для данной наработки $\lambda(t) = 0{,}65 \cdot 10^{-3}$1/ч и растет на протяжении всего периода эксплуатации (рис. 6).

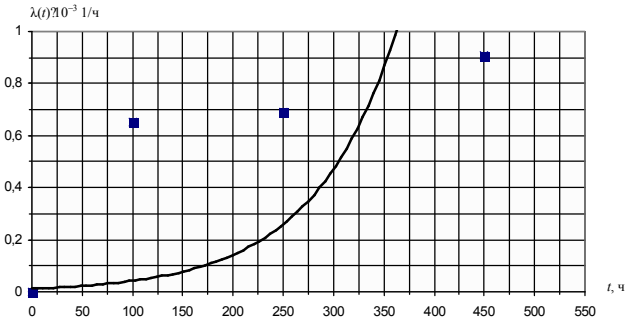


Рис. 6. Интенсивность отказов ДПИ-1500-18

Из выполненного анализа процесса старения по изменению зависимостей $\lambda(t)$ можно сделать вывод, что предельное состояние узлов и агрегатов, по причине их старения, начинается уже при наработке 100 ч и продолжает свой рост при дальнейшей эксплуатации. Для двигателей, которые снимались с эксплуатации по отказам элементов конструкции, старение начинается при наработке 350 ч, о чем свидетельствует увеличение $\lambda(t)$.

Нельзя не отметить и тот факт, что замена узлов и агрегатов двигателя, имеющих рост интенсивности отказов, снижает $\lambda(t)$ для всего двигателя в целом, но не отдаляет наступление предельного состояния, по причине старения элементов конструкции.

A. A. Preis

D-30F6 AIRCRAFT ENGINE DETERIORATION PROCESSES ANALYSIS IN OPERATION

The deterioration process of D-30F6 aircraft engine and its units and aggregates in operation by break down intensity $\lambda(t)$ is viewed.

Keywords: systems exhaust, breakdown intensity, engine, units, aggregates, resources.

УДК 629.7.017

Л. Г. Шаймарданов, И. А. Толманов

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрено обоснованные необходимости оптимизации ремонтов современных авиадвигателей применительно к маршрутной сети полетов самолетов авиакомпании.

Ключевые слова: блоки, агрегаты, относительные отработки ресурсов.

Совершенствование авиадвигателей для самолетов гражданской авиации не ограничивается уменьшением их массы на единицу силы тяги и расхода топлива на килограмм тяги в час. Существенная доля эксплуатационных расходов затрачивается на поддержание надежности двигателей. Современные двигатели выполняются по блочно-модульной схеме, когда возможна замена деталей и узлов двигателя в условиях эксплуатации. Ряд крупных блоков может быть заменен без съема двигателя с самолета. Например, вентилятор, лопатки вентилятора и др. Это замена «на крыле».

Модули и агрегаты двигателя делятся на два класса. Одним назначаются ресурсы в летных часах, другим – в циклах. Число циклов чаще всего определяется по числу взлет-посадок. Поскольку число посадок должно быть равно числу взлетов, циклы определяют по посадкам. Заменой модулей, деталей и агрегатов поддерживается надежность и, следовательно, летная годность двигателей.

Поскольку степенью отработки ресурсов агрегатами и блоками двигателя в определенной мере характеризуется и выработка запасов по их надежности, для косвенной оценки надежности может быть использован параметр в виде средней относительной отработки ресурсов агрегатами и блоками двигателя, определенный в виде

$$\overline{t}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \overline{t}_i}{n}, \qquad (1)$$

где n – число блоков и агрегатов двигателя; $\overline{t}_i$ – относительная отработка ресурса i-м блоком (деталью, агрегатом), которые определяется как

$$\overline{t} = \frac{t_i}{T_i}, \qquad (2)$$

где t_i – наработка i-го блока (агрегата), час либо цикл; T_i – ресурс этого блока (агрегата), час (цикл).

Современный авиадвигатель содержит более 200 блоков и агрегатов, заменяемых в процессе ремонта на новые либо восстановленные в заводских условиях. Для постановки проблемы ремонта нет необходимости рассматривать полную комплектацию восстанавливаемых элементов, т. е. многие из них являются внешними навесными агрегатами, замена которых допускается в условиях эксплуатанта. Это приводимые от вала двигателя насосы, генераторы, агрегаты внешней обвязки, такие как электроклапаны, краны, обратные клапаны и т. п.

В работе рассматриваются блоки и детали вентилятора и турбокомпрессора двигателя, такие как колесо вентилятора, его спрямляющий аппарат, форсунки, валы роторов двигателя и их подшипники, диски компрессора и турбины и т. п. (всего 46 блоков и деталей). В целях упрощения расчетов и более наглядного представления результатов они объединены в группы с близкими значениями чисел ресурсов по налету и циклам. Так по налету часов рассматриваются три группы изделий: с ресурсом 10 000 ч 3 изделия в группе, 12 000 ч – 6 изделий и с 20 000 ч – 1 изделие.

По ресурсу в циклах:

9 изделий с ресурсом – 3 500 циклов;

7 изделий с ресурсом – 5 500 циклов;

4 изделий с ресурсом – 8 500 циклов;

15 изделий с ресурсом – 10 000 циклов;

8 изделий с ресурсом – 12 000 циклов.

Графически значения средней отработки ресурсов изделиями, эксплуатирующимися по ресурсу в летных

часах изображены на рис. 1. Наклонные, возрастающие по времени *t* участки ступенчатого процесса, оценивают увеличение средней отработки ресурсов, т. е. старение изделий по налету часов. Вертикальные ниспадающие ступени являются следствием того, что при соответствующей ступени наработки выполнена замена *i*-й группы изделий по отработке ресурса на новые либо отремонтированные.

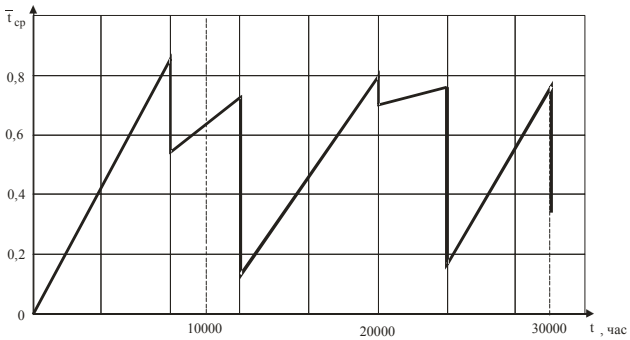


Рис. 1. Диаграмма процесса средней отработки ресурсов группы изделий с ресурсами по налету часов

В этот момент $\bar{t}_i$ скачком изменило значение равное 1 на 0.

На рис. 2 показан процесс отработки ресурсов изделиями с ресурсами, определяемыми числом циклов (посадок).

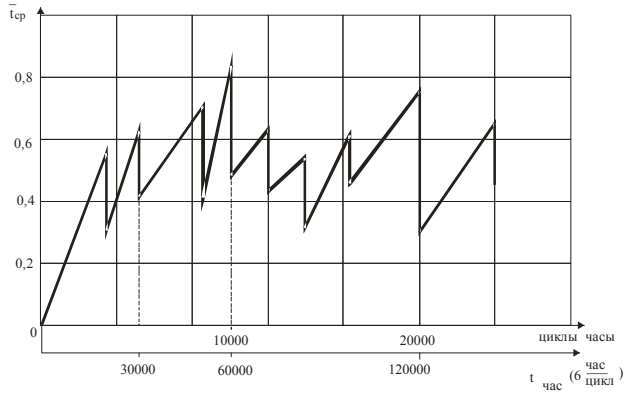


Рис. 2. Диаграмма процесса средней отработки ресурсов группы изделий с ресурсами по циклам

В обоих случаях необходимо помнить, что замена изделий двигателя при $\bar{t}_i = 1$ определяется выработкой ресурса и за его пределами надежность на нем не гарантируется. В связи с этим, чем меньше $\bar{t}_{ср}$, тем лучше.

Авиадвигатель одного и того же типа может устанавливаться на различных типах самолетов и это оказывает самое серьезное влияние на экономические показатели его использования.

В настоящее время самолеты гражданской авиации создаются как местных воздушных линий, так магистральных. Среди последних различают ближнемагистральные, среднемагистральные и дальнемагистральные.

Ближнемагистральный самолет вполне может иметь налет на посадку (цикл) равный 1 ч. На рис. 2 верхняя ось абсцисс относится именно к этому случаю, т. е. по ней налет в циклах равен налету в часах.

Для дальнемагистрального самолета с максимальной дальностью беспосадочный полет может продолжаться 14 ч. А продолжительность полета с полной коммерческой загрузкой составляет 8 ч. Нижняя ось абсцисс выражена в часах при налете на посадку (цикл) равном 6 ч. Тогда на двигателях самолета, имеющего налет на посадку, равный 1 ч, в процессе полета 12 000 ч необходимо заменить все 5 групп, 43 типа рассматриваемых изделий, эксплуатирующихся по выработке циклов. В это же время у двигателей самолета, налетывающего 6 часов на посадку при налете 12 000 ч замен изделий, эксплуатирующихся по циклам, не будет вовсе. Первая замена изделий с ресурсом 3 500 циклов состоится только при налете в 21 000 ч. Естественно, что изделия с ресурсами в летных часах придется заменять в соответствии с процессом, изображенном на рис. 1.

Следует отметить, что у рассматриваемого двигателя с ресурсами по часам используются изделия со сравнительно низкой стоимостью. Это форсунки и подшипники роторов турбокомпрессора и вентилятора. По циклам же эксплуатируются дорогостоящие изделия, валы и диски роторов, жаровая труба и диффузор камеры, лопаточные аппараты и т. п. В связи с изложенным актуальной, для последующих исследований, представляется разработка метода оптимизации замен блоков, агрегатов и деталей двигателей при ремонтах, в зависимости от реализуемых в авиакомпаниях маршрутах полетов по расписанию.

L. G. Shaimardanov, A. I. Tolmanov

THE PROBLEMS OF MODERN AIRCRAFT ENGINES RELIABILITY MAINTENANCE

The necessity basis of modern craft engines repair optimization according to the rout net aircrafts flights of the airline company.

Keywords: blocks, units, relative refining of resources.

УДК 629.7.017

О. Г. Бойко, В. Б. Краснопеев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И АВТОМАТИКИ САМОЛЕТА ТУ-154М

С использованием статистических материалов эксплуатанта выполнена оценка старения электрифицированных систем самолета Ту-154М. Рассмотрены процессы старения, заложенные разработчиком самолета

Ключевые слова: отработка ресурсов, старение, системы, замены плановые, отказы, неисправности.

На этапе жизненного цикла самолета использования по назначению осуществляется его техническая эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт. Ресурсы агрегатов и комплектующих изделий функциональных систем часто в 5–10 раз меньше ресурсов планера самолета. В связи с этим, а также вследствие отказов и использования различных стратегий технического обслуживания, замены агрегатов в системах осуществляются в случайные моменты времени. Заменяются агрегаты на новые, либо на прошедшие заводской ремонт. Новые агрегаты работают в пределах ресурса до первого ремонта, отремонтированные – в пределах межремонтного ресурса. Часть агрегатов в настоящее время переведена на стратегию технического обслуживания по фактическому техническому состоянию.

Функциональные системы самолета содержат в своих структурах большое число агрегатов, имеющих различные физические основы функционирования и конструктивное исполнение. Поскольку ресурс назначенный до первого ремонта и межремонтный ресурс в определенной степени характеризуют возможности агрегатов выполнять свои функции, предложено степень отработки агрегатами этих ресурсов принять за основу оценки процессов старения функциональных систем.

Рассматривается процесс старения (отработки ресурсов) агрегатами функциональной системы самолета в функции наработки (налета часов) самолета в целом, которая определяется налетом часов планера. Система состоит из n агрегатов и комплектующих изделий.

Для оценки степени старения (отработки ресурса) агрегата предложено использовать относительную отработку ресурса, которая рассчитывается следующим образом:

$$\bar{t}_i = \frac{t_i}{T_i};$$

– в долях ресурса назначенного

$$\bar{t}_{i\text{н}} = \frac{t_{i\text{сн}}}{T_{i\text{н}}};$$

– ресурса до первого ремонта

$$\bar{t}_{i1\text{р}} = \frac{t_{i\text{сн}}}{T_{i1\text{р}}};$$

– ресурса межремонтного

$$\bar{t}_{i\text{мр}} = \frac{t_{i\text{ппр}}}{T_{i\text{мр}}},$$

где $T_{i\text{н}}$ – ресурс назначения; $T_{i1\text{р}}$ – ресурс до первого ремонта; $T_{i\text{мр}}$ – ресурс межремонтный; $t_{i\text{сн}}$ – наработка с начала эксплуатации; $T_{i\text{ппр}}$ – наработка после последнего ремонта.

Степень отработки ресурса агрегатами функциональной системы предложено оценивать средним значением отработки ресурсов в виде

$$\bar{t}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{t}_i}{n}.$$

Зависимость $\bar{t}_{\text{ср}}$ для функциональных систем самолета в функции налета t планера с начала эксплуатации для произвольных значений налета t не представляется возможным, поскольку в авиакомпаниях не сохраняется статистика истории налета агрегатов по налету планера. Могут быть рассмотрены только те значения по оси абсцисс (налета планера), которым соответствует налет на рассматриваемый момент эксплуатации экземпляров самолетов в авиакомпании. Для этих самолетов в производственно-диспетчерском отделе авиакомпании в паспортах на агрегаты и комплектующие изделия ведется учет наработки. Этим объясняется неравномерность распределения точек по оси абсцисс на приведенных в данной статье зависимостях.

В массивах статистической информации хранящихся в авиакомпании информация, заносимая в паспорта наиболее достоверна. В качестве основной использована статистическая информация, собранная по функциональным системам самолетов Ту-154М.

Были рассмотрены процессы старения: основной системы электроснабжения переменным током СП3С3Б40; системы электроснабжения постоянным током; автомата углов атаки и перегрузок АУАСП-12В РИ; радиодальномера СД-75. Значения относительной отработки ресурсов этими системами налета планера различных бортов Ту-154М представлены в табл. 1.

Функциональная схема одного канала СП3С3Б40 самолета Ту-154М (рис. 1) включает агрегаты, обеспечивающие питание электрифицированных систем самолета и отдельных потребителей переменным током, а также регулирование, защиту и управление. Она включает генератор ГТ40ПЧ6 (Г); блок регулирования напряжения БРН-208М7А (БРН); блок защиты и управления БЗУ-376СБ (БЗУ); блок трансформаторов тока БТТ-40Б (БТТ); блок регулирования частоты БРЧ-62БМ (БРЧ). Основная система электроснабжения переменным током состоит из трех одинаковых каналов.

Процесс старения (отработки ресурсов) агрегатами основной системы электроснабжения переменным током СП3С3Б40 приведен на рис. 2.

Функциональная схема одного канала основной системы электроснабжения постоянным током самолета Ту-154М (рис. 3) включает агрегаты, обеспечивающие пи-

тание потребителей в полете и на аэродроме, а также защиту и управление. Это выпрямительное устройство ВУ-6Б (ВУ); дифференциальное минимальное реле ДМР-200ВУ (ДМР); блок защиты БЗА-3Д (БЗА). Основная система электроснабжения постоянным током также состоит из трех каналов.

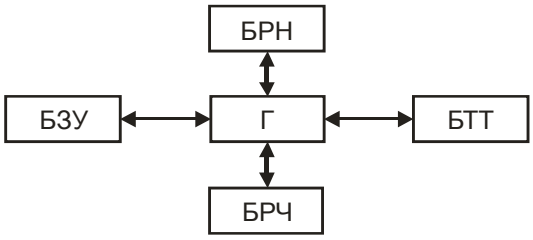


Рис. 1. Функциональная схема одного клапана СП3С3Б40

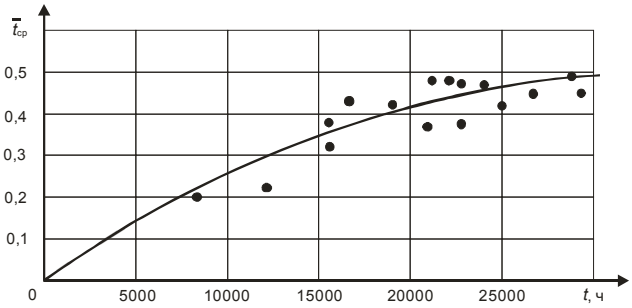


Рис. 2. Зависимость относительной наработки агрегатов СП3С3Б40 от налета

Рис. 3. Функциональная схема одного канала системы электроснабжения постоянным током

Процесс старения (отработки ресурсов) агрегатами основной системы электроснабжения постоянным током приведен на рис. 4.

Функциональная схема АУАСП-12ВРИ самолета Ту-154М (рис. 5) включает блоки, обеспечивающие измерение и индикацию в полете текущих углов атаки $\alpha_т$, критических углов атаки $\alpha_{кр}$ и вертикальных перегрузок $n_у$; включение предупреждающей сигнализации и выдачу сигналов в систему МСРП-64-2 при подходе к критическим углам атаки или предельным перегрузкам. Это датчик углов атаки (ДУА), датчик критических углов атаки (ДКУ), датчик перегрузок (ДП), блок коммутации (БК) и указатель углов атаки и перегрузок (УАП).

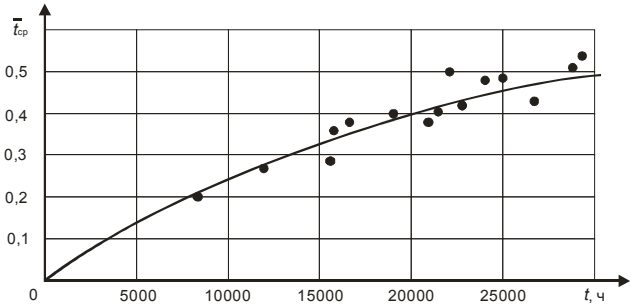


Рис. 4. Зависимость относительной наработки агрегатов системы электроснабжения постоянным током от налета

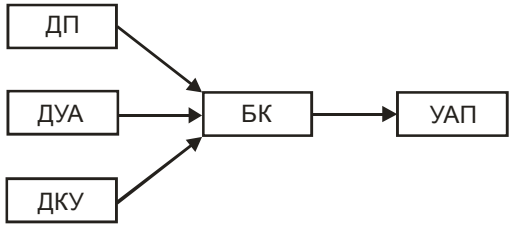


Рис. 5. Функциональная схема АУАСП-12ВРИ

Процесс старения (отработки ресурсов) агрегатами АУАСП-12ВРИ приведен на рис. 6.

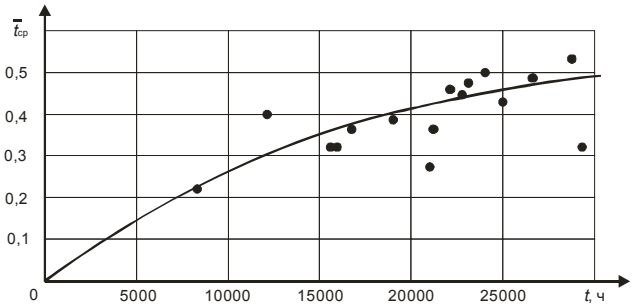


Рис. 6. Зависимость относительной наработки агрегатов АУАСП-12ВРИ от налета

Таблица 1

Значения относительной отработки ресурсов агрегатами систем Ту-154М

№ борта	Налет, ч	$\tau_{нар}/T_{рес}$			
		СП3С3Б40	СЭС пост. тока	АУАСП-12ВРИ	СД-75
85660	28 565	0,446	0,531	0,330	0,364
85672	16 859	0,429	0,368	0,365	0,329
85678	23 144	0,397	0,412	0,447	0,409
85679	28 268	0,489	0,504	0,550	0,394
85682	15 526	0,373	0,357	0,310	0,314
85683	22 547	0,478	0,499	0,458	0,442
85694	24 968	0,417	0,486	0,434	0,437
85702	26 565	0,462	0,435	0,470	0,369
85704	21 395	0,479	0,395	0,358	0,312
85708	23 243	0,460	0,415	0,477	0,402
85714	15 444	0,315	0,291	0,316	0,318
85720	24 313	0,467	0,479	0,501	0,472
85750	21 086	0,377	0,363	0,257	0,359
85759	18 872	0,415	0,394	0,385	0,363
85801	11 930	0,266	0,264	0,397	0,258
85817	9 187	0,201	0,206	0,236	0,220

Функциональная схема СД-75 самолета Ту-154М (рис. 7), включает блоки, обеспечивающие измерение и индикацию наклонной дальности от радиомаяков систем ДМЕ. Это запросчик (ЗСД), пульт управления режимами (ПУР), антенна (АМ) и индикатор (ИСД). С позиции безопасности полета целесообразно ограничиться исследованием надежности СД-75 для полетного случая.

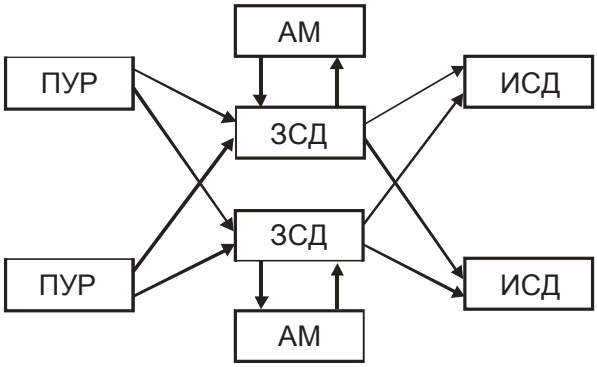


Рис. 7. Функциональная схема СД-75

Процесс старения (отработки ресурсов) агрегатами СД-75 приведен на рис. 8.

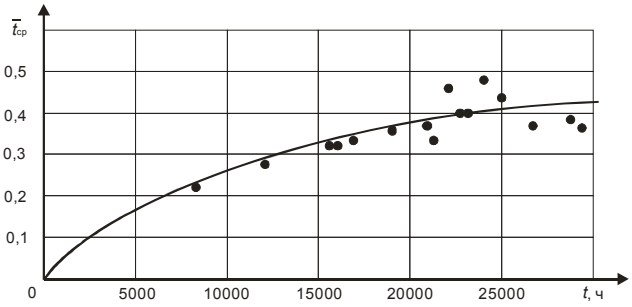


Рис. 8. Зависимость относительной наработки СД-75 самолета Ту-154М

Из приведенных рисунков следует, что процесс старения комплектующих изделий рассмотренных систем завершается при налете планера самолета 25–30 тыс. часов. На одном экземпляре самолета в системе могут работать одновременно как агрегаты новые с относительной отработкой ресурса равной 0,05, так и агрегаты, имеющие относительную отработку ресурса 0,75 и более. Приведенные результаты убедительно показывают, что агрегаты, имеющие отказы и эксплуатирующиеся на рассматриваемый момент в парке самолетов имеют относительную наработку назначенных ресурсов не более 45–55 %. Стабилизация процесса старения агрегатов связана отчасти с заменой их по неисправностям и отказам.

Представленная картина отработки ресурсов агрегатами систем оптимистична. Она говорит о том, что при существующей системе технического обслуживания и ремонта самолетов в гражданской авиации, старение функциональных систем не может быть фактором, ограничивающим ресурс самолета в целом, а ее надежность может поддерживаться на высоком уровне, удовлетворяющем требованиям НЛГС.

Авторами рассмотрены фактически реализованные в практике эксплуатации процессов старения систем Ту-154М. ОКБ разработчик самолета, задавая ресурсы агрегатам, предусмотрело их замену в процессе эксплуатации и таким образом определило верхнюю границу процессов старения, поскольку она не учитывает досрочные замены агрегатов по отказам, неисправностям и другим причинам. Представляет интерес рассмотрение этой верхней границы и ее сравнение с эксплуатационной кривой старения.

В работе по назначенному ресурсу оценены процессы старения основной системы электроснабжения переменным током СП3С3Б40 и радиодальномера СД-75, а по межремонтному ресурсу – системы электроснабжения постоянным током и автомата углов атаки и перегрузок АУАСП-12ВРИ. Исходные данные приведены в табл. 2.

Расчетные процессы приведены на рис. 9–12.

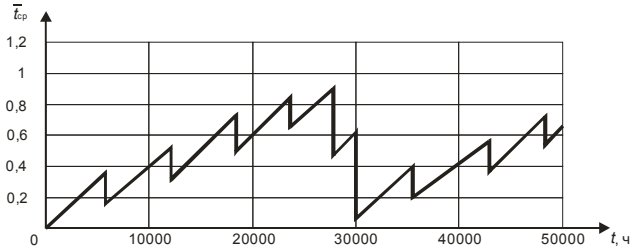


Рис. 9. Зависимость относительной наработки агрегатов основной системы электроснабжения переменным током самолета Ту-154М (по назначенному ресурсу)

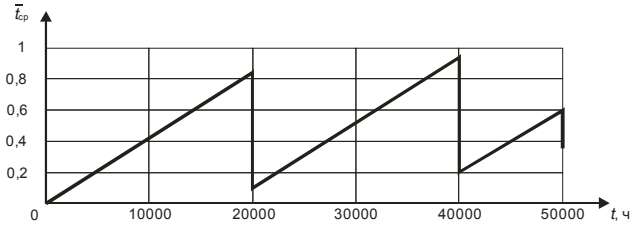


Рис. 10. Зависимость относительной наработки СД-75 самолета Ту-154М (по назначенному ресурсу)

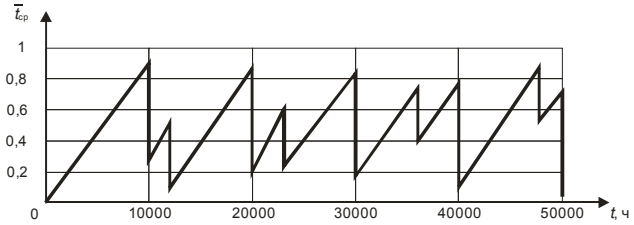


Рис. 11. Зависимость относительной наработки агрегатов системы электроснабжения постоянным током самолета Ту-154М (по межремонтному ресурсу)

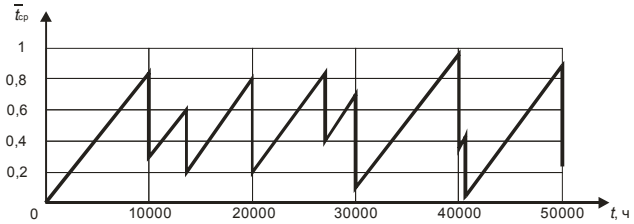


Рис. 12. Зависимость относительной наработки агрегатов АУАСП-12ВРИ самолета Ту-154М (по межремонтному ресурсу)

Наклонные участки получены как средне арифметические величины наработки комплектующих изделий и характеризуют увеличение наработки агрегатами функ-

циональной системы в целом (см. рис. 9–12). Вертикальные линии соответствуют замене комплектующих изделий, выработавших свой ресурс, в определенный момент времени на новые или послеремонтные агрегаты. Вследствие чего величина относительной наработки этих изделий скачкообразно изменяется от 1 до 0.

Ступенчатые процессы систем (см. рис. 9–12), заданные разработчиком, допускают самоопределенные периоды налета самолета, как увеличение относительной отработки ресурсов агрегатами почти до 1, так и уменьшение до значений менее 0,1. Уменьшение относительной отработки ресурсов является, с позиции надежности, благоприятным фактором. А ее увеличение до значений близких к 1 означает почти полное исчерпание ресурсов агрегатами системы. Вместе с этим усредненные значения процессов могут быть приняты близкими к относительной отработке ресурсов равной 0,5. Это хорошо сходится с фактическими значениями, представленными на рис. 2, 4, 6 и 8.

Следует отметить, что фактически реализуемые в системах процессы старения не имеют типов увеличения относительной отработки ресурсов агрегатов систем до значений близких к 1 и в этом смысле эти значительно благоприятнее с позиции надежности систем.

Таблица 2

Величина ресурсов агрегатов функциональных систем самолета Ту-154М

Функциональная система	Комплектующие изделия	Назначенный ресурс, ч
СП3С3Б40	ГТ40ПЧ6	6 000
	БЗУ-376СБ	27 000
	БРН-208М7А	27 000
	БРЧ-62БМ	30 000
	БТТ-40Б	30 000
СД-75	ЗСД-75	20 000
	ПУР	20 000
	АМ-001	50 000
	ИСД-1	50 000
Функциональная система	Комплектующие изделия	Межремонтный ресурс, ч
СЭС постоянным током	ВУ-6Б	10 000
	ДМР-200ВУ	12 000
	БЗА-3Д	10 000
АУАСП-12ВРИ	ДУА-9Р	13 600
	ДКУ-23Р	10 000
	ДП-1-3	10 000
	УАП-15КР	13 600
	БК-2П	10 000

O. G. Boyko, V. B. Krasnopeev

THE ANALYSIS OF TUPOLEV-154M AIRCRAFT ELECTRIC AND AUTOMATION SYSTEMS DETERIORATION

The Tupolev-154M aircraft electroficated systems deterioration is made according to the materials of the exploiter. The deterioration process predicted by the aircraft developer are viewed.

Keywords: resource deterioration, finishing off processes, systems, plan, replacements, breakdowns, faults.

УДК 629.78.018.3:533.6:621.396.67

А. Б. Надирадзе, В. В. Шапошников, В. А. Смирнов, И. А. Максимов, С. Г. Кочура

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРУЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА РАДИООТРАЖАЮЩЕЕ СЕТЕПОЛОТНО КРУПНОГАБАРИТНЫХ АНТЕНН КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены вопросы эрозионного воздействия струй стационарных плазменных двигателей (СПД) на радиоотражающее сетеполотно крупногабаритных антенн (КГА) космических аппаратов (КА). Предложен подход теоретической оценки ресурса радиоотражающего сетеполотна КГА на базе параметра «относительной глубины эрозии покрытия». Описаны эксперименты по определению коэффициента распыления золотого покрытия радиоотражающего сетеполотна КГА и деградации коэффициента отражения в зависимости от величины относительной глубины эрозии покрытия.

Ключевые слова: стационарный плазменный двигатель, антенна, сетеполотно, эрозия.

Необходимость выполнения ряда специфических задач по целевому назначению спутников обуславливает введение в их состав крупногабаритных антенных систем. В России в настоящее время разрабатываются спутники с диаметром рефлекторов антенн, превышающим 20 м. Радиоотражающие поверхности таких рефлекторов формируются сетеполотном, которое представляет собой крупноячеистую сетку, сплетенную из металлических нитей с диаметром порядка 10–20 мкм, на которые нанесено покрытие.

Известно, что при попадании в струи СПД элементов крупногабаритных трансформируемых конструкций спутника, к которым помимо элементов конструкции крупногабаритных антенных систем относятся также элементы конструкции панелей батарей солнечных (БС) и другие элементы конструкции спутника, происходит распыление их поверхностей. Величины эрозии при этом могут достигать нескольких микрон. В большинстве случаев эрозионное воздействие не оказывает дестабилизирующего воздействия на функционирование подсистем спутника, в которые входят распыляемые поверхности. Но так как толщина покрытия радиоотражающего сетеполотна КГА, определяющего коэффициент отражения радиоотражающей поверхности, составляет десятые доли микрона, эрозионное воздействие струй СПД может существенно снизить эффективность КГА.

Практика показывает, что полное исключение попадания струй СПД на радиоотражающее сетеполотно рефлекторов КГА посредством взаимного расположения антенн и двигателей весьма затруднительно, поэтому актуальной проблемой проектирования спутников с КГА является адекватная оценка и учет при проектировании КГА и спутника эрозионного воздействия струй СПД на радиоотражающее сетеполотно рефлекторов КГА. При этом необходимо решить следующие задачи:

– создать математическую модель воздействия струи СПД на радиоотражающее сетеполотно, позволяющую корректно оценивать величины эрозии и деградации коэффициента отражения;

– экспериментально определить коэффициент распыления покрытия радиоотражающего сетеполотна, который необходим для оценки величин эрозии;

– экспериментально определить зависимости деградации коэффициента отражения радиоотражающего сетеполотна от величин эрозии, являющиеся критерием снижения эффективности КГА вследствие эрозионного воздействия струй СПД.

Характерные особенности сетеполотна – его оптическая прозрачность и малая толщина покрытия, определяющая коэффициент отражения – обусловливают необходимость применения новых расчетных и экспериментальных методов, отличных от тех, которые применялись при исследованиях и оценке эрозионного воздействия струи СПД на панели БС и другие элементы конструкции спутника.

В частности, при создании математической модели воздействия струи СПД на радиоотражающее сетеполотно необходимо учитывать следующие особенности.

Известно, что скорость распыления в различных точках распыляемой поверхности зависит от угла падения ионов к плоскости поверхности. Скорость распыления нитей сетеполотна зависит также угла падения ионов на конкретную нить сетеполотна. При этом боковые поверхности нитей (по отношению к потоку ионов) могут распыляться быстрее центральных, что связано с особенностями угловой зависимости коэффициента распыления от угла падения. Ввиду того, что при нитях диаметром 10–20 мкм эффекты затенения (например, в местах сплетения) не сказываются, то для оценки эрозионного воздействия струй СПД на радиоотражающее сетеполотно рефлекторов КГА глубину эрозии следует определять в точке максимальной скорости распыления. Для определения этой точки при расчетах на радиоотражающей поверхности рефлектора КГА задаются контрольные сферы.

В качестве примера, на рис. 1 представлено распределение скорости распыления радиоотражающей поверхности рефлектора КГА условного КА, определенной с использованием сферических примитивов (контрольных сфер).

На рис. 2 изображено распыление контрольных сфер № 1, 2. Точки максимальной эрозии сфер не совпадает с полюсами сфер, обращенных к источнику плазменной струи, а расположены на боковых поверхностях сфер. Таким образом, геометрия сфер позволяет определить максимальное значение эрозии вне зависимости от угла падения струи на радиоотражающую поверхность рефлектора КГА.

При воздействии потока струи СПД на сетеполотно происходит его частичное распыление. Максимальная степень повреждения радиоотражающего покрытия не

может превышать 50 %, поскольку обратная сторона нитей распыляться не будет. В связи с этим, степень повреждения покрытия θ следует рассматривать в виде функции относительной глубины эрозии покрытия λ, равной отношению глубины эрозии покрытия в точке максимальной скорости распыления ϑ_{max} к толщине покрытия h:

$$\lambda = \frac{\vartheta_{max}}{h}, \qquad (1)$$

где h – толщина покрытия; ϑ_{max} – глубина эрозии покрытия в точке максимальной скорости распыления.

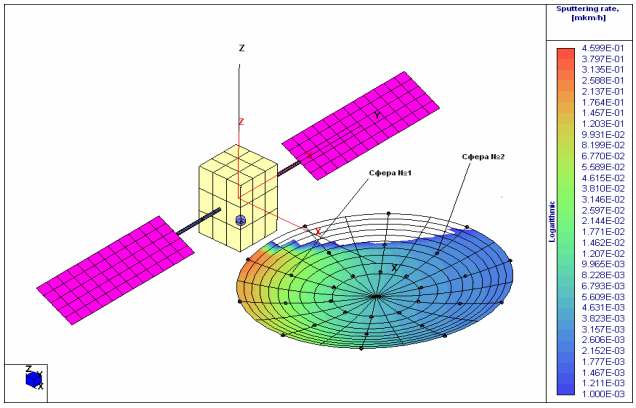
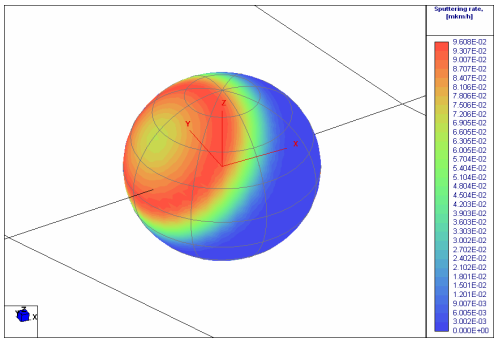
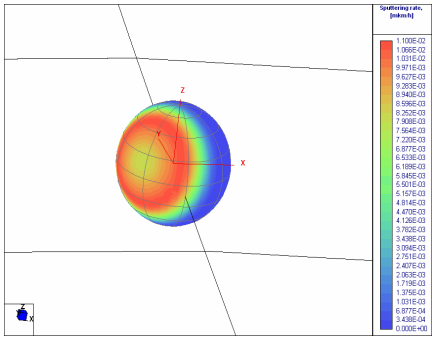


Рис. 1. Общий вид условного КА и положение контрольных сфер на радиоотражающей поверхности рефлектора КГА



а



б

Рис. 2. Распыление контрольных сфер:
а – № 1; *б* – № 2

Учитывая малую толщину покрытия, наиболее надежным методом определения его коэффициента распыления является прямое микроскопическое измерение глубины эрозии при различных значениях ионного флюенса. Общей идеей такого эксперимента является облучение образцов сетеполотна в течение заданного времени при контролируемых параметрах плазмы и определение на электронном микроскопе глубины эрозии покрытия.

Схема эксперимента по определению коэффициентов распыления покрытия сетеполотна приведена на рис. 3. В вакуумную камеру (1) установлен электроракетный двигатель (2) типа СПД-50, формирующий плазменную струю. Контроль параметров струи осуществляется плоскими зондами Ленгмюра (3), ориентированными в направлении ионного потока. Образцы сетеполотна (4) размером 15×15 см располагаются вдоль оси плазменной струи на различном расстоянии от двигателя.

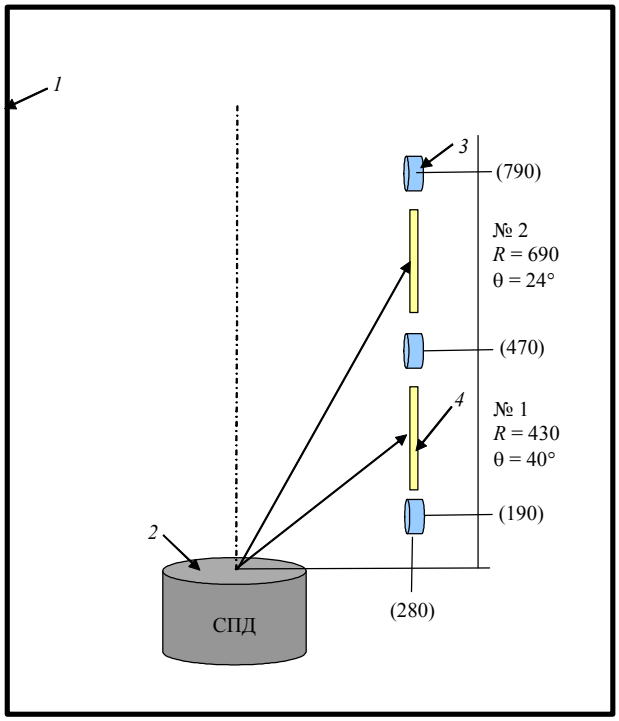


Рис. 3. Схема эксперимента по определению коэффициентов распыления покрытия сетеполотна

По этой схеме исследовались образцы сетеполотна с двухслойным покрытием (химический никель и химическое золото) двух типов плетения.

Продолжительность экспозиции образцов выбиралась исходя из оценок скорости распыления покрытия. Скорость распыления оценивалась для параметров плазменной струи в местах размещения образцов: плотность ионного тока j_i составляла примерно 50 мкА/см^2, энергия ионов E составляла 120–180 эВ. Коэффициент распыления S принимался равным для монолитного золота. При энергиях ионов 120–180 эВ коэффициент распыления при падении ионов по нормали к поверхности составляет 0,6–0,8 [1].

По результатам оценок были выбраны следующие значения экспозиций образцов: 15, 30, 60 и 120 мин. При этом учитывалось, что структура злотого покрытия может быть неоднородной и содержать большое количество дефектов, поэтому коэффициент распыления покрытия будет, вероятно, больше, чем коэффициент распыления монолитного золота, а время распыления покрытия – меньше.

Определение глубины эрозии покрытия производилось с использованием сканирующего электронного

микроскопа РЭМ-106И. Фактическая степень разрушения покрытия определялась по результатам рентгеновского микроэлементного анализа поверхности нитей.

На рис. 4 приведена фотография нити сетеполотна, сделанная на микроскопе, до воздействия плазменной струи. В центре фотографии – нить сетеполотна с нанесенным на нее золотом. При этом хорошо видна гранулярная структура золотого покрытия, характерная для химических покрытий. Результаты рентгеновского микроанализа показывают, что поверхностные слои покрытия в основном – золото. Наличие в спектре никеля и вольфрама свидетельствует о пористости покрытия, благодаря которой рентгеновское излучение проникает в никелевый подслой и вольфрамовую основу. На заднем плане фотографии видно отслоение пленки от поверхности вольфрамовой нити.

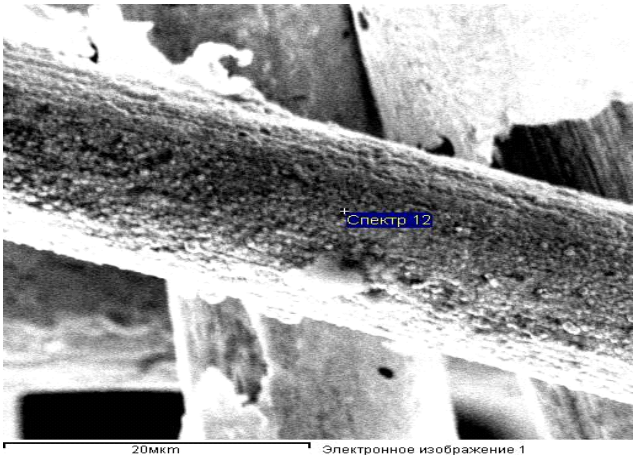


Рис. 4. Фотография нити сетеполотна до воздействия плазменной струи

Рентгеновский микроэлементный анализ поверхностей нитей двух образцов сетеполотна, подвергавшихся воздействию плазменной струи в течение 15 мин, показал, что содержание золота в поверхностных слоях нитей составляет 59,7 и 31,2 %. На фотографии нити сетеполотна одного из этих образцов (рис. 5) видно, что при распылении начинает явно проявляться зернистая структура покрытия.

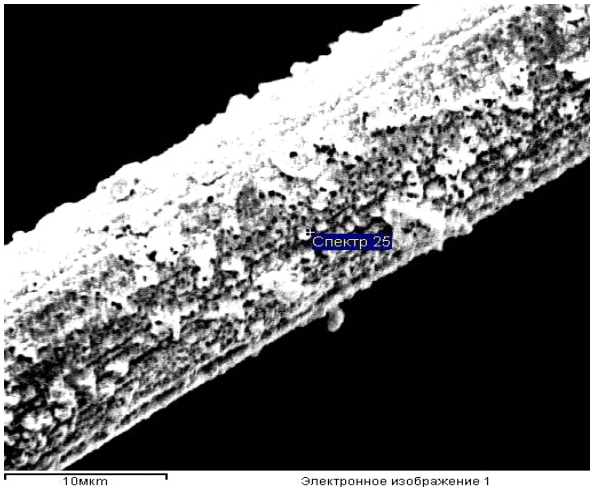


Рис. 5. Фотография нити сетеполотна после воздействия на него плазменной струи в течение 15 мин

При экспозиции образцов в течение 35 мин происходит полное распыление золотого покрытия и частично распыляется никелевое. При экспозиции образцов в течение 60 мин следы золота в спектрах полностью отсутствуют. Небольшое количество никеля говорит о продолжающемся процессе распыления никелевого покрытия. При экспозиции образцов в течение 120 мин следы золота и никеля в спектрах полностью отсутствуют, что говорит о завершении процесса распыления обоих слоев покрытия.

Заметного влияния типа плетения на распыление покрытия не обнаружено, что связано, по-видимому, с незначительным взаимным затенением нитей сетки.

Следуя логике эксперимента, коэффициент распыления покрытия вычисляется по минимальному времени экспозиции, при которой распыление золотого покрытия является неполным. В данном эксперименте это время составило 15 мин. Соответствующее значение коэффициента распыления золотого покрытия составило при этом ~3 атом/ион при энергии 120–180 эВ.

Как и предполагалось, значение S превышает коэффициент распыления монолитного золота, что объясняется неоднородной структурой покрытия, содержащей большое количество дефектов. Данное значение следует рассматривать как оценку сверху, определяющую минимальное время распыления в точке максимальной эрозии, и использовать достаточно аккуратно, не распространяя на другие аналогичные покрытия.

Энергетическая зависимость коэффициента распыления может быть взята по чистому, монолитному золоту. Угловая зависимость – по любому металлу, например, алюминию. Эта зависимость не имеет принципиального значения для оценок, поскольку прогноз относительной глубины эрозии в соответствии с предложенным выше подходом должен проводиться в точке максимальной эрозии.

Коэффициент отражения радиоотражающего сетеполотна зависит от толщины покрытия, материала покрытия и длины волны. Чем больше сопротивление покрытия, тем больше поглощение мощности в покрытии и, следовательно, меньше коэффициент отражения. В предельном случае, когда все золотое покрытие распылено, коэффициент отражения будет иметь минимальное значение (если толщина нитей плетения изменяется незначительно).

Исследование влияния деградации коэффициента отражения радиоотражающего сетеполотна от величин эрозии было проведено для двух предельных случаев: исходное покрытие и полностью распыленное покрытие.

Более точную аппроксимацию можно получить, если покрытие будет распылено не полностью. Однако решение этой задачи является достаточно сложным, поскольку в условиях эксперимента распыление происходит в течение короткого отрезка времени (15–20 мин), а степень повреждения покрытия является сложной функцией относительной глубины эрозии и может быть определена только косвенно, по результатам оценок.

Исследование производилось посредством сравнения спектров отражения исходных и облученных образцов сетеполотна в диапазоне от 3 до 20 ГГц. Для измерения

коэффициента отражения использовался хорошо известный волноводный метод [2].

Схема измерений приведена на рис. 6. Исследуемый образец зажимался между губками коаксиально-волновых переходов (КВП) и проводились измерения сигналы отраженных и прошедших через образец электромагнитных волн. Измерения отраженного и прошедшего сигнала производились с помощью анализатора спектра PNAE83628. Для каждого частотного поддиапазона использовался свой набор КВП.

Анализ полученных данных показывает, что только при приближении к максимальной степени повреждения покрытия ($\theta \approx 40\ \%$) начинается заметная деградация коэффициента отражения покрытия. В худшем случае коэффициент отражения падает с 0,95 до 0,6 (на 37 %).

Заметного влияния типа плетения на коэффициент отражения не обнаружено.

Учитывая значительную неопределенность в исходных данных и большие вариации измеренных значений коэффициента отражения, для оценки воздействия эрозии на свойства отражающего покрытия предлагается использовать следующую упрощенную формулу:

$$\Delta R(f,\lambda) = \Delta R_{\max}\left(\frac{f}{f_0}\right)\left(1-\exp\left(-\frac{(\lambda-1)^2}{\lambda_0^2}\right)\right), \qquad (2)$$

где $\Delta R_{\max}$ – максимальная деградация коэффициента отражения, $\Delta R_{\max} = 40\ \%$; λ_0 – относительная глубина эрозии покрытия, при которой деградация коэффициента отражения во всем диапазоне частот незначительна, $\lambda_0 \approx 2$; f_0 – частота, при которой наблюдается максимальная деградация коэффициента отражения, $f_0 = 20$ ГГц.

В заключение можно констатировать следующее:

1. Вследствие того, что толщина покрытия радиоотражающего сетеполотна, определяющего коэффициент отражения поверхности, составляет десятые доли микрона, а эрозионное воздействие струй СПД может существенно снизить эффективность КГА. Поэтому при проектировании КГА необходима адекватная оценка и учет эрозионного воздействия струй СПД на радиоотражающее сетеполотно рефлекторов КГА.

2. При оценке эрозионного воздействия струй СПД на радиоотражающее сетеполотно следует рассматривать максимальные значения эрозии. Это обусловлено тем, что боковые поверхности нитей (по отношению к потоку ионов) могут распыляться быстрее центральных, что связано с особенностями угловой зависимости коэффициента распыления от угла падения.

3. При математическом моделировании воздействия струй СПД на радиоотражающее сетеполотно необходимо использовать сферические примитивы, которые позволяют определить максимальное значение эрозии вне зависимости от угла падения струи на радиоотражающую поверхность рефлектора КГА.

4. Рассмотрение степени повреждения покрытия радиоотражающего сетеполотна θ в виде функции относительной глубины эрозии покрытия λ, равной отношению величины эрозии покрытия к толщине покрытия h в точке максимальной скорости распыления, позволяет корректно оценить ресурс сетеполотна в условиях воздействия на него СПД.

5. Коэффициент распыления золотого покрытия радиоотражающего сетеполотна, определенный методом

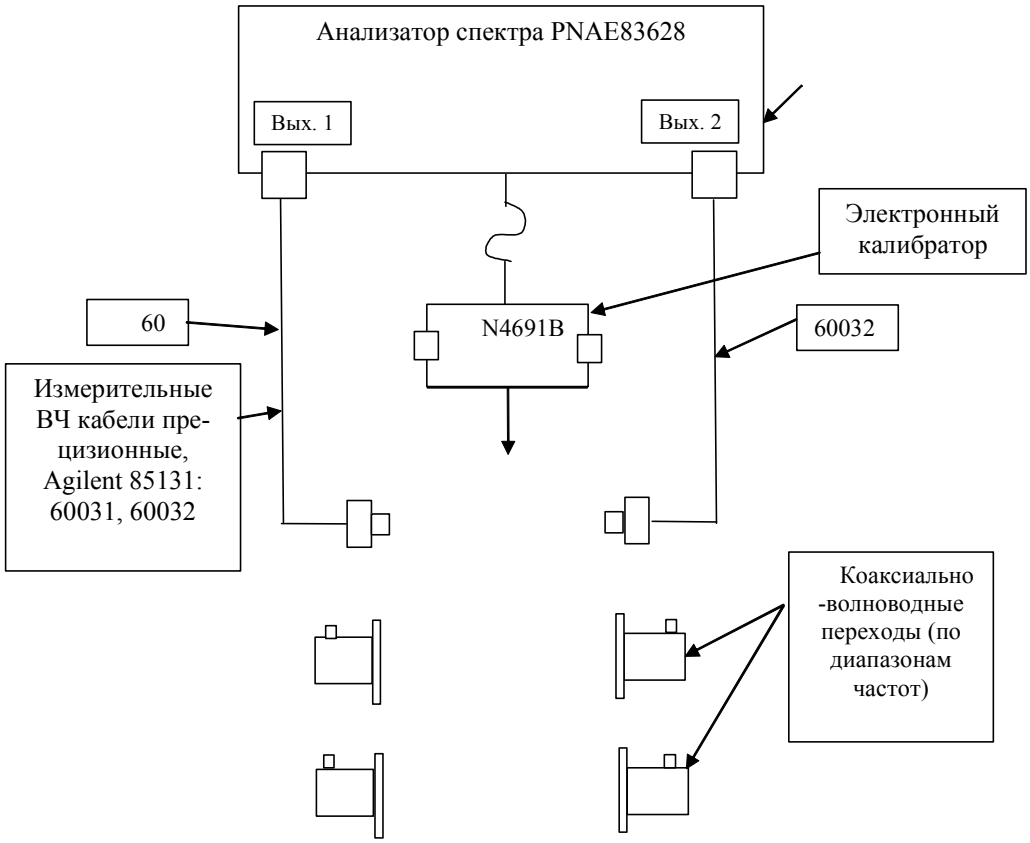


Рис. 6. Схема измерения коэффициента отражения радиоотражающего покрытия

прямого микроскопического измерения глубины эрозии при различных значениях ионного флюенса значительно превышает коэффициент распыления монолитного золота, что объясняется неоднородной структурой покрытия, содержащей большое количество дефектов.

6. Заметная деградация коэффициента отражения покрытия радиоотражающего сетеполотна наблюдается при приближении к максимальной степени повреждения этого покрытия ($\theta \approx 50$ %). В худшем случае коэффициент отражения падает с 0,95 до 0,6 (на 37 %).

Библиографический список

1. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: физическое распыление одноэлементных твердых тел : пер. с англ. / под ред. Р. Бериша. М. : Мир, 1984. 336 с.

2. Косцов, А. М. / А. М. Косцов // Изв. РАН. Сер. физ. 2000. Т. 64. № 9. С. 1712–1713.

A. B. Nadiradze, V. V. Shapospnikov, V. A. Smirnov, I. A. Maximov, S. G. Kochura

THE RESEARCH OF THE EROSIVE IMPACT BY THE STATIONARY PLASMA ENGINE JETS ON THE RADIO-REFLECTIVE NET OF THE SPACE CRAFT LARGE-SIZED ANTENNAS

The erosive aspect of the stationary plasma thrusters (SPT) jets on the radio-reflective net of the space craft large-sized antennas is reviewed in the report. The approach of the theoretical estimation of the large-sized antenna radio-reflective net resource on the base of «relative value of the covering erosion» parameter is proposed in the report. The experiments on the definition of the dispersion coefficient of the gold coating of the large-sized antennas radio-reflective net and reflectance degradation depending on the size of the covering erosion are described in this report.

Keywords: stationary plasma thrusters, antenna, radio-reflective net, erosion.

УДК 338.3.001.76:629.78

В. А. Колмыков, Ю. В. Ерыгин, Т. Р. Улицкая

ПОКАЗАТЕЛИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА КАК ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ[1]

Предложены показатели и методика оценки инновационного потенциала предприятий ракетно-космической отрасли, определяющие стратегию инновационного развития.

Ключевые слова: инновационный потенциал, научно-технический потенциал, трудовой потенциал.

В основе формирования методики оценки инновационного потенциала предприятий ракетно-космической отрасли (РКО) лежит учет современного состояния и тенденций развития отрасли, факторов, определяющих процесс формирования инновационного потенциала и целей развития предприятий, а также анализ существующих подходов к определению содержания понятия экономического потенциала и методов его оценки [1–5].

В результате исследования, авторами предложено следующее определение содержания понятия экономического потенциала предприятия. Экономический потенциал представляет собой наличие активов (ресурсов и резервов), используемых в настоящее время и (или) авансированных и обеспеченных соответствующими источниками финансирования, которые возникают в результате экономической деятельности предприятия в рамках стратегии развития, а также существующих либо возможных условий и ограничений законодательного, финансового, организационно-технического, отраслевого и территориального характера.

Таким образом, потенциал обладает двухкомпонентной структурой. Первая компонента представляет собой достигнутый потенциал, вторая – потенциал развития предприятия, т. е. часть авансированных возможностей предприятия, которая может и должна быть задействована для достижения определенных целей в условиях оптимальной деятельности предприятия с учетом существующих ограничений.

Наряду с определением, авторами предложена структура экономического потенциала предприятия, где определяющая роль отводится инновационному потенциалу. В свою очередь, анализ инновационных процессов, происходящих на предприятиях РКО, позволяет сделать вывод о том, что трудовой и научно-технический потенциалы, в первую очередь, оказывают влияние на способность предприятия разрабатывать и внедрять продуктовые и технологические инновации, определяющие эффективность развития конверсионных производств на данном этапе.

Исходя из этого, решение задачи формирования показателей оценки инновационного потенциала предприятий РКО можно разбить на два этапа:

– формирование показателей оценки трудового потенциала предприятий;

– формирование показателей оценки научно-технического потенциала предприятий.

Первый этап. Рассмотрим показатели оценки трудового потенциала предприятий РКО. Учитывая двухкомпонентную структуру потенциала, авторы предлагают показатели его оценки (табл. 1).

Так, достигнутый потенциал предприятия можно оценить посредством показателей, отражающих используемые возможности, а потенциал развития – посредством показателей, отражающих авансированные возможности. Нельзя также не учитывать показатели, отражающие изменение потенциала вследствие его девальвации, так как развитие есть изменение качества функционирования системы, которое не всегда носит положительный характер.

Этапы методики оценки трудового потенциала предприятий отрасли представлены на рис. 1. На этапе 1–3 производится анализ обеспеченности предприятия персоналом соответствующей квалификации по видам работ $О_{пij}$ с учетом данных о потребности в персонале для выполнения работ (оказания услуг) в рамках отдельного инновационного проекта и фактической численности персонала подразделений, задействованных в выполнении проекта при существующих средствах производства, способах и технологиях выполнения работ. Расчет данного показателя производится по формуле (1). Полученный результат определяет дальнейший ход исследования. Значение $О_{пij} > 1$ свидетельствует о существовании дефицита персонала (этап 4). В данном случае следует рассмотреть возможность привлечения дополнительного персонала или использования новых средств производства, освоения новых способов и технологий выполнения работ, направленных на повышение производительности труда (этап 4.1–4.4; 5*)*. Расчет производится по формулам (2)–(3). Затем необходимо повторно произвести анализ обеспеченности предприятия персоналом. Если в ходе анализа выяснится, что предприятие не обеспечено персоналом (этап 5), то реализация проекта нецелесообразна. Значение $О_{пij} \leq 1$ говорит о необходимости произвести оценку соответствия фактического среднего возраста работающих допустимому с учетом данных о фактическом и допустимом среднем возрасте работающих (этап 6–8). Расчет производится по формулам (4)–(5). Если по-

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка стратегических ориентиров инновационного развития экономики Красноярского края на основе исследования научно-производственного потенциала предприятий ОПК в регионе», проект № 08-02-00261а.

лученный результат $В_{сij}$ будет ≥ 1, то трудовой потенциал в полной мере соответствует потребностям предприятия, что дает возможность приступить к реализации инновационного проекта (этап 9).

При результате $В_{сij} < 1$ можно сделать вывод, что трудовой потенциал соответствует потребностям предприятия в краткосрочной перспективе (этап 14). Если подобная ситуация удовлетворяет руководство предприятия, то принимается решение о начале выполнения работ в рамках проекта. В противном случае, следует рассмотреть возможность привлечения молодых специалистов или сокращения персонала при использовании новых средств производства, освоении новых способов и технологий выполнения работ (этап 10–13). Затем повторно производятся соответствующие расчеты. По результатам анализа можно сделать окончательные выводы (этап 14) о соответствии уровня трудового потенциала потребностям предприятия. Расчет показателей оценки трудового потенциала согласно представленной схеме (рис. 1) производится следующим образом:

1. Обеспеченность предприятия персоналом соответствующей квалификации по видам работ $О_{пij}$ рассчитывается по формуле

$$О_{пij} = \frac{Ч_{нij}}{Ч_{фij}} \to 1, \quad (1)$$

где $Ч_{нij}$ – количество персонала *i*-й квалификации, необходимое для выполнения *j*-го вида работ, чел.; $Ч_{фij}$ – фактическая численность персонала *i*-й квалификации, при существующем уровне способов, технологий и средств производства, выполнения *j*-го вида работ, чел.

2. Численность персонала при наличии возможности привлечения молодых специалистов, специалистов с квалификацией $Ч'_{фij}$ определяется по формуле

$$Ч'_{фij} = Ч_{фij} + Ч_{ксij} + Ч_{мсij} - Ч_{впij} - Ч_{втij}, \quad (2)$$

где $Ч_{фij}$ – фактическая численность персонала *i*-й квалификации, при существующем уровне способов, технологий и средств производства, выполнения *j*-го вида работ, чел.; $Ч_{ксij}$ – количество привлеченных квалифицированных специалистов, чел.; $Ч_{мсij}$ – количество привлеченных молодых специалистов (выпускники высших и средних учебных заведений), чел.; $Ч_{впij}$ – количество персонала, убывающего на пенсию, чел.; $Ч_{втij}$ – количество персонала, убывающего по причинам текучести, чел.

3. Численность персонала при наличии возможности использования новых средств производства, освоения новых способов и технологий выполнения работ ($Ч'_{нij}$) можно рассчитать по формуле

$$Ч'_{нij} = Ч_{нij} - Ч_{псij}, \quad (3)$$

где $Ч_{нij}$ – количество персонала *i*-й квалификации, необходимое для выполнения *j*-го вида работ, чел.; $Ч_{псij}$ – количество персонала *i*-й квалификации, подлежащее сокращению в связи с освоением новых способов, технологий и средств производства, выполнения *j*-го вида работ, чел.

4. Допустимый средний возраст работающих $В_{дij}$ рассчитывается по формуле:

$$В_{дij} = \frac{(В_{\sum фij} - (В_{\sum пфij} + В_{\sum п2гij}) - В_{\sum текij} + В_{\sum кпij} + В_{\sum кмij})}{Ч_{тij}}, \quad (4)$$

где $В_{фij}$ – фактический суммарный возраст работающих, лет; $В_{пфij}$ – возраст персонала, убывающего на пенсию, лет; $В_{п2гij}$ – возраст персонала, убывающего на пенсию в течение следующих 2-х лет, лет; $В_{текij}$ – возраст выбытия персонала по причине текучести, сокращения, лет; $В_{кпij}$ – возраст компенсации выбытия персонала *i*-й квалификации, лет; $В_{кмij}$ – возраст компенсации выбытия молодых специалистов, лет; $Ч_{тij}$ – требуемая численность персонала *i*-й квалификации, при существующем уровне способов, технологий и средств производства, выполнения *j*-го вида работ, чел.

5. Соответствие фактического среднего возраста работающих допустимому – $В_{сij}$ рассчитывается по формуле

$$В_{сij} = \frac{В_{дij}}{В_{фij}} \to 1, \quad (5)$$

где $В_{дij}$ – допустимый средний возраст работающих, лет; $В_{фij}$ – фактический средний возраст работающих, лет.

Варианты соотношения вышеуказанных показателей, т. е. допустимого (нормативного) и фактического их значения могут выглядеть следующим образом (табл. 2.).

Второй этап. Рассмотрим показатели и методику оценки научно-технического потенциала предприя-

Таблица 1

Показатели оценки трудового потенциала

Показатели, отражающие используемые возможности	Показатели, отражающие авансированные возможности	Показатели, отражающие изменение достигнутого потенциала вследствие его девальвации
Обеспеченность предприятия персоналом, возрастной состав персонала		
Обеспеченность предприятия персоналом по видам работ Возрастной состав персонала (средний возраст работающих)	Привлечение специалистов в результате сотрудничества с учебными заведениями высшего и среднего образования Привлечение специалистов с других предприятий Аутсорсинг (регулярность выполнения работ)	Показатель текучести персонала (по категориям работающих) Темп ухода на пенсию (обеспечение преемственности)
Уровень квалификации персонала		
Соответствие персонала требуемому уровню квалификации	Снижение потребности в персонале вследствие использования новых способов, технологий и средств производства, выполнения работ Повышение уровня квалификации персонала	Относительное снижение квалификации персонала в результате появления новых способов, технологий и средств производства, выполнения работ

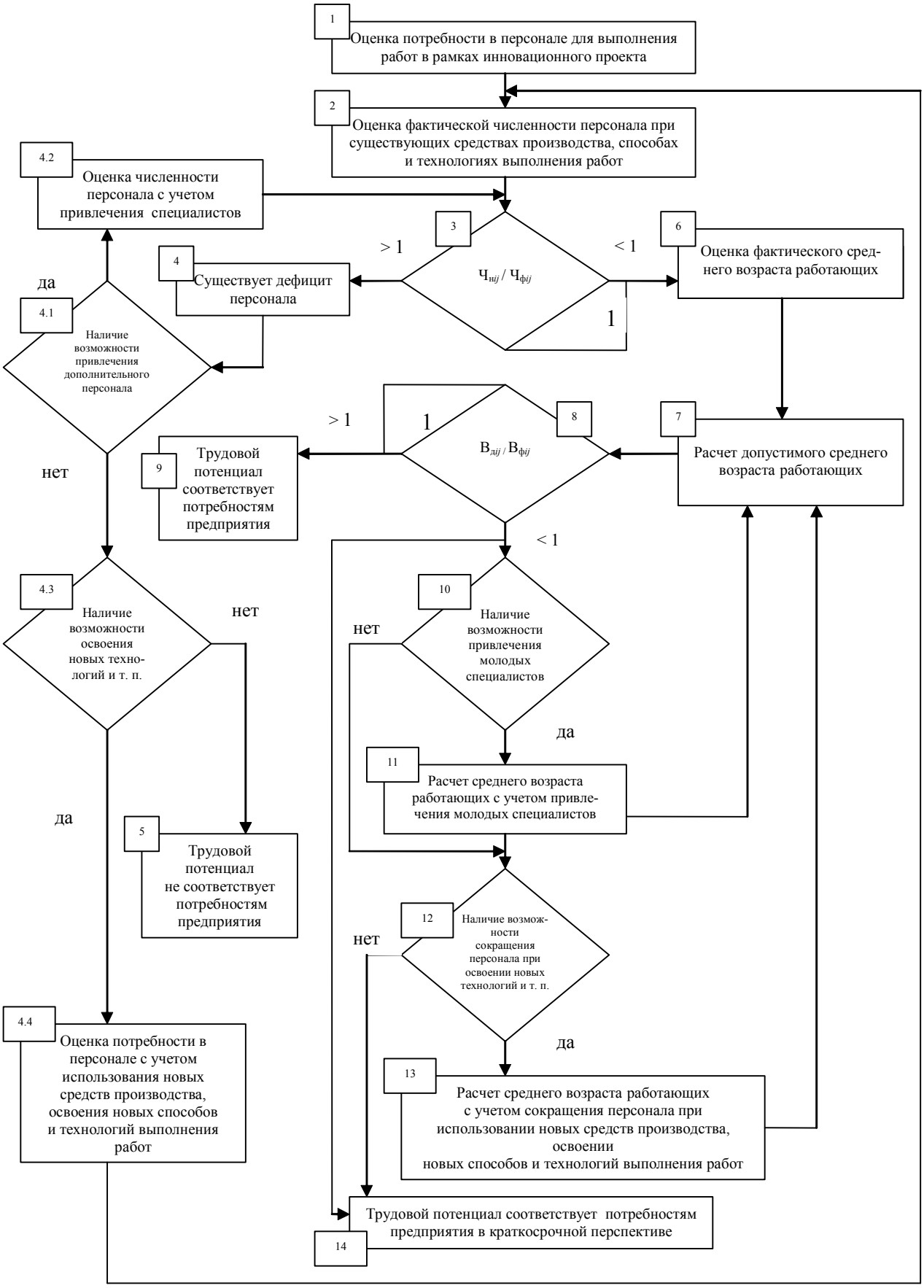


Рис. 1. Этапы методики оценки трудового потенциала предприятий РКО

тий РКО, учитывая его двухкомпонентную структуру (рис. 2).

Рассмотрим предложенную методику оценки научно-технического потенциала предприятий поэтапно. На этапе 1; 2 производится оценка уровня освоения технологии в рамках инновационного проекта ($У_{от}$). Расчет производится по формуле (6). При значении $У_{от} = 1$ можно говорить о том, что технология освоена в полном объеме (этап 3). Если полученный результат $У_{от} < 1$, то необходимо выполнить оценку требуемого темпа освоения технологии в рамках проекта (этап 4). При определении данного показателя следует учитывать рыночные факторы, которые оказывают на него существенное влияние, в том числе уровень рыночных цен, повышение требований к качеству продукции, усиление экологической ответственности, срок жизни технологии, уровень конкуренции, существующий на рынке. Какие именно факторы должны рассматриваться, определяют, исходя из специфики деятельности предприятия и типа продукта или технологии, подлежащих разработке и внедрению. Далее выполняется оценка планируемого предприятием темпа освоения технологии в рамках проекта (этап 5). Здесь необходимо учесть воздействие финансовых факторов, активизирующих или наоборот сдерживающих процесс освоения, таких как наличие собственных источников финансирования, возможность участия в федеральных и краевых целевых программах, привлечение кредитных ресурсов, поиск инвесторов. Затем производится анализ степени соответствия планируемого предприятием темпа освоения технологии требуемому темпу освоения технологии (этап 6). Расчет производится по формуле (7). Если полученный результат $С_с > 1$ (этап 7), то это является свидетельством того, что научно-технический потенциал предприятия не позволяет обеспечить выполнение проекта. При результате $С_с \leq 1$ (этап 8) можно сделать вывод о том, что научно-технический потенциал предприятия позволяет выполнить проект.

Полученные при оценке трудового и научно-технического потенциала данные позволяют руководству адекватно оценивать ситуацию и, в зависимости от поставленных задач и полученных результатов, формировать кадровую и научно-техническую политику предприятия.

Расчет показателей оценки научно-технического потенциала согласно представленной схеме (рис. 2) производится следующим образом:

1. Уровень освоения технологии ($У_{от}$) определяется по срокам освоения технологии или объему капитальных вложений на освоение и рассчитывается по формуле:

$$У_{от} = \frac{З_{тф}}{З_{то}} \to 1, \qquad (6)$$

Таблица 2

Характеристика показателей оценки трудового потенциала предприятия

Показатель	Возможное значение показателя	Комментарии к возможному значению показателя
Обеспеченность предприятия персоналом ($О_{пij}$)	1	Соответствие фактической численности персонала необходимой для выполнения производственной программы является идеальной ситуацией и означает, что имеющаяся численность персонала соответствует потребностям производства
	> 1	Данное соотношение означает, что на предприятии существует дефицит персонала и его производственная программа не обеспечена трудовыми ресурсами. Чем больше коэффициент, тем большая нагрузка приходится на имеющийся персонал. Это говорит о неэффективности работы кадровой службы и пассивной позиции руководства в решении данного вопроса
	< 1	Данное соотношение говорит о том, что фактическая численность персонала превышает допустимую. Чем ниже данный коэффициент, тем больший избыток персонала наблюдается на предприятии, и требуется активизировать процесс приведения численности персонала в соответствие с потребностями производства. Избыток персонала влечет за собой увеличение затрат предприятия и, соответственно, себестоимости производства продукции, что недопустимо в условиях рынка, особенно при развитии конверсионных производств
Соответствие среднего возраста работающих допустимому ($В_{сij}$)	1	При соответствии фактического среднего возраста работающих допустимому, следует учитывать, что в настоящее время ситуация стабильная, однако в будущем необходимо принять меры, так как последует увеличение среднего возраста работающих
	> 1	Данное соотношение означает, что фактический средний возраст работающих меньше допустимого и, следовательно, нет острой необходимости омоложения кадров. Чем больше коэффициент, тем большую активность проявляет руководство в вопросах кадровой политики. Однако, по нашему мнению, подобная ситуация скорее исключение, чем правило для предприятий отрасли
	< 1	Подобное соотношение является свидетельством того, что фактический средний возраст работающих превышает допустимый. Чем ниже данный коэффициент, тем быстрее следует принимать меры руководству предприятия для стабилизации ситуации

где $З_{тф}$ – фактически произведенные затраты на освоение технологии в рамках отдельного инновационного проекта, тыс. руб.; $З_{то}$ – общий объем затрат на освоение технологии в рамках отдельного инновационного проекта, тыс. руб.

Расчет данного показателя позволяет оценить действующий научно-технический потенциал предприятия. Однако не следует забывать о том, что достигнутый научно-технический потенциал с течением времени обесценивается.

2. Степень соответствия планируемого предприятием темпа освоения технологии требуемому – C_c оценивается по формуле

$$C_c = \frac{T_{пt}}{T_{тt}} \to 1, \qquad (7)$$

где $T_{пt}$ – планируемый предприятием темп освоения *t*-й технологии, лет; $T_{тt}$ – требуемый (в том числе по условиям рынка) темп освоения *t*-й технологии с учетом морального износа инновации, лет.

Данный показатель отражает вторую компоненту научно-технического потенциала, т. е. потенциал развития.

Необходимо отметить, что оценку научно-технического потенциала предприятия целесообразно проводить для реализации каждого инновационного проекта отдельно, причем предварительно следует оценить перспективность реализации проекта. Основным критерием перспективности проектов, подлежащих реализации на предприятиях отрасли, является наличие результатов фундаментальных исследований.

Представленная методика наглядно демонстрирует процесс формирования инновационного потенциала предприятия, учитывая его двухкомпонентную структуру. При этом, по нашему мнению, научно-технический потенциал является основой действующего инновационного потенциала, а трудовой потенциал определяет вторую компоненту инновационного потенциала – потенциал развития.

Возможные комбинации уровней трудового и научно-технического потенциала позволяют определить стра-

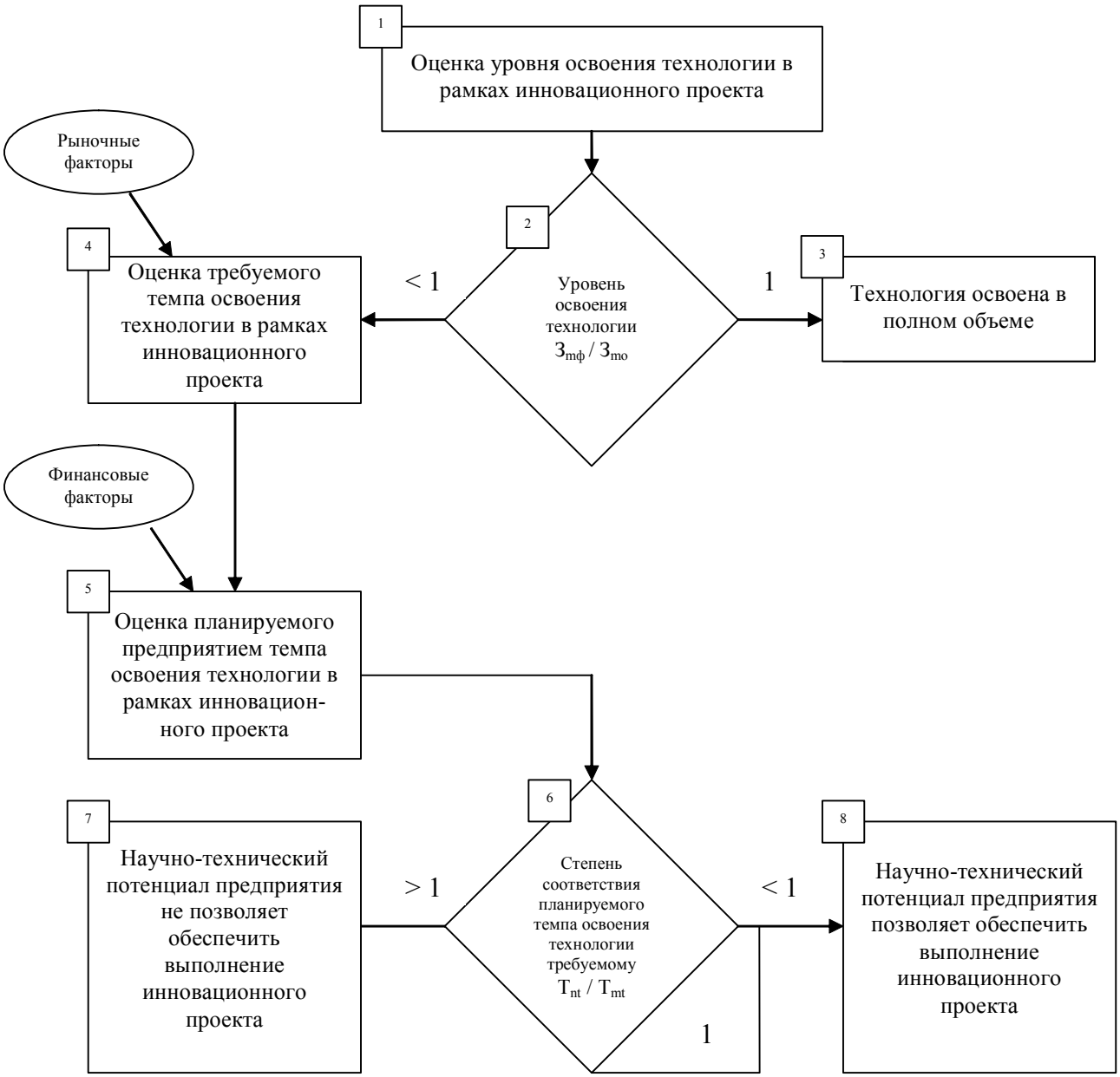


Рис. 2. Этапы методики оценки научно-технического потенциала предприятий РКО

тегию инновационного развития предприятия на основе предложенной авторами матрицы.

Библиографический список

1. Афанасьев, М. В. Реструктуризация и реформирование ракетно-космической промышленности / М. В. Афанасьев, Ю. Г. Гусев. Королев : ИПК Машприбор, 2004.

2. Клейнер, Г. Б. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегия, безопасность / Г. Б. Клейнер, В. Л. Тамбовцев, Р. М. Качалов. М. : Экономика, 1997.

3. Сосненко, Л. С. Анализ экономического потенциала действующего предприятия / Л. С. Сосненко. М. : Изд. дом «Экономическая литература», 2004.

4. Дмитриев, О. Н. Управление капитализацией государственного унитарного предприятия / О. Н. Дмитриев, Ю. А. Ковальков, Н. В. Константинова. М. : Гном и Д, 2003.

5. Управление инновациями : в 3 кн. Кн. 1. Основы организации инновационных процессов : учеб. пособие / А. А. Харин, И. Л. Коленский ; под ред. Ю. В. Шленова. М. : Высш. шк., 2003.

V. A. Kolmykov, Yu. V. Erygin, T. R. Ulitskaya

SHOWINGS OF THE INNOVATION POTENTIAL AS TOOLS AT SPACE-ROCKET BRANCH ENTERPRISES

The factors and methods of the innovation potential evaluation for space-rocket branch enterprises are offered.

Keywords: innovation potential, scientific and technical potential, labour potential.

УДК 65.011.8

Л. В. Ерыгина

ИНСТРУМЕНТЫ КОНТРОЛЛИНГА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Показана определяющая роль инновационного потенциала в развитии предприятий ракетно-космической промышленности (РКП), рассмотрена сущность инновационного потенциала и его структура, обоснована необходимость использования системы контроллинга в управлении инновационным развитием предприятий РКП. Предложена методика формирования системы сбалансированных показателей и границ их допустимых отклонений, обеспечивающих согласование стратегического и оперативного уровня управления.

Ключевые слова: инновационное развитие, инновационный потенциал, контроллинг, ракетно-космическая промышленность (РКП), контроллинговые показатели, система сбалансированных показателей.

Инновационный потенциал страны выступает определяющим фактором ее инновационного развития. При этом основополагающими являются стратегии развития в области высоких технологий, которые могут максимально ускорить переход экономики на инновационный путь развития. На протяжении многих десятилетий технологическим лидером в нашей стране являлась и продолжает оставаться ракетно-космическая промышленность.

Несмотря на трудности экономического развития страны последних 15-ти лет, РКП в числе немногих отраслей промышленности продолжает оставаться по многим позициям конкурентоспособной на мировом уровне, что дает основание рассматривать ее как реальную базу для развития инновационных проектов национального масштаба. Ракетно-космическая техника находится сегодня в перечне направлений, формирующих новый технологический уклад в мире (вместе с ядерной энергетикой, биотехнологиями, системами искусственного интеллекта), что создает для России потенциальные предпосылки для вхождения в группу стран – технологических лидеров.

Кризисное состояние экономики страны в 90-х гг. во многом подорвало позиции России на мировом космическом рынке. Коммерческая доля нашей страны, некогда, безусловно, мирового лидера в космонавтике, сегодня не превосходит 1,5 %. Снижение за эти годы государственного финансирования отрасли привело к сокращению производства оборонной промышленности. По оценкам специалистов, инновационный потенциал конкретных предприятий востребован сегодня лишь на 5–7 %. Огромные ресурсы как креативного, так и производственного характера остаются «в тени» и не реализуются. А ведь именно рынок высоких технологий и наукоемких производств, а не сырьевые возможности и ресурсы, будут определять место страны в мировой экономике и в мировом разделении труда, и РКП как «локомотиву» технологического развития может принадлежать решающая роль в развитии инновационной экономики.

Развитие РКП не может быть обеспечено без реформирования ее структуры. Поэтому структурная перестройка РКП, осуществляемая в настоящее время, явля-

ется объективным процессом ее адаптации к резко изменившимся экономическим условиям и новым требованиям рынка. В соответствии с планом структурных преобразований к концу 2010 г. в отрасли будет функционировать 10–12 крупных интегрированных структур (с численностью персонала 7–35 тыс. чел.), объединяющих основные направления работ по созданию боевой и космической ракетной техники, и 3–4 малые интегрированные структуры.

Основным вектором такого движения должно стать превращение РКП в высокотехнологичный многопрофильный комплекс, который при соответствующей государственной поддержке может стать движущей силой инновационного развития страны. Комплекс должен включать крупные конкурентоспособные, в том числе на внешнем рынке, компании, способные к саморазвитию, профессиональному и эффективному управлению активами, обеспечивающие выполнение государственных и федеральных программ развития и осуществляющие активное позиционирование на рынках высокотехнологичной продукции и услуг. В результате реализации указанных мероприятий, доля продукции конверсионного назначения в интересах различных сфер экономики России при общем росте объемов производства РКП существенно возрастет (до 60 %), а ее структура качественно изменится за счет ее инновационной составляющей.

Необходимость инновационного развития предприятий отрасли предъявляет новые требования к содержанию, организации, формам и методам управленческой деятельности. Достижение этой цели на уровне отрасли и конкретного предприятия возможно только на основе учета всех факторов, определяющих эффективность управления инновационным развитием предприятия. В связи с этим были исследованы, выявлены и систематизированы факторы, определяющие инновационное развитие в РКП.

Определяющая роль инноваций в развитии предприятий РКП, высокий уровень неопределенности значительного числа выявленных факторов, а также высокая альтернативность направлений инновационного развития свидетельствует о том, что данные задачи должны решаться на корпоративном уровне с использованием инструментов стратегического управления. Таким образом, возникает необходимость интеграции методов инновационного и стратегического управления предприятием на современном этапе развития РКП. Однако на сегодняшний день, в практике большинства предприятий инновационное развитие чаще всего отождествляется с функциональным уровнем принятия решений, хотя разработку и реализацию инноваций следует относить к стратегически важным управленческим решениям. Следовательно, вывод инновационного управления предприятием на корпоративный уровень требует разработки специальных инструментов, позволяющих сформировать стратегию инновационного развития предприятий РКП.

Следует также отметить, что значительное число факторов определяет возможности предприятия, т. е. его потенциал, что позволяет сделать вывод о ключевой роли потенциала в инновационном развитии предприятия. Помимо этого, также присутствуют факторы, которые традиционно не относятся к потенциалу, но вместе с тем определяют возможности предприятия по инновационному развитию. В таком случае возникает вопрос: либо это самостоятельная группа факторов, которые необходимо исследовать, либо они все же относятся к потенциалу, являются его частью и определяют его предельную составляющую.

Неоднородность характера влияния факторов на инновационное развитие предприятий по сферам управления дает возможность выявить элементы потенциала, оказывающие наибольшее влияние на способность предприятия разрабатывать и внедрять определенный тип инноваций. Применительно к предприятиям РКП, как следует из результатов систематизации, наиболее важными сферами управления являются научно-техническая, трудовая и организационно-управленческая. Состояние научно-технической сферы отражает достигнутый, имеющийся у предприятия потенциал, трудовой сферы – величину приростного потенциала, а организационно-управленческой – отражает структурные изменения РКП и их влияние на величину инновационного потенциала.

Таким образом, полученные результаты систематизации факторов, определяющих инновационное развитие в РКП, позволяют обосновать необходимость проведения дополнительных исследований по уточнению содержания понятия «экономический потенциал предприятия», определению его структуры и роли в ней инновационного потенциала, а также выявлению характера связей между его элементами.

При оценке потенциала необходимо учитывать специфические отраслевые особенности. Например, для РКП характерны высокие темпы развития и частая смена конструкций летательных аппаратов; значительный объем одновременно выполняемых работ (опытно-конструкторские работы, производство и модернизация космической техники); значительная доля специализированных производств и уникального оборудования; наличие высококвалифицированных научных и производственных кадров; широкое кооперирование предприятий РКП с предприятиями зарубежных стран (Франция, Япония, Китай, Германия и др.), а также с другими отраслями промышленности; уникальность базовых технологий; длительные циклы изготовления изделий и создания ракетно-космической техники. Все это определяет новые подходы к оценке потенциала предприятий РКП.

Научный интерес к проблеме оценки инновационного потенциала предприятия заставляет обратиться к анализу накопленного теоретического материала.

В конце 1970-х – начале 1980-х гг. вышло много публикаций, содержащих различные аспекты понятия «потенциал». В большинстве работ отмечается важность изучения проблем оценки потенциала и указывается на существование значительных различий в определении самого понятия потенциала, его сущности, состава и соотношения с другими категориями.

Понятие инновационного потенциала, обеспечивающего рост системы за счет нововведений, в экономическую модель впервые было введено ученым К. Фрименом. Нововведение по К. Фримену представляет собой систему мероприятий по разработке, освоению, эксплуатации и исчерпанию производственно-экономического

и социально-организационного потенциала, лежащего в основе новшеств [1].

Практический аспект понятия «потенциал» нашел свое отражение в работах П. Друкера, где он исследует источники развития современной промышленности. В частности, П. Друкер отмечал, что инновации начинаются с анализа имеющегося потенциала с целью его эффективного использования [2].

Когда речь идет об инновационном развитии «вообще», достаточно полным и понятным представляется определение инновационного потенциала как совокупности различных видов ресурсов, необходимых для осуществления инновационной деятельности.

В словаре иностранных слов И. А. Васюковой приводится толкование данного термина как мощь, сила [3]. В Большой советской энциклопедии (том 34) приводится определение термина «потенциал» как «… средства, запасы, источники, имеющиеся в наличии и могущие быть мобилизованы, приведены в действие, использованы для достижения определенных целей, осуществления плана; решения какой-либо задачи; возможности отдельного лица, общества, государства в определенной области».

В целом, инновационный потенциал организации – это мера готовности выполнить задачи, обеспечивающие достижение поставленной инновационной цели, т. е. мера готовности к реализации проекта или программы инновационных стратегических изменений. От состояния инновационного потенциала зависит выбор инновационной стратегии, поэтому его оценка – это необходимая операция процесса разработки стратегии и неотъемлемая часть управления теми изменениями на предприятии, которые неразрывно связаны с любыми инновационными целями компаний.

Попытки проанализировать существующие определения инновационного потенциала и дать им более глубокое и всестороннее толкование предприняты в работах В. Н. Гончарова и С. И. Кравченко. Нельзя не согласиться, что отождествление терминов «потенциал» и «ресурсы» неприемлемо. В то же время наличие необходимых ресурсов является обязательным условием осуществления внедрения инноваций, и чаще всего руководители предприятий первопричинным аспектом инновационного развития предприятия называют недостаток ресурсного обеспечения. При этом не трудно количественно описать составляющие инновационного потенциала. Можно подсчитать активы, наличное оборудование и его стоимость, количество квалифицированных работников и даже уровень их квалификации. Все это, конечно же, должно учитываться при оценке инновационного потенциала предприятия. Но вопрос о том, каким образом эти составляющие входят в ту целостность, которую именуют инновационным потенциалом, остается открытым. Более того, на сегодняшний день уже ошибочно считать, что чем больше ресурсов, тем выше инновационный потенциал. Ведь реальный опыт свидетельствует, что это далеко не определяющий фактор во внедрении инноваций. Огромное предприятие, имеющее колоссальные ресурсы, часто имеет намного меньший инновационный потенциал, чем небольшой, но творческий коллектив новаторов. Следовательно, возникает вопрос, каким образом следует подходить к оценке инновационного потенциала предприятия, какие критерии должны быть определяющими и какая должна быть единица измерения.

Нельзя не согласиться с мнением исследователей, что потенциал – это возможности предприятия в достижении его целей. Однако возможности предприятия следует представить в виде трех частей: имеющиеся или достигнутые возможности на момент осуществления инновации, потенциальные возможности, которые предприятие может приобрести в качестве авансов или кредитов, и изменение стоимости возможностей предприятия в процессе создания и внедрения инновации.

Такой неоднородный состав инновационного потенциала приводит к необходимости сгруппировать все элементы в три составляющие: достигнутый потенциал (используемые возможности), потенциал развития (авансированные возможности) и изменение стоимости имеющихся ресурсов в процессе внедрения инновации. Если достигнутый потенциал является детерминированной характеристикой, то потенциал развития и изменение стоимости ресурсов – это стохастические характеристики.

Наличие в составе инновационного потенциала второй компоненты, являющейся авансированным потенциалом и имеющей вероятностно-определенную оценку, говорит о необходимости рассмотрения инновационного потенциала не как статической, а как динамической характеристики инновационного развития. Статическая оценка потенциала не дает полного представления о возможностях предприятия по реализации инновационного проекта.

При оценке инновационного потенциала как динамической характеристики возникает необходимость учета третьей компоненты, которая характеризует возможные изменения величины достигнутого потенциала вследствие изменения с течением времени стоимости составляющих его активов. В первую очередь, это относится к нематериальным активам (изобретения, товарные знаки и знаки обслуживания, промышленные образцы, полезные модели, ноу-хау, инновационные программы и проектные планы). Однако в условиях финансового кризиса в значительной степени этим изменениям подвержены также и материальные активы (изменение стоимости недвижимости, оборудования, инфляция по отношению к денежным средствам и т. д.).

Таким образом, обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод о необходимости контроллинга потенциала инновационного развития предприятий РКП с целью повышения эффективности и результативности осуществляемой ими инновационной деятельности. Контроллинг наряду с другими новейшими управленческими инструментами становится для менеджеров основной возможностью не только устоять в рыночных коллизиях, но и добиться ускоренного прогресса предприятия. Это особенно важно для предприятий с длительным циклом производства, требующих постоянных и больших финансовых вложений в силу специфики их деятельности. Нестабильность внешней среды, скорость реакции менеджеров на ее изменение, важность непрерывного мониторинга производства, смещение акцента с контроля прошлого на анализ будущего – вот основные причины внедрения элементов контроллинга как продуманной систе-

мы действий по обеспечению выживаемости предприятия и избежанию кризисных ситуаций. Контроллинг до сих пор остается наиболее перспективным направлением в разработке новых подходов к управлению предприятием, соединяющим теории принятия решений, информационного обеспечения и организационного моделирования. При этом в экономической литературе приводится достаточно большое количество определений контроллинга, которые имеют общую основу, но различаются по сути. Однако для предприятий ракетно-космической промышленности использование какого-либо конкретного определения из-за неполных характеристик этих понятий, не учитывающих специфику деятельности, затруднено. В процессе изучения возможности применения контроллинга на предприятиях, производящих космические летательные аппараты, была уточнена формулировка определения контроллинга как способа организации процесса принятия управленческих решений, основанного на комплексном использовании возможностей планирования, информационного обеспечения, анализа и контроля для достижения поставленных целей, в котором присутствуют элементы, уточняющие содержание контроллинга в аспекте единичного и мелкосерийного производства и имеющие значение для понимания его сути [4]. Основные отличия предложенного определения от существующих заключаются в следующем:

– контроллинг характеризуется как система действий, позволяющая повысить эффективность управления (это способ организации процесса принятия управленческих решений);

– основой деятельности контроллинга является комплексное использование возможностей его подсистем;

– в качестве подсистем контроллинга выступают планирование, информационное обеспечение, анализ и контроль.

В целом контроллинг можно рассматривать как систему управления организацией в постоянно меняющихся условиях с целью достижения положительных результатов.

Учитывая то, что инновационная стратегия становится важным фактором повышения конкурентоспособности и сохранения производственного и инновационного потенциала предприятий РКП, а также учитывая основные тенденции в теории и практике инновационного и стратегического менеджмента, общность их функций в процессе принятия управленческих решений, необходимо сделать вывод о том, что в экономической среде есть определенные внешние предпосылки и внутренняя направленность для развития связей и углубления взаимодействия двух типов менеджмента. Поэтому представляется, что развитие связей и углубление взаимодействия между стратегическим и инновационным менеджментом должно осуществляться путем дальнейшего развития инструментария контроллинга, заключающегося в учете инновационного фактора при формировании системы контроллинговых показателей. При этом следует помнить, что стратегическое управление предприятием осуществляется на корпоративном уровне и, соответственно, должно использовать инструменты стратегического контроллинга. Для достижения текущих целей предприятия, а также для оптимизации соотношения «затраты–прибыль» используются инструменты оперативного контроллинга [5].

Наиболее важные практические инструменты и принципы стратегического управления, которые использует стратегический контроллинг: матричные аналитические инструменты; алгоритмы работы со «слабыми» и «сильными» сигналами; принципы управления спросом и предложением; принципы финансовой оценки стратегических планов; сценарный анализ; функционально-стоимостный анализ; стратегическое управление затратами [5].

Оперативный контроллинг ориентирован на краткосрочные цели и контролирует такие основные показатели, как рентабельность, ликвидность, производительность и прибыль. Арсенал его основных методов и инструментов сильно отличается от стратегического: GAP-анализ – анализ отклонений (разрывов); портфолио-анализ – анализ распределения деятельности предприятия по отдельным стратегиям относительно продуктов и рынков; CVP-анализ – анализ соотношения «затраты–объем–прибыль» (Cost–Volume–Profit); ABC-анализ – анализ групп производственных подразделений в зависимости от их вклада в доход; планирование потребности в материалах; финансовый анализ показателей деятельности; статические и динамические методы инвестиционных расчетов; бюджетирование; функционально-стоимостный анализ [5].

Необходимость осуществления контроллинга инновационной деятельности на стратегическом и оперативном уровнях актуализирует проблему создания системы сбалансированных показателей, обеспечивающих согласование выделенных уровней управления на основе инструментов контроллинга. Не вызывает особых трудностей разработка контроллинговых показателей на оперативном уровне, так как они по сути представляют собой характеристики осваиваемой технологии: сроки календарного графика выполнения работ по освоению технологии; затраты по элементам, выделенным на основе принятых признаков декомпозиции; резервы времени выполняемых работ и др. Система контроллинговых показателей на стратегическом уровне определяется на основе выбранного метода формирования стратегии. Например, если в качестве такого метода выступает матрица БКГ, то контроллинговыми показателями могут стать показатели «доли рынка» и «темпы роста» или показатели, являющиеся результатом их декомпозиции. Такими же показателями могут стать показатели МИП- и ПИП-анализа, предложенные А. А. Трифиловой.

Более сложной является задача формирования системы сбалансированных контроллинговых показателей. Решение этой задачи предлагается осуществлять в несколько этапов. Алгоритм методики формирования системы сбалансированных показателей и границ их допустимых оклонений в системе контроллинга инновационного развития представлен на рисунке. На первом этапе необходимо установить взаимосвязь между контроллинговыми показателями стратегического и оперативного уровня. Как правило, такая взаимосвязь не может быть установлена с использованием аналитических зависимостей. Поэтому предлагается построение функциональных зависимостей, основанных на применении методов корреляционно-регрессионного анализа. В связи с этим, на

втором этапе решения задачи возникает необходимость определения совокупности показателей, отражающих генетические связи между поочередно выбранными стратегическими контроллинговыми показателями с одной стороны и оперативными контроллинговыми показателями с другой стороны. Данные генетические связи устанавливаются на основе соответствующих гипотез, выдвинутых специалистами и обработанных с применением методов экспертных оценок. Общая совокупность таких показателей, находящихся в определенной взаимосвязи, представляет собой модель причинно-следственных связей, отражающую выявленный генезис между контроллинговыми показателями стратегического и оперативного уровня. Выбор системы сбалансированных показателей среди выявленной совокупности, выполняемый на третьем этапе, следует осуществлять, исходя из следующих критериев: эти показатели должны быть количественно измеримы; количественная оценка показателей долж-

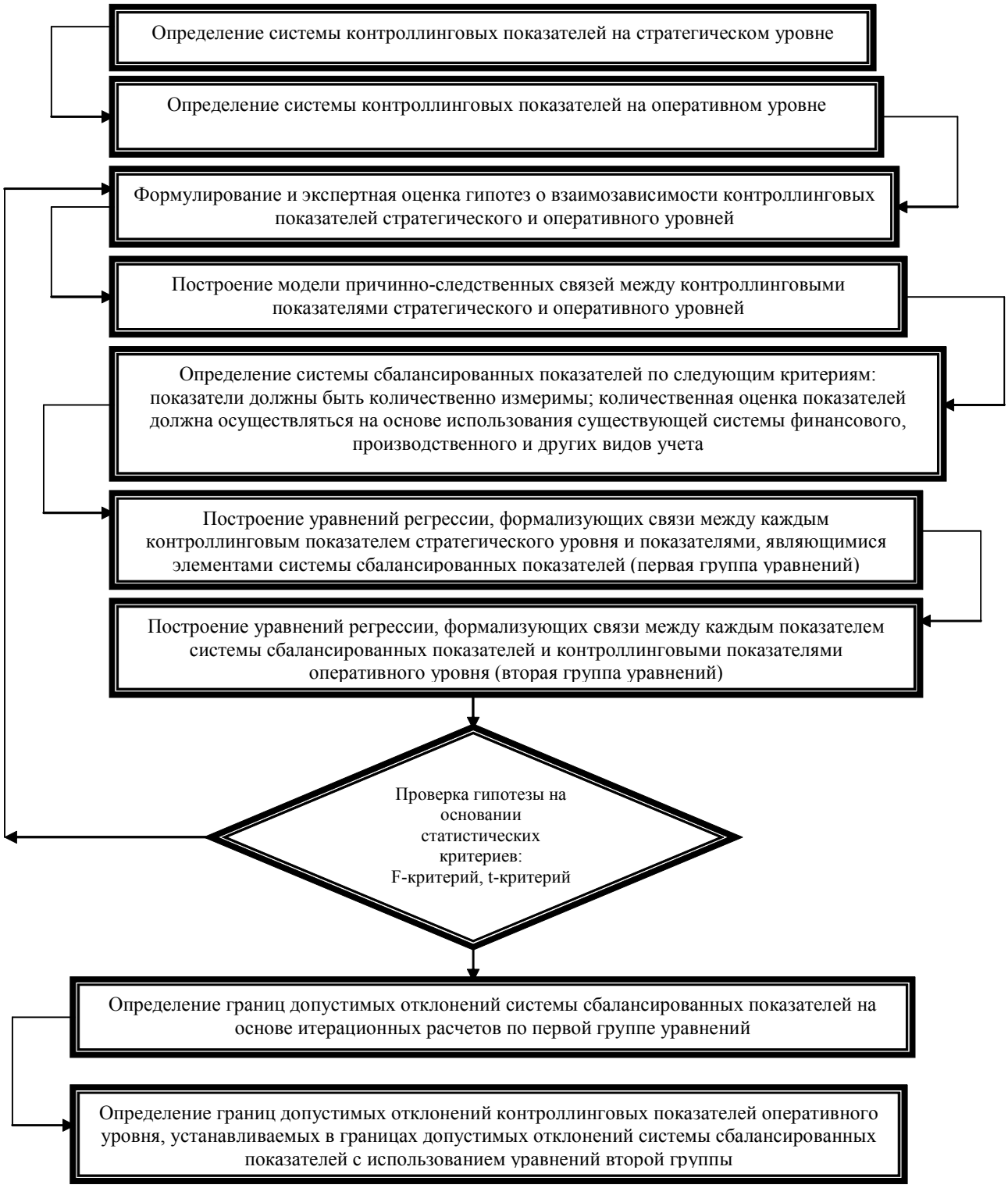


Рис. 1. Алгоритм методики формирования системы сбалансированных показателей и границ их допустимых отклонений в системе контроллинга инновационного развития предприятий РКП

на осуществляться на основе использования существующей системы финансового, производственного и других видов учета. Следует отметить, что если использование второго критерия оказывается затруднительным, то решение этой проблемы должно осуществляться на основе совершенствования системы учета на предприятии. Вместе с тем, как уже отмечалось, полученная таким образом система сбалансированных показателей является результатом использования сформулированных и нашедших отражение в модели причинно-следственных связей гипотез, выдвинутых специалистами. Для их подтверждения полученные в результате функционирования системы контроллинга отчетные данные о значении контроллинговых показателей, используемых на выделенных уровнях управления, обрабатываются с использованием методов регрессионного анализа. При этом получаются две совокупности уравнений.

Первая устанавливает функциональную зависимость между каждым контроллинговым показателем стратегического уровня и показателями, являющимися элементами системы сбалансированных показателей. Вторая совокупность устанавливает формальную зависимость между каждым показателем системы сбалансированных показателей и контроллинговыми показателями оперативного уровня.

Полученные уравнения позволяют на основе статистических критериев подтвердить или опровергнуть выдвинутые специалистами гипотезы о взаимозависимости исследуемых показателей. В случае, если какая-то из гипотез не находит своего подтверждения, возникает необходимость корректировки ранее предложенной системы сбалансированных показателей.

Для решения проблемы согласования стратегического и оперативного уровней управления наряду с задачей выбора системы сбалансированных показателей необходимо решить задачу установления предельных границ их изменения. Для решения этой задачи также могут быть использованы полученные уравнения регрессии между контроллинговыми показателями по выделенным уровням управления. Первая группа уравнений, устанавливающая функциональную зависимость между каждым контроллинговым показателем стратегического уровня и показателями, являющимися элементами системы сбалансированных показателей, позволяет на основе итерационных расчетов определить те предельные изменения каждого показателя из системы сбалансированных показателей, которые приводят к необходимости пересмотра стратегии инновационного развития. Таким образом определяются допустимые границы отклонения каждого показателя из системы сбалансированных показателей. Вторая группа уравнений, устанавливающая зависимость между каждым показателем системы сбалансированных показателей и контроллинговыми показателями оперативного уровня, позволяет установить предельные изменения контроллинговых показателей оперативного уровня, не приводящие к нарушению допустимых границ изменения системы сбалансированных показателей. В результате, мы получаем не только совокупность контроллинговых показателей по выделенным уровням управления, но и границы их допустимых отклонений, что, безусловно, необходимо для успешной реализации системы контроллинга инновационного развития на предприятии РКП.

Библиографический список

1. Freeman, C. The National System of Innovation in Historical Perspective / C. Freeman // Cambridge Journal of Economics. 1995. Vol. 19. № 1.

2. Друкер, П. Ф. Задачи менеджмента в XXI в. / П. Ф. Друкер. М. : Вильямс, 2000.

3. Словарь иностранных слов / под ред. И. А. Васюкова. М., 1972.

4. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А. М. Карминский, Н. И. Оленев, А. Г. Примак, С. Г. Фалько. М. : Финансы и статистика, 2003.

5. Хан, Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга : пер. с нем. / Д. Хан ; под ред. и с предисл. А. А. Турчака, Л. Г. Головача, М. Л. Лукашевича. М. : Финансы и статистика. 1997.

L. V. Erygina

INNOVATIVE DEVELOPMENT CONTROLLING TOOLS OF THE SPACE-ROCKET INDUSTRY ENTERPRISES

In the article the innovative potential defining the role in the space-rocket industry (SRI) enterprises development is shown. The innovative potential essence and its structure are considered. The necessity of controlling system use for enterprises SRI in innovative development management is proved. The technique of the balanced indicators system formation and borders of their maximum deviations providing the management strategic and operative levels coordination is offered.

Keywords: innovative development, innovative potential, controlling, space-rocket industry (SRI), controlling indicators, system of the balanced indicators.

УДК339.13

Ю. В. Данильченко, А. А. Бойко

СПЕЦИФИКА БРЕНДИНГА В КОНВЕРСИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ[1]

Рассмотрена специфика брендинга в конверсионном производстве.

Ключевые слова: конверсия, брендинг, конверсионное производство, маркетинг, космическая отрасль.

Конверсия оборонной промышленности (далее – конверсия) – это регулируемый государством процесс организационных, правовых, технологических, научно-технических и социально-экономических преобразований оборонной промышленности в целях частичной или полной переориентации на выпуск продукции гражданского назначения ранее задействованных в оборонном производстве производственных мощностей, научно-технического потенциала и трудовых ресурсов организаций оборонной промышленности.

Второе десятилетие подряд Россия пытается сделать военные технологии коммерчески выгодными. Одна из основных причин неуспеха этой деятельности – отсутствие получаемой от этого процесса прибыли. Еще один фактор, определяющий успех предприятий в коммерциализации военных технологий – потребность в наличии высокого управленческого потенциала при подготовке этого трудного процесса. Эти причины объективны, с ними столкнулись все страны, осуществлявшие конверсию.

Программа конверсии оборонных предприятий к коммерческому или общегражданскому бизнесу есть по существу задача формирования бизнес-плана и плана работ для вновь организуемого предприятия. Однако есть несколько значительных обобщенных вариантов оборонной специфики, дополняемых опытом по созданию обычных новых коммерческих технологических компаний. Руководители оборонных предприятий не знакомы с коммерческими рынками и не имеют опытного работоспособного маркетингового персонала, поскольку в сфере производства военной продукции понятие маркетинга не применимо. Вновь создаваемые департаменты имеют небольшое представления о среде рынка или вообще не понимают всю важность такой информации. Руководители также не имеют знаний по определению секторов рынка для новой продукции и понимания сути рыночного развития. Существуют и определенные психологические трудности в переобучении специалистов, работавших до этого на оборонном производстве, не все из них могут приобретать знания развития и производства новой коммерческой продукции.

К началу XXI в. такие условия складываются в космической отрасли России. С одной стороны, предприятия отрасли, лишенные в середине 1990-х гг. поддержки государства, оказались в условиях, когда им необходимо бороться за ресурсы. Конкуренция на внутреннем рынке способствовала и укреплению конкурентоспособности продукции предприятий на внешних рынках. С другой стороны, особое внимание к отрасли со стороны государства сегодня, государственная поддержка новых проектов способствует укреплению и росту рынка, дает возможность предприятиям, показавшим свою устойчивость в неблагоприятный период, развивать инновационные технологии, создавать принципиально новые образцы космической техники. В частности, такая ситуация сложилась на рынке спутников связи. Помимо традиционно занимавшего данную нишу ФГУП НПО ПМ имени академика М. Ф. Решетнева (ныне ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева»), выпуск новой для себя продукции освоили РКК «Энергия» имени С. П. Королева (серия спутников «Ямал»), ГКНПЦ имени М. В. Хруничева (спутники «КазСат») и др. Сегодня при определении конкурентоспособности товара в космической отрасли существенную роль играют не только ценовые, но и экономические неценовые показатели. Среди таких показателей – надежность и репутация фирмы, отлаженные взаимосвязи с поставщиком.

Произошедший за последние два десятилетия переворот в космической отрасли потребовал внедрения новых методов управления отраслью и предприятиями. В частности, актуальным становится создание и управление торговыми марками.

На сегодняшний день готовность предприятий и организаций космической отрасли к «запуску» бренда является одним из показателей их будущей эффективности. Умение выстраивать рыночную стратегию, знать и обладать инструментарием по исследованию рынка, проводить структурную перестройку компании постоянную оценку текущей ситуации – вот факторы, которые уверенно войдут в рабочее пространство компаний космической отрасли России.

В зависимости от предмета позиционирования в космической отрасли РФ сегодня можно выделить два вида брендов:

1) корпоративные бренды, к которым относятся названия:

– предприятий отрасли (ОАО «РКК „Энергия” имени С. П. Королева», ГКНПЦ имени М. В. Хруничева, ОАО «ИСС» имени М. Ф. Решетнева», ФГУП ГНПЦ «ЦСКБ-Прогресс», ФГУП НПО имени С. А. Лавочкина и др.);

– интегрированных структур (ILS – совместное предприятие «Lockheed Martin» (США) и ГКНПЦ имени М. В. Хруничева; Sea Launch – совместное предприятие «Boeing» (США), Конструкторского бюро (КБ) «Южное» (Украина), ОАО «РКК „Энергия” имени С. П. Королева» и «Kvaerner» (Норвегия) и др.);

– космических агентств (Роскосмос, ESA, NASA и др.);

– операторов спутниковой связи (ГПКС, Интерспутник, «Eutelsat», PanAmSat);

– других организаций.

2) бренды товаров и услуг, к которым можно отнести названия:

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ, проект 08-02-00261а

– конечной продукции предприятий и организаций (ракеты-носители «Протон», «Союз», космические аппараты «Ямал», «Экспресс», «Глонасс»);

– составных частей космических аппаратов (разгонные блоки «Фрегат», ДМ, «Бриз-КМ», ракетные двигатели РД-107, ускорители «Байкал» для РН «Ангара» и т. д.);

– уникальных разработок КБ, новых технологий;

– прочее.

Бренды в космической отрасли имеют ряд специфических черт.

Так, *корпоративные бренды* в космической отрасли, в первую очередь, выполняют имиджевую функцию, а потому в атрибутах бренда ведущую роль играет имиджевый аспект.

Корпоративный, или организационный, имидж – это образ организации в представлении групп общественности. Позитивный имидж повышает конкурентоспособность коммерческой организации на рынке. Теоретически, имидж корпоративного бренда может быть различным для различных групп общественности, поскольку желаемое поведение этих групп в отношении организации может различаться. Иначе говоря, одна и та же организация может по-разному восприниматься (или стремиться к специфическому восприятию) инвесторами, госструктурами, местной и международной общественностью. Кроме того, существует внутренний имидж организации – представление персонала о своей организации. Можно сказать, что корпоративный бренд имеет несколько имиджей и для каждой группы общественности он свой. Синтез представлений об организации различных групп общественности создает более общее и емкое представление о корпоративном бренде.

Приоритеты групп общественности в имиджевой работе могут меняться. Образ корпоративного бренда в космической отрасли РФ также проецируется на совершенно разные целевые группы. Их можно разделить на две категории – внутреннюю и внешнюю. Внутренняя – это сотрудники организации и, возможно, члены их семей. Внешняя – все иные лица. Внешняя категория не является однородной. В ней можно выделить население и специалистов. В свою очередь, население, в зависимости от масштабов территории, можно разделить на местное, региональное, федеральное и международное сообщество. Специалистов, в зависимости от территории, можно разделить на российских и зарубежных, а в зависимости от особенностей взаимодействия – на партнеров, заказчиков, конкурентов, экспертов и пр. Более наглядно это можно представить в виде схемы (рис. 1).

Рис. 1. Целевые группы брендинга в космической отрасли РФ

Рассмотрев эти целевые группы подробнее, можно увидеть, что они нередко пересекаются, а также выделить их новые аспекты (рис. 2).

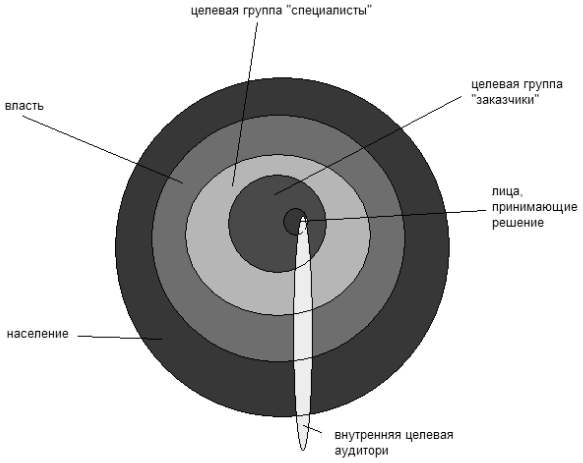


Рис. 2. Взаимопересечение целевых групп в брендинге в космической отрасли РФ

Для разных целевых аудиторий выбор оптимальных параметров бренда (в том числе корпоративного) может варьироваться. Поскольку задача бренда – привлечение максимального количества заказов по максимальной цене, то основной целевой группой для ее решения является целевая аудитория «заказчики». Соответственно, определяющими параметрами бренда будут те, которые являются оптимальными при влиянии на данную целевую аудиторию («заказчики» в более узком смысле – лица, непосредственно принимающие решение о заказе).

Однако косвенное влияние на нужную целевую аудиторию будет оказывать и другой круг лиц:

– партнеры, конкуренты;

– властные структуры;

– население;

– собственно сотрудники предприятия, несущие корпоративную культуру.

Поэтому ограничиваться взаимодействием только с ключевой целевой группой корпоративный бренд не может. Целесообразно учитывать взаимодействие с косвенными целевыми аудиториями, в том числе с позиций их влияния на основную целевую аудиторию («заказчики»). Рассмотрим подробнее основные и вторичные целевые аудитории:

Внутренняя целевая группа. Это сотрудники предприятия и члены их семей. Учитывая то, что большинство предприятий космической отрасли расположены в небольших городах и часто являются градообразующими, можно к внутренней целевой группе отнести также и местное население.

При взаимодействии с внутренними целевыми группами корпоративный бренд призван решать следующие задачи:

– обеспечение лояльности сотрудников к деятельности предприятия;

– создание внутрикорпоративной культуры;

– мотивация сотрудников;

– обеспечение стабильности на территории (для местного населения) и обеспечение дружественных отношений с властью.

По сути взаимодействие с этими группами строится методами внутреннего PR (public relations) и управления персоналом.

Внешняя целевая группа. К этой группе относятся следующие категории:

1. Население, которое можно разделить на население региона, федерации и международное.

Безусловно, население в той или иной степени соприкасается с деятельностью предприятий, но все же не напрямую, как в случае с товарами народного потребления. Даже пользуясь услугами, которые предоставляются благодаря продукции предприятий космической отрасли (телевещание, Интернет, навигация и т. д.), потребители редко знают предприятия космической отрасли, в большей степени их интересуют поставщики данных услуг как непосредственные контрагенты.

С точки зрения продвижения своей продукции, для предприятия население тоже не является напрямую целевой группой для взаимодействия с корпоративными торговыми марками космической отрасли, ведь покупку продукции фирмы осуществляет лишь узкая категория группы «специалистов» – заказчики. Таким образом, прямой связи между популярностью корпоративной марки у населения и покупательским спросом не наблюдается.

Однако взаимодействие между корпоративным брендом и населением тех или иных территорий существует. Оно основано на следующих позициях.

С позиции предприятия, население как целевая группа важна как фактор влияния на группу принятия решений, а именно, на группу «специалистов» – заказчиков, т. е., взаимодействие с населением с точки зрения функциональности для предприятий вторично. Это лишь инструмент влияния. При этом взаимодействия с группой «население» находится больше в области PR, нежели маркетинга.

К исключениям можно было бы отнести функцию привлечения специалистов в отрасль. В этом случае корпоративный бренд играет важную роль во взаимодействии с населением, и в большей степени с потенциальными специалистами. Взаимодействие может быть сплошным, например создание образа (но, в данном случае, это опять инструмент), и точечным, например взаимодействие с вузами (но тогда это взаимодействие не относится к категории «население»). Таким образом, данную функцию при взаимодействии с населением можно отнести к инструментальным.

При этом взаимодействие с населением всех уровней может способствовать полноте бренда и выходу его на новый уровень развития (по классификации Гудиера).

С позиции населения, взаимодействие строится на интересе к отрасли. При этом интерес этот все же, на взгляд авторов, инициируется не столько населением, сколько государственной пропагандой (например, парадигма «Россия – космическая держава»). При усилении роли государства в развитии отрасли данный акцент усиливается, при ослаблении – уходит на второй план или даже может носить негативный оттенок (например, парадигма в 1990-е годы – космическая отрасль «проедает» государственный бюджет).

2. Специалисты, которые подразделяются на партнеров, конкурентов, заказчиков. Наиболее важной целевой группой являются «*заказчики*».

В группе «заказчики» можно выделить следующие категории:

– государство, являющееся основным заказчиком в виде таких структур, как Министерство обороны, Федеральное космическое агентство, Государственное предприятие «Космическая связь» и др.;

– коммерческие заказчики (российские, зарубежные).

Учитывая специфику отрасли, предприятия, как правило, не продают свою продукцию в прямом смысле слова, а получают заказ на ее изготовление. Прежде чем отдать заказ тому или иному претенденту, заказчик, как правило, в два этапа осуществляет выбор исполнителя:

1. На первом этапе рассылается RFI (запрос на информацию) о намерении объявить конкурс на закупку товара и услуг. На этом этапе заказчик рассматривает предоставленную претендентами в ответ на требования RFI информацию о себе и своем продукте и определяет круг возможных участников конкурса.

2. На втором этапе отобранным претендентам высылается приглашение на конкурс. После получения подтверждения об участии в конкурсе, заказчик предоставляет претенденту комплект документов RFP (запрос на предложение). Претендент должен представить в оговоренный срок заказчику свое техническое и коммерческое предложение, которое будет содержать всю информацию, необходимую заказчику для принятия решения о выборе исполнителя заказа.

Взаимодействие с потенциальными заказчиками строится на постоянной основе. Для того чтобы попасть в категорию предприятий, приглашаемых для участия в конкурсе, у предприятия, с одной стороны, должна быть хорошая репутация, с другой – адекватное запросу предложение. Это особенно важно, так как фактор ценовой конкуренции часто не является определяющим.

При взаимодействии с государством следует исходить из того, что государство является основным заказчиком продукции предприятий космической отрасли. В зависимости от ослабления или усиления роли государства в этой области изменяются задачи корпоративных торговых марок, в том числе их влияние на целевые группы. При усилении роли государства влияние корпоративных брендов предприятий на другие целевые группы снижается, а в ряде случаев и регулируется государством. Основными становятся бренды государственных организаций, в частности Федерального космического агентства (Роскосмос). Задача корпоративных брендов предприятий следовать и не противоречить основному бренду. Влияние корпоративного бренда в этом случае сосредотачивается на данной категории заказчиков (государстве), т. е. его целевая направленность сужается. При взаимодействии с другими целевыми группами (например «население») в этот период главной задачей бренда является сохранение позитивной репутации при влиянии на общественное мнение. При усилении роли государства государственные органы могут регулировать выход предприятия на международный уровень и, в ряде случаев, сотрудничество с коммерческими заказчиками.

При ослаблении роли государства целевая аудитория корпоративных брендов расширяется. Предприятия вынуждены сами искать коммерческих заказчиков – российских и зарубежных. В этой ситуации корпоративные бренды предприятий космической отрасли начинают кон-

курировать между собой. Государство не является гарантом распределения заказов.

Особенность целевых групп «*конкуренты*» и «*партнеры*» в том, что они активно взаимно пересекаются. Конкуренты в определенный момент могут стать партнерами, а партнеры – конкурентами.

Влияние корпоративного бренда особенно значимо на целевую группу «партнеры». Работа практически над всеми значимыми проектами строится по принципу кооперации. Головное предприятие привлекает подрядчиков, в этом случае для подрядчиков оно выступает в роли заказчика, однако при работе над другим заказом роли могут меняться. Положительный имидж бренда, хорошая репутация фирмы в этом случае являются гарантией стабильности и достаточного научного и производственного потенциала. Это особенно актуально, так как совместная работа длится не один месяц, а результат влияет на репутацию всей кооперации.

Взаимодействуя с различными целевыми группами, корпоративные бренды в космической отрасли имеют разный имидж. Возможно ли продвижение разных параметров брендов на разные целевые группы? Теоретически возможно. Но все же, учитывая взаимодействие и взаимовлияние целевых групп, имидж бренда для них должен быть как минимум непротиворечивым, а «ядро» бренда и его основные атрибуты – одинаковыми в восприятии всех целевых групп. Таким образом, чтобы считаться успешным, корпоративный бренд в космической отрасли, по классификации Гудиера, должен находиться не ниже пятой стадии развития – brand as Company (бренд как компания). На этой стадии бренд имеет сложную индивидуальность и множество точек соприкосновения с потребителем, основные аспекты его существования должны соответствовать друг другу. Тем не менее, общий имидж бренда не является стабильным и определяется по точкам бифуркации целевых аудиторий.

На определении ключевых параметров брендов, выделении основных атрибутов возможно построение системы оценки брендов, эффективности управления ими.

На сегодняшний день можно выделить несколько основных черт корпоративных брендов в космической отрасли. Корпоративные бренды, в том числе названия предприятий космической отрасли, не совпадают с названием выпускаемой продукции. Это связано с тем, что, как правило, предприятия выпускают не один вид продукции. Высокотехнологичная продукция требует постоянной модернизации и обновления. Это один из ключевых факторов успешности предприятий. При этом еще одним важным фактором является условие стабильности. Таким образом, ключевыми становятся две, на первый взгляд противоречивые, характеристики – *постоянная модернизация* и *стабильность*. Данное кажущееся противоречие решается просто. Функцию демонстрации гибкости, обновления выполняют товарные бренды. Функцию высокотехнологичности, а также стабильности, устойчивости (в том числе стабильности в постоянном обновлении) берут на себя корпоративные бренды.

Высокотехнологичность и наукоемкость отражена в корпоративных брендах предприятий, пусть и имеющих подчас неблагозвучное название, например, «Сибирские приборы и системы», РНИИ КП (Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения и т. д.

Большинство предприятий космической отрасли создавались в середине прошлого века. По меркам высокотехнологичных отраслей, это предприятия-долгожители со своими традициями, со своей научной школой. Наличие такой истории говорит не только о стабильности предприятия, но и о том, что многие научно-технические решения были опробованы и реализованы. Это является гарантом состоятельности организации, ее устойчивости и стабильности, свидетельствует о накопленном потенциале. Данный аспект также часто отражается в корпоративных брендах предприятий, чаще всего путем указания в названии имени основоположника предприятия (НПО имени С. А. Лавочкина, РКК «Энергия» имени С. П. Королева, ГКНПЦ имени М. В. Хруничева, НПО ПМ имени академика М. Ф. Решетнева (ныне ОАО «ИСС» имени академика М. Ф. Решетнева») и пр.).

Иные атрибуты корпоративных брендов в космической отрасли можно определить путем проведения маркетинговых исследований, в частности, с использованием методов опроса и контент-анализа.

В космической отрасли России сложилась ситуация, при которой создание и управление брендами, в первую очередь корпоративными, становится необходимым условием эффективного развития конверсионного производства.

На сегодняшний день корпоративные бренды космической отрасли выполняют, в первую очередь, имиджевую функцию. Позитивный имидж повышает конкурентоспособность организации на рынке. Имидж корпоративного бренда может быть различным для различных групп общественности, поскольку желаемое поведение этих групп в отношении организации может различаться. Взаимодействие корпоративных брендов предприятий космической отрасли осуществляется с рядом целевых групп, основной из которых для развития предприятия является группа «заказчики», где значительную роль играет государство. Учитывая взаимодействие и взаимовлияние всех целевых групп, имидж бренда для разных целевых групп должен быть как минимум непротиворечивым, а «ядро» бренда, его основные атрибуты – одинаковыми в восприятии всех целевых групп.

Основными чертами имиджа корпоративных брендов предприятий космической отрасли сегодня можно назвать высокотехнологичность (наукоемкость) и устойчивость (стабильность). Они часто напрямую отражены в названиях самих предприятий.

Yu. V. Danilshenko, A. A. Boiko

SPECIFIC CHARACTER OF BRANDING IN CONVERSION MANUFACTURING

Specific character of branding in conversion manufacturing is considered in this paper.

Keywords: conversion, branding, conversion manufacturing, marketing, space.

УДК 330.22

Ю. В. Ерыгин, О. С. Голощапова

ПРОБЛЕМЫ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА[1]

Рассмотрены проблемы финансирования инновационного развития и конверсионных программ предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК). Дано обоснование использования инструментов налогового стимулирования в качестве дополнительного источника финансирования инновационного развития предприятий ОПК и экономики региона на основе использования их инновационного потенциала.

Ключевые слова: инновационное развитие, стадии инновационного процесса, налоговое стимулирование, условно-постоянные налоги, условно-переменные налоги.

Оборонно-промышленный комплекс – одно из основных межотраслевых образований социально-экономической системы страны, на долю которого приходится более половины всех производственных мощностей. За годы реформ объем выпуска предприятиями оборонно-промышленного комплекса снизился более чем в пять раз, загрузка производственных мощностей упала до 12–13 %, объем инвестиций снизился более чем в десять раз. Государственные расходы на научные исследования сегодня составляют 0,3 % валового внутреннего продукта (ВВП) при пороговом значении этого показателя с точки зрения экономической безопасности страны 2 % (в США этот показатель составляет 3 % ВВП).

Сохранение производственного и инновационного потенциала на предприятиях ОПК, а также обеспечение их устойчивого инновационного развития в этих условиях возможно только на основе осуществления конверсионных программ, реализующих инновационный потенциал предприятий. Это обеспечит развитие как самих предприятий ОПК, так и экономики региона, на территории которого они расположены. Важнейшим фактором, сдерживающим развитие конверсионного производства, является отсутствие эффективных механизмов финансирования инновационной деятельности со стороны государства, а также неразвитость финансового рынка и недостаточный объем собственных источников финансирования. Традиционные подходы к решению проблемы финансирования инновационной деятельности, осуществляемой в рамках государственного оборонного заказа, оказываются неприменимыми для конверсионного производства. Отсутствие четкой определенности в финансово-кредитной политике, дефицит собственных источников финансирования инноваций и низкая инвестиционная привлекательность предприятий ОПК определяют необходимость совершенствования форм и способов финансирования, обеспечивающих привлечение нетрадиционных для предприятий ОПК источников финансовых ресурсов. В связи с этим важная роль в активизации инновационной деятельности отводится государству. Одним из наиболее эффективных инструментов государственного регулирования инновационной сферы выступает налоговое стимулирование. Вместе с тем, основное направление государственной налоговой политики в настоящее время связано с пересмотром и отменой большинства налоговых льгот, что свидетельствует о снижении роли и значения данного инструмента в регулировании инновационной сферы.

Исследование современного состояния, тенденций и закономерностей развития инновационной сферы позволяют сделать вывод о различном характере влияния инструментов налогового стимулирования на активизацию инновационной деятельности. В ходе изучения теоретических основ было выявлено, что существующие группировки и признаки налоговых льгот не являются универсальными и отвечают целям и задачам определенных исследований, а также особенностям функционирования отдельных хозяйствующих субъектов. Поэтому возникает необходимость разработать классификацию налоговых льгот, отражающую особенности инновационной деятельности предприятий ОПК, к числу которых, по мнению авторов, необходимо отнести тип инноваций, фазу жизненного цикла продукта, стадии инновационного процесса.

Определение характера налоговых льгот в зависимости от типа инноваций играет значительную роль, так как разные типы инноваций имеют свои особенности разработки, реализации, распространения и, как следствие, различный объем затрат и уровень коммерческого и финансового риска. В связи с этим, возникает необходимость учета типа инноваций, осуществляемых на предприятии. Следует отметить, что наибольший стимулирующий эффект имеют инновации с высоким уровнем затрат и значительной долей риска, к числу которых могут быть отнесены продуктовые и технологические инновации.

Стимулирующий характер налоговых льгот также зависит и от фазы жизненного цикла продукта. Фазы «внедрение», «ускоренный рост» характеризуются отсутствием или низким объемом производства и, как следствие, низким уровнем рентабельности. Налоговые льготы на этих фазах жизненного цикла продукта, безусловно, носят стимулирующий характер, обеспечивающий рост производства и тем самым рост будущих налоговых поступлений. В фазах «насыщение», «замедленный рост», «упадок» жизненного цикла продукта предоставление налоговых льгот будет носить дотационный характер, и

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Разработка стратегических ориентиров инновационного развития экономики Красноярского края на основе научно-производственного потенциала предприятий ОПК в регионе», № 08-02-00261а

их целесообразно использовать лишь при социальной значимости инновационного проекта.

Вместе с тем необходимо учитывать, что инновационный процесс состоит из ряда последовательно реализуемых стадий. По мере реализации стадий инновационного процесса изменение затрат имеет квадратичную зависимость. При этом вся сумма налогов на предшествующей стадии становится условно-постоянными расходами на последующих стадиях. Поэтому возникает необходимость декомпозировать виды налоговых льгот по стадиям инновационного процесса, так как на каждой стадии уровень налогообложения на предшествующих стадиях увеличивает долю условно-постоянных затрат на последующих стадиях и тем самым увеличивает уровень коммерческого и финансового риска.

Наряду с этим, инновационная деятельность предприятий ОПК характеризуется высокой степенью условно-постоянных затрат, материалоемкостью, наукоемкостью, фондоемкостью производства, с одной стороны, и высоким уровнем износа основных средств, с другой стороны, что приводит к росту эффекта операционного рычага. В этих условиях очень важным представляется выделение налогов, имеющих различный характер в зависимости от объемов производства. В соответствии с этим признаком налоги можно классифицировать на условно-постоянные налоги, величина которых в данный период времени не зависит от объема выручки, и условно-переменные, величина которых в данный период времени зависит от объема выручки.

Результаты классификации позволяют предположить различный характер влияния налоговых льгот на активизацию инновационной сферы. Изучение этих различий может стать основой для формулировки принципов налогового стимулирования, отражающих особенности осуществления инновационного процесса на предприятиях ОПК. С этой целью были выявлены факторы, оказывающие влияние на эффективность налогового стимулирования инновационной деятельности, а также осуществлена их систематизация.

Группа факторов, связанная с материальными и прочими расходами, в большей степени оказывает влияние на условно-переменные налоги из-за значительных затрат на приобретение сырья, материалов, комплектующих изделий. При этом следует отметить, что для целей налогообложения в этом случае становится очень важным своевременное и грамотное осуществление налоговых вычетов по условно-переменному налогу на добавленную стоимость. Рост незавершенного производства в отрасли позволяет выделить фактор, связанный с незавершенным производством, и оценить его влияние на формирование налогооблагаемой базы по налогу на прибыль. Рассчитанная на конец месяца сумма незавершенного производства уменьшает сумму прямых расходов текущего месяца, а в следующем месяце данная сумма подлежит включению в состав материальных расходов. Таким образом, незавершенное производство увеличивает налогооблагаемую базу по налогу на прибыль в текущем периоде. Комплексное управление материальными ресурсами предприятия приводит к определению фактической себестоимости в производстве.

К следующей группе относятся факторы, связанные с имуществом и имущественными правами. От количества основных средств, их стоимости, технического уровня, эффективности их использования во многом зависит результат инновационной деятельности предприятия.

Инновационная деятельность предприятий ОПК связана с высокими расходами на приобретение основных средств. Стоимость объектов мобилизационного назначения и законсервированных или не используемых в производстве мобилизационных мощностей, а также имущество, отнесенное к объектам особого назначения, начиная с 2005 г., увеличивает налогооблагаемую базу по налогу на имущество. Следовательно, факторы, связанные с имуществом и имущественными правами, являются условно-постоянными, так как воздействуют на формирование налога на имущество. Проведенный анализ вышеуказанных факторов показал степень влияния на формирование налоговых обязательств по условно-постоянным и условно-переменным налогам. Наиболее наглядно результаты представлены в таблице.

Систематизация представленных выше факторов позволяет сформировать следующие принципы налогового стимулирования:

– в фазе внедрения, ускоренного роста жизненного цикла продукта налоговые льготы должны быть установлены по условно-постоянным налогам;

Идентификация налоговых льгот для различных фаз жизненного цикла продукта и стадий инновационного процесса

Налоги	Фаза жизненного цикла продукта							
	Внедрение				Ускоренный рост	Замедленный рост	Насыщение	Упадок
	Стадии инновационного процесса							
	ФИ	НИР	ОКР	ОП	ПП	ПП	ПП	ПП
Условно-постоянные налоги	X	X	X	X	X	O	O	O
Условно-переменные налоги	!	!	!	!	*	O	O	O

Примечания: O – предоставление льгот не имеет стимулирующего эффекта; ! – предоставление льгот имеет стимулирующий эффект при выполнении работ сторонними организациями; * – предоставление льгот имеет стимулирующий эффект в определенных условиях.

– в фазе замедленного роста и насыщения, упадка жизненного цикла продукта налоговые льготы по условно-переменным налогам не имеют стимулирующего эффекта и носят дотационный характер;

– на стадии фундаментальных исследований (ФИ), научно-исследовательских работ (НИР), опытно-конструкторских работ (ОКР), опытного производства (ОП) формы налогового стимулирования должны быть установлены по наиболее значимым условно-постоянным налогам, исходя из структуры затрат отрасли;

– на стадии фундаментальных исследований, научно-исследовательских работ, опытно-конструкторских работ, опытного производства формы налогового стимулирования могут быть установлены по условно-переменным налогам из-за их преобразования в условно-постоянные налоги для последующих стадий инновационного процесса;

– на стадии промышленного производства (ПП) в фазе ускоренного роста налоговые льготы должны быть связаны с условно-переменными налогами для проекта или предприятия в целом в зависимости от наличия задолженности по привлеченным источникам;

– налоговые льготы должны быть предоставлены для всех предприятий конкурентов, таким образом, льготы направлены на повышение конкурентоспособности по импортозамещающим товарам;

– льготное налогообложение должно учитывать сбалансированность интересов налогоплательщика и казны государства.

Предложенная система принципов, основанная на выявленных закономерностях и учитывающая особенности и цели инновационного развития предприятий ОПК, лежит в основе построения методики определения форм и методов налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий.

Предложенная авторами методика позволяет создать условия для активизации инновационной деятельности предприятий ОПК, а также учесть интересы государства и региона, что, в свою очередь, обеспечит рост производства и увеличит налоговые поступления в бюджеты всех уровней (рис. 1).

На первом этапе на основе систематизации налоговых льгот осуществляется определение форм налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК в зависимости от типа, стадии инновационного процесса, фазы жизненного цикла продукта.

В соответствии с предложенным алгоритмом для технологических и продуктовых инноваций определяем фазу жизненного цикла продукта, каждой из которой соответствует определенная стадия инновационного процесса. Если инновация находится в фазе «внедрение», то для этой фазы характерна стадия фундаментальных исследований, научно-исследовательских работ, опытно-конструкторских работ и опытного производства. Соблюдение предложенных принципов налогового стимулирования для этих стадий инновационного процесса решает задачу предоставления налоговых льгот по условно-постоянным налогам и условно-переменным налогам. По условно-переменным налогам налоговые льготы предоставляются в случаях:

– если научно-исследовательские работы и опытно-конструкторские работы осуществляются совместно с научно-исследовательскими институтами или организациями;

– научно-исследовательские работы, опытно-конструкторские работы, опытное производство осуществляются самостоятельно на действующем предприятии при наличии задолженности по привлеченным источникам финансирования.

Для фаз жизненного цикла продукта «ускоренный рост», «замедленный рост», «насыщение» и «упадок» характерна только стадия промышленного производства, поэтому согласно принципам налогового стимулирования налоговые льготы предоставляются для фазы ускоренного роста в следующих случаях:

– если погашена задолженность по привлеченным источникам финансирования, то льготы предоставляются по условно-переменным и условно-постоянным налогам только по инновационному проекту;

– если не погашена задолженность по привлеченным источникам финансирования, то льготы предоставляются по условно-переменным и условно-постоянным налогам по предприятию в целом.

Для фаз жизненного цикла инновационного продукта «замедленный рост», «насыщение», «упадок» налоговые льготы не носят стимулирующий характер, так как в этом случае они будут являться дотационными.

Определение налоговых льгот в зависимости от типа инновационного процесса, фазы жизненного цикла продукта и стадии инновационного процесса позволяет осуществить выбор форм налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК.

Выбор форм налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК по условно-переменным налогам требует количественной оценки, поэтому следующий этап исследования – разработка методов определения количественных параметров налогового стимулирования.

На втором этапе исследования переходим к оценке потребности в источниках финансирования. Целью такой оценки является выявление дефицита или избытка финансовых ресурсов, необходимых для реализации инновационного проекта. Выявление дефицита или избытка финансовых ресурсов определяется, исходя из общей потребности в источниках финансирования и ожидаемой величины финансовых ресурсов, формируемых как за счет внутренних, так и за счет внешних источников. Исходя из условий дефицита или избытка в источниках финансирования, определяется метод количественной оценки параметров исследуемых форм налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК. Определение количественных параметров налогового стимулирования со стороны хозяйствующего субъекта предполагает принятие решения о предоставлении налоговых льгот со стороны государства, поэтому переходим к реализации третьего этапа алгоритма.

На третьем этапе осуществляется оценка бюджетной эффективности налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий. При этом учитываются условия реализации инновационного проекта, который может осуществляться как на действующем предприятии, так и на вновь созданном предприятии.

Последовательная реализация этапов позволяет определить наиболее эффективные формы и способы налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий ОПК в зависимости от фазы жизненного цикла продукта, стадий и типа инновационного процесса, а также количественные параметры налоговых льгот, обеспечивающие согласование интересов государства и хозяйствующих субъектов.

Для количественной оценки определения налоговых льгот предложено два метода, учитывающие условия дефицита банковских источников кредитования, избытка банковских источников кредитования.

Первый метод используется в случаях:

а) ограниченности собственных внутренних источников финансирования, связанных с низким уровнем рентабельности производства;

б) ограниченности собственных внешних источников финансирования, связанных с низкой ликвидностью акций из-за недостаточного развития финансового рынка;

в) ограниченности получения кредитных ресурсов из-за высокого уровня процентных ставок и низкого уровня ликвидности залогового обеспечения.

Алгоритм определения количественных параметров налогового стимулирования инновационной деятельно-

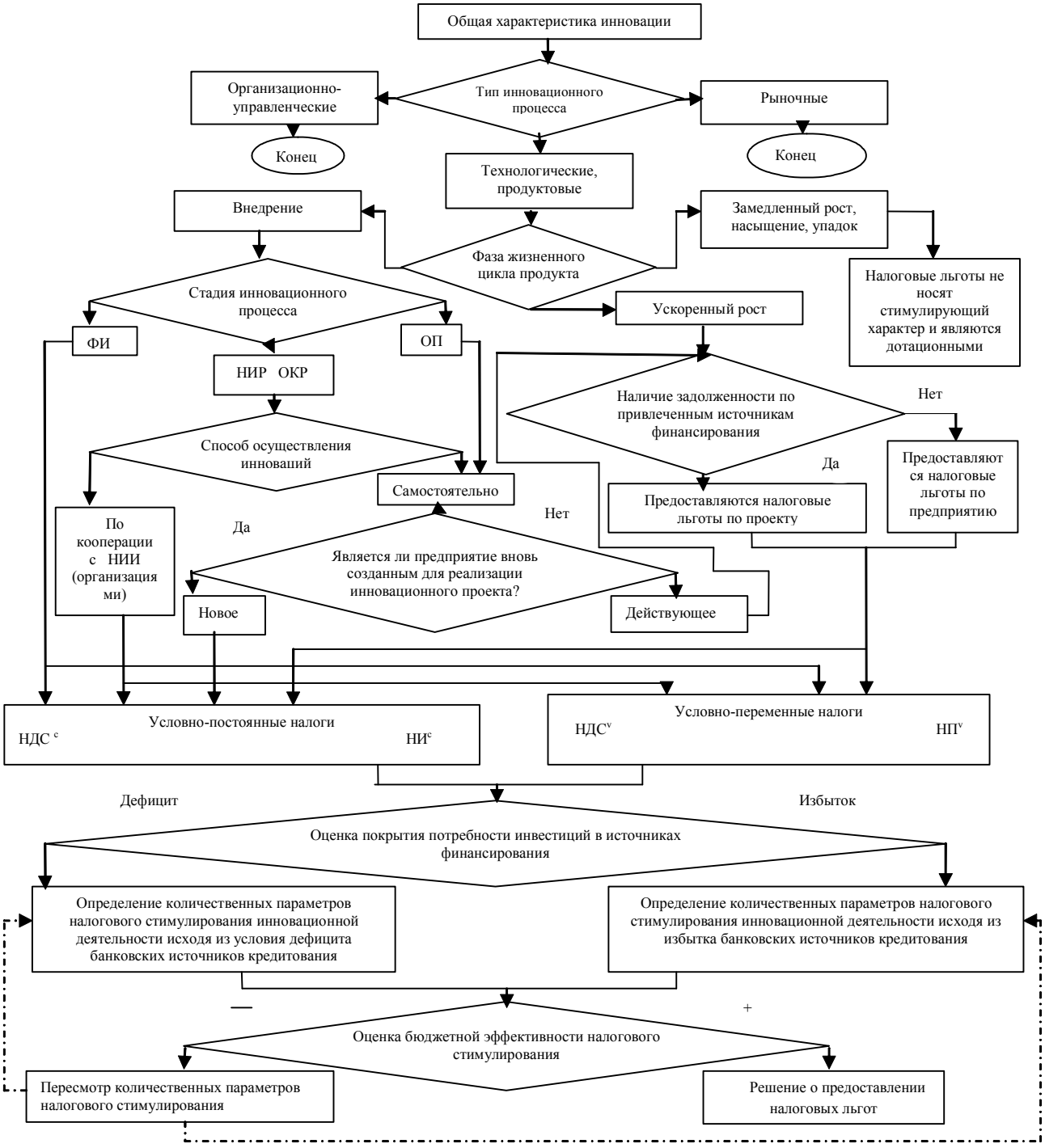


Рис. 1. Схема алгоритма методики определения форм и методов налогового стимулирования инновационной деятельности предприятий

сти предприятий ОПК, исходя из условий дефицита источников финансирования, представлен на рис. 2. В соответствии с предлагаемым алгоритмом, количественные параметры определяются по условно-переменным налогам для таких форм, как уменьшение налога, налоговый вычет, корректировка налоговой ставки, инвестиционный налоговый кредит.

На первом этапе определяем оптимальную структуру капитала по критерию максимальной рентабельности собственного капитала. Использование данного критерия позволяет определить долю собственного капитала, позволяющего повысить его эффективность как для собственников, так и для государства, осуществляющего финансирование в форме налоговых льгот. На следующем шаге определяем ожидаемую величину собственного капитала, формируемого как за счет внутренних, так и за счет внешних источников. Как уже отмечалось выше, низкая рентабельность и высокий уровень износа основных фондов приводят к снижению объема финансирования из внутренних источников, а низкая ликвидность акций, из-за недостаточного развития финансового рынка, приводит к снижению объема финансирования из внешних источников.

В связи с этим особая роль в финансировании отводится государству. В этом случае финансирование осуществляется со стороны государства в форме налоговых льгот на безвозвратной основе.

На втором этапе, исходя из дефицита собственного капитала, определяем размер невозвратных налоговых льгот применительно к таким формам налогового сти-

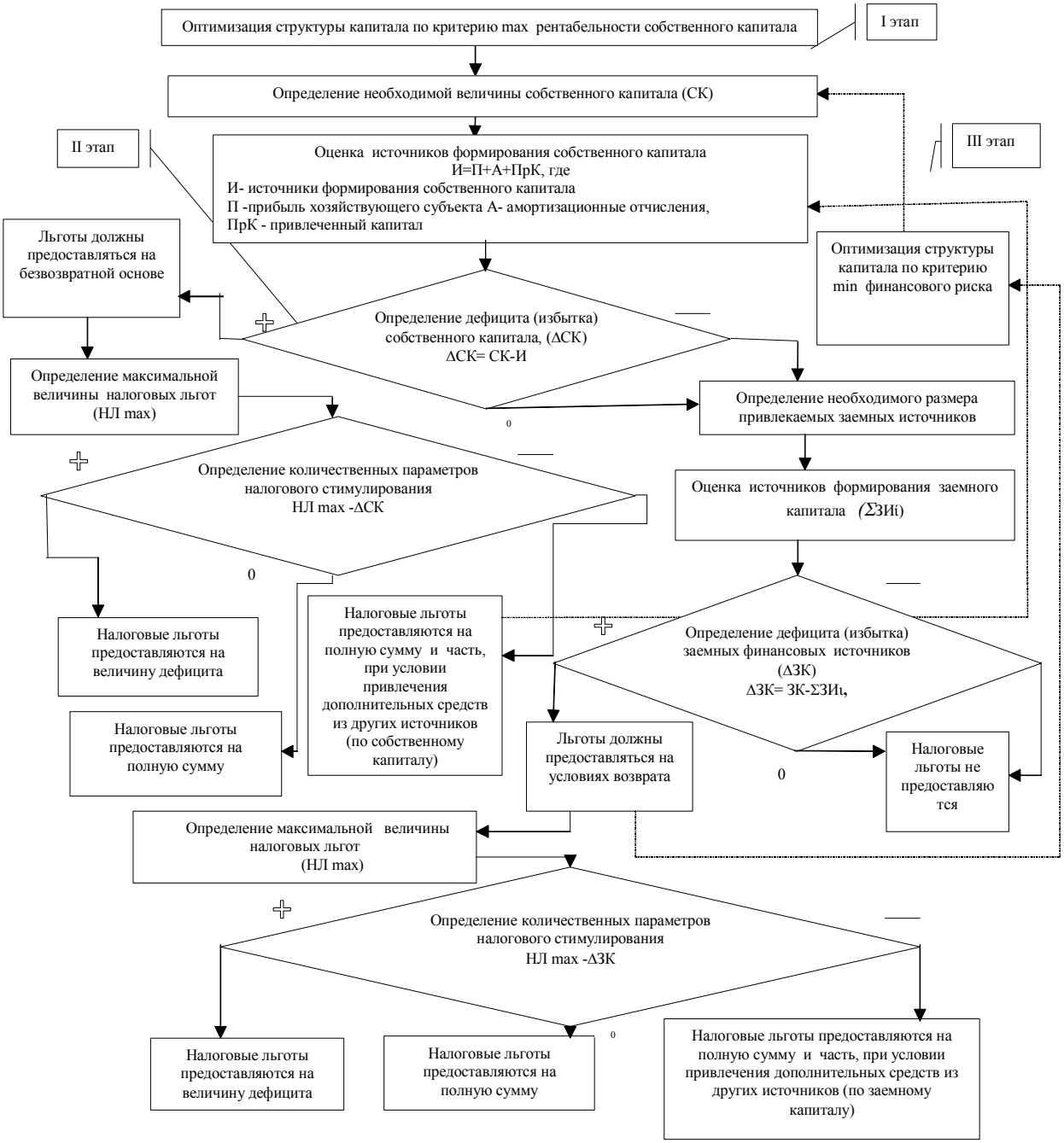


Рис. 2. Схема алгоритма определения количественных параметров налогового стимулирования инновационной деятельности, исходя из условия дефицита банковских источников кредитования

мулирования инновационной деятельности предприятий, как уменьшение налога, корректировка налоговой ставки, налоговый вычет. Размер максимальной величины налоговых льгот по условно-переменным налогам определяется, исходя из расчета сумм налоговых обязательств по максимальным налоговым ставкам. В этом случае возможны следующие варианты:

а) льготное налогообложение предоставляется на величину дефицита, если сумма привлекаемых за счет других источников собственных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в собственном капитале и составляет меньший размер, чем максимальная величина налоговых льгот;

б) льготное налогообложение предоставляется на всю сумму, если сумма привлекаемых за счет других источников собственных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в собственном капитале и равна максимальной величине налоговых льгот;

в) льготное налогообложение предоставляется на необходимую сумму при условии привлечения дополнительных средств из других источников собственного капитала, если сумма привлекаемых за счет других источников собственных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в собственном капитале и составляет больший размер, чем максимальная величина налоговых льгот.

Если у хозяйствующего субъекта существует потребность в привлечении заемного капитала, то переходим к третьему этапу.

На третьем этапе определяется необходимый размер привлекаемых заемных источников. Объем привлечения заемных средств диктуется, исходя из суммы собственного капитала и рассчитанного коэффициента финансового левериджа. Учитывая возможности хозяйствующего субъекта в привлечении источников, определяем ожидаемую величину заемного капитала. На следующем шаге, рассчитываем дефицит или избыток заемных финансовых источников. В случае дефицита заемных источников финансирования возникает необходимость пересмотра структуры капитала, так как государство в данном случае выступает как заемщик, заинтересованный, в первую очередь, в возврате денежных средств, поэтому может обеспечить для хозяйствующего субъекта наименьший уровень финансового риска заемного капитала. Исходя из дефицита заемного капитала, определяем размер возвратных налоговых льгот применительно к инвестиционному налоговому кредиту. Размер максимальной величины налоговых льгот определяется, исходя из расчета сумм налоговых обязательств по максимальным налоговым ставкам. В этом случае количественные параметры для условно-переменных налогов на возвратной основе определяются в форме инвестиционного налогового кредита. При этом возможны следующие варианты:

а) льготное налогообложение предоставляется на величину дефицита, если сумма привлекаемых за счет других источников заемных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в заемном капитале и составляет меньший размер, чем максимальная величина налоговых льгот;

б) льготное налогообложение предоставляется на всю сумму, если сумма привлекаемых за счет других источников заемных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в заемном капитале и равна максимальной величине налоговых льгот;

в) льготное налогообложение предоставляется на необходимую величину, при условии привлечения дополнительных средств из других источников заемного капитала, если сумма привлекаемых за счет других источников собственных финансовых ресурсов не обеспечивает общую потребность в заемном капитале и составляет большую потребность, чем максимальная величина налоговых льгот.

Таким образом, инструменты налогового стимулирования являются важнейшим источником финансирования не только инновационного развития предприятий ОПК, но и экономики страны и региона на основе реализации конверсионных программ инновационного характера.

Yu. V. Erygin, O. S. Goloschapova

THE PROBLEMS OF THE INNOVATION DEVELOPMENT FINANCING OF THE DEFENSIVE-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES

The problems of innovation development financing and conversion programs of the defensive-industrial complex enterprises are considered in the present article. The use of instruments far tax stimulation as an additional source of the innovation development financing of the defensive-industrial complex and of regional economy on the base of using its innovation potential are substantiated in this article.

Keywords: conditionally constant taxes, conditionally variable taxes, innovation development, financing, tax stimulation, stages of innovation process.

УДК 65+33

Т. Н. Тарасова

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Сформулирована позиция автора в отношении реструктуризации системы управления. Определены и рассмотрены проблемы, встречающиеся при использовании традиционных экономических методик оценки эффективности менеджмента. Сформулированы и предложены критерии определения эффективности системы управления, которые могут быть использованы как универсальный инструментарий при проведении реструктуризационных изменений на предприятии.

Ключевые слова: реструктуризация, система управления, эффективность.

В последние годы наметилось оживление реального сектора экономики. Хотя рано говорить о выходе промышленных предприятий из кризисного состояния, обусловленного сменой стратегических ориентиров, все же современные тенденции свидетельствуют о переходе российской промышленности на новый этап жизненного цикла. В этом процессе существенную роль сыграли организационные реформы, охватившие промышленные предприятия, которые привели к образованию сложных диверсифицированных структур. Подобная мера не является однозначной, а значит, процессы поиска предприятиями своей оптимальной системы управления будут продолжаться, что и обусловливает актуальность научно-практических разработок в данной области.

Статья посвящена реструктуризации системы управления как универсальному инструменту повышения эффективности деятельности промышленного предприятия. Автором предложена система показателей, которые могут выступать в качестве критериев эффективности реструктуризационных мероприятий.

В мировой практике термин «реструктуризация» стал широко использоваться в конце 70-х – начале 80-х гг. прошлого века в связи с пересмотром экономической роли государства в развитых странах с рыночной экономикой. Процесс реструктуризации был связан с изменением формы собственности предприятий при проведении приватизации отраслей промышленности. Реструктуризация в большинстве случаев проводилась вследствие несвоевременного вскрытия кризисных явлений на предприятии как процесс всестороннего приспособления к изменившимся условиям рыночной экономики [1]. В настоящее время диапазон применения реструктуризации как инструмента повышения эффективности деятельности предприятия существенно расширился.

Вопрос реструктуризации системы управления, являющейся, пожалуй, наиболее популярным инструментом реформирования предприятий, безусловно, не остался без внимания исследователей. В частности, данной проблеме посвятили свои работы такие российские ученые, как М. Д. Аистова, Я. М. Гританс, В. А. Баринов, Л. В. Ежкин, С. В. Валдайцев, Е. Гришпун, С. В. Ильдеменов, В. Г. Крыжановский, В. И. Мазур, Г. С. Мерзликина, Э. С. Минаев, М. В. Одинцов, В. Н. Тренев, В. Д. Шапиро и многие другие. Результаты теоретических исследований и практических апробаций различных механизмов реструктуризации хозяйствующего субъекта довольно предметно рассматриваются в таких периодических изданиях, как «Антикризисное управление», «Менеджмент в России и за рубежом», «Проблемы теории и практики управления», «Рынок ценных бумаг», «Эксперт», а также во многих других российских экономических журналах и газетах.

Понятию «реструктуризация» в научной литературе уделяется достаточно много внимания. В частности, Л. П. Страхова и Г. В. Бутковская под реструктуризацией понимают проведение комплекса мероприятий организационного, технического, финансового характера, позволяющих предприятию восстановить свою конкурентоспособность [2]. К. Кордан, Т. Фолмен и М. Ванденборт рассматривают реструктуризацию как проактивно осуществляемый разрыв с существующим статус-кво, а не просто «затягивание пояса» в компании или улучшение текущих операций. В результате проведенной реструктуризации, по их мнению, компания должна не просто работать лучше, а производить более современные продукты [3]. Лео Водачек предлагает под реструктуризацией понимать комплексные и взаимосвязанные изменения структур, обеспечивающих функционирование предприятия в целом [4].

Принято считать (и отечественная практика это подтверждает), что реструктуризационные процессы являются инструментом антикризисного управления и поэтому должны внедряться на ослабленных предприятиях, находящихся на грани банкротства. В то же время зарубежный опыт показывает, что реструктуризация проводится и в успешно работающих компаниях с целью обеспечения их большей прибыльности в перспективе. Реструктуризация как мера антикризисного управления (на чем делают упор некоторые авторы, в частности М. Д. Аистова [5]) может и, по сути, должна быть использована скорее в предкризисный период, поскольку кризисное состояние способно уменьшить эффективность даже очень удачных управленческих мер. А одним из основных условий эффективности любой антикризисной меры является ее своевременность. Поэтому более справедливым будет толкование термина «реструктуризация» как процесс подготовки и реализации программы действий на предприятии с целью повышения его рыночной стоимости, что дает основание считать реструктуризацию мерой, относящейся к методологии не только антикризисного, но и стратегического менеджмента. Основываясь на вышесказанном, можно предположить, что понятие

реструктуризации является комплексным, и определить его следующим образом.

Реструктуризация – это организационно-экономический механизм изменения структурного построения системы управления предприятием на всех этапах ее жизненного цикла, направленный на преодоление кризисных тенденций развития и повышение конкурентоспособности предприятия.

Важным аспектом исследования проблемы реструктуризации является четкое разграничение объектов воздействия – предприятия и его системы управления. Реструктуризация предприятия – это изменение структуры, способа организации его работы. Реструктуризация системы управления – это, прежде всего, изменение ее целей и стратегии. За изменением целей и стратегии неизбежно следует изменение организационной структуры, которая обслуживает и обеспечивает их реализацию. Затем следует изменение бизнес-процессов, обеспечивающих выполнение исполнителями своих функций в рамках организационной структуры. На этот аспект следует обратить особое внимание, поскольку зачастую реструктуризация системы управления сводится к реформированию организационной структуры управления, т. е. к изменению структурно-функциональной подсистемы. Очевидно, изменение базового элемента системы неизбежно провоцирует изменения во всей системе управления, что делает подобный подход к реструктуризации оправданным в ряде случаев, но не вполне оптимальным, поскольку предполагает управляющее воздействие исключительно на структурно-функциональную часть системы управления и исходит из внутренней среды предприятия, в то время как существующая на сегодняшний день действительность диктует необходимость ориентации на внешнюю среду в первую очередь. Это означает, что совсем другое значение приобрела информационно-поведенческая подсистема системы управления, и изменения в ней должны быть не следствием изменений в других подсистемах, а происходить согласованно и целенаправленно. Таким образом, исходя из необходимости более комплексного подхода к реструктуризационным изменениям системы управления, автор считает оправданным говорить об *управлении реструктуризацией*.

По мнению автора, данный подход к реструктуризации системы управления означает основательную проработку существенного количества факторов внутреннего и внешнего характера. На практике это сводится к разработке программы комплексного управления реструктуризацией предприятия, которая включает в себя:

– подготовительную аналитическую работу, включающую разработку стратегии реструктуризации и постановку целей;

– разработку программы поэтапного изменения организационной структуры управления в соответствии с жизненным циклом внешней среды предприятия и его маркетинговой стратегией;

– выбор инструментов реструктуризации, соответствующих специфике предприятия;

– разработку программы адаптации предприятия к производимым изменениям;

– разработку плана-графика последующих изменений.

Таким образом, *комплексное управление реструктуризацией* представляет собой управленческий процесс анализа, воздействия и мониторинга, сопровождающий реструктуризацию системы управления от идеи до результата и предполагающий комплексный охват всех подсистем предприятия.

Очевидно, что целью процесса реструктуризации будет являться повышение эффективности системы управления. Как известно, в виду целого ряда причин оценка эффективности системы управления предприятием с помощью какого-либо единого интегрированного показателя представляется трудновыполнимой задачей. К таким причинам можно отнести:

– множественность элементов, составляющих саму систему управления;

– сложность и множественность факторов, влияющих на ее рациональность и функционирование;

– специфические особенности каждого отдельно взятого промышленного предприятия (численность персонала, отрасль, возраст предприятия, технология и т. п.);

– неоднозначность самого понятия «эффективность системы управления», поскольку на разных этапах жизненного цикла содержание этой категории будет различным.

Оценить будущую эффективность того или иного управленческого процесса, производственного состояния или управленческого решения является стратегически важным направлением деятельности предприятия. Автор статьи обращает внимание на трудоемкость задач оценки эффективности стратегических управленческих решений, направленных на реформирование системы управления или внесение значительных изменений в организационную структуру управления. Методики оценки экономической эффективности стратегических управленческих решений существуют давно, однако общепринятой на сегодняшний день пока нет. Стратегическая оценка управленческого решения в процессе реструктуризации может иметь последствия не только материального плана, но и носить социальный характер. Более того, для реструктуризационного процесса нормой является получение максимальной отдачи в долгосрочной перспективе, что может значительно увеличить погрешность в результате расчета эффективности и сформулировать его только приблизительно.

В настоящее время наукой разработано и апробировано на практике достаточное количество методик оценки эффективности деятельности предприятия, его системы управления, организационных процессов и т. д. Предприятие выбирает способ анализа эффективности оценки на основании собственных критериев для достижения поставленных целей.

Эффективность управления можно считать одним из основных показателей совершенствования менеджмента, определяемым сопоставлением результатов управления и ресурсов, затраченных на их достижение. Оценить эффективность управления можно путем соизмерения полученной прибыли и затрат на управление. Но такая упрощенная оценка не всегда корректна и объективна в силу следующих причин:

– результат управления не всегда заключается в прибыли;

– эффект может быть перспективным, что также осложняет его однозначную оценку;

– результат управления может быть не только экономическим, но и социальным, социально-экономическим;

– затраты на управление не всегда можно достаточно четко выделить.

Очевидной становится необходимость в междисциплинарном подходе к реструктуризации и ее оценке, поскольку она предполагает подход к вопросу с позиции не только экономики, но и психологии, социологии. В связи с этим автор определяет критерии оптимальности, присущие любой системе управления вне зависимости от специфических особенностей предприятия, среди которых можно выделить нижеперечисленные:

– управляемость системы (характеризуется скоростью реализации управленческих решений, принятых на высшем и среднем уровнях);

– гибкость системы (характеризуется наличием реальной способности оперативно изменяться под воздействием тех или иных внешних и внутренних факторов, а также наличием проработанных стратегических альтернатив);

– затратность системы (комплексный показатель, отражающий объем финансовых средств, затрачиваемых на содержание аппарата управления, а также перерасход средств в связи с принятием нерациональных управленческих решений);

– качество управленческого персонала (определяется стоимостью и эффективностью принятых управленческих решений за установленный период времени).

Очевидно, что для недиверсифицированных структур, обладающих необходимой степенью самостоятельности, определяющим критерием станет качество управленческого персонала, от которого будет зависеть эффективность системы управления по остальным критериям. Подобная ситуация с диверсифицированными структурами существенно усложняется.

Эффективность реструктуризации системы управления, таким образом, может быть определена сравнением состояния системы по указанным критериям до и после реструктуризационных мероприятий. При этом единицы и критерии измерения предприятие определяет самостоятельно на основании собственных специфических особенностей.

Рассмотрим предложенные критерии более предметно.

Управляемость системы. Пороговые значения нормы управляемости были предложены еще классиками менеджмента. В частности, американская модель управления определяет норму управляемости на уровне 5–7 человек. Российская действительность вносит свои коррективы, и этот показатель у нас составляет порядка 10 человек подчиненных на одного руководителя. Анализ систем управления ряда российских промышленных предприятий, проведенный автором статьи, позволяет сделать вывод о целесообразности нормы управляемости в диапазоне 7–10 человек в зависимости от участка ответственности и индивидуально-психологических особенностей конкретного руководителя. Данное пороговое значение нормы управляемости на промышленном предприятии позволит создать оптимальную систему коммуникаций и избежать избыточных управленческих уровней. Таким образом, критерий управляемости системы управления предлагается установить на уровне 7–10 человек.

Гибкость системы. Наличие определенного запаса гибкости для системы означает возможность в минимальные сроки с минимальными затратами адаптироваться под изменяющиеся условия внешней и внутренней среды, от чего нередко зависит жизнеспособность предприятия. Очевидно, что предприятия промышленного сектора обладают такой возможностью в меньшей степени, чем предприятия торговли, сферы услуг, финансово-кредитной системы. Это обусловлено существенной долей неликвидных активов и качественно иным жизненным циклом. Тем не менее, гибкость даже такой сложной и немобильной системы, как промышленное предприятие, существенно возрастает при наличии хорошо проработанных стратегических альтернатив и планов, составленных на каждом управленческом уровне и являющихся частью генеральной стратегии. Таким образом, гибкость системы управления может определяться наличием в структуре управления подразделения, чьей сферой ответственности является аналитика внешней среды, а также органа, ответственного за выработку стратегических альтернатив.

Затратность системы. Затратность системы управления в данном случае определяется как совокупность средств, затраченных на содержание аппарата управления:

– фонд оплаты труда руководящих работников и обслуживающего их персонала (помощник, секретарь, водитель, охрана и т. п.) вместе с соответствующими социальными и налоговыми отчислениями;

– стоимость рабочего места руководящего работника, включая затраты на связь, Интернет, канцелярские принадлежности, транспортные расходы, расходы на отопление и электроэнергию и т. п.;

– представительские расходы.

Затраты на содержание аппарата управления являются постоянными, поэтому реструктуризация системы управления должна быть направлена в том числе на их уменьшение, что на общем фоне позволит добиться большей эффективности функционирования системы в экономическом выражении. В зависимости от сложности управленческой системы, которая определяется жизненным циклом и спецификой деятельности предприятия, затраты на аппарат управления могут достигать 40 %. Таким образом, можно прийти к выводу, что при снижении административных издержек общая эффективность системы управления изменится в сторону повышения:

$$Э_{СУ1} = \frac{П}{З_{СУ1}},$$

$$Э_{СУ2} = \frac{П}{З_{СУ2}},$$

где $Э_{СУ1}$ – первоначальный коэффициент эффективности системы управления; $Э_{СУ2}$ – коэффициент эффективности системы управления после реструктуризации; П – прибыль за отчетный период; $З_{СУ1}$ – первоначальная затратность системы управления; $З_{СУ2}$ – затратность системы управления после реструктуризации.

Если в результате реструктуризации системы управления значение коэффициента $Э_{СУ1}$ получается меньше

$Э_{СУ2}$, то можно говорить об эффективности проведенных мероприятий.

Качество управленческого персонала. Пристальному вниманию со стороны менеджмента российских компаний качество управленческого персонала начало подвергаться относительно недавно, когда стала очевидной проблема несоответствия квалификации менеджеров стремительным изменениям условий функционирования. Ни наличие профильного образования, ни опыт работы в аналогичной структуре уже не гарантируют работодателю ожидаемого результата.

Учеными и практиками предложено множество показателей, с помощью которых можно оценить качество персонала. Автор статьи предлагает использовать в качестве критериев факторы стратегической эффективности управленческих решений, определенные В. Архиповым [6]:

– качество целеполагания (соответствие планируемых целей возможностям предприятия и интересам персонала);

– адекватность выбранных стратегий поставленным целям;

– сила и направленность мотиваций, побуждающих персонал к достижению целей.

Российские ученые уделяют недостаточное внимание изучению зависимости между критериями применения стратегических решений в процессе менеджмента и качества результатов, полученных в результате реализации этих решений, так как идея стратегической эффективности не получила среди исследователей достаточной поддержки. Признание в качестве результата степени успеха достигнутых целей нередко воспринимается экономистами как нарушение традиционного правила, согласно которому эффективность менеджмента есть отношение результатов деятельности системы к использованным ресурсам.

Среди мнений ученых, придерживающихся традиционного правила, автору близка точка зрения Д. Аршакяна [7]: эффективность деятельности менеджеров определяется как отношение динамики изменения эффекта (результата) ΔЭ, достигнутого вследствие реализации решений менеджеров, к динамике изменения затраченных усилий менеджеров ΔУ:

$$К_э = \frac{ΔЭ}{ΔУ},$$

где $К_э$ – коэффициент эффективности деятельности менеджера.

Данный подход может быть использован при оценке труда менеджера, однако он не вполне соответствует целям оценки эффективности реструктуризации системы управления, в связи с чем формулу, предложенную Д. Аршакяном, целесообразно скорректировать при помощи показателя, характеризующего затратность управленческого труда. Автор предлагает сместить акценты при помощи следующей методики оценки качества управленческого персонала, основанной на эффективности системы принятия решений:

$$К_э = \frac{Э}{Зм},$$

где Э – эффект от реализации принятого управленческого решения; Зм – затраты на содержание менеджера, в том числе фонд оплаты его труда.

Реструктуризация системы управления делает важным оценку качества аппарата управления в целом. Для этого преобразуем формулу следующим образом:

$$ΔК_э = \sum \frac{Э_1}{З_1} - \sum \frac{Э_2}{З_2},$$

где $ΔК_э$ – изменение коэффициента эффективности управленческого персонала; $Э_1$ – эффект от реализации управленческих решений до реструктуризации; $Э_2$ – эффект от реализации управленческих решений после реструктуризации; $З_1$ – затраты на содержание менеджера до реструктуризации; $З_2$ – затраты на содержание менеджера после реструктуризации.

Очевидно, что добиться роста можно либо путем уменьшения знаменателя, либо увеличения числителя. Идеальным вариантом является их соответствующее одновременное изменение. В статье не рассматриваются методы достижения данной динамики. Формула позволяет оценить относительное влияние реструктуризации системы управления на изменение показателей качества управленческого персонала. При этом необходимо помнить, что ряд показателей как эффекта, так и затрат зачастую бывают скрытыми.

Очевидно, что не все критерии, предложенные для оценки эффективности реструктуризации системы управления, имеют количественное выражение. В связи с этим автор предлагает использовать для оценки эффективности реструктуризационных мероприятий метод экспертной оценки.

Таким образом, основываясь на вышесказанном, можно утверждать, что оценка эффективности проведенной реструктуризации системы управления при помощи одного интегрированного показателя при достаточно высокой трудоемкости расчета даст достаточно большую степень погрешности, что сведет к минимуму целесообразность подобного расчета.

Автором был разработан и апробирован на практике алгоритм реструктуризации системы управления промышленным предприятием, который можно представить в виде последовательности этапов, объединенных в четыре стадии: подготовительную, стадию реализации, стадию сопровождения реструктуризационного проекта и стадию послереструктуризационного сопровождения. Не углубляясь в конкретизацию сути данного алгоритма, который может стать объектом внимания отдельной статьи, обратим внимание на его содержание:

1. Подготовительная стадия. Ее основной задачей является отслеживание соответствия планируемых структурных изменений корпоративной стратегии и миссии предприятия. Одним из значимых этапов этой стадии является профессиональная переподготовка управленческого персонала к предполагаемым изменениям.

2. Стадия реализации проекта реструктуризации. Наиболее существенным этапом данной стадии является создание экспертной группы организационного проектирования – временного органа проектного управления, созданного специально для решения задач реструктуризации системы управления. Бесспорным является факт неизбежности профессиональной оценки членов вышеупомянутой группы и результатов их деятельности.

3. Стадия сопровождения проекта реструктуризации. Вероятность состоятельности проекта реструктуризации

существенно возрастет при обеспечении его квалифицированного сопровождения разработчиками и экспертами, что также предполагает соответствующую профессиональную оценку.

4. Стадия послереструктуризационного сопровождения. Эта стадия нужна для максимальной адаптации проекта к внутренней и внешней среде предприятия. Большое значение в этом случае будет иметь процесс отслеживания результатов проведенной реструктуризации и оказания практической, консалтинговой помощи.

Оценка эффективности проводимых изменений будет сопровождать процесс реструктуризации на каждой из представленных стадий, но проводиться будет не единовременно. Так, оценить экономическую эффективность можно уже на стадии сопровождения проекта реструктуризации, в то время как социальная эффективность проявится однозначно только на стадии послереструктуризационного сопровождения.

Предложенные в данной статье критерии эффективности реструктуризации являются универсальными и могут быть использованы в комплексе при работе с любой системой управления. При этом в каждом частном случае они могут быть дополнены специфическими критериями, разработанными на предприятии и отражающими его индивидуальные особенности.

Библиографический список

1. Конарева, Л. А. Опыт реструктуризации компаний США и Японии в 90-е годы / Л. А. Конарева // США: экономика, идеология, политика. 1998. № 9.

2. Страхова, Л. Акционирование химических предприятий в современных условиях / Л. Страхова, Г. Бутковская // Менеджмент в России и за рубежом. 1999. № 1.

3. Кордан, К. Пять важных подходов к осуществлению реструктуризации / К. Кордан, Т. Фолмен, М. Ванденборт // Маркетинг. 1999. № 3.

4. Водачек, Л. Реструктурзация – вызов чешским предприятиям / Л. Водачек // Проблемы теории и практики управления. 1999. № 1.

5. Аистова, М. Д. Реструктуризация предприятия: вопросы управления. Стратегии, координация структурных параметров, снижение сопротивления преобразованиям / М. Д. Аистова. М. : Альпина Паблишер, 2002.

6. Архипов, В. Стратегическая эффективность управленческих решений / В. Архипов // Проблемы теории и практики управления. 1996. № 5.

7. Аршакян, Д. Особенности управления социотехническими системами в современных условиях / Д. Аршакян // Проблемы теории и практики управления. 1998. № 5.

T. N. Tarasova

EFFECTIVENESS CRITERIA OF THE ENTERPRISE MANAGEMENT SYSTEM RESTRUCTURING

In the present article the author makes an attempt to determine her position towards the enterprise management system restructuring. The author defines the problem of traditional economic methods used to estimate the level of the management system effectiveness. It is suggested to use special effectiveness criteria as a universal instrument in a situation of management system restructuring.

Keywords: restructure, system of management, effectiveness.

УДК 339.137 + 338.242

Е. А. Якимова

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОПТОВОЙ ТОРГОВЛИ, ОКАЗЫВАЮЩЕГО ДИСТРИБЬЮТОРСКИЕ УСЛУГИ

Рассмотрена методика анализа конкурентоспособности организации, сфера деятельности которой связана с оказанием дистрибьюторских услуг, с учетом специфики данной сферы деятельности. Предложена авторская методика формирования интегрального показателя конкурентоспособности организации, предлагающей услуги дистрибуции.

Ключевые слова: конкурентоспособность организации, методика оценки, дистрибьютор.

Конкурентоспособность предприятия является комплексной характеристикой, отражающей степень превосходства по отношению к конкурентам, и для того чтобы дать оценку организации по данному показателю, необходимо проанализировать основные его составляющие. Таким образом, объектом исследования является совокупность факторов, формирующих конкурентоспособность фирмы-дистрибьютора.

За основу была взята методика оценки конкурентоспособности предприятия на основе теории эффективно-

сти конкуренции. Ряд авторов согласно этой теории предлагают включить в расчет коэффициента конкурентоспособности различные показатели с учетом специфики сферы деятельности предприятия (табл. 1) [1–3].

Приведенные методы оценки в основном используются для анализа уровня конкурентоспособности производственных предприятий, а если речь идет о торговой сфере, то в большей степени – для анализа розничного звена. Однако оценка конкурентоспособности предприятий-дистрибьюторов, относящихся к оптовому звену товародвижения, имеет свои особенности.

Исходя из специфики дистрибьюторской деятельности, необходимо скорректировать перечень параметров, характеризующих конкурентоспособность фирмы. Логика определения этих параметров представлена на рисунке.

В первую очередь, рассмотрим экономическую эффективность деятельности предприятия, оказывающего дистрибьюторские услуги. Для расчетов предлагается использовать интегральный показатель экономической эффективности хозяйственной деятельности предприятия [4]:

$$К_{эд} = \sqrt[3]{Э_{итп} \cdot Э_{фд} \cdot Э_{тд}}, \quad (1),$$

где $Э_{итп}$ – эффективность использования торгового потенциала; $Э_{фд}$ – эффективность финансовой деятельности; $Э_{тд}$ – эффективность трудовой деятельности.

Данный коэффициент является более информативным по сравнению с расчетом показателей финансовой устойчивости предприятия, которые используются в большинстве проанализированных методик. Кроме того, рассчитанные значения коэффициентов, характеризующих финансовое состояние, не всегда однозначны в толковании. В частности, низкое значение коэффициента автономии может свидетельствовать как о слабой финансовой устойчивости и зависимости от внешних кредиторов, так и о высокой степени доверия со стороны кредитных учреждений к организации, что может являться подтверждением конкурентоспособности организации. Коэффициент маневренности в данной сфере деятельности всегда достаточно велик, так как оборотные активы составляют более чем значительную часть совокупных активов предприятия, и поэтому он никак не характеризует степень конкурентоспособности торговой организации и т. д.

Оценивая конкурентоспособность предприятия, предлагающего рынку не товар, а услугу, необходимо оценить ее качество и стоимость.

Конкурентоспособность дистрибьютора во многом определяется качеством его услуг. Для того чтобы оценить это качество, необходимо выявить существенные для клиентов характеристики услуги и проанализировать степень их соответствия требованиям клиентов. В условиях конкуренции главной целью коммерческого предприятия, в том числе в сфере дистрибуции, является получение прибыли, удовлетворяющей фирму, при обеспечении необходимого качества обслуживания клиентов, с одной стороны, и снижении издержек по оказанию услуги, с другой стороны. Оценка конкурентоспособности услуги дистрибьютора, по мнению автора, должна включать в себя ряд этапов, с учетом специфических особенностей данного вида деятельности (табл. 2).

Основная проблема, с точки зрения методологии оценки конкурентоспособности, – это обоснованный выбор перечня показателей, оценив которые, можно сделать заключение о качестве услуги. Для обоснования необходимо рассмотреть сущность потребительной стоимости услуги, опираясь на три ключевых понятия в сфере услуг –

Таблица 1

Сравнительный анализ перечня комплексных показателей, включаемых в расчет конкурентоспособности предприятия

Автор	Методика расчета интегрального показателя конкурентоспособности организации	Характеристика методики
И. П. Чепурной (универсальный показатель без указания отрасли применения)	К = a ?$Э_п$ + b ?$Ф_п$ + c ?$Э_с$ + d ?Кт, где $Э_п$ – значение критерия эффективности производственной деятельности предприятия; $Ф_п$ – значение критерия финансового положения предприятия; $Э_с$ – значение критерия организации сбыта и продвижения; Кт – конкурентоспособность товара; a, b, c, d – коэффициенты весомости критериев	Используя данную методику, невозможно учитывать специфические особенности определенной отрасли, где работает предприятие
М. Г. Миронов (промышленное предприятие)	К = $к_1$?$Э_п$ + $к_2$?$Ф_п$ + $к_3$?$Э_с$ + $к_4$?$К_т$ + $к_5$?Кд, где $Э_п$ – значение критерия эффективности производственной деятельности предприятия; $Ф_п$ – значение критерия финансового положения предприятия; $Э_с$ – значение критерия организации сбыта и продвижения, $К_т$ – конкурентоспособность товара; $К_д$ – значение критерия деловой активности предприятия; $к_1$, $к_2$, $к_3$, $к_4$, $к_5$ – коэффициенты весомости критериев	Данная методика отражает все наиболее важные оценки хозяйственной деятельности промышленного предприятия, исключая дублирование отдельных показателей, позволяет быстро и объективно получить картину положения предприятия на отраслевом рынке
Ш. Магомедов, И. Койчакаев (розничная торговля)	К = $К_э$?$М_э$ + $К_п$?$М_п$ + $К_т$?$М_т$, где $К_э$ – относительная экономическая эффективность предприятия; $К_п$ – степень привлекательности торгового предприятия; $К_т$ – степень привлекательности ассортимента товаров, реализуемых торговым предприятием	Предлагаемые подход к оценке конкурентоспособности предприятия розничной торговли позволяет осуществить всесторонний анализ основных показателей, обеспечивающих их конкурентоспособность и определить главные направления по ее повышению

собственно услуга, обслуживание, условия обслуживания. Учитывая, что в основе оказания дистрибьюторской услуги лежит оптовая торговля, в соответствии с российским стандартом услуга торговли есть результат непосредственного взаимодействия продавца и потребителя; торговое обслуживание – это деятельность продавца при непосредственном контакте с покупателем товара; условия торгового обслуживания – это совокупность факторов, воздействующих на покупателя в процессе торгового обслуживания [5].

На первом этапе, проанализировав литературу по данной проблеме [5; 6], автор статьи предлагает список комплексных и единичных показателей, максимально учитывающих специфику деятельности дистрибьютора (табл. 3). Перечисленные показатели характеризуют все аспекты оценки качества услуги.

Схема формирования конкурентоспособности предприятия-дистрибьютора

Таблица 2

Процесс комплексной оценки конкурентоспособности услуги дистрибьютора

Этапы	Содержание этапа
1 этап	Определение списка комплексных и единичных показателей, необходимых и достаточных для оценки конкурентоспособности дистрибьюторской услуги
2 этап	Описание, уточнение способа расчета каждого показателя, влияющего на конкурентоспособность услуги дистрибьютора
3 этап	Определение значимости (веса) всех показателей с точки зрения обеспечения конкурентоспособности дистрибьюторской услуги
4 этап	Определение критериев оценки каждого показателя
5 этап	Определение фактических значений показателей конкурентоспособности дистрибьюторской услуги
6 этап	Определение значения эталона, принимаемого за базу для сравнения
7 этап	Определение обобщенного показателя конкурентоспособности услуги дистрибьютора (в сравнении фактического значения с эталоном)
8 этап	Определение относительной стоимости услуги
9 этап	Расчет интегрального показателя конкурентоспособности услуги
10 этап	Использование данного показателя для анализа конкурентоспособности предприятия- дистрибьютора

Стоит отметить, что эти показатели комплексные, при этом их составляющие выражаются в различных единицах измерения, что создает определенные трудности в обобщении результатов исследования. Для решения данной проблемы необходимо их выразить в баллах, что позволит сформировать единый коэффициент, характеризующий качество услуги.

Для определения коэффициентов весомости всех показателей конкурентоспособности услуги следует использовать метод экспертных оценок. Рекомендуется нечетное число экспертов – 5, 7 и 9 человек [6].

Далее необходимо рассчитать значение суммы оценок комплексных показателей оцениваемой услуги дистрибьютора:

$$ПК_{ут} = \sum_{i=1}^{n} m_i q_i, \quad (2)$$

где q_i – комплексный показатель i-го свойства; m_i – коэффициент весомости комплексного показателя.

Чтобы сделать вывод об уровне конкурентоспособности дистрибьютора, необходимо сравнить полученную величину с эталонной, в качестве которой можно использовать как данные о конкуренте, так и максимально возможное значение, полученное при оценке комплексных показателей.

На следующем этапе, согласно представленному алгоритму, необходимо определить относительную стоимость данной услуги. Для этого необходимо уточнить процедуру ценообразования и восприятие цены потребителями в данной сфере. Отсутствие производства в данной отрасли предполагает, что цена товара, реализуемого дистрибьютором, равна сумме следующих составляющих: входная цена, затраты и прибыль дистрибьютора, которые равны реализованной торговой наценке. Учитывая это, можно сказать, что стоимость услуги дистрибьютора равна реализованной торговой наценке. А поскольку объемы заказов различны, рассчитаем среднюю стоимость оказываемой услуги, приходящуюся на 1кг продукции:

$$Ц_у = \frac{\sum_{i=1}^{n} тн_i \cdot n_i}{N}, \quad (3)$$

где $тн_i$ – сумма реализованной торговой надбавки по i-му виду продукции, реализуемой дистрибьютором за период, руб.; n_i – количество i-й продукции, реализуемой дистрибьютором за период, кг; N – общее количество проданной продукции за период, кг.

Для того чтобы оценить конкурентоспособность данной услуги с точки зрения ее стоимости, необходимо сравнить полученную величину с той, которую покупатель считает оптимальной, сформированной на основе данных опроса:

$$С = ЦУ_ф / ЦУ_{баз}, \quad (4)$$

где $ЦУ_ф$ – цена услуги дистрибьютора фактическая, руб.; $ЦУ_{баз}$ – цена услуги дистрибьютора, принятая за базу сравнения (оптимальная с точки зрения клиентов), руб.

Показатель конкурентоспособности услуги рассчитывается из отношения обобщенного показателя качества услуги дистрибьютора и относительной стоимости услуги:

$$К = ПК_{ус}/С, \quad (5)$$

где К – коэффициент конкурентоспособности услуги; $ПК_{ус}$ – обобщенный показатель качества услуги; С – относительная стоимость услуги.

Третьим элементом, формирующим интегральный показатель конкурентоспособности дистрибьюторской организации, является эффективность сбытовой деятельности. Оценивая организацию сбыта, необходимо учесть, что этот комплексный показатель в данном случае связан с основным видом деятельности предприятия – формированием товарных запасов и их реализацией. Поэтому его оценку нужно производить более детально, нежели для производственной организации. Для анализа будет использоваться информация о рентабельности продаж,

Таблица 3

Комплексные и единичные показатели для анализа конкурентоспособности услуги дистрибьютора

Комплексные показатели 1-го уровня	Комплексные показатели 2-го уровня	Единичные показатели	Оценка
Услуга (результат)	Рациональность ассортимента предлагаемых товаров	Широта, полнота, устойчивость и обновляемость ассортимента, соответствие структуры ассортимента требованиям потребителей, привлекательность ассортимента	Оценивается каждый единичный показатель по трехбальной шкале (3 – высший бал, 1 – низший)
	Качество реализуемых товаров	Наличие отделов контроля качества реализуемых изделий, наличие приспособленных помещений для хранения и перемещения продукции	
	Соблюдение условий поставки	Соблюдение сроков поставки, точность поставки по видам и качеству товаров	
Качество обслуживания (процесс)	Процесс размещения заявки	Наличие формы активных продаж, наличие и соблюдение графика посещения клиента, консультации клиентов (грамотность, оперативность), индивидуальный подход к клиенту	
	Помощь в продвижении товаров	Обеспечение рекламными материалами, активность стимулирующей деятельности дистрибьютора	
Условия обслуживания	Доступность услуги	Наличие доставки, возможность кредитования, период времени с момента заказа товара до его доставки	
	Гарантийные обязательства	Условия возврата товара	

эффективности рекламы, а информация о степени затоваренности (актуальная для сферы производства) заменена данными о соответствии средних запасов оптимальным. Эта информация нашла отражение в сводном показателе, характеризующем эффективность сбыта:

$$Э_с = a_1 \cdot Р_п + a_2 \cdot К_р + a_3 \cdot К_о \quad (6)$$

где $Р_п$ – коэффициент рентабельности продаж; $К_р$ – коэффициент эффективности рекламы; $К_о$ – коэффициент соответствия средних оптимальных размеров товарных запасов по совокупности наименований товаров средним фактическим товарным запасам; a_1, a_2, a_3 – значимость показателя, которая определяется экспертным методом (сумма равна 1).

Методика расчета первых двух коэффициентов подробно описана в литературе, поэтому остановимся только на расчете коэффициента соответствия средних оптимальных размеров товарных запасов средним фактическим товарным запасам:

$$К_о = \frac{1}{\left|1 - \frac{\bar{З}_{оп}}{\bar{З}_ф}\right|}, \quad (7)$$

где $З_{оп}$ – средние оптимальные запасы, т; $З_ф$ – средние фактические запасы, т.

Коэффициент показывает отклонение фактических товарных запасов от оптимальных в большую или меньшую сторону, которое в равной степени можно оценить как неэффективное. Чем меньше данное значение, тем эффективнее деятельность компании, поэтому для того чтобы рост значений по всем составляющим коэффициента имел однонаправленное толкование, полученный результат необходимо соотнести с единицей.

В качестве четвертого показателя, оказывающего непосредственное влияние на уровень конкурентоспособности организации, автор предлагает оценить степень адекватности выбранной предприятием стратегии, учитывая сложившиеся рыночные условия и его стратегические цели. Для этого необходимо планируемые значения такого показателя, как доля рынка за отчетный период, сопоставить с фактическим результатом. Степень достижения фактического значения показателя до уровня планируемого свидетельствует о правильности выбранной стратегии. Расчет можно произвести по формуле

$$К_{ас} = \frac{1}{\left|1 - \frac{Д_ф}{Д_п}\right|}, \quad (8)$$

где $Д_ф$ – фактическое значение рыночной доли предприятия, %; $Д_п$ – плановое значение доли рынка фирмы, %.

Для обеспечения конкурентоспособности организации необходимо создание и бесперебойное функционирование системы обеспечивающих элементов, основными составляющими которой являются логистика предприятия, отлаженное взаимодействие с поставщиком, персонал компании, информационные технологии и т. д. (см. рисунок).

Таким образом, уровень конкурентоспособности предприятия-дистрибьютора можно рассчитать по формуле

$$К = К_у \cdot a_1 + К_{эд} \cdot a_2 + К_с \cdot a_3 + К_{ас} \cdot a_4, \quad (9)$$

где $К_у$ – конкурентоспособность услуги; $К_{эд}$ – коэффициент экономической эффективности хозяйственной деятельности предприятия; $К_с$ – коэффициент эффективности сбытовой деятельности; $К_{ас}$ – коэффициент, характеризующий степень адекватности выбранной предприятием стратегии с учетом сложившихся рыночных условий и его стратегических целей; a_1, a_2, a_3, a_4 – вес каждого коэффициента.

Таким образом, разработанная автором методика позволяет проанализировать уровень конкурентоспособности предприятия, работающего в сфере дистрибьюторских услуг. При этом учет специфики данной сферы бизнеса позволяет точнее определить место предприятия на рынке относительно конкурентов или идеальной потребительской модели. При условии получения низкого значения рассчитываемого показателя, данная методика позволяет выявить причину снижения конкурентоспособности предприятия с целью ее устранения.

В качестве примера предлагаемую методику используем для расчета коэффициента конкурентоспособности дистрибьютора кондитерских изделий ООО «СКК», функционирующего на рынке Красноярского края (табл. 4). За базу сравнения была взята идеальная модель.

Таким образом, качество оказываемых услуг предприятием в 2007 г. по сравнению с 2006 г. несколько снизилось. После сравнения с относительной стоимостью данной услуги можно сделать вывод о ее конкурентоспособности. Для этого была рассчитана средняя стоимость услуги в отношении 1 кг продукции (табл. 5). Эквивалентом для сравнения стало значение, полученное путем опроса клиентов (на основе приемлемой с точки зрения клиентов рентабельности, которая составила 16 %).

Таким образом, была получена относительная стоимость услуги дистрибьютора ООО «СКК» по сравнению с идеальной, по мнению покупателей, ценой. Стоимость услуги исследуемой компании несколько выше, чем расчетная стоимость, полученная на основе опроса клиентов. Это отразилось на полученном коэффициенте конкурентоспособности услуги ООО «СКК» за 2006–2007 гг. (табл. 6).

Эти значения, которые свидетельствуют о снижении конкурентоспособности услуги ООО «СКК», будут использованы для получения информации о динамике конкурентоспособности самой компании в период 2006–2007 гг.

По предложенной методике были рассчитаны значения, характеризующие оставшиеся элементы, которые формируют конкурентоспособность предприятия ООО «СКК» (табл. 7).

Проведенный анализ свидетельствует о некотором повышении уровня конкурентоспособности дистрибьюторской компании ООО «СКК» по сравнению с предыдущим периодом, которое произошло вследствие роста экономической эффективности, эффективности сбытовой деятельности и корректировки выбранной стратегии.

Таким образом, предлагаемая автором методика анализа конкурентоспособности дистрибьютора учитывает специфику деятельности предприятий в сфере оптовой торговли. Следовательно, в результате ее применения исследователь получает более адекватные результаты, которые в дальнейшем могут быть использованы в процессе управления конкурентоспособностью фирмы.

Библиографический список

1. Магомедов, Ш. Метод оценки конкурентоспособности предприятия розничной торговли / Ш. Магомедов, И. Койчакаев // Маркетинг. 2007. № 5. С. 91–102.

2. Миронов, М. Г. Ваша конкурентоспособность / М. Г. Миронов. М. : Альфа-пресс, 2004.

3. Чепурной, И. П. Конкурентоспособность продовольственных товаров : учеб. пособие / И. П. Чепурной. М. : Маркетинг, 2002.

4. Механизм управления эффективностью деятельности предприятия торгового бизнеса : моногр. / А. Н. Чаплина, Н. Н. Терещенко, Ю. Ю. Суслова и др. ; Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 2005.

5. Лифиц, И. Методология оценки конкурентоспособности услуг торговли / И. Лифиц, О. Ковылина //Маркетинг. 1997. № 3. С. 62–69.

6. Дзахмишева, И. Ш. Методика оценки конкурентоспособности услуг в розничной торговой сети / И. Ш. Дзахмишева // Маркетинг в России и за рубежом. 2004. № 3. С. 93–107.

Таблица 4

Расчет интегрального показателя качества услуги дистрибьютора ООО «СКК» 2006–2007 гг.

Показатель	Вес показателя	Оценка, балл			Значение коэффициента		
		Максимум	2006	2007	Максимум	2006	2007
Итого комплексный показатель 1-го уровня (услуга)	0,55	30	24	22	16,5	13,2	12,1
Итого комплексный показатель 1-го уровня (качество обслуживания)	0,25	18	14	15	4,5	3,5	3,75
Итого комплексный показатель 1-го уровня (условия обслуживания)	0,2	12	11	11	2,4	2,2	2,2
Сумма	–	–	–	–	23,4	18,9	18,05
Интегральный показатель качества услуги	–	–	–	–	–	0,807	0,771

Таблица 5

Расчет относительной стоимости услуги дистрибьютора ООО «СКК» в 2006-2007 гг.

Год	Кол-во продукции, реализованной за год, кг	Себестоимость реализованной продукции с НДС, руб.	Прибыль, руб.	Стоимость услуги на 1 кг продукции, руб.	Расчетная прибыль, % (16 %)	Расчетное значение стоимости услуги на 1 кг (база сравнения), руб.	Относительная стоимость услуги
2006	1 721 927	53 873 922	10 534 298	6,12	8 619 828	5,006	1,222
2007	1 961 523	60 749 475	12 427 771	6,34	9 719 916	4,955	1,279

Таблица 6

Результаты расчета коэффициента конкурентоспособности услуги за 2006-2007 гг.

Год	Интегральный показатель качества услуги	Относительная стоимость услуги	Коэффициент конкурентоспособности услуги
2006	0,807	1,222	0,660
2007	0,771	1,276	0,604

Таблица 7

Результаты расчета коэффициента конкурентоспособности ООО «СКК»

Показатель	Вес показателя	2006	2007
Конкурентоспособность услуги	0,42	0,660	0,604
Экономическая эффективность	0,18	0,571	0,82
Эффективность сбытовой деятельности	0,23	0,184	0,155
Адекватность выбранной стратегии	0,17	0,055	0,166
Интегральный показатель конкурентоспособности ООО "СКК"	1,00	0,431	0,465

E. A. Yakimova

THE ESTIMATION METHOD OF THE WHOLE-SALE TRADE DISTRIBUTION COMPANY COMPETITIVENESS

This article considers the method used to analyze the competitiveness of the organization rendering distribution services. The specific activity of the enterprise is taken into account. The author suggests the technique of the integral index of distribution company competitiveness formation.

Keywords: competitiveness of the organization, estimation method, distributor.

УДК 336.71

Л. В. Кох

ГЛОБАЛИЗАЦИЯ И ГЛОКАЛИЗАЦИЯ В БАНКОВСКОМ БИЗНЕСЕ

Проанализировано влияние процесса глобализации на развитие мирового и российского банковского бизнеса. Приведены факты, подтверждающие усиление данного процесса. Обоснована необходимость признания значительного влияния на банковскую сферу экономики процесса глокализации.

Ключевые слова: глобализация, глокализация, финансовые рынки, банковская сфера, инфокоммуникационные технологии, бизнес-риски, конвертация.

Глобализация финансовых рынков означает, что рынок сегодня воспринимается как взаимосвязанный, взаимозависимый, интегрированный, не имеющий границ. Современные информационные технологии являются главной предпосылкой появления глобального финансового рынка. По данным журнала «The Economist», в начале XXI в. около 40 тыс. действующих в мире транснациональных корпораций оптимизируют свои затраты на основе глобальной стратегии. Мировой оборот этих компаний соответствует примерно величине валового национального продукта США.

Банковская сфера не остается в стороне от данных глобальных перемен в мировой экономике. Более того, банки вынуждены приспосабливаться к нуждам клиентов, особенностям их бизнеса и образа жизни в условиях глобальной экономики.

По уровню глобализации финансовая отрасль сегодня опережает все области реальной экономики. На глобальном финансовом рынке взаимодействуют мировые финансовые рынки и финансовые организации. Ось, вокруг которой вращается мировое банковское дело и финансы, проходит через Нью-Йорк, Лондон и Токио.

Результатом процесса глобализации в банковской сфере стало расширение сферы деятельности банков за пределы национальных границ, сопровождающееся созданием сети зарубежных филиалов, с одной стороны, и ростом числа иностранных банков, появляющихся на территории государства, с другой стороны.

Первые признаки глобализации проявились в середине 1960-х гг. Будучи законодательно ограниченными в зарубежном кредитовании, банки США «изобрели» зарубежные отделения, которые позволили им кредитовать филиалы американских компаний, действующих на Общем рынке. Вслед за американскими свое присутствие на «чужих» территориях стали расширять крупнейшие европейские, а позже японские банки.

Первая волна создания международных банковских союзов была вызвана так называемым «большим взрывом» 1986 г., в результате которого была реорганизована Лондонская фондовая биржа и права собственности над старинными британскими торговыми банками и лондонскими биржевыми брокерами приобрели американские и европейские банковские организации. В 1988–1989 гг. после «маленького взрыва» на Мадридской фондовой бирже началась вторая волна создания международных банковских союзов и подготовка к образованию единого рынка финансовых услуг в Европе, который активно и успешно действует сегодня, особенно учитывая процесс создания единого европейского рынка и образование «зоны евро».

В банковской сфере увеличивается количество слияний и поглощений, расширяются и становятся более разнообразными формы кооперации банков между собой и небанковскими кредитно-финансовыми организациями. Чтобы выдержать давление конкуренции, банки вступают в стратегические альянсы, участвуют в различных консорциумах, осуществляют синдицированное кредитование и т. п.

Начало банковским слияниям в США положило ослабление государственного регулирования и крах многочисленных сберегательных учреждений в 1980-х гг. Тенденция консолидации, развившаяся в банковском бизнесе в начале 1980-х гг., ускоренными темпами продолжалась в 90-х гг. и не потеряла своей актуальности в начале XXI в. Так, например, в США в период 80–90-х гг. прошлого века было отмечено 7 773 банковских слияний: 3 129 в 1980-х гг. и 4 644 в 1990-х гг. Консолидация, идущая в США со скоростью 313 (1980-е гг.) и 464 (1990-е гг.) слияний в год, оказалась процессом в два раза более быстрым, чем консолидация в предыдущие 45 лет.

Историческим можно назвать слияние 1998 г., которое привело к созданию «Citigroup», крупнейшего банка в США и в мире (с активами 2,2 трлн долларов). Десять лет назад слияние «Citigroup», которое включало «Citicorp» и страховую и инвестиционную финансовую компанию «Travelers Group», было названо газетой «Financial Times» знаковым, поскольку оно должно было «перестроить мировые финансы». Сумма сделки составила 166 млрд долларов. Сделка вернула надежду на появление глобального «финансового магазина», который мог предлагать клиентам разнообразные продукты на основе единой платформы. Кроме того, для Соединенных Штатов эта сделка означала окончание действия закона Гласса-Стигалла, который запрещал объединять под одной крышей коммерческие и инвестиционные банки.

Данные о наиболее крупных по стоимости банковских слияниях в США с 1995 по 2000 гг. приведены в табл. 1 [1. С. 82].

Процесс консолидации в банковском секторе США продолжается и в XXI в. «Bank of America» в 2004 г. объявил о поглощении «FleetBoston Financial». Сделка стоимостью 43 млрд долларов сделала «Bank of America» вторым по величине банком США. Слияние «Bank of America» и «FleetBoston Financial» стало крупнейшим событием подобного рода с 1998 г., когда «NationsBank» приобрел «BankAmerica» и создал «Bank of America». До слияния «Bank of America» занимал третье место в об-

щем национальном банковском рейтинге, а «FleetBoston Financial» – седьмое. С общим объемом активов в 933 млрд долларов, новое объединение вытеснило со второго места «Morgan Chase & Co» с их 793 млрд долларов и стало главным преследователем «Citigroup», объем активов которого составляет 1,21 трлн долларов. Однако в июне 2004 г. банковская компания «J. P. Morgan Chase» завершила сделку по приобретению «Bank One». Сделка, стоимость которой оценивается в 58 млрд долларов США, вернула банку «J. P. Morgan» второе место в банковской индустрии США. Мегаслияния крупнейших банков США изменяют архитектуру мировой банковской сферы и ускоряют процессы слияние банков в Европе и Азии. В результате этих операций лидеры финансового рынка «Citigroup», «J. P. Morgan Chase» и «Bank of America» сконцентрировали в своих руках активы на общую сумму в 3 200 млрд долларов США. Это означает, что отныне в США существует три банка, с рыночной капитализацией свыше 100 млрд долларов каждый.

Процесс слияния и поглощения изменил структуру банковского сектора экономики и в Японии. Наиболее значимые для экономики Японии слияния коммерческих банков приведены в табл. 2.

В результате этих слияний и поглощений во главе второй по величине банковской отрасли мира находятся три мегабанка с активами на общую сумму более 2,5 трлн долларов. «Mitsubishi UFJ» «Financial Group», «Mizuho Financial Group» и «Sumitomo Mitsui Financial Group» – крупнейшие по совокупному объему активов и универсальные по характеру продуктов, предоставляемых на рынок финансовых услуг, холдинговые альянсы, которые в начале XXI в. стали олицетворять банковскую отрасль Японии.

«Mizuho Financial Group» в составе ведущих финансовых институтов Японии «Dai-ichi Kangyo Bank» (DKB), «Fuji Bank», «Industrial Bank of Japan» (IBJ) и «Yasuda Trust and Banking Company» является крупнейшей по активам (140 трлн иен, что приблизительно равно ВВП Франции) банковской группой в мире. Входящие в нее институты удачно дополняют финансовый опыт друг друга: DKB и «Fuji Bank» специализируются на коммерческих кредитах; IBJ располагает ценным опытом в сфере инвестиционных банковских услуг. Значительная часть их интересов – это участие в кредитовании высокотехнологического сектора и сферы телекоммуникаций.

В группу «Sumitomo Mitsui Financial Group» входят «Sakura Bank» (результат слияния в 1990 г. «Mitsui Bank» и «Taiya-Kobe Bank») и «Sumitomo Bank». После объединения крупнейших городских банков, которое завершилось в июне 2001 г., совокупные активы группы достигли 927 млрд долларов, что вывело ее на третье место в мире среди финансовых учреждений.

В альянс альянсов и невиданную в мировой финансовой истории по масштабу операцию превратился завершившийся к началу 2006 г. союз уже холдинговых по своей структуре групп «Mitsubishi Tokyo Financial Group» (в составе крупнейших банков «Bank of Tokyo Mitsubishi» и «Mitsubishi Trust and Banking Corpration») с «UFJ Group» («Sanwa Bank» и «Tokai Bank Tokyo» и присоединившаяся к ним «Trust and Banking Company»). Данный альянс, именуемый сегодня как «Mitsubishi and United Financial of Japan Holdings», в настоящее время известен как крупнейшее в мире банковско-финансовое объединение.

Активно идет процесс укрупнения банковского капитала и у другого представителя Азиатско-Тихоокеанского финансового рынка – южнокорейского банковского

Таблица 1

Наиболее значительные банковские слияния в США

Дата объявления	Рейтинг	Покупатель	Целевая компания	Стоимость, млрд долл.
13.09.2000	4	Chase Manhattan	J. P. Morgan & Co.	34,3
30.04.1999	10	Firstar	Mercantile Bancorp	10,6
14.03.1999	7	Fleet Financial	BankBoston	15,9
08.06.1998	3	Norwest	Well Fargo Capital	34,3
13.04.1998	5	Bank One	First Chicago NBD	29,6
06.04.1998	1	Travelers	Citicorp	72,5
03.04.1998	2	Nationsbank	Bank of America	61,6
18.11.1997	6	First Union	Core States Fin.	17,1
29.08.1997	8	NationsBank	Barnett Bank	14,8
30.08.1996	12	NationsBank	Boatsmen's Bank	9,6
28.08.1995	11	Chemical Banking	Chase Manhattan	10,4
18.10.1995	9	Well Fargo	First Interstate	10,9

Таблица 2

Крупнейшие слияния конца 90-х гг. XX в. в Японии

Участники слияний	Наименование объединенной структуры	Активы участников слияний, млрд долл.
Industrial Bank of Japan, Dai Ichi Kangyo and Fuji Bank	Mizuho Financial Group	1 342 351
Sumitomo Bank, Sakura Bank	Sumitomo Bank/Sakura Bank	877 977
Bank of Tokyo, Mitsubishi Bank	Mitsubishi Tokyo Financial Group	804 008

Примечания: см. Guzman M. G. The Economic Impact of Bank Wstructure: A Review of Recent Literature // Economic and Financial Review. 2000. Vol. 2. P. 12.

сектора. В 2006 г. южнокорейский рынок слияний и поглощений переживал подъем, так как многие корейские организации и предприятия, которые подвергались тщательной реструктуризации после азиатского финансового кризиса 1997–1998 гг., были выставлены на продажу. Общая сумма сделок подобного рода в 2006 г. превысила 20 трлн вон (21,25 млрд долларов). Среди крупных поглощений – покупка местного банка «KorAm Bank» американской финансовой корпорацией «Citigroup» и «Korea First» – британским банком «Standard Chartered». Однако и сами южнокорейские банки пытаются расширить географию своего присутствия путем поглощения небольших зарубежных банков. Например, в планах крупнейшего по объему активов и рыночной капитализации банка Южной Кореи «Kookmin Bank» – выход на рынки Вьетнама, Индонезии, России, Китая и Индии. За последние несколько лет «Kookmin Bank» получил большую прибыль благодаря успешному ведению бизнеса за границей, так что теперь он собирается активизировать свою деятельность в этих странах и найти подходящие кредитные организации для поглощения. Второй по величине активов южнокорейский банк «Shinhan» также активно наращивает свой капитал путем слияний. В 2007 г. им была приобретена финансовая компания «LG Card».

Южнокорейский банковский рынок сегодня является выгодным местом для вложения средств, ведь консолидация все еще продолжается. Эксперты предсказывают дальнейший рост числа слияний среди банков и между банковскими и небанковскими организациями. «Shinhan» и «Kookmin Bank» намерены продолжать увеличивать свой капитал путем слияний и поглощений и в дальнейшем. Чтобы эффективно конкурировать с глобальными институтами, они будут рассматривать возможности новых поглощений на внутреннем рынке и расширения международной экспансии.

Увеличение размеров банков на основе слияний и присоединений, а также их кооперация с другими финансовыми институтами преследует цель укрепления конкурентных позиций на национальном уровне и завоевание новых сфер влияния на международном. Не миновал этот процесс и европейский банковский бизнес.

Крупнейший французский банк «BNP Paribas SA» в 2008 г. дал согласие на покупку подразделения Bank of America Corp, предоставляющего брокерские услуги. Таким образом, французский банк расширяет свое присутствие на финансовом рынке США. Сумма сделки составит 300 млн долларов. Французский банк имеет все возможности для того, чтобы стать одним из международных лидеров в предоставлении брокерских услуг.

В сентябре 2008 г. «Commerzbank» объявил о намерении купить у страховой группы «Allianz Dresdner Bank» за 9,8 млрд евро. Немецкий банковский сектор на втором месте по численности после США, в нем функционируют более 2 000 банков, поэтому слияния и поглощения здесь только предстоят. Слияние пойдет на пользу немецкой банковской системе, будет способствовать ее консолидации. Необходимо отметить, что в целом еврозона показывает положительную динамику по слияниям и поглощениям.

В начале сентября 2006 г. «UniCredit Group» – третья в Европе по величине рыночной капитализации (65 млрд евро) банковская группа – успешно завершила процесс слияния двух своих банков в Румынии. Созданный в результате интеграции двух крупнейших финансовых организаций страны – «HVB Bank Romania» и «Banka Tiriac» – финансовый институт получил название «HVB Tiriac Bank». Он занимает четвертую строчку в рейтинге румынских банков. Объединение «HVB Bank Romania» и «Banka Tiriac» стало первым шагом на пути полной консолидации активов группы в Румынии. Следующим этапом интеграции запланировано слияние «HVB Tiriac Bank» и «UniCredit Romania», которое перейдет под контроль центральноевропейского субхолдинга «UniCredit Group».

В России сегодня достаточно активно идет процесс проникновения зарубежных банков на финансовый рынок путем покупки акций коммерческих банков. Действующие кредитные организации с участием нерезидентов расположены в 35 субъектах Российской Федерации, почти 65 % от их общего количества находятся в Москве. Общая сумма инвестиций нерезидентов в уставные капиталы действующих кредитных организаций на 1 января 2007 г. составила более 90 млрд. руб. За 2006 г. она увеличилась на 82 % за счет регистрации трех новых кредитных организаций со 100 %-м участием нерезидентов в уставном капитале (ООО «Америкэн Экспресс Банк», ООО «Ю Би Эс Банк», ЗАО «Банк оф Токио-Мицубиси ЮФДжей (Евразия)»).

В России процесс слияния и поглощения в банковском секторе экономики также был обусловлен государственным регулированием, а именно, повышением в 2001 г. требований со стороны Банка России к величине капитала банка (не менее 5 млн евро) и упрощением в 2003 г. процедуры слияния и поглощения.

В 2007 г. стоимость сделок по слиянию и поглощению в банковском секторе составила 2,6 млрд долларов США, в 2006 г. – 3 млрд долларов США, однако уже в 2008 г. наблюдается некоторое сокращение стоимостного объема сделок при росте их числа. В последующие годы эта тенденция сохранится. Ключевую роль здесь играют не последствия кризиса ликвидности, а отсутствие доступных для покупки крупных банков.

Основными тенденциями на рынке слияний и поглощений банковского сектора в 2007 г. оставались дальнейшая внутренняя консолидация отрасли, экспансия российских банков в регионы и на рынки стран СНГ, а также экспансия иностранного капитала на российский рынок.

На сегодняшний день значительная доля объема и количества сделок по слиянию и поглощению приходится на крупные банки (порядка 11 % в стоимостном объеме и порядка 23 % по количеству), которые в рамках стратегии развития продолжают консолидировать активы. Внутренние покупки обусловлены процессами реорганизации банковских групп (Конверсбанк, объединение «Связь-Банка» и Русского индустриального банка), расширением клиентской базы за счет ключевых региональных клиентов (Газпромбанк – Кредит Урал Банк), а также расширением филиальной сети (покупка банком «Зенит» Сочигазпромбанка, Связьбанком – Геленджик-Банка).

Важной тенденцией 2007 г. была дальнейшая экспансия иностранного капитала, которая продолжилась, несмотря на кризис ликвидности. В 2007 г. повышенный интерес международных финансовых институтов к рос-

сийскому банковскому сектору привел к ряду масштабных сделок. На рынок вышли новые игроки, например, приобретение Абсолют Банка бельгийским банком «KBC Bank» (стоимость сделки составила порядка 1 млрд долларов США). Общее число банков, полностью контролируемых иностранными юридическими лицами, увеличилось до 86.

Также ведущие российские крупные банки (например Альфа-Банк, Внешторгбанк и другие) стремятся усилить свои позиции на внешних рынках, приобретая финансовые компании в соседних с Россией странах (Казахстан, Армения, Украина и другие страны СНГ). Так, Внешторгбанк купил Славнефтьбанк в Белоруссии, Газпромбанк – Арэксимбанк в Армении, Внешэкономбанк – Белвнешэкономбанк (Белоруссия). При этом, если раньше российские игроки создавали дочерние структуры в странах СНГ для обслуживания интересов своих крупных клиентов, то сейчас они руководствуются совсем иными мотивами: сегодня российские банки нацелены на создание полноценных банковских структур с целью извлечения максимальной прибыли от перспективных рынков.

Определенное влияние на активность иностранных банков по поглощению и консолидации активов в России может оказать также опыт уже прошедших через весь этот процесс игроков, в первую очередь Райффайзенбанка. Отношение к этому опыту может быть различным, поскольку он имеет и положительную, и отрицательную сторону. С одной стороны, сам процесс консолидации активов после покупки может привести к целому ряду негативных последствий, в первую очередь, связанных с временным снижением эффективности обеих структур. Но даже если происходит потеря эффективности, есть существенный положительный эффект – заметный рост масштабов бизнеса и статуса финансовой организации. Покупка Райффайзенбанком Импэксбанка позволила активному игроку Австрии и Германии занять одну из ведущих позиций на новом для него российском рынке банковских услуг. На сегодняшний день Райффайзенбанк в мировом банковском рейтинге занимает 8-е место по чистым активам и 5-ю строчку по прибыльности.

Помимо банков интерес к российским активам данного сектора продолжают проявлять инвестиционные банки и финансовые группы. Эта тенденция прослеживалась уже в 2007 г. Так, крупнейшей сделкой стала покупка IFC 50 % МДМ-Банка за 184 млн долларов США. Были и другие сделки: «Merrill Lynch» приобрела холдинг, консолидировавший активы банка Траст, за 100 млн долларов США, Восточно-Европейская финансовая корпорация купила Новосибирсквнешторгбанк (стоимость сделки составила порядка 100 млн долларов США), а также ряд других. В будущем можно ожидать и других покупок со стороны различных финансовых институтов.

По мнению аналитиков «Интерфакса» даже учитывая то, что 40 из 60 наиболее известных западных игроков уже вышли на российский рынок, покупки иностранцами российских банков продолжатся в условиях усиления конкуренции с целью увеличения присутствия в регионах.

Продолжающаяся консолидация в банковском бизнесе в XXI в. обусловлена стремлением банков:

– увеличить свою долю на рынке;

– преумножить капитал банка;

–реструктуризировать розничный банковский бизнес;

– консолидировать ресурсы банка для создания новых банковских продуктов;

– усилить конкурентоспособность банка на рынке.

Таким образом, ключевыми тенденциями развития глобальных интеграционных процессов в современном финансовом секторе явились следующие: концентрация финансового, в первую очередь, банковского капитала путем реализации конкурентной стратегии слияний и поглощений и развитие стратегических альянсов. Система управления организациями, входящими в стратегический альянс, высокоинтегрирована и опирается на широкое использование инфокоммуникационных технологий. Интернет-технологии расширили инфокоммуникационные возможности, повысили качество и многократно сократили время принятия и реализации бизнес-решений. Современное развитие инфокоммуникационных технологий способствовало унификации и стандартизации банковских операций, превращению их в так называемый «финансовый супермаркет».

Однако одновременно с процессами глобализации в экономике наблюдается и другая тенденция – более пристальное внимание к национальным (культурным и этническим) особенностям страны.

По мнению известного английского социолога Р. Робертсона, глобальное не может быть противопоставлено локальному, универсальное частному. Локальное является аспектом глобализации, глобальное создает локальное. Традиционные виды деятельности, характерные для локальных обществ, исчезают, на их место приходят другие виды деятельности, далекие от этих локальных контекстов. Поэтому Р. Робертсон предлагает заменить для большей точности термин «глобализация» «глокализацией». Он составлен из двух слов – глобализация и локализация – для подчеркивания их взаимного осуществления в настоящее время. Глокализация – это своего рода метафора, указывающая на то, что глобальное не исключает локального и наоборот. Существует много способов практической глокализации, включающей комбинации локального и глобального [2]. Не обошел процесс глокализации и финансовую сферу. В 1990-х гг. Мировой Банк признал параллельное существование тенденций локализации и глобализации и стимулировал исследования, раскрывающие сущность управления в формирующихся глокальных пространствах. С нашей точки зрения, глокализация затронула в первую очередь региональные банки трансграничных территорий. Крепкие региональные банки, не «дотягивающиеся» до уровня транснациональных банков, используя инструменты глобальной экономики, такие как слияние и поглощение, создают альянсы, которые играют все более заметную роль в экономике отдельных территорий своих государств, тем самым, сглаживая, а иногда и разрушая финансовые границы и создавая новые финансовые территории с новыми финансовыми границами.

Следует также отметить влияние экономических и национальных особенностей на структуру, а иногда и на идеологию банковских продуктов. Особенно показателен

здесь пример работы английских банков с клиентами, исповедующими ислам.

«Islamic Bank of Britain» имеет штаб-квартиру в Бирмингеме и розничные отделения в Лондоне, Манчестере и городах Северной и Центральной Англии со значительным мусульманским населением. Основанный в сентябре 2004 г. банк пытается удовлетворять спрос на финансовые продукты, отвечающие требованиям шариата, со стороны двухмиллионной мусульманской общины Британии. Все продукты, предлагаемые банком, оформлены так, что они не предусматривают выплату процентов (запрещенную Кораном). Вместо этого выплачивается «доля прибыли». Ипотечные продукты оформлены как сделки купли-продажи, в которых банк выступает посредником между продавцом и конечным покупателем недвижимости. Шариат предписывает равное распределение бизнес-рисков между всеми участниками делового процесса и запрещает вложения в бизнес, связанный с алкоголем, азартными играми или порнографией. В 2005 г. о своем намерении развивать у себя линию соответствующих продуктов заявили сразу несколько английских банков. В марте 2006 г. британское министерство финансов заявило о намерении создать максимально комфортные условия для деятельности банков, предлагающих услуги в соответствии с нормами шариата. По мнению аналитиков, Лондон сегодня превращается в настоящий магнит для исламской финансовой активности, банкиры из стран Ближнего Востока чувствуют себя здесь все более комфортно.

Есть и менее значимые примеры влияния локальных особенностей территорий на банковские продукты. Автокредитование как банковский продукт получило широкое распространение по всей сети российских банков. Однако Владивосток – центр торговли подержанными (японскими) автомобилями – потребовал пересмотра традиционной технологии автокредитования, ориентированной на покупку новых автомашин через салоны. В том же Приморском крае, граничащем с Китайской Народной Республикой, уже давно существует взаимная конвертация национальных валют – российского рубля и китайского юаня (для мирового финансового рынка обе валюты неконвертируемые). В приморских банках китайский юань можно свободно обменять на рубли и наоборот. В приграничных китайских городах российский рубль является законным платежным средством наряду с американским долларом и даже более предпочтительным. Банкоматы китайских банков в приграничных с Приморским краем районах выдают наличные деньги по пластиковым карточкам российской платежной системы «Золотая Корона».

Таким образом, анализируя влияние глобализации на мировой банковский бизнес и отмечая ее ключевую роль в развитии интеграционных процессов в финансовой сфере, следует признать факт наличия не просто глобализации, а именно глокализации, в мировом и российском банковском бизнесе.

Библиографический список

1. Синки, Дж. Финансовый менеджмент в коммерческом банке и в индустрии финансовых услуг / Дж. Синки. М. : Альпина Бизнес Букс, 2007.

2. Федотова, Н. Н. Кризис идентичности в условиях глобализации / Н. Н. Федотова // Человек. 2003. № 6.

L. V. Kokh

GLOBALIZATION AND GLOCALIZATION IN THE BANKING BUSINESS

The article analyzes globalization process influence on the development of the world and Russian bank business analyzes. The facts confirming strengthening of the given process are mentioned. The necessity of the considerable influence recognition on economy bank sphere of glocalization process is proved.

Keywords: globalization, glocalization, financial markets, bank sphere, infocommunication technologies, business risks, converting.

УДК 332.145

А. А. Казаков

ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Рассмотрены проблемы формирования региональной программы развития биоэнергетики, основные направления ее разработки на основе программно-целевого подхода. Выявлены особенности развития данной отрасли экономики, характерные для Красноярского края.

Ключевые слова: биоэнергетика, региональная программа, методический подход, пеллеты.

На сегодняшний день биоэнергетика является инновационным направлением развития экономики. Красноярский край обладает большим потенциалом для ее развития.

Существует множество программ и проектов развития биоэнергетики как в нашем регионе, так и в России в целом. Но большинство из них так и остаются только на бумаге, и в основном это вызвано поверхностным планированием реализации данных проектов и недостаточно полным рассмотрением всех особенностей, связанных с данной отраслью.

Для разработки комплексной программы развития биоэнергетики больше всего подходит программно-целевой подход, который позволяет находить эффективные и экономичные варианты решений экономических проблем. Это связано с тем, что в процессе взаимного согласования целей, программных мероприятий и ресурсных потребностей осуществляется не только их взаимная подгонка, но и вариантный анализ путей решения проблемы и видов используемых для этого ресурсов.

В статье рассмотрен методический подход к формированию региональной программы развития биоэнергетики на основе программно-целевого подхода с выявлением ее особенностей, характерных для данной отрасли экономики.

Разработка программы должна начинаться с определения целей и задач. При разработке программы в области биоэнергетики необходимо учитывать, что цели, как и все программы, можно разделить на три типа.

Первый тип – это разработка программы развития всех направлений отрасли биоэнергетики. В этом случае цель определяет лишь общее направление развития области биоэнергетики и, возможно, указывает на определенные приоритеты развития. Конкретное направление развития отдельных отраслей биоэнергетики (например, лесопромышленного комплекса, торфяной отрасли) должно быть определено в подцелях программы. Подцели должны предусматривать меры по развитию каждой конкретной отрасли.

Второй тип – это разработка программы развития только одной отрасли биоэнергетики на уровне региона или нескольких регионов. В этом случае цель должна содержать общее направление данной отрасли, а подцели – определять конкретные направления развития данной отрасли.

Третий тип – это разработка программы развития производства биотоплива для территории одного или нескольких соседних муниципальных образований. В этом случае цель должна содержать конкретное направление развития биоэнергетики или производства программной продукции. Если цель определена достаточно точно, то подцели могут отсутствовать.

Именно четко поставленная цель и, следовательно, четко определенные требования реализации программы являются средством для их достижения. В случае если цель или подцели определены недостаточно четко, их достижение будет значительно затруднено или в отдельных случаях невозможно.

При определении задач и мероприятий для программы развития биоэнергетики необходимо, чтобы в процессе их постановки выполнялось несколько условий. Каждая задача должна быть связана с подцелями либо с основной целью, в случае, если для данного направления развития отсутствует подцель. Но важно, чтобы задачи при этом являлись именно задачами, а не подцелями для данного направления развития.

Мероприятия должны разрабатываться как конкретные действий по реализации поставленных задач. Например, если задача определена как стимулирование развития предприятий лесопромышленного комплекса, то мероприятия для данной задачи могут быть определены как поиск инвесторов для развития предприятий лесопромышленного комплекса, разработка мер по стимулированию развития предприятий лесопромышленного комплекса путем предоставления налоговых льгот и т. д.

Недопустимо определение задач без соответствующих им мероприятий, так как в этом случае поставленные задачи не могут быть решены, потому что не определены конкретные пути их реализации.

Целью разработки программы развития биоэнергетики в Красноярском крае является повышение рентабельности лесной отрасли в целом за счет переработки отходов лесозаготовок.

Подцелями программы в этом случае являются:

– повышение объема переработки древесных отходов для повышения рентабельности предприятий лесоперерабатывающего комплекса;

– создание инфраструктуры для развития биоэнергетики;

– продвижение биотоплива на потенциальные рынки сбыта.

Задачи программы развития биоэнергетики в Красноярском крае следующие:

– разработка мер по привлечению инвестиций в лесной комплекс Красноярского края;

– обеспечение необходимым оборудованием для производства биотоплива;

– разработка мер, стимулирующих переработку отходов лесозаготовок;

– установка оборудования для обеспечения переработки отходов в местах лесозаготовок с целью их обеспечения электрической и тепловой энергией;

– создание дорог к отдаленным местам лесозаготовок для обеспечения возможности вывоза отходов лесозаготовок;

– исследование потенциальных рынков сбыта биотоплива для определения соответствия требований к качеству продукции и технологических возможностей производства;

– разработка мер по созданию логистической цепочки для обеспечения доставки пеллет до рынков сбыта с минимальными затратами;

– поиск возможных посредников в случае невозможности самостоятельного обеспечения доставки товаров до конечных рынков сбыта.

Особенностью разработки программы развития биоэнергетики в Красноярском крае является региональный аспект. В отличие от большинства стран с теплым климатом на территории Сибири период, когда возможен рост растений, на основе которых производится биотопливо, составляет всего несколько месяцев, из-за этого по экономическим причинам использование этих растений в качестве биотоплива нецелесообразно. Наиболее оптимальным для этих целей является использование отходов лесной отрасли, на основе которых возможно производство пеллетов.

В условиях малого развития биоэнергетики важной составляющей программы ее развития является инвестиционная часть. При разработке инвестиционной части следует учитывать, что важной особенностью программы развития биоэнергетики является поверхностное представление потенциальных инвесторов о возможностях развития данной отрасли и получения прибыли от инвестиций. Поэтому инвестиционная часть должна начинаться не с общих слов об инвестиционной программе, а с разработки бизнес-плана, основанного на точных расчетах необходимых инвестиционных ресурсов, сроках и размерах получения возможной прибыли.

В настоящее время невозможно финансирование биоэнергетики только за счет частных инвестиций – необходимо государственно-частное партнерство. Со стороны государства должна быть создана инфраструктура для производства биотоплива, что повысит инвестиционную привлекательность данной отрасли. Также возможно государственное финансирование как в виде частичного субсидирования процентных ставок по кредитам, привлекаемым для развития отрасли биоэнергетики, особенно для небольших и новых производств, так и за счет предоставления налоговых льгот для предприятий, производящих биотопливо.

Также важной особенностью разработки программы развития биоэнергетики является четкое определение конкретных мероприятий по привлечению инвестиций, потому что в большинстве существующих программ развития биоэнергетики инвестиционная часть является самой слабопроработанной и ограничивается лишь общими словами о необходимости повышения инвестиционной привлекательности отрасли биоэнергетики.

В связи с низкой востребованностью биотоплива в России, важной составляющей реализации программы является внешнеэкономическая деятельность. Традиционным рынком для российских производителей остается европейский рынок, который развивается очень быстро и характеризуется значительным превышением спроса над предложением. Основным программным продуктом, который произведен на основе биотехнологий в Сибири и может продаваться в Европе, являются пеллеты.

Производители часто недооценивают сложности, связанные с выходом на потребительский рынок гранул в Западной Европе. Даже опытные предприниматели не учитывают, что конечная розничная цена включает в себя:

– затраты и прибыль всех оптовых посредников, осуществляющих транспортировку, аккумулирование и распределение партий, проверку и гарантирование качества биотоплива, стоимость товарного кредита розничным продавцам и т. д.;

– затраты и прибыль розничных торговцев, включая маркетинг, брендинг, торговые площади, организацию доставки потребителям и т. д.;

– налог на добавленную стоимость, другие налоги и платежи в стране реализации;

– стоимость розничной упаковки.

Кроме того, выход на розничный рынок западноевропейских стран осложняется большим количеством административных барьеров, связанных с лицензированием, сертификацией, регистрацией компаний и т. д. При этом, частные потребители и изготовители бытовых котлов для топливных гранул предъявляют высокие требования к качеству гранул, которые зачастую невыполнимы для российских производителей в силу загрязненности сырья и технического уровня производства.

Основной ошибкой при разработке сегодняшних программ и бизнес-планов является то, что они не учитывают требования к качеству пеллет на европейском рынке и существенную дифференциацию в цене в зависимости от этого качества.

Дифференциация пеллет по качеству зависит от технологий их производства. Пеллеты, изготавливаемые из чистой древесины, без коры и прочих отходов, стоят значительно дороже тех пеллет, в процессе производства которых не происходит отделение древесины от коры и отходов лесозаготовок. Стоимость таких пеллет значительно ниже.

Следует учитывать, что сейчас в Европе не существует единого стандарта, а действуют системы сертификации и стандарти-зации в отдельных странах. Европейский комитет по стандартизации с 1999 г. осуществляет проект CEM (T5 335), участниками которого являются европейские страны. Сейчас уже опубликованы 30 Технических спецификаций (T5 335 001–335 030), которые после проработки и одобрения к 2009 г. должны быть утверждены в качестве стандартов.

При выходе на европейский рынок следует учитывать следующие особенности стандартов качества в различных странах. В Швеции гранулы делятся на три группы: первая (гранулы наивысшего качества), вторая и третья (промышленные). Основное отличие гранул первой, второй и третьей группы состоит в золь-ности. Так, пеллеты первой группы должны иметь зольность ниже 0,7 %, а второй и третьей группы – менее 1,5 %. Отличается также теплота сгорания, влажность, плотность и длина гранул. Влажность «белых» гранул должна быть не больше 10 %, а влажность промышленных гранул может быть на 2 % больше. В Германии также несколько стандартов, самый

требовательный их них отличается тем, что допустимая теплота сгорания составляет порядка 18 МДж/кг, а в Швеции – порядка 16,9 %. Также существуют отличия по плотности. В Великобритании есть два стандарта – на качественные и на стандартные пеллеты. В Австрии действует один стандарт, который просто делит гранулы на гранулы с добавлением коры и без ее добавления.

В Дании, являющейся крупным потребителем пеллет, не было разработано ни национальных стандартов, ни правил для характеристики качества пеллет при продаже потребителю. Единственный законодательный акт в этой области – «Постановление о биомассе», согласно которому пеллеты должны производиться только из чистой древесины без каких-либо примесей. Разрешено максимальное содержание клея до 1 % (например, плиты из древесных волокон), но на практике содержание клея желательно не иметь. Нет никаких требований по влажности и зольности – характеристикам, чрезвычайно важным для сжигания гранул. Покупатели пеллет часто спрашивают документы, где описаны качественные характеристики продукции, т. е. заключение об анализе гранул.

Центры по анализу соз-даны как в европейских странах, так и в России. В зависимости от того, с какими западными партнерами работают производители гранул, они получают один или несколько документов на гранулы. Наличие подобного заключения играет роль как при определения цены, так и заключении контрактов. Но среди зарубежных рынков, кроме европейского, существует еще два рынка для сбыта пеллет – это рынки Японии и Китая. В последние годы в Японии значительно повысился спрос на пеллеты, что делает эту страну, лишенную собственных запасов каких-либо видов топлива, одним из самых привлекательных рынков, учитывая, что географически он более близок, чем европейский рынок. Но существенным недостатком японского рынка являются его жесткие требования к качеству продукции, так же как и на европейском рынке.

Рынок Китая является гораздо более привлекательным, чем японский рынок. На нем отсутствуют такие жесткие требования к качеству пеллет, что позволяет свободно поставлять пеллеты, производимые в России, на этот рынок. Так же следует учитывать значительный рост потенциального рынка сбыта и его географическую близость к России.

При разработке программы развития биоэнергетики следует точно определить рынки сбыта и соответствия производимой продукции требованиям качества на этих рынках с учетом дифференциации по качеству продукции. При этом следует учитывать, что малейшее отклонение от требований качества ведет к существенному снижению рыночной стоимости продукции. Еще одним важным направлением внешнеэкономической деятельности является закупка оборудования за рубежом. Если в начале зарождения рынка гранул российский бизнес использовал в основном подержанное оборудование, то сегодня закупает, как правило, новые заводы. Так же при разработке программы следует учитывать, что ни один российский пеллетный завод еще не вышел на плановую мощность, которую заявляет в документах. Ряд предприятий не работает из-за технологических и иных причин.

В научно-проектном блоке программы следует предусмотреть поддержку и развитие науки путем предоставления заказов на наукоемкие технологии в области переработки древесины и торфа. Также должно быть предусмотрено создание производств по глубокой переработке древесины и торфа и получение на их основе ценной продукции. Эти производства должны сочетаться с другими производствами (нефтехимическими, лесоперерабатывающими и энергетическими).

При научной разработке программы следует учитывать, что конечным результатом научно-исследовательских работ должны быть не рекомендации, а завершенные научные разработки, которые могут быть внедрены на практике.

При разработке логистического блока необходимо учитывать, что российское производство гранул сегодня ориентировано на зарубежный рынок. Европейско-уральская часть страны продает гранулы в основном в Европу. На Дальнем Востоке странами-покупателями российского биотоплива выступают, как правило, японские компании.

Одним из самых сложных вопросов, связанных с организацией преимущественно экспортно-ориентированного производства топливной гранулы, является транспортировка произведенных гранул зарубежным потребителям. Для продукта, розничная цена которого редко превышает 200 евро за тонну (чуть более 1,5 м^3), а отпускная цена на производстве – 60–80 евро за тонну, эффективность транспортно-логистических операций является одним из ключевых факторов рентабельности. Затраты на доставку пеллет от производителя к потребителям могут составлять до 50 % себестоимости. Экономия в 1 евро за тонну для крупного производителя за год даст выигрыш, величиной в десятки тысяч евро и при этом составит всего 3–4 % затрат на логистику.

Создаваемая логистическая цепочка будет непременно включать в себя несколько операций. От того, кто, каким образом и в каком порядке будет выполнять эти операции, зависит себестоимость биотоплива, поставляемого потребителю, а следовательно, и совокупная масса прибыли, получаемой всеми участниками цепочки. При планировании логистической цепочки следует учитывать, что на текущий момент более 50 % всех топливных гранул, производимых в России, отправляется на экспорт через порты Финского залива, и основная доля – через Морской порт Санкт-Петербурга. Остальные объемы либо доставляются европейским покупателям и потребителям грузовым автотранспортом, либо отгружаются через порты стран Балтии, которые предлагают поставщикам гибкие условия сотрудничества и портовое обслуживание по низким ставкам.

Систематическая отгрузка российских топливных гранул через черноморские порты пока не осуществляется. Это связано с тем, что производство топливных гранул в южных регионах России начало развиваться позднее, чем на северо-западе и в центре России. И спрос на биотопливо в странах Северной Европы до 2006 г. был значительно выше, нежели в Италии, Греции, Испании и других странах Средиземноморского бассейна. С 2006 г. ситуация начала меняться. Возможно, в будущем на Черном море начнется систематическая перевалка биотоплива южно-европейским покупателям и потребителям.

На сегодняшний день экспортный рынок обрел определенную достаточно стабильную структуру. В Санкт-

Петербургском порту постоянно действует 3–4 «канала», через которые российские гранулы судовыми партиями отправляются крупным промышленным потребителям в Западную Европу.

За несколько лет были выработаны логистические и коммерческие технологии организации экспорта топливных гранул с помощью морского транспорта как в биг-бэгах (полипропиленовых мешках), так и насыпью в трюмах судов. Эти технологии включают в себя процедуры, связанные с накоплением биотоплива от разных поставщиков, приемкой и проверкой качества биотоплива, продажей таких «сборных» партий по долгосрочным контрактам и т. д. Сегодня в рамках конкуренции между каналами сбыта и покупателями биотоплива условия бизнеса становятся все более привлекательными для производителей.

Крупные потребители готовы и хотят работать по прямым контрактам – непосредственно с производителями биотоплива в России, что теоретически должно обеспечивать им минимизацию закупочных цен. Однако такой подход сопряжен с целым рядом рисков, которые в конечно счете могут свести выигрыш к нулю. Часто производители находятся на значительном удалении от портов отгрузки, а организовать перевозку гранул по территории России под силу далеко не каждому европейскому покупателю. Доставка и обработка грузов в порту также требует особого внимания и тщательной проработки. Например, задержка отгрузки на одни сутки чревата убытками в сумме нескольких тысяч евро. Такая деятельность и риски «по карману» только крупным и в то же время достаточно динамичным игрокам.

Еще одна проблема заключается в том, что, чаще всего, общий потенциальный объем закупки биотоплива одним потребителем в этом сегменте превышает не только объем производства самого крупного российского завода, но и объем выпуска всей российской биотопливной отрасли. В результате, такие компании закупают гранулы одновременно у нескольких поставщиков, что приводит к усложнению контрактных взаимоотношений и логистических операций, а также к жесткой конкуренции между покупателями.

Также важным этапом разработки программы является определение перечня и характеристики ресурсов, необходимых для реализации программы. В ресурсном разделе программы должны быть определены объем и содержание ее обеспечения материальными, энергетическими, трудовыми, финансовыми и информационными ресурсами, включая капитальные затраты. Необходимо учитывать, что в совокупность ресурсов входят как прямые затраты на получение конечной программной продукции, так и косвенные затраты в смежных производствах, на исследования и разработки, на реализацию и потребление целевого продукта программы, на создание условий, обеспечивающих нормальное течение воспроизводственного цикла.

При определении перечня ресурсов, необходимых для реализации программы, важно планировать необходимый объем не только финансовых ресурсов, но и, учитывая специфику программы развития биотоплива, энергетических и трудовых ресурсов.

При разработке программы развития биоэнергетики большую роль играет географический и климатический аспект. В большинстве периодических изданий при оценке перспектив развития отрасли биоэнергетики, в связи с малым отечественным опытом, исходят из зарубежного опыта. В основном изучается опыт стран с более теплым климатом, чем Россия и особенно Сибирь. Разрабатывая программу развития биоэнергетики для условий Сибири или отдельных ее регионов, следует учитывать, что при существующем температурном режиме очень затруднительно получение биотоплива из растений, которые дают зеленую массу только в теплое время года, а это большинство растений, из которых получают биоэтанол за рубежом. В географических условиях Сибири, с экономической точки зрения, оптимальнее всего в качестве основы для производства биотоплива использовать древесную массу в связи с ее большим количеством, высоким качеством и возможностью производства биотоплива на ее основе весь год.

Также очень важно точно определить потребности в трудовых ресурсах и возможности их обеспечения в районах производства продукции. Производство биотоплива может осуществляться как в крупных промышленных городах, так и непосредственно в районах лесозаготовок. В первом случае, обеспечение трудовыми ресурсами не является серьезной проблемой в связи с наличием большого количества специалистов в лесной области.

В случае, если производство продукции осуществляется в районах лесозаготовок, то проблема обеспечения высококвалифицированными кадрами стоит особенно остро, что вызвано сложностями организации технологического процесса и требованиями к эксплуатации оборудования.

Подводя итог, необходимо отметить, что разработка эффективной программы развития биоэнергетики возможна только при четко определенных целях, задачах и мероприятиях по ее реализации, при достаточно точном расчете инвестиционного блока, при разработке логистической цепочки, которая учитывает все виды расходов, связанных с продвижением программной продукции, а также иных особенностей, рассмотренных в данной статье и характерных для Красноярского края.

A. A. Kazakov

PROBLEMS OF THE REGIONAL PROGRAM OF BIOENERGETICS DEVELOPMENT FORMING

The paper considers problems of the regional program of bioenergetics development forming and the basic directions of its development on the program-target approach basis with revealing peculiarities of the given economy branch development typical for Krasnoyarsk region.

Keywords: bio-energetics, a regional program, a methodical approach, pellets.

УДК 330.332.54

Г. И. Юрковская

ИНСТРУМЕНТЫ ОЦЕНКИ ИСПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА ДЛЯ ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Представлены результаты исследования теоретических основ оценки исполнения проекта на проектно-ориентированных предприятиях. Предложены инструменты оценки исполнения проекта, более полно учитывающие специфические особенности объекта исследования.

Ключевые слова: управление проектами, оценка исполнения проекта, инструменты оценки исполнения проекта, принципы оценки исполнения проекта, проектно-ориентированные предприятия, затраты проекта.

В современных условиях ведения бизнеса, развития инноваций и инвестиций, все большее число предприятий становится проектно-ориентированными, представляя свою деятельность как совокупность взаимосвязанных проектов. Основной причиной этой тенденции является необходимость быстрой адаптации к динамично меняющимся внешним условиям с целью обеспечения высокого уровня конкурентоспособности предприятия.

Эффективность деятельности проектно-ориентированного предприятия во многом зависит от исполнения его отдельных проектов. Исполнение должно регулярно измеряться и анализироваться, для того чтобы выявлять отклонения, определять их влияние на проект и принимать обоснованные управленческие решения. В этой связи большое значение имеет оценка исполнения проекта как оценка его результатов, одним из которых являются затраты проекта.

Анализ проблем оценки исполнения проекта на проектно-ориентированных предприятиях позволил сделать следующие выводы:

1. Оценка исполнения проекта отождествляется с оценкой исполнения фазы реализации (оценкой процесса создания продукта проекта), а результаты других фаз (концепции, разработки и завершения), равно как и процесс управления проектом, осуществляющийся на протяжении всего жизненного цикла, остаются за пределами оценки. Как следствие, бюджет проекта преимущественно определяется величиной затрат на создание продукта на фазе реализации, большая часть затрат на управление проектом в бюджет не включается, искажаются реальные финансовые результаты проекта; контроль затрат проекта ведется преимущественно на фазе реализации, определенная часть затрат остается вне зоны контроля, а значит вне зоны оценки, анализа и регулирования.

2. Существующие инструменты оценки исполнения проекта не в полной мере учитывают особенности проектно-ориентированных предприятий, например, такие как разграничение процессов получения продукта и управления проектом, регламентированный процесс управления, структурированный жизненный цикл и др. В результате, отсутствует выделение затрат по фазам жизненного цикла, а значит отсутствуют показатели, которые позволяют устанавливать ответственность команды проекта в рамках каждой фазы за полученный результат, также отсутствует выделение затрат на производство продукта и управление проектом, что делает невозможным сравнительный анализ эффективности управления отдельным проектом.

3. При проведении оценки не детализируется зона ответственности команды проекта в отношении результатов каждой фазы. Как следствие, члены команды, выполняющие проект на фазе реализации, фактически несут ответственность за все несоответствия, возникающие в процессе исполнения проекта.

Для решения отмеченных выше проблем необходимо разработать инструменты оценки исполнения проекта, более полно учитывающие особенности проектно-ориентированных предприятий.

Под проектно-ориентированным предприятием в работе понимается предприятие, деятельность которого представлена совокупностью взаимосвязанных проектов, реализуемых в рамках регламентированного процесса управления и структурированного жизненного цикла специально созданными организационными структурами (командами проекта).

В результате исследования были выделены следующие особенности проектно-ориентированных предприятий:

– их деятельность представлена совокупностью взаимосвязанных проектов;

– команда проекта выступает в качестве основного элемента организационной структуры управления;

– наличие системы управления проектами;

– разграничение процессов получения продукта и управления проектом;

– наличие регламентированного процесса управления проектом;

– структурированный жизненный цикл проекта (ЖЦП);

– проекты рассматриваются в качестве объектов бюджетирования.

Выделенные особенности были положены в основу разработанных инструментов оценки исполнения проекта по затратам.

Исполнение проекта – это выполнение плана проекта на всех фазах его жизненного цикла. При этом, под выполнением плана проекта понимается не только выполнение предметно-ориентированных работ по созданию продукта на фазе реализации, но и выполнение четко структурированных и регламентированных мероприятий, составляющих процесс управления проектом на всех фазах его жизненного цикла. В ходе исследования было определено место оценки исполнения проекта в системе управления проектами: этот процесс принадлежит к группе процессов контроля исполнения проекта и является одним из вспомогательных процессов анализа исполне-

ния проекта. Оценка исполнения проекта заключается в оценке результатов проекта на протяжении всего жизненного цикла путем сравнения фактических и плановых показателей для установления отклонений с целью обеспечения эффективности системы управления проектами.

В рамках исследования были введены следующие допущения:

1) в качестве критерия оценки исполнения проекта выступают затраты как один из наиболее важных результатов проекта;

2) предполагается соблюдение прочих результатов проекта (качества, сроков) или их изменение в пределах установленных допустимых отклонений.

Выбор затрат проекта в качестве критерия оценки объясняется следующими причинами. Во-первых, высокий уровень конкуренции приводит к сокращению жизненного цикла продукта и вынуждает предприятия осуществлять инвестиции в инновационные проекты. В условиях быстрой смены требований необходимо постоянно на протяжении всего жизненного цикла проекта соотносить уровень затрат с уровнем ожидаемого эффекта. Во-вторых, создание качественной базы данных по затратам проекта позволит ускорить процесс и повысить точность планирования затрат последующих аналогичных проектов, а также даст возможность получить представление об уровне затрат на каждой фазе жизненного цикла и затрат на управление проектом. В-третьих, появится возможность определять границы финансовой ответственности команды проекта за полученный результат, в том числе промежуточный, соотносить фонд стимулирования с величиной перерасхода затрат, находящейся в границах ответственности команды.

Этим обоснован выбор затрат в качестве критерия оценки и введено новое понятие – «оценка исполнения проекта по затратам», под которым понимается определение и интерпретация показателей, характеризующих полученный результат проекта на основе стоимости использованных ресурсов, учитывая их назначение, потребление по фазам жизненного цикла и ответственность команды проекта за возникающие отклонения.

На основе выделенных особенностей проектно-ориентированных предприятий и выявленных проблем оценки исполнения проектов были определены и обоснованы принципы оценки исполнения проекта по затратам (табл. 1).

Сформулированные принципы указывают на необходимость качественно иной группировки затрат для оценки исполнения проекта на проектно-ориентированных предприятиях.

Анализ показал, что существующие подходы к декомпозиции проектных затрат не позволяют выстраивать показатели в разрезе фаз жизненного цикла и назначения затрат. Для решения отмеченных выше проблем были выделены признаки декомпозиции затрат с целью оценки исполнения проекта и предложена классификация затрат по выделенным признакам:

– по фазам жизненного цикла проекта выделяются следующие затраты фазы: концепции; разработки; реализации и завершения (за основу автором был принят базовый вариант жизненного цикла проекта);

– по назначению затраты подразделяются: на производство продукта проекта; управление проектом; финансирование проекта.

Затраты на производство продукта возникают на фазе реализации, а затраты на управление проектом и финансирование осуществляются на всех фазах жизненного цикла проекта.

Предложенная декомпозиция затрат более полно учитывает особенности проектно-ориентированных предприятий и дает возможность выстраивать показатели оценки исполнения проекта в разрезе фаз жизненного цикла и назначения затрат.

Проведение оценки исполнения проекта на основе предложенной декомпозиции затрат требует соответствующей методики планирования этих затрат. В связи с этим автором была разработана методика, которая позволяет

Таблица 1

Принципы оценки исполнения проекта по затратам, учитывающие особенности проектно-ориентированных предприятий

Особенности проектно-ориентированных предприятий	Требования к оценке исполнения проекта	Принципы оценки исполнения проекта по затратам
Разграничение процессов создания продукта и управления проектом	Оценка исполнения проекта должна проводиться как в отношении процесса создания продукта, так и в отношении процесса управления проектом	Принцип декомпозиции затрат по назначению
Структурированный жизненный цикл проекта	Оценка исполнения проекта должна проводиться для каждой фазы (этапа) жизненного цикла проекта, обеспечивая тем самым возможность оценки промежуточного результата проекта	Принцип декомпозиции затрат по фазам жизненного цикла проекта
Регламентированный процесс управления проектом		
Команда проекта – основной элемент организационной структуры управления	Оценка исполнения проекта должна, с одной стороны, позволять устанавливать границы ответственности команды проекта за полученный результат, в том числе промежуточный, что является важным в силу непостоянства состава команды проекта, а с другой стороны, привлекать других участников проекта (заказчика, инвесторов, поставщиков и др.) к процессу принятия решений	Принцип патисипативности

планировать затраты проекта по фазам жизненного цикла и назначению. Алгоритм разработанной методики представлен на рис. 1.

Процесс планирования затрат начинается с идентификации фаз жизненного цикла проекта, а именно, определения моментов начала и окончания каждой фазы. Каждая фаза жизненного цикла предполагает получение измеряемого, проверяемого результата, на создание которого были использованы соответствующие ресурсы. Для каждой фазы жизненного цикла формируется перечень регламентированных мероприятий по управлению проектом и перечень технологических работ по созданию продукта на фазе реализации. Полный перечень мероприятий по управлению проектом (регламент) является основой для последующего определения затрат на управление проектом; структурная декомпозиция работ (СДР) является основой для последующего определения затрат на производство продукта проекта. Для всех плановых мероприятий и работ определяются виды ресурсов, необходимых для их выполнения, и соответствующие им виды затрат.

Проведение декомпозиции затрат на прямые и косвенные необходимо для того, чтобы более точно учесть косвенные затраты на ресурсы, которые были использованы проектом. На основе плановых объемов потребления требуемых видов ресурсов и их стоимости определяются суммы прямых и косвенных затрат на проект. При расчете суммы косвенных затрат необходимо использовать объемы потребления внутренних ресурсов предприятия и установленные показатели их стоимости.

На основе суммы прямых и косвенных затрат определяется объем финансовых ресурсов, необходимых для выполнения соответствующей фазы жизненного цикла, разрабатывается стратегия финансирования, рассчитываются затраты на финансирование проекта.

Определяется величина затрат каждой фазы с учетом их декомпозиции по назначению – на производство продукта, управление проектом и финансирование. После этого проводится расчет общей суммы затрат проекта и формирование системы плановых показателей.

Процесс планирования затрат проекта носит итеративный характер и осуществляется по мере поступления информации, позволяющей реально оценить трудоемкость мероприятий по управлению проектом и работ по созданию продукта. Предложенная методика планирования затрат проекта позволяет сформировать систему плановых показателей по затратам с целью оценки исполнения проекта.

Влияние факторов внешней и внутренней среды на проект в ходе его исполнения вызывает определенные отклонения затрат. Для определения места возникновения факторов и границ ответственности команды проекта за отклонения затрат, была разработана их классификация (табл. 2). Предложенная классификация факторов по зоне ответственности команды проекта позволяет выявить влияние на затраты проекта тех факторов, действие которых было вызвано объективными обстоятельствами, соответственно, факторы, возникающие в результате отклонения затрат, находятся за границами ответственности команды проекта. Признак классификации по зоне ответственности команды проекта на определенной фазе жизненного цикла дает возможность устанавливать границы ответственности команды в разрезе фаз жизненного цикла. Признак классификации по месту возникновения необходим для установления принадлежности факторов к конкретной фазе жизненного цикла проекта, что дает возможность предъявлять отклонения затрат тем членам команды, в границах ответственности которых они находятся. При проведении оценки исполнения проекта величина плановых и фактических затрат должна быть скорректирована с учетом выявленного влияния факторов.

На основе выделенных особенностей проектно-ориентированных предприятий и соответствующей классификации затрат автором была разработана методика оценки исполнения проекта, основанная на декомпозиции затрат по фазам жизненного цикла и назначению (рис. 2). Алгоритм разработанной методики состоит из трех основных частей: предварительной оценки исполнения проекта, исследования причин возникновения отклонений и итоговой оценки исполнения проекта:

1. Предварительная оценка исполнения проекта предполагает определение плановых и фактических значений затрат по фазам жизненного цикла и назначению и проведение планового и фактического анализа с целью определения величины отклонений.

2. Исследование причин возникновения отклонений предполагает выявление факторов, вызвавших отклонения затрат проекта на каждой фазе жизненного цикла с последующей их классификацией по следующим признакам:

– зоне ответственности команды проекта (на фазе ЖЦП);

– месту возникновения.

Факторы, находящиеся в границах ответственности команды проекта, подлежат дальнейшему рассмотрению и подразделяются по зоне ответственности команды, выполняющей проект на определенной фазе ЖЦП. Если эти факторы находятся в границах ее ответственности, то величина отклонения остается в фактических затратах этой фазы и команда будет отвечать за возникшие отклонения.

Таблица 2

Классификация факторов, оказывающих влияние на изменение затрат в процессе исполнения проекта

Признак классификации	Классификация факторов
По зоне ответственности команды проекта (на фазе ЖЦП)	Находящиеся: – в зоне ответственности команды проекта (на фазе ЖЦП); – вне зоны ответственности команды проекта (на фазе ЖЦП)
По месту возникновения (принадлежности к фазе ЖЦП)	Возникающие на фазе: – концепции; – разработки; – реализации; – завершения

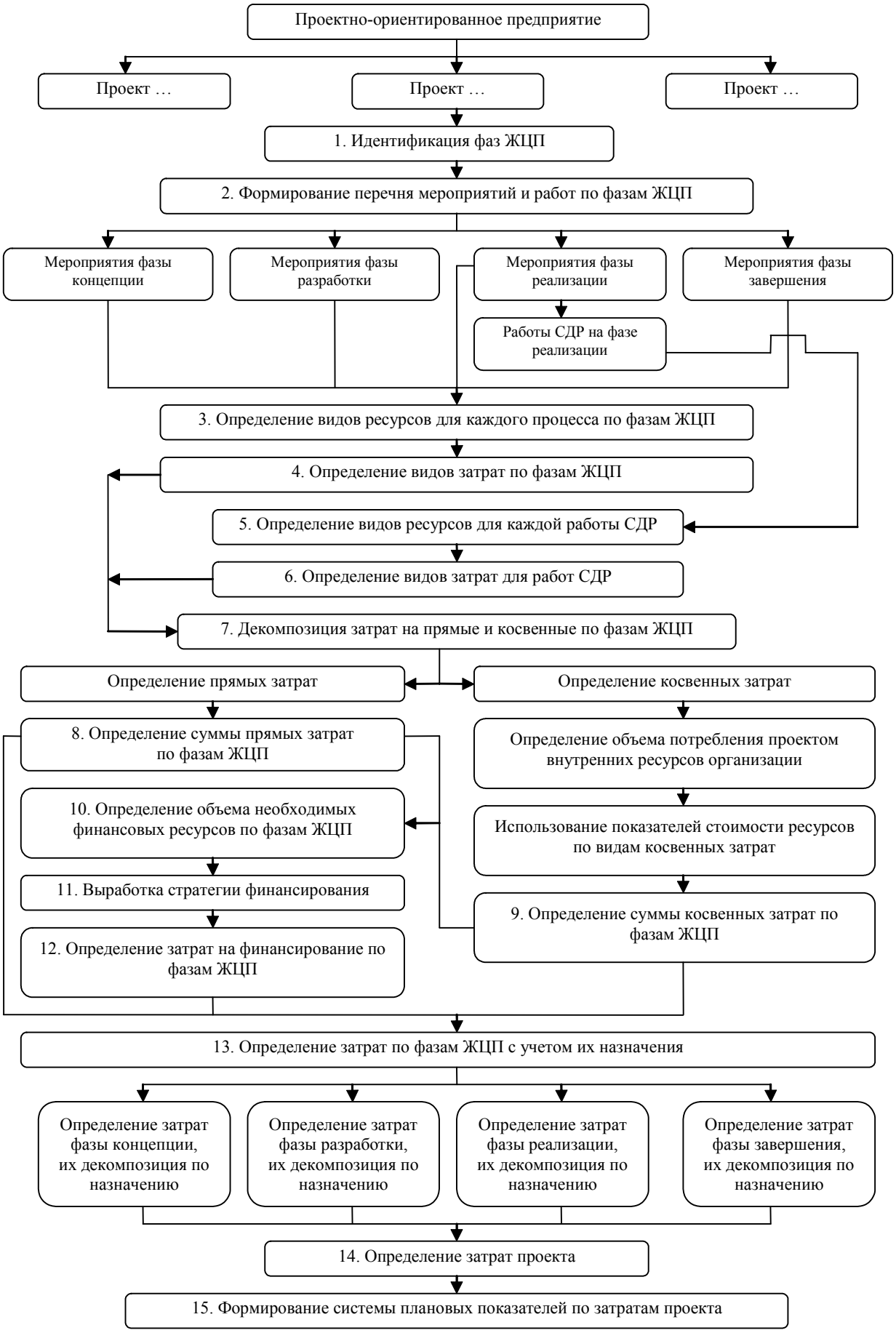


Рис. 1. Этапы методики планирования затрат проекта,
основанной на декомпозиции затрат по фазам жизненного цикла и назначению

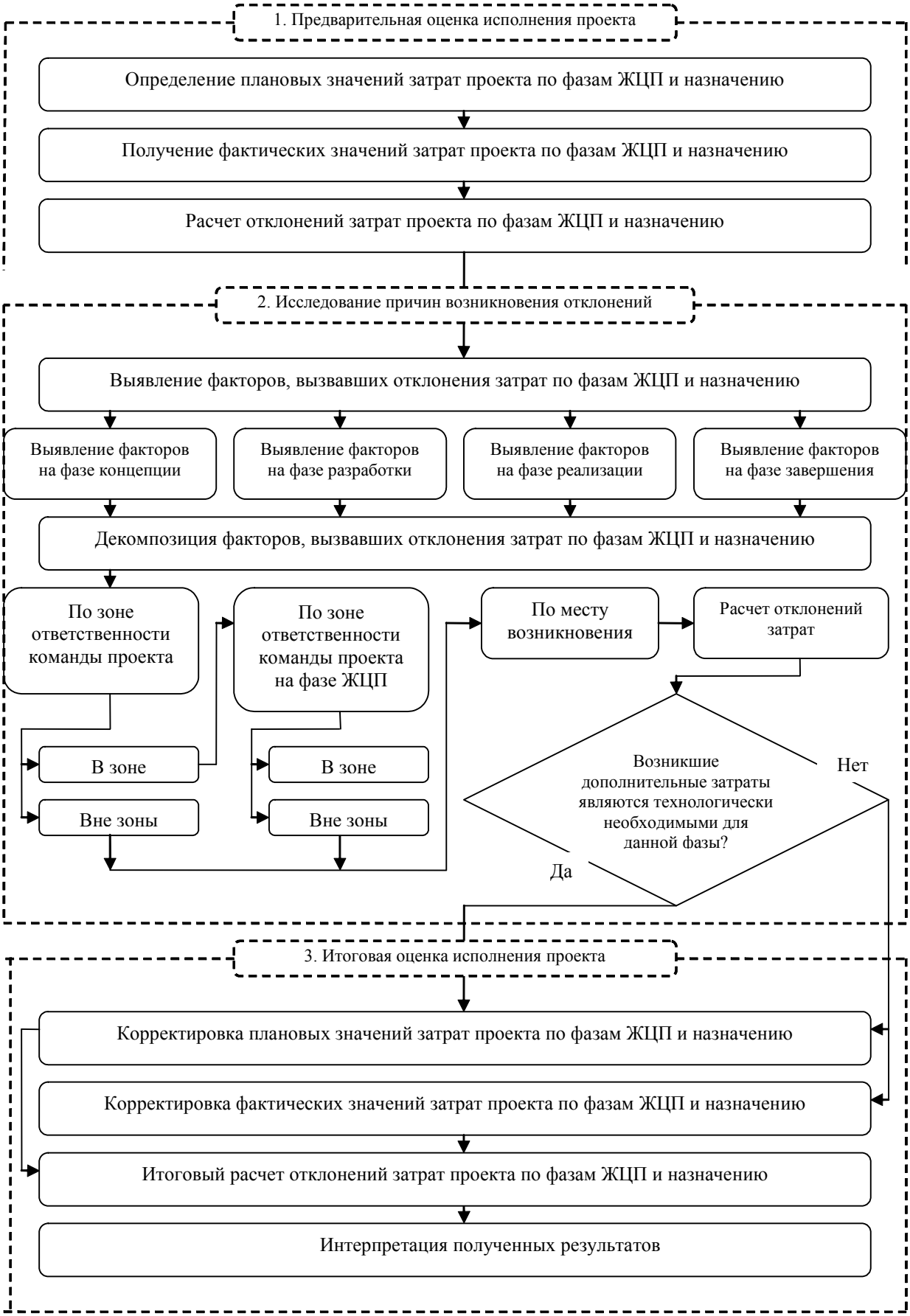


Рис. 2. Этапы методики оценки исполнения проекта,
основанной на декомпозиции затрат по фазам жизненного цикла и назначению

Если факторы находятся вне зоны ее ответственности, то необходимо определить место их возникновения (принадлежность к фазе ЖЦП) и установить ответственность за отклонения затрат для тех членов команды проекта, в зоне ответственности которых они находятся. В случае, когда команда, выполняющая проект на данной фазе, не несет ответственности за отклонения затрат, но возникшие дополнительные затраты являются технологически необходимыми для этой фазы, необходимо предусмотреть корректировку плановых затрат данной фазы на величину отклонения. Если возникшие дополнительные затраты не являются технологически необходимыми для этой фазы, необходимо предусмотреть корректировку ее фактических затрат на величину отклонения.

3. Итоговая оценка исполнения проекта предполагает проведение корректировки плановых и фактических затрат по фазам жизненного цикла и назначению на основе выявленного влияния факторов и итоговый расчет величины отклонений (рис. 3) с интерпретацией полученных результатов.

Рассчитанные на этапе итоговой оценки исполнения проекта абсолютные и относительные показатели позволяют определять величину отклонения затрат, находящуюся в границах ответственности команды на определенной фазе жизненного цикла, а также величину отклонения затрат на производство продукта, управление проектом и финансирование. Это делает возможность оценить полученный результат проекта на основе стоимости использованных ресурсов, учитывая их назначение, потребление по фазам жизненного цикла и ответственность команды проекта за возникающие отклонения.

Разработанная методика оценки исполнения проекта по затратам для проектно-ориентированных предприятий позволяет:

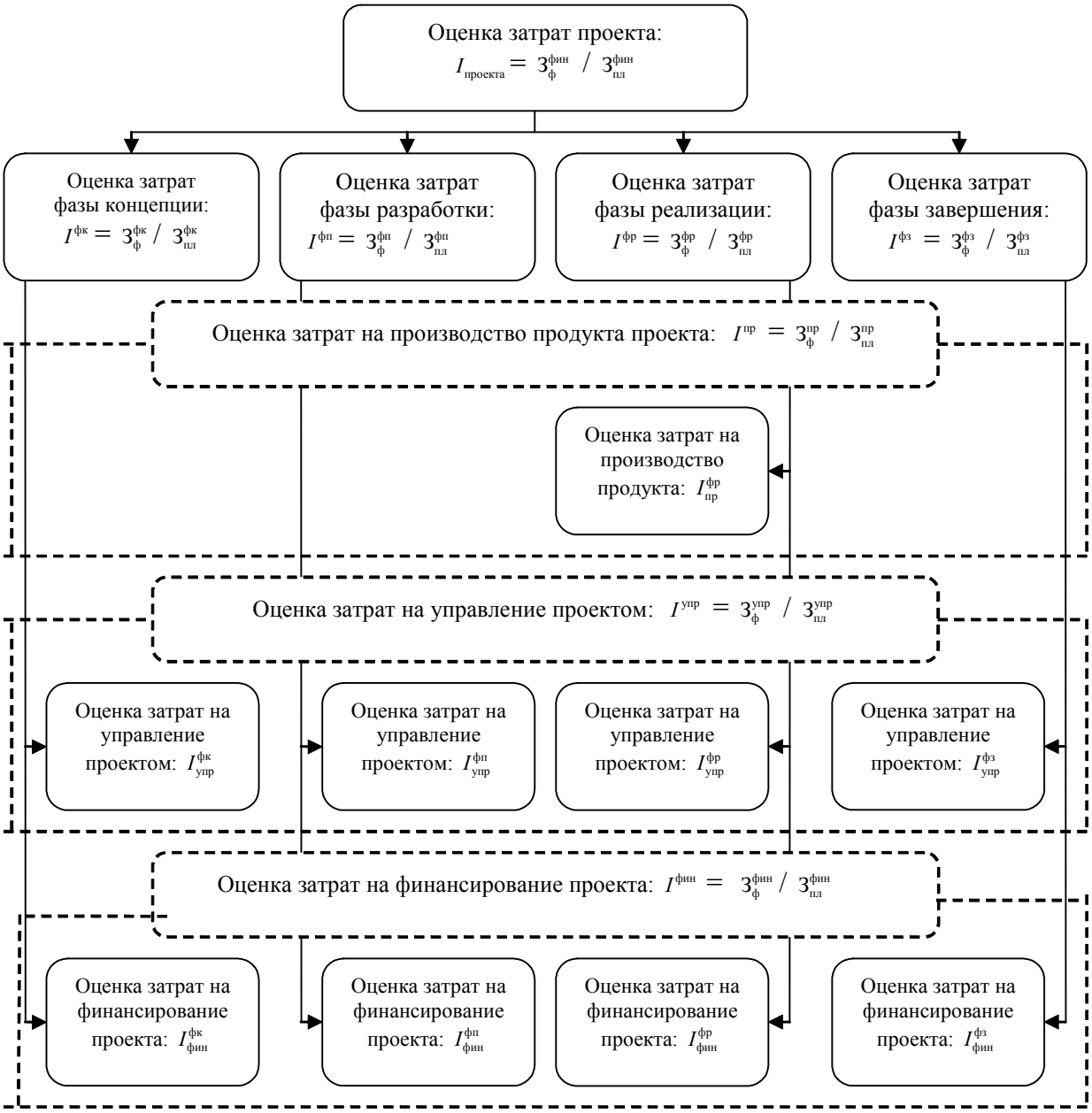


Рис. 3. Система относительных показателей оценки исполнения проекта, основанной на декомпозиции затрат по фазам жизненного цикла и назначению

– определять величину затрат каждой фазы и проводить оценку влияния их изменения на изменение общей величины проектных затрат;

– выделять величину затрат на производство продукта (результата) проекта, управление проектом и проводить оценку влияния их изменения на изменение общей величины проектных затрат;

– устанавливать ответственность команды каждой фазы за отклонения затрат, возникающие в процессе исполнения проекта;

– проводить сравнительный анализ отклонений затрат с целью повышения эффективности управления проектами;

– интерпретировать полученный результат проекта на основе стоимости использованных ресурсов, учитывая их назначение, потребление по фазам жизненного цикла и ответственность команды проекта за возникающие отклонения.

Предложенные инструменты оценки исполнения проекта по затратам были апробированы на примере проекта «Создание АИИС КУЭ ОАО „Кузбассэнергосбыт”» (АИИС КУЭ – автоматизированная инженерно-информационная система контроля и учета электроэнергии), реализуемого проектно-ориентированным предприятием ООО «Спецэлектромонтаж».

G. I. Yurkovskaya

THE TOOLS OF THE PROJECT FULFILLMENT EVALUATION FOR PROJECT-ORIENTED ENTERPRISES

The paper represents the research results of the theoretical base of the project realization evaluation at project-oriented enterprises. The author offers the instruments taking into account in a full form the peculiarities of the project-oriented enterprises.

Keywords: project management, project fulfilment evaluation, the instruments of project fulfilment evaluation, principles of project fulfilment evaluation, project-oriented enterprises, cost of the project.

УДК: 339.137.2

Г. Я. Белякова, В. В. Новиков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ РАЙОНОВ НОВОГО ОСВОЕНИЯ

Рассмотрен концептуальный подход к кадровому обеспечению инвестиционных проектов в условиях инвестиционной активности регионов и нарастающей их конкуренции за ресурсы, в том числе трудовые.

Ключевые слова: региональная экономика, инвестиционный проект, система управления, район нового освоения.

В российской экономике в настоящее время отсутствует эффективно действующая региональная система управления кадровым обеспечением инвестиционных проектов. Осознание необходимости новых подходов по отношению к кадровому обеспечению приходит по мере реализации активной инвестиционной деятельности на разных уровнях управления. Отечественный и зарубежный опыт планирования и управления кадровым обеспечением инвестиционных проектов показывает, что данная проблема имеет как специфику конкретной страны, так и общие положения, что хорошо видно из практики исследования социально-экономического развития районов нового освоения США, Канады, Австралии и других стран [1].

В представленной Минэкономразвития новой программе социально-экономического развития России до 2020–2030-х гг. предполагается переход экономики на инновационные рельсы. В рамках программы планируется перестройка структуры доходов бюджета страны и ее адаптация к инновационной экономике. Решение поставленных задач в определяющей степени связано с наращиванием инвестиционной активности практически во всех регионах страны. На прошедших в последние годы экономических форумах в Сочи, Санкт-Петербурге, Красноярске, на Урале и других регионах было представлено значительное количество инвестиционных проектов. Общая идея как форумов, так и представленных инвестиционных проектов – новая индустриализация страны. База инвестиционных проектов с каждым годом увеличивается: 2007 г. было 300 проектов по всей России на общую сумму 400 млрд долларов, а в 2008 г. – уже на сумму 560 млрд долларов [2].

Большие объемы инвестиционных проектов предполагают привлечение значительного числа работающих и финансовых ресурсов [2] (см. таблицу). Реализация проектов способна оказать большой социально-экономический эффект, но, сталкиваясь с объективными ограничениями, она приводит к жесткой конкуренции регионов за ресурсы, в том числе трудовые.

В соответствии с концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации, развитие Сибири опирается на использование основного конкурентного преимущества – высокой обеспеченности природными ресурсами. Инновационность развития для восточных регионов страны реализуется путем эффективного использования природных ресурсов: более глубокой их переработки в существующих центрах и создания новых центров индустриального роста на слабоосвоенных территориях. Дальнейшее развитие получат как основные индустриальные центры Сибири, специализирующиеся на металлургии, химии и нефтехимии, лесопереработке, так и зоны нового освоения в Нижнем Приангарье, Забайкалье и др. Лесные ресурсы Сибири составят сырьевую базу для формирования лесопромышленных кластеров.

Теоретически, необходимо выделить как отдельный объект управления районы нового освоения, которые требуют особого подхода к своему эффективному развитию. С какими проблемами связано их освоение?

Во-первых, есть сложности с освоением природных ресурсов, которые находятся в слабоосвоенных районах: проблемы транспортной доступности, отсутствие качественных дорог и других видов транспорта. Во многих районах существуют сложные климатические условия, густая залесенность, заболоченность, заражение гнусом и т. п. Необжитость, неосвоенность таких территорий связана, в первую очередь, с тем, что на их освоение необходим высокий первоначальный капитал. Сложное и капиталоемкое освоение при наличии сырьевых ресурсов в других более благоприятных условиях предопределило то, что сроки освоения таких территорий были отложены.

Во-вторых, уровень научных исследований не позволяет обеспечить достаточную рентабельность освоения новых районов, особенно при необходимости комплексного использования сырья.

Таким образом, к районам нового освоения можно отнести районы со значительным потенциалом инвестиционных проектов и не соответствующим поставленным целям развитим инфраструктуры: производственной (дороги, транспортная доступность и др.) и социальной (наличие и качество трудовых ресурсов, сложившиеся миграционные потоки, привлекательность региона и т. п.). Исходя из определения «районы нового освоения», очевидно, что отсутствие необходимой производственной и социальной инфраструктуры обуславливает и недостаток населения в данных районах. Поэтому проблема кадрового обеспечения выходит на первое место.

В настоящее время кадровый дефицит становится основным препятствием развития подавляющего числа регионов. Дифференциация в социально-экономическом развитии регионов, очевидно, еще больше обострит эту проблему. Анализ статистических данных о динамике процессов трудовой миграции показывает, что Красноярский край миграционно привлекателен для жителей регионов с традиционно низким уровнем заработной платы (Республика Хакасия, Республика Тыва, Читинская область и др.) и служит источником квалифицированных кадров для Кемеровской, Новосибирской и Томской областей.

Совершенствование системы планирования и управления кадровым обеспечением инвестиционных проектов в районах нового освоения предполагает выработку нового подхода в системе принятия решений, который включает:

– минимизацию кадровой потребности за счет использования в районах нового освоения самых современных технологий, опирающихся на научные исследования, зарубежный опыт ведущих корпораций;

– обеспечение показателей эффективности использования ресурсной базы новых предприятий и особенно показателя производительности труда, сопоставимого с лучшими параметрами, достигнутыми в мировой практике. Высокий уровень производительности труда связан с капиталоемкостью инвестиционных проектов, по которому также необходимо международное сравнение. Как показывают расчеты [3], в среднем по России в последнее время на одного работника рост производства продукции составлял около 6 % в год. Становится очевидным, что следующий этап экономического развития может быть только инновационным.

В районах нового освоения необходима разработка концепции долгосрочного обеспечения кадрами инвестиционных проектов на принципиально новой основе. Концептуальный подход должен включать три блока:

– блок по расчету общей потребности в кадровом обеспечении районов нового освоения;

Регионы-лидеры по количеству рабочих мест, которые могут быть созданы до 2020 г.

Регионы	Количество вновь созданных рабочих мест, тыс. единиц	Место региона по количеству созданных рабочих мест	Место региона по объему привлеченных инвестиций
Ленинградская область	227,2	1	4
Нижегородская область	209,3	2	16
Московская область	149,4	3	9
Свердловская область	139,0	4	5
Пермский край	121,8	5	31
Калужская область	119,0	6	54
Воронежская область	115,8	7	28
Краснодарский край	105,9	8	14
Санкт-Петербург	100,8	9	13
Хабаровский край	97,5	10	15
ИТОГО	1385,7	–	–

– блок закрепления кадров;

– блок по источникам обеспечения районов нового освоения.

Принципиально новым в первом блоке является то, что потребность в кадровом обеспечении нового района должна рассматриваться не изолированно по каждому инвестиционному проекту, а по совокупности проектов. Такой подход позволяет определить критическую численность потребного населения и рабочих кадров, а также потребность кадров для обеспечения развития производственной и социальной инфраструктуры. Последний аспект в представленных проектах не находит отражение. При условии формирования постоянного населения такой подход позволит предусмотреть занятость других членов семьи как по конкретному проекту, так и в смежном варианте.

Во втором блоке система мер должна обеспечить максимальное закрепление рабочих кадров. Это очень сложный раздел кадровой политики в районах нового освоения. Достаточно отметить, что в советское время для строек в Сибири, и в частности Красноярском крае, привлекалось значительное количество рабочих при использовании разных методов. Это был организованный набор, но закрепление кадров на месте было очень низкое. Причинами тому были низкий уровень организации работы с кадрами по их закреплению, сложные социально-экономические условия и главное – отсутствие достойного жилья. Проблема жилищного обеспечения существовала десятилетиями в советское время, продолжает существовать и сейчас. Для районов нового освоения характерно привлечение значительного числа работающих на стадии строительства (тысячи и десятки тысяч человек), при обеспечении определенных условий, закрепление части из них на новых предприятиях. Для этого необходимо создать целенаправленную систему подготовки кадров для всего блока предприятий, исходя из поэтапности их ввода. Закрепление кадров связано с системой переподготовки кадров для тех, кто хотел бы сменить свою профессию или повысить квалификацию. Возникают условия для создания центров совместного действия подготовки и переподготовки кадров. Безусловно, это дополнительные расходы, но они окупаются в долгосрочной перспективе через снижение затрат на привлечение кадров.

К источникам кадрового обеспечения можно отнести как внутренние (региональные), так и внешние (из других регионов страны и иностранных рабочих). В связи с этим, необходимым условием кадрового обеспечения является учет глобальных тенденций в сфере занятости [4].

Оценивая проведенные исследования, можно выделить следующие положения, которые должны быть учтены при развертывании работ в районах нового освоения:

1. Необходимо выделять этапы кадрового обеспечения с учетом создания системы перераспределения кадров по этапам освоения инвестиционных проектов. В настоящее время в практике планирования кадровых ресурсов выделяется этап строительства, рассчитывается потребность в кадрах; этап запуска производств с указанием потребностей в профессиональном разрезе, но при этом программ закрепления кадров нет.

2. При планировании потребности в кадровом обеспечении инвестиционных проектов необходимо максимально использовать комплексный подход по всем составляющим кадровой политики, реализуя принципы взаимосвязи и взаимодополняемости.

3. Инвестиционные проекты в районах нового освоения требуют дополнительных затрат на привлечение и закрепление кадров, что повышает стоимость инвестиционных проектов, поэтому эти затраты должны быть включены в проекты.

4. Инвестиционные проекты должны сопровождаться проектами по градостроению. При условии развития районов нового освоения на стационарной основе градостроительная программа должна стать определяющей в эффективном функционировании нового района.

5. Комплексный подход к кадровому обеспечению предполагает целенаправленное использование других членов семей, тем самым снижая потребности в дополнительном привлечении людей. Варианты трудоустройства необходимо сразу указывать при привлечении рабочих кадров (например, возможности переподготовки по необходимым в районах профессиям).

6. Развивая социальную инфраструктуру, необходимо учитывать и возможности предоставления на более высоком уровне социальных услуг, особенно в сфере обучения детей, а также студентов с последующим их закреплением в районах нового освоения. Социальные стандарты жизнедеятельности – один из важнейших факторов закрепления кадров.

7. В области проектирования необходимо размещение наукоемких производств с высокой производительностью труда, минимальной потребностью в кадрах. Максимальное использование наукоемких, современных технологий будет способствовать созданию в регионе новых пропорций в квалификации занятого населения с высоким удельным весом квалифицированных работников.

Представленные направления совершенствования планирования рабочих кадров предусматривают определенную ответственность и органов власти, и бизнес-сообщества, а также необходимость формирования системы эффективного взаимодействия. Если данные положения не будут учтены в системе планирования, то, как это показывает опыт развитых стран, надеяться на стабильное развитие региона нельзя.

Библиографический список

1. Карпов, Л. Н. Новые районы в экономике развитых капиталистических стран / Л. Н. Карпов. М. : Мысль, 1972. С. 28–40.

2. Проект 2020: комплексные эффекты новой индустриализации России : официальный доклад V Красноярского экономического форума. М. : Бизнес-центр «Новь», 2008. С. 23–28.

3. Гонтмахер, Е. Работа на вырост / Е. Гонтмахер // Российская газета. 2008. № 29. С. 5.

4. Глобальные тенденции в сфере занятости в 2007–2008 гг. // БИКИ. 2008. № 16. С. 3–6.

G. Ya. Belyakova, V. V. Novikov

THEORETICAL APPROACHES TO THE IMPROVEMENT OF THE PERSONNEL PLANNING AND MANAGEMENT SYSTEM FOR NEWLU DEVELOPED REGIONS

The paper reviews the conceptual approach to the investment project with personnel in the conditions of the investment regions activity and their increasing competition for resources, including labor resources.

Keywords: regional economy, investment project, management system, new regions being developed.

УДК 330.101.541

Г. И. Поподько, Н. Б. Александрова

АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ ПОДДЕРЖКИ И СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РОССИИ

Представлен анализ государственной политики, направленной на стимулирование и поддержку инновационной деятельности в России. Определено понятие и структура национальной инновационной системы. Проанализированы основные механизмы государственного участия в создании благоприятного инновационного климата. Определены перспективные направления развития национальной инновационной системы.

Ключевые слова: инновации, национальная инновационная система, инновационный климат.

Обеспечение устойчивого экономического развития, конкурентоспособности экономики, резкого повышения уровня жизни основной части населения невозможно без создания условий для быстрого технического обновления капитала, внедрения последних достижений науки и техники, стимулирования инновационной деятельности. Государственная политика, направленная на достижение поставленных целей, может быть реализована с помощью создания национальной инновационной системы (НИС). В «Основах политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу» формирование национальной инновационной системы определено как неотъемлемая часть экономической политики государства. Только таким образом можно соединить интересы государства, научно-технической, образовательной сферы и частного сектора для достижения стратегических национальных интересов.

Понятие национальной инновационной системы было введено в научный оборот в 1980–1990-х гг. Г. Нельсоном, К. Фрименом и другими исследователями.

Как правило, под НИС понимают либо «комплекс институтов правового, финансового и социального характера, обеспечивающих инновационные процессы и имеющих прочные национальные корни, традиции, политические и культурные особенности», либо «совокупность предприятий и организаций, деятельность которых направлена на генерирование и диффузию инноваций». Некоторые авторы говорят о ней как «об обеспечивающей инновационные процессы системе экономических механизмов и видов деятельности» [1].

Авторами работы дано собственное определение НИС. Под национальной инновационной системой понимается совокупность экономических, организационных и правовых инструментов, направленных на обеспечение условий для скорейшего внедрения достижений науки и техники во все сферы экономики и стимулирование инновационной деятельности, а также комплекс предприятий и организаций, обеспечивающих создание и внедрение инноваций в национальную экономику.

Структура НИС состоит из следующих элементов:

– государственной инновационной политики, направленной на стимулирование инновационной деятельности;

– производственного сектора (большие, средние и малые компании);

– сферы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и образования;

– сектора посредников, обеспечивающего трансфер инноваций (инновационные центры, брокеры и др.);

– инфраструктуры инновационной деятельности (технопарки, технополисы, бизнес-инкубаторы, центры трансфера технологий и т. д.);

– институциональных структур (финансовые институты, «бизнес-ангелы», страховые компании).

Роль государства в инновационной сфере, по мнению авторов, заключается, прежде всего, в формировании организационных, экономических и правовых условий для осуществления инновационного процесса в рамках национальной инновационной системы.

К основным задачам государства в области поддержки и стимулирования инноваций можно отнести следующие:

– определение научно-технических и технологических приоритетов в условиях ограниченности ресурсных средств;

– выработка инновационной и научно-промышленной политики, отражающей взаимные интересы науки, промышленности, инвесторов;

– непосредственно бюджетное финансирование так называемых базисных инноваций, т. е. проведения крупномасштабных исследований и разработок и доведения их результатов до практического применения в промышленности;

– создание условий для эффективного функционирования инновационного рынка [2].

Рассмотрим степень государственного воздействия на инновационные процессы в современной России.

Среди инструментов государственного участия в создании благоприятного инновационного климата в экономике можно выделить три составляющие: создание специальных финансовых механизмов государственной поддержки инновационной деятельности, формирование инновационной инфраструктуры, а также методы косвенного стимулирования инновационной деятельности.

Главными направлениями поддержки инновационной деятельности в стране считается участие государства в финансировании научной, научно-технической и инновационной деятельности в приоритетных направлениях развития науки и техники.

В России существует достаточно большой набор инструментов финансирования инвестиционных, в том числе инновационных, проектов. Развивается фондовый рынок, созданы специальные институты поддержки и развития инновационной деятельности (Инвестиционный фонд, Банк развития и т. д.). Активно начали действовать частные венчурные компании, запущен государственный венчурный фонд (Российская венчурная компания). Существуют также дополнительные нефинансовые институты и механизмы поддержки (ОЭЗ, инкубаторы, технопарки и т. д.). Сами эти инструменты не предполагают прямого финансирования инвестиционных проектов, в то же время за счет льгот, в том числе налоговых, доступности инфраструктуры, сниженных ставок арендной платы и других более благоприятных условий деятельности по сравнению со стандартной практикой реализации проектов, дают возможность снизить сумму первоначального финансирования. Положительным сдвигом в рамках инвестиционной политики является введение некоторых элементов ускоренной амортизации и разрешение списывать на расходы затраты НИОКР.

Основные финансовые механизмы непосредственного государственного участия в создании благоприятного инновационного климата представлены в виде финансирования через систему государственных научно-технических программ и через специально созданные фонды, а также в виде прямой государственной поддержки малых инновационных предприятий.

В настоящее время одним из основных инструментов прямого государственного стимулирования научной, научно-технической и инновационной деятельности в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники являются федеральные целевые программы.

Федеральные целевые программы (ФЦП) имеют весьма скромный масштаб и систематически не выполняются.

Среди недостатков ФЦП можно выделить следующие:

– цели и задачи сформулированы в общем виде;

– отсутствуют четко сформулированные показатели эффективности и целевые индикаторы;

– проблемы, решаемые в ходе выполнения программ, определены нечетко;

– недостаточно проработаны программные мероприятия;

– объемы ресурсного обеспечения не приведены в соответствие с нормативными требованиями;

– отсутствуют перечни конкретных инвестиционных проектов с указанием источников и объемов их финансирования по годам;

– отсутствуют мероприятия или разделы, отражающие особенности управления реализацией программ;

– подпрограммы в целом разработаны с нарушениями действующего Порядка разработки и реализации ФЦП;

– процедуры утверждения и корректировки отраслевых и региональных программ в Минэкономразвития громоздки и сопровождаются рекордным числом обязательных согласований.

Несмотря на то что сохраняется ежегодный рост объемов финансирования из федерального бюджета в целом по разделу «Фундаментальные исследования и содействие научно-техническому прогрессу», доля этих ассигнований в расходах федерального бюджета в 2005 г. составляла всего 2,19 % [3], что гораздо меньше объемов финансирования науки в развитых странах (см. таблицу). Так, доля научных расходов в общей сумме государственного бюджета составляет 6–7 % в США, 4–5 % во Франции, Германии, Великобритании и Италии, 3–3,5 % в Японии [4].

Другим направлением государственной финансовой поддержки инновационной деятельности в России являются грантообразующие и венчурные фонды.

Государственная финансовая поддержка инновационно-технологического бизнеса осуществляется, в основном, тремя фондами: Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), Российским фондом технологического развития (РФТР), Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия или Фонд Бортника).

Мониторинг деятельности предприятий, поддерживаемых через специализированные фонды, показывает высокую эффективность этой формы государственных вложений, однако масштабы деятельности фондов невелики.

Финансирование науки из средств федерального бюджета

Расходы	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Федеральный бюджет, млн руб.	17 396,4	23 687,7	31 055,8	41 576,3	47 478,1	76 909,3	97 363,2
Фундаментальные исследования	8 219,3	11 666,6	16 301,5	21 073,3	24 850,3	32 025,1	42 773,4
Прикладные научные исследования в процентах	9 177,1	12 021,1	14 754,4	20 503,0	22 627,8	44 884,2	54 589,8
к расходам федерального бюджета	1,69	1,79	1,51	1,76	1,76	2,19	2,27
к валовому внутреннему продукту	0,24	0,26	0,29	0,31	0,28	0,36	0,36

Государственные программы поддержки венчурного капитала, ориентированные на помощь компаниям, построены с учетом этапа жизненного цикла компаний. Программы могут быть нацелены на начинающие, растущие и даже вполне зрелые компании. Венчурный капитал может быть использован для финансирования старта, начального развития, расширения или реструктуризации компании. Он также может быть использован для финансирования крупных производственных линий, уменьшения долга, «поглощения» или управления путем выкупа внешними или внутренними управляющими. В целом, венчурный капитал представляет собой альтернативный источник финансирования, являющийся более рискованным и менее ликвидным, чем большинство других форм финансирования.

Больше всего в поддержке нуждаются только что возникшие компании, поэтому финансирование ранней стадии является наиболее важным. Как показывает практика, наиболее эффективными для поддержки компаний на раннем этапе развития оказываются следующие виды венчурных программ: государственные прямые инвестиции; льготы, предоставляемые инвесторам в малые и средние предприятия на ранних этапах развития; обеспечение акционерного капитала венчурных фондов, вкладывающих средства в эти компании; поддержка некоторых расходов фондов ранних стадий, таких как расходы на экспертизу или текущие расходы, что помогает увеличить доход от портфельных инвестиций. В отличие от них, программы, предлагающие долговое финансирование или гарантии кредита, хотя и могут быть отчасти полезными начинающим компаниям, все же не особенно подходят им в силу того, что большинство начинающих компаний обладают ограниченным капиталом и им трудно обслуживать долги.

Решение обозначенных проблем во многом зависит от политики государства в этой области.

До сих пор венчурная индустрия в современной России развита слабо. На данный момент в стране декларируется присутствие более 40 венчурных фондов (в основном с иностранным капиталом) с суммарными активами около 4 млрд долларов. В условиях повышенного риска большинство российских венчурных фондов готовы инвестировать в компании, находящиеся на стадии расширения производства (40 %) и на стадии развитого производства (11 %) [5].

Венчурный рынок способен стать важным элементом инновационной экономики, финансовым инструментом создания и развития малого наукоемкого и высокотехнологичного бизнеса в стране.

Анализ текущей ситуации участия государства в развитии российской венчурной индустрии позволяет выявить ряд проблем:

1. Неразвитость существующей инфраструктуры поддержки венчурного предпринимательства, которая должна была бы способствовать появлению новых и развитию существующих малых и средних технологических инновационных предприятий, способных стать привлекательным объектом для прямого (венчурного) инвестирования:

– она недостаточно интегрирована с существующей инфраструктурой поддержки малого предпринимательства;

– не охватывает существенную часть инфраструктурных сегментов, таких как кадровый, информационный, консалтинговый;

– имеет недостаточный масштаб для охвата большинства субъектов венчурного предпринимательства, особенно инновационных компаний, представляющих российские регионы.

2. Недостаточное присутствие российского капитала, который был бы важным фактором привлекательности российской экономики для зарубежных инвесторов.

3. Низкая ликвидность венчурных инвестиций, в значительной мере обусловленная недостаточной развитостью фондового рынка, являющегося важнейшим инструментом, обеспечивающим свободный выход венчурных фондов из проинвестированных предприятий.

4. Отсутствие экономических стимулов для привлечения прямых инвестиций в предприятия высокотехнологичного сектора, обеспечивающих приемлемый риск для венчурных инвесторов.

5. Медленное решение вопросов, связанных с нормативно-правовым регулированием формирования фондов и процесса венчурного инвестирования.

6. Отсутствие практической поддержки процесса создания и развития новых инновационных компаний – потенциальных объектов инвестиций.

7. Явно недостаточные усилия по становлению предпринимательской культуры, популярному освещению и методической поддержке венчурного инвестирования как относительно нового для России и перспективного вида инвестиционной деятельности.

В последнее время все большее значение для активизации деятельности по созданию и внедрению инноваций на всех стадиях жизненного цикла имеет инфраструктура инновационной деятельности.

При участии и поддержке государства появился целый ряд новых форм организации инновационной деятельности, которые сегодня составляют основу инновационной инфраструктуры. К ним относятся технопарки, инновационно-технологические центры, инновационно-промышленные комплексы. Все они были созданы при прямом финансовом участии государства. К инновационной инфраструктуре можно также отнести наукограды, хотя создавались они еще в советское время для решения преимущественно оборонных задач.

Основным механизмом государственной поддержки технопарков на сегодня является софинансирование развития инженерной, транспортной и другой инфраструктуры строящихся объектов. По информации Мининформсвязи, инвестиции из федерального бюджета в строительство технопарков в 2007 г. составили 2 млрд рублей. Столько же вложено из бюджетов регионов, в которых создаются пилотные проекты. Реально действующим центром высоких технологий в пилотных регионах уже можно считать технопарк «Идея» (Татарстан), на базе которого в рамках программы создается еще более крупный технопарк.

Еще один вид инфраструктуры, который стал развиваться в России с начала 90-х гг., – это технологические инкубаторы. Инкубаторы представляют собой структуры, которые обычно являются частью технопарка и организуются для того, чтобы обеспечивать благоприятные усло-

вия малым инновационным фирмам на самых ранних, рисковых стадиях развития их проектов, когда еще сложно определить вероятность успеха. Мировой опыт показывает, что инкубаторы обычно формируются вокруг университетов, потому что сотрудничество с университетами не только является престижным, дает источники и идеи для новых проектов, но и позволяет малым фирмам привлекать наиболее квалифицированный персонал.

В России технологические инкубаторы практически не получили развития. На сегодняшний день в высокотехнологической сфере созданы только три такие структуры: Международный технологический бизнес-инкубатор (IBTI) в Москве, а также основанные при его участии аналогичные подразделения в Нижнем Новгороде и Томске. Все они были созданы на зарубежные средства.

Наиболее масштабным сегментом консалтинговой инфраструктуры в настоящее время являются Центры трансфера технологий (ЦТТ), которые должны сопровождать научно-техническую разработку практически на всех этапах ее реализации. В основной массе ЦТТ фокусируют свою деятельность на трансфере критических технологий, входящих в приоритетные направления развития науки, технологий и техники.

Наряду с прямыми мерами государственного регулирования инновационной деятельности в России, большое значение имеют методы ее косвенного стимулирования.

Одним из ключевых компонентов косвенного регулирования (стимулирования) являются налоговые льготы. Налогообложение должно быть в большей мере поощрительным, чтобы стимулировать компании, получать и, что особенно важно, не скрывать прибыль, являющуюся для инвесторов основным показателем результативности их работы. Налоговые льготы являются одним из наиболее часто упоминаемых и активно используемых инструментов поддержки инновационной активности.

В мировой практике используются следующие виды налоговых льгот, стимулирующие инновационную деятельность:

– предоставление исследовательского и инвестиционного налогового кредита, т. е. отсрочка налоговых платежей в части затрат из прибыли на инновационные цели;

– уменьшение налога на прирост инновационных затрат;

– «налоговые каникулы» в течение нескольких лет на прибыль, полученную от реализации инновационных проектов;

– льготное налогообложение дивидендов юридических и физических лиц, полученных по акциям инновационных организаций;

– снижение ставок налога на прибыль, направленную на заказные и совместные НИОКР;

– связь предоставления льгот с учетом приоритетности выполняемых проектов;

– льготное налогообложение прибыли, полученной в результате использования патентов, лицензий, ноу-хау и других нематериальных активов, входящих в состав интеллектуальной собственности;

– уменьшение налогооблагаемой прибыли на сумму стоимости приборов и оборудования, передаваемых вузам, НИИ и другим инновационным организациям;

– вычет из налогооблагаемой прибыли взносов в благотворительные фонды, деятельность которых связана с финансированием инноваций;

– зачисление части прибыли инновационной организации на специальные счета с последующим льготным налогообложением в случае использования на инновационные цели.

С учетом того, что острой проблемой является повышение эффективности использования научных разработок и внедрение результатов фундаментальных и прикладных исследований в производство, интересной представляется схема стимулирования научной и инновационной деятельности, предложенная А. Кулагиным и Л. Леонтьевым. Данная схема основывается на трех группах национальных приоритетов в научно-инновационной сфере:

– критические приоритеты (фундаментальные исследования, оборонные разработки, работы в области охраны окружающей среды и формирования системы государственных эталонов);

– прорывные технологии, обеспечивающие выход России на мировой рынок технологий и гарантирующие экономическую независимость страны по импортозамещающим технологиям;

– социально-ориентированные приоритеты, нацеленные на поддержку отечественного производителя.

Целесообразно полностью освободить от всех налогов и сборов (кроме страховых взносов в государственные социальные фонды) научные исследования, направленные на реализацию критических приоритетов, в случаях, когда они финансируются из государственного бюджета. Для частных инвестиций в эти исследования предлагается вычитать из налогооблагаемого дохода инвестора расходы на НИОКР и трансферт технологий в размере 150 % к фактически осуществленным затратам.

По прорывным и социально-ориентированным приоритетным инновационным проектам предлагаются такие меры дополнительного налогового стимулирования, как освобождение от налога инвестиций, направляемых на освоение новых видов техники и материалов, на 100–120 % от фактических затрат; предоставление инвестиционного налогового кредита.

Кроме того, целесообразно освобождение от ввозных таможенных пошлин и НДС импортируемого оборудования, сырья, материалов, лицензий, ноу-хау, которые необходимы для реализации соответствующих инвестиционных проектов.

Различия государственной научной политики России и промышленно развитых стран в целом сводятся к двум основным характеристикам:

1. Научно-техническая политика промышленно развитых стран оперирует, прежде всего, методами косвенного регулирования (в частности, через различные схемы налоговых стимулов и льгот), доля которых в системе государственной поддержки науки в последнее десятилетие заметно возросла (в сравнении с методами прямой государственной поддержки). В России же устойчиво сохраняется приоритет прямой государственной поддержки науки (бюджетное финансирование).

2. Косвенная государственная поддержка науки, реализуемая в промышленно развитых странах через раз-

личные системы налогового стимулирования, нацелена на обеспечение благоприятного инвестиционного климата, на стимулирование притока инвестиций в науку, т. е. обращена к инвесторам, в то время как в России объектом налогового стимулирования традиционно выступает научная организация. Правда, за последние несколько лет действовавшая ранее система косвенной государственной поддержки научных организаций через налоговые льготы фактически ликвидирована, а предпринятые попытки стимулирования инвестиций в науку пока не дали какого-либо заметного результата.

Таким образом, совершенствование нормативно-правовой базы, реформирование науки и производственного сектора, а также создание инновационной инфраструктуры являются базовыми составляющими национальной инновационной политики. Только при условии согласованных действий государства, бизнеса и общества возможна реализация данной политики и переход России к инновационной экономике.

В настоящее время в России на государственном уровне управления предприняты определенные меры для обеспечения благоприятного инновационного климата и стимулирования развития и внедрения новых технологий. Вместе с тем, в российской действительности государственная инновационная политика представляет набор мер, направленный на решение узких задач инновационного развития, а не комплексную (целостную) программу (систему) мероприятий. Усилий, предпринимаемых государством, пока недостаточно для изменения тенденций в развитии и использовании инноваций. В то же время можно говорить о том, что базовое законодательство, позволяющее реализовывать в России высокотехнологичные проекты, существует.

Для решения проблемы перехода экономики России на новый инновационный путь развития, усилия государства должны быть направлены на формирование эффективной национальной инновационной системы, стимулирующей создание и внедрение инноваций во все сферы деятельности.

Важнейшими направлениями развития отечественной инновационной системы должны стать следующие:

1. Создание эффективного механизма управления технологическим развитием России с учетом отраслевых особенностей, региональных и иных факторов как средства обеспечения социально-экономической, оборонной и технологической безопасности страны на основе создания национальной инновационной системы.

2. Государственное правовое и финансово-экономическое стимулирование инновационной активности отечественных товаропроизводителей по приоритетным направлениям научно-технологического прогресса.

3. Увеличение бюджетного финансирования научно-технической деятельности, повышение статуса научного работника и преподавателя вуза, сохранение и поддержание академической науки, сохранение ведущих научных школ, воссоздание отраслевой (прикладной) науки по основным специальностям, которые обеспечивают функционирование и технологическое развитие производств.

4. Поддержка малого и среднего инновационного бизнеса.

5. Формирование современной инновационной инфраструктуры, обеспечивающей благоприятную среду для инновационной деятельности, в особенности, малого научно-технического и инновационного бизнеса.

6. Формирование законодательства по защите прав разработчиков на результаты интеллектуальной деятельности с целью повышения их заинтересованности в коммерциализации этих результатов.

7. Прямая государственная поддержка ряда ключевых инновационных проектов по приоритетным направлениям науки и техники.

Библиографический список

1. Васин, В. А. Национальная инновационная система: предпосылки и механизмы функционирования / В. А. Васин, Л. Э. Миндели. М. : ЦИСН, 2002. С. 11–12.

2. Высокотехнологичный сектор промышленности России: состояние, тенденции, механизмы инновационного развития / М. А. Бендиков, И. Э. Фролов ; Центр. экон.-мат. ин-т РАН. М. : Наука. 2007. С. 150.

3. Российский статистический ежегодник. М. : [Б. и.], 2007. С. 617.

4. Скляренко, Р. П. Международное технологическое сотрудничество / Р. П. Скляренко. 1-е изд. М. : ВНИИВС, 2003.

5. Инновационный путь развития для новой России / отв. ред. В. П. Горегляд ; Центр социально-экономических проблем федерализма Института экономики РАН. М. : Наука, 2005. С. 33.

G. I. Popodko, N. B. Aleksandrova

ANALYSIS OF PUBLIC POLICY CONCERNING SUPPORT AND STIMULATION OF INNOVATION ACTIVITY IN RUSSIA

In the paper the analysis of the State policy directed at stimulation and support of innovations in Russia is given. The concept and the structure of the National Innovation System (NYS) are defined. The basic machinery State participation in favorable innovation climate creation are investigated. The perspective directions of the national innovation system development are determined.

Keywords: innovations, natiotional innovation system, innovation climate.

УДК: 338

Г. Я. Белякова, Д. М. Чекашкин

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ

Рассматривается роль и место промышленной политики региона в национальной экономике. Представлена классификация региональных инструментов реформирования, их особенности в регионе сырьевой направленности. Предложен методический подход к формированию промышленной политики.

Ключевые слова: промышленная политика, формирование промышленной политики, региональные инструменты.

В экономической литературе широко обсуждаются проблемы социально-экономического развития экономики России. Согласно концепции долгосрочного развития России до 2020 г., подготовленной МЭРТ РФ, рост валового внутреннего продукта (ВВП) в 2012 г. по отношению к 2007 г. должен составить 35–36 %, а в 2017 г. (по сравнению с 2012 г.) достичь 37–39 %. В последующие 3 года ВВП должен вырасти еще на 19–22 %.

Поставлены задачи по построению национальной инновационной системы, активной диверсификации с постепенным уходом от преимущественно сырьевой направленности экономики, резким повышением качества жизни населения. Определены и целевые показатели в данных направлениях. Так, для поставленной задачи вхождения России в число мировых технологических лидеров необходимо увеличить до 4 % от ВВП затраты на научные исследования (сейчас этот показатель составляет 1 % от ВВП). Производство высокотехнологичной продукции должно увеличиться в 2 раза и составить около 20 % (2006 г. – 10,5 %), при этом вклад инновационного фактора должен составлять 2,5–3 % (в 2006 г. – 1,3 %). Доля предприятий, осуществляющих инновационную деятельность, должна возрасти более чем в 5 раз – с 9,3 % в 2006 г. до 50 % в 2020 г. Соответственно, до 6 % возрастут расходы на образование, а заработная плата – до 2 000 долларов США (в 2007 г. – 500 долларов). Россия должна занять не менее 10 % мирового рынка по 4–6 критическим технологиям.

Реализация поставленных целей невозможна без активного вовлечения регионов, которые должны стать проводниками стратегии экономического развития. Схема взаимодействия программ разного уровня представлена на рис. 1.

В настоящее время эта взаимосвязь нарушена, так как отсутствует утвержденная концепция промышленной политики (ПП) на национальном уровне и в отдельных регионах, в частности в Красноярском крае. Отсюда наблюдаются и отмечаемые проблемы с разработкой комплексных программ социально-экономического развития муниципальных образований. На V Красноярском экономическом форуме министр регионального развития РФ Д. Козак заявил, что сегодня в России планы своего развития подготовили лишь 12 % муниципальных территорий [1].

Одной из проблем, с которыми сталкиваются разработчики программ, является отсутствие координации и участия всех субъектов региональной экономики. Следует выделить понятие формирования промышленной политики как системы действий по выработке определенных целевых ориентиров развития промышленности в регионе, отражающей его специфику, роль и место в национальной экономике. Формирование – наиболее сложная часть общего процесса создания промышленной политики, так как оно предполагает:

– объединение интересов участников создания промышленной политики;

– объединение в выработке совместных идей и решений.

Участниками формирования промышленной политики являются администрация региона и крупные компании, предприниматели, такие общественные объединения, как «Опора России», СТПП и др. (рис. 2).

Промышленная политика включает следующие концептуальные составляющие:

– приоритетные направления развития промышленности;

– критерии выбора приоритетов и индикаторов для государственной поддержки промышленности;

– оценку социально-экономической значимости отдельных проектов для развития отдельных муниципальных образований и региона в целом.

Концептуальные подходы реализуются через принципы формирования промышленной политики (табл. 1), где отражены проблемы этого этапа.

Таблица 1

Принципы формирования промышленной политики

Принципы
Равенство прав на государственную поддержку всех субъектов региональной экономики
Открытость, доступность информации для участия в принятии решений в области приоритетных направлений государственной политики
Сочетание экономических интересов всех субъектов региональной экономики
Гласность и обоснованность критериев финансовой поддержки субъектов промышленной деятельности
Приоритетность в содействии развитию кооперационных и интеграционных связей субъектов промышленной деятельности
Системность в формировании инновационных комплексов, объединенных технологической цепочкой производства высокотехнологичной продукции с высокой добавленной стоимостью

Изучение имеющихся подходов к формированию промышленной политики показало, что на каждом уровне в рамках имеющегося законодательства используются инструменты, способствующие решению поставленных перед экономикой региона задач. Практически в каждом регионе определяющими задачами выделены: повышение качества жизни населения, бюджетная наполняемость региона, переход на инновационные технологии и, соответственно, повышение уровня наукоемкой продукции. При этом используются различные организационные формы развития региональной экономики – особые экономические зоны, технопарки, промышленные парки и т. п. Соответственно, в рамках имеющегося законодательства используются инструменты реализации промышленной политики, которые также можно подразделить по сферам их деятельности (табл. 2.)

На основе изучения имеющегося опыта разработки концепций промышленной политики в отдельных регионах России предложена классификация используемых инструментов по сферам деятельности:

1. Выявление и поддержка приоритетных направлений промышленной политики:

– утверждение перечня приоритетных инновационных проектов;

– финансирование инновационной деятельности за счет средств регионального бюджета;

– предоставление инвестиционного налогового кредита на осуществление инновационной деятельности;

– предоставление государственных гарантий по обеспечению возврата привлекаемых денежных средств;

– реструктуризация задолженности организаций промышленности и науки, относящихся к приоритетным субъектам поддержки;

– координация и поддержка исследовательских и аналитических работ по проблематике сферы инноваций.

2. Поддержка субъектов формирования промышленной политики:

– выполнение функций заказчиков, гарантов и инвесторов инвестиционных программ;

– поддержка субъектов в участии в региональных программах;

– размещение заказа на создание наукоемкой продукции, организация ее закупок для государственных нужд;

– частичная компенсация процентной ставки по кредитам коммерческих банков;

– освобождение от арендной платы за земельные участки, используемые в целях реализации приоритетных инновационных проектов;

– поддержка лизинговых схем и вывода предприятий на фондовый рынок;

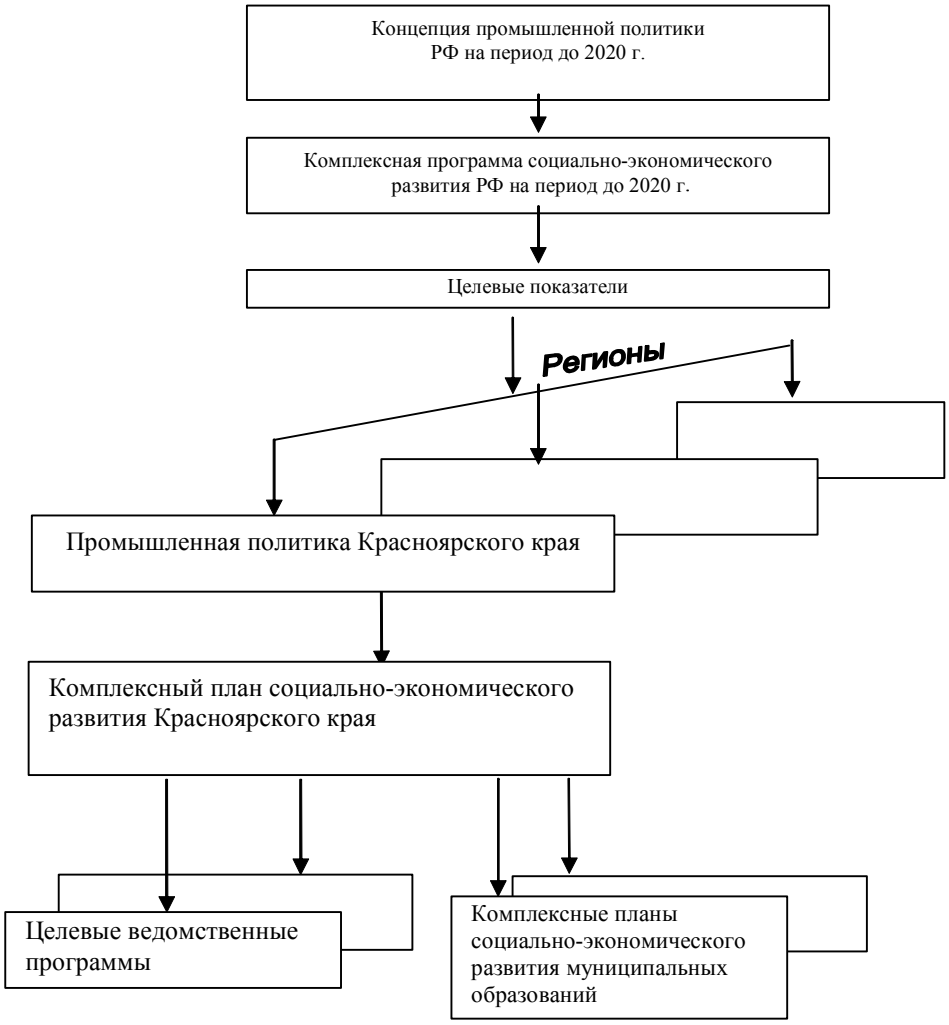


Рис. 1. Взаимосвязь комплексных программ по уровням разработки и реализации

– оказание поддержки по привлечению средств негосударственных инвестиционных фондов и иностранных инвестиций;

– предоставление бюджетных средств организациям в форме бюджетного кредита, субсидии, субвенции и оплаты государственного контракта согласно сметам целевого использования бюджетных средств.

3. Инфраструктура инновационного развития промышленности в регионе:

– развитие государственно-частного партнерства в создании инфраструктуры, предусматривающее долевое финансирование проектов;

– стимулирование развития сети инфраструктурных услуг предприятиям промышленности;

– оказание методической помощи в реформировании и реструктуризации субъектов промышленной деятельности;

–оказание субъектам малого предпринимательства патентно-лицензионных, консалтинговых и иных профильных услуг в сфере инноваций.

4. Поддержка интеграционных процессов в регионе:

– ведение в установленном порядке специальных налоговых режимов и иных преференций, в частности для инвесторов создаваемых специализированных производственных территорий и промышленных зон;

– содействие предприятиям региона в расширении рынков сбыта продукции через развитие внутрирегиональной кооперации и внешнеэкономических связей с другими регионами и государствами;

– координация работы по созданию территориальных и отраслевых инновационных технопарков и иных организаций инфраструктуры поддержки инновационного предпринимательства.

Выявление особенностей региональных инструментов формирования промышленной политики в районах сырьевой направленности связано с тем, что возникает необходимость выделения особых рычагов воздействия на субъекты региональной экономики, исходя из поставленных целей промышленного развития. Можно выделить общие цели, характерные для многих регионов:

– изменение структуры промышленного производства за счет его диверсификации;

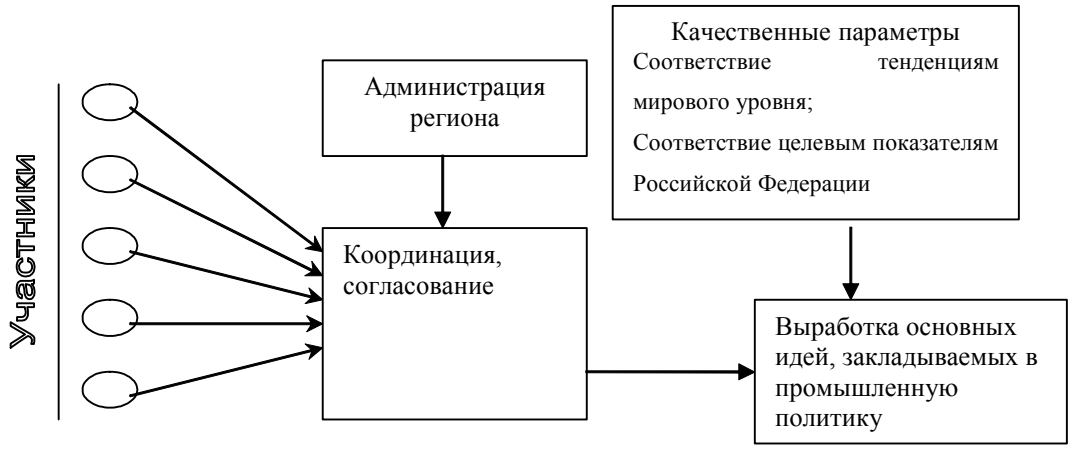


Рис. 2. Схема взаимодействия участников формирования промышленной политики

Таблица 2

Области формирования промышленной политики

Глобальная цель промышленной политики в регионе – обеспечение достойного уровня качества жизни населения региона на основе инновационного развития	
Цели промышленной политики: – обеспечение устойчивого сбалансированного экономического развития; – повышение конкурентоспособности промышленной продукции; – диверсификация промышленного производства	
Сферы деятельности	Региональные инструменты в области:
Выявление и поддержка приоритетных направлений промышленной политики	– поддержки разработок в сфере высоких технологий; – обеспечения условий для формирования прогрессивного технологического уклада
Поддержка субъектов формирования промышленной политики	– поддержки субъектов малого предпринимательства в сфере материального производства инновационных малых предприятий; – создания условий для формирования на базе промышленных и научных центров инновационно-производственных кластеров
Инфраструктура инновационного развития региона	– обеспечения условий эффективного функционирования промышленных предприятий; – развития новых сфер деятельности
Поддержка интеграционных процессов в регионе	– поддержки международных интеграционных связей; – создания условий для углубления процессов кооперации, специализации и интеграции и интегрированных структур в промышленности; – развития кластерной организации промышленного производства

– повышение качества жизни населения и его доходов;

– развитие наукоемких производств;

– комплексное использование сырья.

К локальным целям можно отнести:

– развитие и поддержку отдельных отраслей экономики;

– развитие и поддержку отдельного муниципального образования;

– развитие особых экономических зон и промышленных площадок.

Достижение поставленных целей требует особых рычагов воздействия, которые могут совпадать с общепринятыми, но и иметь специфические особенности, например, для региона сырьевой направленности:

1. Особый акцент на диверсификацию промышленного производства, уход от преимущественно сырьевой направленности. В этом случае необходима целевая поддержка и производителей, и инвесторов в области развития новых производств.

2. Выявление и поддержка приоритетных направлений промышленного производства, связанного, в первую очередь, с имеющимися конкурентными преимуществами региона.

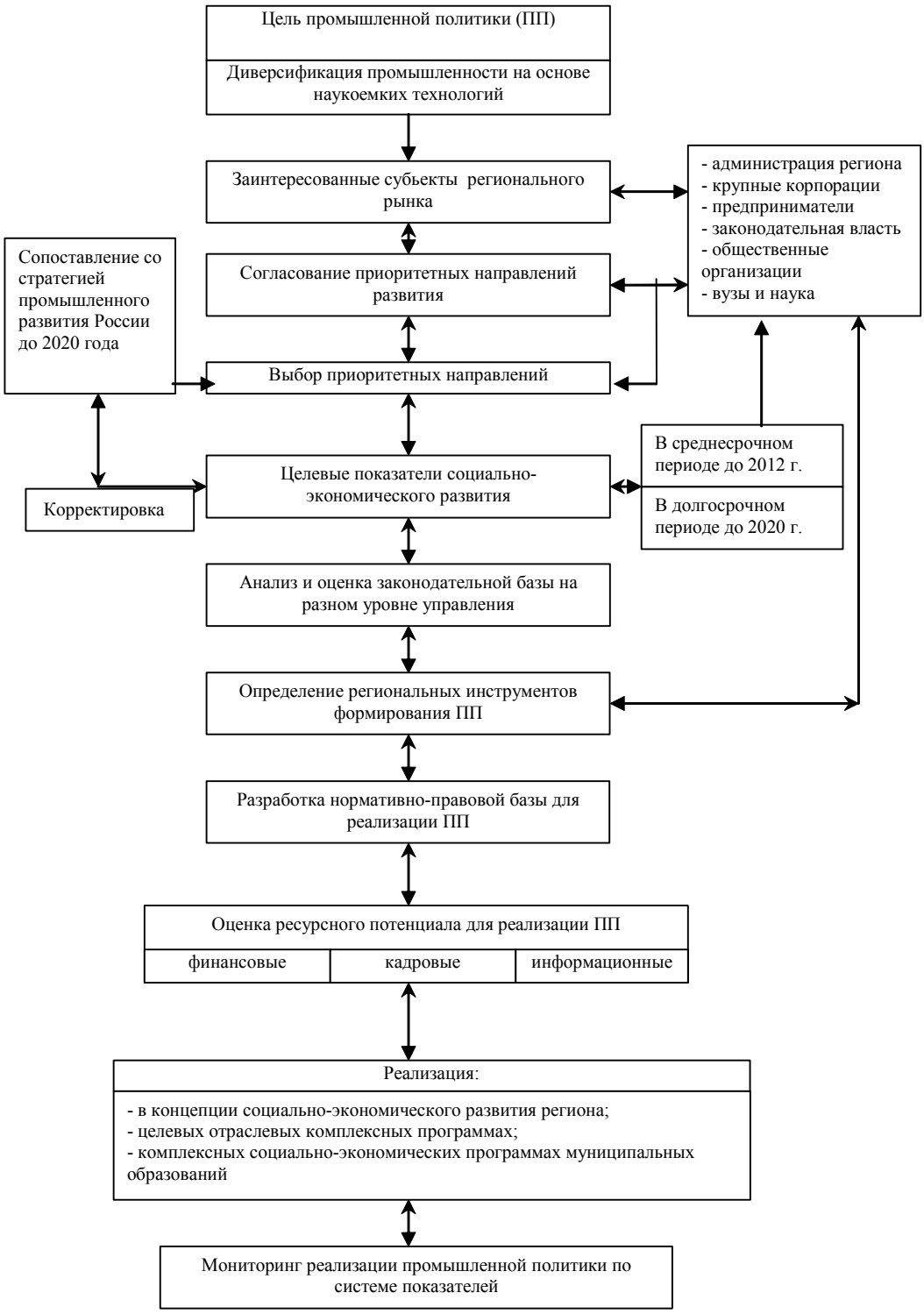


Рис. 3. Процесс формирования промышленной политики в регионе

3. Развитие государственно-частного партнерства в области инфраструктурной поддержки промышленного развития, особенно в новых районах.

4. Поддержка определенных полюсов роста в отдельных районах и отдельных областях деятельности.

В соответствии с рассмотренными принципами и целями формирования промышленной политики в регионе сырьевой направленности предлагается методический подход (рис. 3) к формированию промышленной политики, отличающийся от принятых в практике планирования следующими аспектами:

1) активным вовлечением всех заинтересованных сторон в формирование ПП через координационную деятельность администрации региона, выступающей заказчиком исследования;

2) определением главной цели – диверсификации промышленности на основе наукоемких технологий, которая позволяет активно использовать региональные инструменты в части целевой поддержки новых наукоемких производств;

3) целевыми показателями промышленной политики региона, которые должны отражать, с учетом региональных конкурентных преимуществ, стратегические показатели, определяемые в Российской Федерации, и достигнутые параметры в международной практике (технологические показатели, экономические, в частности, по производительности труда);

4) созданием системы целевых показателей, проходящих через программные документы разного уровня: регион–муниципальные образования–предприятия.

Анализ и оценка сложившейся ситуации в экономике региона показывает, что для разработки промышленной политики, в первую очередь, необходимо определиться с целевыми задачами ее формирования. В качестве основной задачи рассматривается диверсификация промышленного производства на основе наукоемких производств. При этом решаются проблемы развития перерабатывающих производств, кадрового обеспечения с минимальным их привлечением, перевода экономики на принципиально новые технологии, отвечающие требованиям мирового рынка. На первом этапе формирования ПП осуществляется координация всех субъектов региональной экономики, заинтересованных в ее реализации. Функции координации возлагаются на администрацию региона вследствие необходимости привлечения как крупного бизнеса, так и различных общественных организаций. Целевые показатели соотносятся со стратегическими показателями в масштабе страны с учетом конкурентных преимуществ региона. Выбранные приоритетные направления и общая стратегия обеспечиваются нормативно-законодательной базой и в дальнейшем должны проходить через все нормативные документы.

В результате исследования были сделаны следующие выводы:

1. Разработка промышленной политики является стратегической задачей на разных уровнях управления (федеральном, региональном) и требует учета специфики социально-экономического развития конкретных регионов с учетом факторов их конкурентоспособности на национальном и международном рынках.

2. В регионах сырьевой направленности, к которым относится и Красноярский край, целевой задачей промышленной политики является диверсификация промышленности на основе наукоемких производств, позволяющая решать проблемы комплексного развития регионов, минимизировать привлечение дефицитных кадровых ресурсов и обеспечить выход промышленной продукции за пределы региона.

3. Исходя из сложившейся структуры промышленности, в регионе необходимы особые рычаги воздействия, имеющие региональные особенности и включающие в себя целевую поддержку производителей и инвесторов в области развития новых, наукоемких производств, интегрированных структур на базе промышленных парков, кластеров и т. д.

4. Особое значение для размещения новых производств в регионе с дефицитом трудовых ресурсов имеет сопоставление с международными экономическими показателями и разработка соответствующих региональных инструментов, управляющих этим процессом (дифференциация в механизме поддержки инвестиционных проектов и проектов модернизации).

Библиографический список

1. Проект 2020: комплексные эффекты новой индустриализации России : официальный доклад V Красноярского экономического форума. М. : Бизнес-центр «Новь», 2008.

G. Ya. Belyakova, D. M. Chekashkin

REGIONAL INSTRUMENTS OF INDUSTRIAL POLICY DEVELOPMENT

The paper reviews the role and place of the industrial policy of the region in the national economy, the classification of the regional instruments for its development, their features in the raw-material oriented regions as well as the methodical approach to development of the industrial policy.

Keywords: industrial policy, industrial policy development, regional instruments.

УДК: 339.137.2: 005

Н. Т. Аврамчикова

СОВРЕМЕННАЯ РЕГИОНАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА: ОПЫТ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Рассмотрены методы достижения паритета регионов в современной государственной региональной политике развитых стран рыночной экономики. Сделан вывод о необходимости поиска национального варианта решения региональных проблем, с учетом особенности российской территории.

Ключевые слова: региональная политика, региональные диспропорции, дирижистская политика, стимулирующая политика, паритет регионов, региональный проект.

В развитых странах Запада региональная политика является важным инструментом достижения паритета регионов в социально-экономическом развитии. Масштабы региона как объекта политики широко варьируются и могут быть больше или меньше принятых административных единиц или выходить за рамки страны. Региональная политика – сравнительно новый, но весьма важный элемент системы регулирующего государственного вмешательства в экономику. Во многом ее проявление и становление есть результат масштабных изменений в социально-экономической и политической жизни западного сообщества в послевоенный период, в частности, его политической демократизации.

Современная региональная политика, предполагающая высокую степень децентрализации принятия решений и свободы местных властей в выборе приоритетных целей, методов и средств их достижения, возникла не сразу. Сравнительно недолгую ее историю (региональная политика как самостоятельное направление государственного регулирования возникла после второй мировой войны) можно разделить на несколько периодов. Их количество зависит от того, какие именно – короткие или длинные – циклические колебания в макроэкономике лежат в основе деления на этапы. Несмотря на широкий набор национальных средств «лечения» социально-экономических «болезней», в основе региональной политики западных стран лежит одно простое правило. В периоды благоприятной конъюнктуры, когда увеличиваются экономические возможности государства, происходит наращивание бюджетных средств, идущих на региональное развитие. При нарастании экономических трудностей централизованные средства, предназначенные для осуществления региональной политики, урезаются.

Более целесообразным представляется выделение двух больших периодов. Граница между ними приходится примерно на середину 70-х гг. прошедшего столетия и совпадает с произошедшей в это время трансформацией мировой рыночной конъюнктуры. Смена приоритетов в региональной политике не означает, что повсеместно и одновременно органы государственного управления отказались от старых принципов ее проведения и перешли к новым. Изменения касались ее генерального направления, к которому в большей или меньшей степени тяготеют национальные варианты региональных стратегий. Характерная в целом для первого периода (50–60-е гг. XX в.) высокая экономическая конъюнктура и, следовательно, наличие в распоряжении государства значительных финансовых и материальных ресурсов, с одной стороны, а также мощное давление рабочего и профсоюзного движения, с другой стороны, привели к возникновению дирижистского (перераспределительного) варианта региональной политики.

В рамках этого варианта признавалась возможность и необходимость смягчения региональных диспропорций в социально-экономическом развитии на основе оптимального перераспределения ресурсов между богатыми и бедными территориями.

Одной из главных целей в этот период было достижение паритета регионов по основным социальным показателям. Во главу угла, таким образом, ставился принцип социальной справедливости, реализацию которого брало на себя государство. Вытекающая из этого высокая степень централизации и во многом благотворительный характер региональной политики обусловили ее достаточно скромные по сравнению с заявленными целями, результаты. Тем не менее даже критики перераспределительной региональной политики признавали, что она побуждала остальные районы «бежать трусцой» вместо того, чтобы пребывать в неподвижности.

Степень централизации региональной политики определялась не относительной величиной бюджетных средств, расходуемых на нее центром (ни в одной западноевропейской стране, кроме Великобритании, затраты на региональные нужды не превышали 0,6 % валового внутреннего продукта (ВВП)), а уровнем принятия решений [1]. Разрабатывая основные направления социально-экономического развития того или иного региона, нуждающегося в помощи, центральное правительство не всегда учитывало его специфику и не всегда прислушивалось к мнению местных властей. В итоге, например, строительство крупных промышленных предприятий в районах, где отсутствовала рабочая сила нужной квалификации, не приводило к ожидаемому снижению безработицы и повышению уровня жизни местного населения.

Роль, отводившаяся государству в дирижистской политике, требовала и соответствующих методов ее реализации. Приоритет безоговорочно отдавался прямому методу, базирующемуся на госсобственности и госбюджете, вмешательству в региональное развитие. Отсюда попытки расширить государственный сектор посредством национализации, строительства крупных государственных предприятий в базовых отраслях промышленности, а также инвестиций в инфраструктуру и общественные работы. В регулировании рынка труда преобладали методы, направленные на стимулирование территориальной мобильности рабочей силы. Так, в Нидерландах в 1960–1970-е гг. для

разгрузки района Рандстада в специально построенные 15 новых городов было переселено около 500 тыс. человек.

Косвенные методы – кредиты, гранты, налоговые и финансовые льготы частным инвесторам, в том числе иностранным, вкладывающим средства в развитие отсталых регионов, играли второстепенную роль.

В 1960-е гг., в период повсеместного увлечения государственным программированием, в том числе и на региональном уровне, была сделана попытка модернизации региональной политики. Она заключалась в том, чтобы как можно теснее увязать задачи преодоления региональных диспропорций в экономическом и социальном развитии с народнохозяйственной стратегией. Политика смягчения территориальных диспропорций, однако, попрежнему тесно сопрягалась с наращиванием прямого государственного вмешательства в развитие регионов, но практически нигде не принесла ощутимых положительных результатов.

Самый яркий пример перераспределительной региональной политики дает Италия, по ряду причин ставшая идеальным «испытательным полигоном». Среди основных причин можно отметить компактность и размеры исторически отсталой зоны – восемь южных областей занимают около 2/3 национальной территории, где проживает боле 35 % населения страны; «чистоту» проблемы, не отягощенной сложностью национально-государственного устройства. Данный вариант региональной политики проводился в Италии наиболее полно и последовательно. Особенно рельефно проявились имманентные недостатки такого варианта – высокая степень централизации и пассивный, благотворительный характер.

Так, строительство крупных, оснащенных по последнему слову техники промышленных предприятий, в рамках политики формирования полюсов развития, осуществленное на базе централизованных решений, не учитывающих специфики южных районов, не привело к ожидавшемуся экономическому росту и снижению остроты социальных проблем. Эти предприятия не смогли вписаться в веками складывавшуюся на юге этой страны социально-экономическую систему и модернизировать ее. Главными препятствиями были даже не общий низкий уровень экономического развития и отсутствие квалифицированной рабочей силы, а отсутствие рынков сбыта готовой продукции. Новым хозяйственным структурам противостояли прежде всего архаичные, по самой своей сути, обладающие огромной инертностью общественные структуры (церковь, кланы, мафия, клиентела), консервировавшие не только производственные и социальные отношения, но и сознание людей.

В итоге, новое и старое в лучшем случае существовали параллельно, в худшем – вступали друг с другом в непримиримые противоречия. Полюса развития порождали рядом с собой полюса депрессии. Это проявлялось как во впечатляющем разрыве между Севером и Югом Италии практически по всем показателям социально-экономического развития (например, и в начале 1950-х, и в начале 1970-х гг. по величине дохода на душу населения Юг страны в два раза отставал от Севера), так и в типичном проявлении глубинных противоречий в социально-экономическом развитии Италии. Речь идет о характерном для нее дуализме, сосуществовании в рамках единого народнохозяйственного комплекса двух типов экономик [2]. С одной стороны, высокотехнологичная, базирующаяся на эффективной частной собственности и гибком предпринимательстве экономика Севера Италии, обеспечивающая его населению сравнительно высокий уровень жизни, с другой стороны – более слабая, существенно зависимая от государственной помощи, архаичная экономика Юга Италии. Этот дуализм не был преодолен в рамках перераспределительной региональной политики (как, впрочем, и позднее). Беря за основу выравнивание количественных показателей социально-экономического положения, такая политика упускала из виду главное – необходимость создания механизмов адаптации к новым условиям атипичных регионов вообще и архаичных в частности.

Негативные последствия благотворительности, положенной в основу государственной политики, дали о себе знать. Быстрое привыкание населения Юга Италии к государственным «подачкам» породило тип личного потребления, характерный для преуспевающих регионов, но никак не обусловленный уровнем местного экономического развития. По сей день бизнес в Южной Италии всему прочему предпочитает выполнение государственных заказов, а самой притягательной для ищущих работу является занятость в государственном секторе.

Переломный момент в региональной политике западноевропейских стран наступил в начале 1970-х гг. Энергетический кризис, инфляция, спад производства, необходимость структурной перестройки хозяйства заставили правительства развитых стран Запада снизить масштабы прямого государственного регулирования экономики. Перераспределительная государственная политика с ее утрированной социальной ориентацией не могла не стать одной из первых жертв надвигавшихся экономических изменений.

Рубеж 1970–1980-х гг. ознаменовался появлением нового, неолиберального (стимулирующего) варианта региональной политики. С этих позиций особый интерес представляет модель США, в рамках которой страна достигла апогея регулирования доходов граждан и перераспределения ресурсов между штатами. Уже к 1960-м гг. был законодательно введен стандарт минимального прожиточного минимума (потребительской корзины), в соответствии с которым установлен одинаковый норматив заработка всех граждан в размере не менее 7 долларов в час, который стал базой не только зарабатываемых доходов, но и всех социальных пособий. Его введение можно считать важнейшим признаком смешанной экономики социальной ориентации, характерной для развитых стран.

В последующее десятилетие федеральное правительство существенно уменьшило субсидии местным органам власти. Были отменены или сокращены многие дотационные программы. Одновременно проводилась политика расширения прав, полномочий и ответственности местных властей в определении направлений регионального развития.

Едва ли не самый радикальный вариант реформирования региональной политики был предложен в Великобритании. В рамках жесткой социально-экономической

стратегии «новых правил» был провозглашен курс на резкое сокращение централизованного финансирования региональной политики и отказ от ее социальных целей. Принцип социальной справедливости был заменен приоритетом хозяйственной эффективности, или межрегионального выравнивания, т. е. экономической целесообразностью. Правительство М. Тэтчер уменьшило расходы на региональную политику на 40 %. Одновременно оно сократило число районов, получающих помощь, и ослабило ограничения на размещение предприятий в густонаселенных районах.

И все же замена социальной справедливости экономической эффективностью, отказ от любых форм государственного вмешательства в региональное развитие и от решения социальных задач вообще не стали основным содержанием второго этапа региональной политики. Жизнь существенно скорректировала и смягчила радикальные намерения новых «правых» идеологов. Уверенность в оптимальности решений, базирующихся на свободной игре рыночных сил, сменилось пониманием того, что нерегулируемый рынок, делая богатых богаче, а бедных беднее, в конечном счете усугубляет уже имеющиеся социально-экономические различия.

Суть западной неолиберальной политики заключена в поиске оптимального соотношения принципов эффективности и справедливости, а также сбалансированного распределения полномочий между центром и регионами.

Общим для всех западных стран является также стремление к тому, чтобы система бюджетно-налоговых отношений обеспечивала соответствие между потребностями и возможностями, т. е. исполнение функций, закрепленных за властями данного уровня, должно быть обеспечено необходимыми ресурсами в виде налоговых поступлений, государственных грантов и т. п. Вопросы финансирования, безусловно, находятся в числе самых сложных, вызывающих споры и конфликты между различными уровнями власти. Центр нередко склонен, например, переложить на местные органы задачи, выполнение которых часто не обеспечено местными ресурсами и государственными трансфертами. Власти же на местах стремятся получить как можно больше средств, используя их не всегда рационально и целенаправленно с точки зрения центра [3].

Поскольку основным богатством общества становится человеческий капитал, большая роль в социально-экономической политике отводится образованию как объекту приоритета в развитии и, соответственно, инвестировании. Приоритетным направлением образования является подготовка кадров на местах. В нее входят повышение квалификации и переобучение, обеспечение возможности свободного освоения новых технологий, субсидирование управленческой, научной и предпринимательской деятельности. Например, в Германии фирмы, открывающие в отсталых регионах рабочие места в сфере принятия решений (высший менеджмент) или научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, получают специальные субсидии. Аналогичная практика существует в Австрии, Швеции и ряде других стран. Это связано с тем, что менеджмент все в большей степени начинает испытывать определяющее влияние креативного (творческого) фактора.

Особое место в реализации современной региональной политики и инвестиций в человеческий капитал принадлежит университетам, и не только как учебным заведениям, готовящим высококвалифицированных специалистов. Так, в США университеты участвуют в разработке программ, позволяющих улучшить использование трудовых ресурсов. Они изучают потребности штатов в кадрах, в том числе руководящих, и осуществляют их плановую подготовку на специальных курсах, финансируемых местной властью. Кроме того, университеты помогают составлять программы развития региона, охраны окружающей среды, поддержки малого бизнеса. Они также участвуют в планировании территории, подготовке технических и экологических обоснований строительства тех или иных объектов. Большое внимание современная социально-экономическая политика уделяет стимулированию разработки и применения высоких технологий, поддержке малых высокотехнологичных фирм, созданию инновационных комплексов, центров по распространению передовых технологий, научно-исследовательских парков при университетах и т. п.

При решении проблем занятости приоритет отдается поощрению среднего и малого предпринимательства, в том числе в сфере услуг. Важность такой поддержки очевидна, если учесть, что в середине 1990-х гг. в странах Западной Европы из 18 млн промышленных и торговых предприятий 99,8 % составляли мелкие и средние, на которые приходилось 2/3 занятого населения [4].

Программы развития среднего и малого бизнеса существуют и в США как на федеральном уровне, так и в штатах. В рамках этих программ создаются так называемые «инкубаторы» малого бизнеса, для которых бесплатно выделяются участки земли и строятся помещения, где размещаются мелкие фирмы. В течение 2-х лет начинающие фирмы имеют льготы по арендной плате, им обеспечивается поддержка местного бизнеса и помощь университета. За это время они должны встать на ноги, стать прибыльными и покинуть «инкубатор».

В 1980-е гг. широкое распространение в США и Великобритании получили предпринимательские зоны, где промышленные и коммерческие предприятия на 10 лет освобождаются от уплаты налога на заработную плату, инвестируемую прибыль и т. д. Основным критерием для освоения предпринимательской зоны в США является уровень безработицы и бедности, превышающий средний по стране.

В США администрациями штатов накоплен богатый опыт привлечения национальных и иностранных инвесторов. Для стимулирования капиталовложений предусмотрен комплекс бюджетных и финансовых мер, включающий налоговые льготы, субсидии и займы, содействие профессиональному обучению, занятости и ряд других. Например, штатом Кентукки было затрачено на субсидии более 300 млн долларов с тем, чтобы разместить на своей территории завод японской фирмы «Toyota». В число мер, направленных на привлечение японского капитала, входило также создание специальных школ для обучения японских рабочих и членов их

семей английскому языку, содействие их адаптации к жизни в США.

В соответствии со своими изменившимися принципами современная политика инвестиционного развития отдает предпочтение косвенным методам государственного вмешательства в региональное развитие: финансовым и налоговым льготам, грантам, субсидиям и целевому финансированию. Это не означает, что произошел отказ от прямого вмешательства. Оно осуществляется через государственные региональные корпорации, которые учреждаются для реализации широкомасштабных программ, нацеленных на подъем отсталых регионов, в том числе с помощью привлечения новых инвесторов, включая иностранных. Эти корпорации делают акцент на выпуске новых продуктов и внедрении новых технологий. Кроме того, они позволяют увязывать интересы и координировать действия властей разных уровней, не сковывая при этом их свободу. Наличие широкого государственного вмешательства в экономику опровергает сложившееся применительно к модели США мнение о якобы пассивной роли государства, определяемой незначительной долей частного сектора.

Одним из средств такой финансовой поддержки является политика бюджетно-налогового выравнивания. В результате ее реализации воздействие на экономическое развитие регионов идет в 2-х направлениях: микроэкономическом, путем принятия различных правительственных программ (например, программы содействия развитию инфраструктуры, профессионального образования и т. п.), а также поддержки, оказываемой конкретным производствам; макроэкономическом, посредством повышения «эффекта покупательной силы в регионе». Финансовая помощь государства, особенно в сочетании с его монетарной политикой, поддерживая или ограничивая активную покупательную силу общества, оказывает значительное влияние на региональное движение доходов и региональных фондов экономического и социального развития.

Специалисты выделяют следующие направления решения 3-х основных задач программирования инвестиционного развития региона (пространственно-производственной, социально-экономической и ресурсно-экологической):

– формирование программ создания промышленных, агропромышленных, транспортных и других комплексов;

– программирование различных форм производственной или социальной инфраструктуры;

– экономическое стимулирование отдельных районов и отраслей хозяйства с целью создания благоприятных условий для размещения производства;

– проведение комплексных мероприятий по упорядочению концентрации производства и населения (включая программы по охране окружающей среды).

Примером решения социальных задач на региональном уровне может служить создание Администрации долины реки Теннесси (Tennessee valley administration – TVA), учрежденной для решения социально-экономических проблем одного из самых отсталых регионов США. Первый в истории страны крупный региональный проект был разработан еще при президенте Ф. Рузвельте в 30-е гг. XX в., когда душевой доход в регионе был вдвое ниже среднего по стране. Для осуществления проекта TVA была предложена программа, рассчитанная на десятилетия. Программа распространялась на часть территории семи штатов, особенно остро переживавших время «великой депрессии». Она предусматривала развитие судоходства на Теннесси, борьбу с паводками, строительство ГЭС, электрификацию сельских районов, рациональное землепользование, коммунальное и промышленное водоснабжение. В дальнейшем круг задач расширялся. Одним из основных программных пунктов деятельности TVA были специальные изменения, предполагавшие рост занятости, доходов и уровня жизни. Уже в первый год существования TVA работу получили 28 тыс. местных жителей, во второй – 98 тыс., в следующий – до 200 тыс. К концу 1990-х гг. доход на душу населения в этом регионе достиг среднего по стране [5].

Наделенная широкими полномочиями в области разработки и осуществления многоцелевой программы и полностью ответственная за ее результаты, TVA владела на правах государственной собственности соответствующими производственными фондами. Администрация имела, таким образом, достаточно эффективные рычаги управления и смогла обеспечить самоокупаемость программы при практической независимости от государственных ассигнований.

Не менее успешно действует и другая государственная корпорация, учрежденная во второй половине XX в. конгрессом США, – Аппалачская региональная комиссия (АРК). Программой по развитию Аппалачских гор охвачены территории 13 штатов с населением 19 млн человек. Путем рационального распределения ресурсов и организации партнерства между штатами АРК обеспечила приток в регион государственных и частных инвестиций. Одна половина бюджета АРК формируется штатами, другая – частными фондами. При распределении финансовых средств между ними учитываются уровни бедности и безработицы в штатах, средний душевой доход, плотность населения и др. Штаты финансируют содержание комиссии пропорционально доле их расходов на отдельные проекты. В число последних входят программы благоустройства городских районов, строительства шоссейных дорог, совершенствования здравоохранения, профтехобразования и подготовки кадров, оказания помощи детям из отсталой сельской местности и др.

Похожие структуры действуют и в Европе. Например, благодаря деятельности голландской компании LIOF, занимающейся модернизацией Южного Лимбурга, за последние 20 лет бывший шахтерский район полностью изменил свой облик и превратился в один из деловых и промышленных центров не только Нидерландов, но и всего Европейского союза. В уставном капитале LIOF 91 % составляют средства центрального правительства, 8 % – правительства и 1 % – муниципалитетов.

Модернизировать свою региональную политику попыталась и Италия. В 1993 г. была упразднена Касса Юга – государственный фонд, который на протяжении почти 40 лет осуществлял финансирование развития Южной Италии. Ее функции были распределены между различными министерствами и ведомствами.

Юг в целом потерял статус зоны чрезвычайного государственного всепомоществования. В соответствии с новыми правилами помощь должна оказываться только наиболее отсталым южным регионам в обычном порядке наравне с другими нуждающимися в ней областями страны. Больше власти и свободы в 1990-е гг. получили местные органы власти, финансовые возможности для решения стоящих перед ними задач увеличились.

Тем не менее в 1990-е годы XX в. политика инвестиционного развития на уровне регионов по сути мало изменилась в Италии. Она не избавилась от одного из главных пороков – усиленной государственной опеки южных районов. Правительство финансировало общественные работы в ущерб поддержке малого и среднего бизнеса, тогда как на юге страны есть районы, где без всякой государственной помощи открываются мелкие и мельчайшие предприятия, иногда весьма эффективные. Так, местечко Аль Виббрата, где успешно развиваются кожевенная, обувная и текстильная промышленности, даже называют южным Миланом.

В Италии результаты всей послевоенной региональной политики оцениваются весьма негативно. По основным показателям Юг по-прежнему явно отстает от Севера и Центра страны. Так, в середине 1990-х гг. ВВП на душу населения в Южной Италии был в 1,75 раза меньше, чем в Северной и Центральной. Уровень безработицы в 2,5–3 раза превышал соответствующий показатель на Севере [6].

Действия центральной власти ухудшили ситуацию, ошибочность выбранных ориентиров для инвестирования и отсутствие эффективных механизмов контроля над использованием финансовых ресурсов привели к криминализации экономики южных районов, разбуханию ее подпольного сектора, коррумпированности чиновничества, наживающегося на расхищении государственных средств. Показательно, что в целях борьбы с коррупцией банк не позволяет своим сотрудникам работать на юге более двух-трех лет.

Таким образом, во второй половине XX в. политика инвестиционного развития социальной сферы в западных странах претерпевает в целом существенные изменения. Освобожденная от сверхамбициозной задачи централизованного выравнивания показателей социально-экономического положения различных регионов, она обретает черты демократичности, реалистичности, рациональности и становится эффективной. Постепенно политика отходит от системы централизованно задаваемых приоритетов и берет на вооружение децентрализованный механизм обеспечения условий для более полного использования внутренних ресурсов регионов и учета их специфики.

К этому следует добавить, что опыт инвестиционного развития экономики выявил два важных обстоятельства. Во-первых, вскрыл факт, что в большей степени успех той или иной страны (региона) зависит не просто от комбинации факторов производства (земли, капитала и труда), но и от умелой организации экономики с учетом трех основных механизмов: рыночного, государственного и институционального на основе их социальной ориентации. При отсутствии эффективных форм организации бедность и жалкое существование людей остаются даже при самой развитой рыночной экономике и «цветущем» капитализме с его высокими темпами экономического роста. Успех развитых стран обусловлен не столько успехами рынка, сколько наличием сознательно регулируемых моделей социальной ориентации и признанием приоритета человеческой экономики (экономики знаний) над рыночной.

Во-вторых признал, что успех экономики во многом зависит от учета социальных, культурных и исторических условий той или иной страны (региона). При этом следует иметь в виду, что «безресурсных» регионов не бывает. Главное состоит в том, какому ресурсу отдать предпочтение в том или ином регионе с учетом его географического положения и исторического развития.

Мюрдаль Г. доказал, что проекты и модели западных экономистов, обоснованные на традиционно капиталистических рыночных принципах приоритетности технического капитала, потерпели полных крах в странах Восточно-Азиатского региона. Они игнорировали политические и национальные факторы местного развития, основанные на ментальности человека [7].

Современная политика инвестиционного развития экономики включает важнейшие инструменты достижения оптимального соотношения между хозяйственной эффективностью и социальной справедливостью, экономической целесообразностью и социально-экономическим выравниванием, экстенсивными и интенсивными факторами экономического роста. Она позволяет учитывать интересы населения различных регионов, не выходя при этом за рамки единой государственной стратегии и федеральных законов. Кроме того, это одно из весьма действенных средств согласования интересов властей разных уровней.

Политика выравнивания уровня социально-экономического развития отдельных регионов проводилась или проводится практически во всех странах мира. Сущность этой политики различается в зависимости от типа государственного устройства той или иной страны. Кроме того, формы, методы и содержание этой работы зависят от общего уровня развития экономики и национального благосостояния. Последнее в значительной мере определяет объемы и масштабы государственной поддержки депрессивных регионов.

Важность этой работы обусловлена вопросами национальной безопасности и повышения обороноспособности государства, а также укреплением территориальной целостности и снятием социальной напряженности в обществе.

Например, основная цель региональной политики Швеции – создание условий для равномерного развития всех регионов. В частности, эта цель достигается путем реализации региональных программ в области транспорта, занятости, коммуникации и др.

Неотъемлемой частью политики регионального развития является промышленная политика, которая реализуется шведским правительством с 1998 г. Методы реализации этой политики строятся, прежде всего, на оценке уникальных условий и возможностей каждого региона, а целью является стабильное экономическое развитие, ко-

торое достигается путем использования сложившихся промышленных приоритетов в каждом шведском регионе. Основным инструментом указанной политики является подготовка так называемых соглашений о развитии. Соглашения, в первую очередь, базируются на фундаментальном анализе предпосылок экономического роста регионов. Обычно к подготовке соглашений, наряду с местными органами власти, привлекаются ключевые предприятия региона. Соглашение определяет лиц, финансирующих и координирующих его реализацию, а также устанавливает уровень взносов каждой из участвующих сторон. Вместе с тем, соглашение не носит обязательный характер. Термин «соглашение» применяется лишь для того, чтобы показать добровольный характер взаимоотношений. Фактически, соглашение является программой промышленного или экономического развития региона, подготовленной с участием ключевых игроков регионального рынка.

В связи с началом в 2004 г. очередного этапа реализации региональной промышленной политики, принципиальной позицией шведского правительства по вопросу прямых дотаций региональным предприятиям является постепенное их снижение. Правительство предусматривает только выборочное финансирование предприятий, расположенных в неблагоприятных с географической точки зрения регионах.

В этом отношении для России весьма интересен опыт государственной поддержки предприятий Финляндии, находящихся в наименее развитых регионах страны. В целом правительство Финляндии уделяет значительное внимание вопросам регионального развития с учетом факторов, связанных со структурными, отраслевыми и географическими различиями территорий, и обеспечения их сбалансированного экономического развития и роста занятости населения.

Ведущую роль в государственном регулировании и выработке политики по оказанию содействия развитию предпринимательства в регионах, в том числе государственной поддержке привлечения инвестиций, отведено Министерству торговли и промышленности Финляндии, координирующему эту работу, в которой принимают участие девять министерств и Ассоциация местных региональных органов управления.

Финансовая поддержка предприятий со стороны государства и определение перечня целевых программ по развитию, прежде всего малых и средних предприятий осуществляется в соответствии с разделением территории страны на три основных региона – «зоны развития».

Финансовые средства государства выделяются на поддержку инвестиционной деятельности и повышение конкурентоспособности предприятий, что, в свою очередь, обеспечивает рост качества продукции и производительности труда, а также интернационализацию деятельности и улучшение экономической и промышленной структуры региона.

Государственная поддержка направляется малым и средним предприятиям на реализацию инвестиционных проектов с учетом их значимости для развития регионов. Средства выделяются для приобретения (в том числе на условиях лизинга) или обновления основных фондов и недвижимости компаний, вновь начинающих или расширяющих свои производственные операции.

Размер средств, выделяемых государством для вышеуказанных целей в виде субсидий по частичному финансированию инвестиционных проектов, зависит от «зоны развития», в которой находится предприятие. Приоритетным является субсидирование северных территорий.

Практической работой по оказанию содействия малым и средним предприятиям по их обращениям о привлечении средств в инвестиционные проекты в регионах занимаются совместно с Министерством торговли и промышленности Финляндии подведомственные ему Центр занятости и Центр экономического развития.

Одновременно вопросы финансовой помощи менее развитым в экономическом и социальном плане территориям Финляндии решаются также действующей системой налогообложения [8].

Опыт создания ЭЙДА (Аляскинского агентства развития и экспорта) в США чрезвычайно интересен, однако этот замечательный опыт имеет для нас сугубо академический интерес – среди российских регионов до настоящего времени нет такого, который мог, как штат Аляска, самостоятельно построить и осуществить силами общественной корпорации программу экономического развития [9].

Из вышесказанного можно сделать вывод, что изучение мирового опыта государственной поддержки депрессивных регионов является важным условием проведения региональной политики в России, особенно с учетом того, что в последние годы различия в социально-экономическом развитии отдельных регионов Российской Федерации возросли.

Опыт мировой практики показывает, что если отдельный регион по уровню социально-экономического развития достигает 75 % от среднего уровня – необходимо применять социальный комплекс мер по выведению данного региона из «кризиса». В России отдельные регионы по некоторым показателям отстают от развитых регионов в десятки раз. В странах развитой рыночной экономики вопросу сокращения различий в социально-экономическом развитии регионов уделяется большое внимание со стороны государства. Однако прежде чем перенимать те или иные способы государственной поддержки социально-экономического развития депрессивных регионов, необходимо определить их приемлемость к условиям Российской Федерации с учетом таких факторов, как географическое положение, административно-территориальное и политическое устройство, многонациональный состав населения.

Возрастание во всех сферах общественной жизни роли регионов одновременно является фактором, оказывающим на них существенное обратное воздействие. В условиях российской экономики конкретные национальные варианты решения региональных проблем в западноевропейских странах полностью не могут быть перенесены на отечественную почву, однако имеет смысл проследить тенденции, которые претерпела региональная политика в развитых странах Запада во второй половине XX в. с целью извлечения опыта и снижения экономических и социальных издержек. При этом целесообразно ограничить анализ внутристрановым аспектом и не затрагивать вопросы региональной политики в рамках интеграционных образований.

Библиографический список

1. Pavlinek, P. Regional Development Implications of Foreign Direct Investment in Central Europe / P. Pavlinek // European Urban and Regional Studies. 2004. P. 47–70.
2. Нуреев, Р. М. Экономика развития: модели становления рыночной экономики / Р. М. Нуреев. М. : Инфра-М, 2001. С. 159–164.
3. Суховской, А. Государственное регулирование социальной сферы в развитых странах Запада / А. Суховской // Проблемы теории и практики управления. 2007.
4. Хэй, Д. Теория организации промышленности : пер. с англ. В 2 т. / Д. Хэй, Д. Моррис. СПб. : ЭШ ; СПбГУЭиФ ; ВШЭ, 1999.
5. Covan, R. The Explicit Economics of Knowledge Codification and Tacitness / R. Covan, R. A. David, D. Foray / / A TIPIK project paper. Strasbourg : Stanford University, 1999.
6. Public Sector Transparency and the International Investor // OECD paper, 2003.
7. Мюрдаль, Г. Современные проблемы третьего мира / Г. Мюрдаль. М. : Прогресс, 1972. С. 767.
8. Кещян, В. Государственная поддержка социально-экономического развития депрессивных регионов в зарубежных странах / В. Кащян, А. Чернышов // Региональная экономика. 2006. № 1.
9. Ларина, Н. Региональная политика в странах рыночной экономики / Н. Ларина, А. Кисельников. М. : Экономика, 1998.

N. T. Avramchikova

CONTEMPORARY REGIONAL POLICY: EXPERIENCE OF FOREIGN COUNTRIES

In the paper the methods of the parity achievement of the regions in the sphere of modern state regional policy of the developed countries with the market economy are analyzed. Taking into consideration the characteristic features of the regional development in Russia it was concluded that there is a necessity to find a national variant of the regional problem solution.

Keywords: regional policy, regional imbalances, redistributional policy, promotional policy, parity of regions, regional project.

УДК 339-924

В. И. Лячин, А. А. Лукьянова

ВОСПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФУНКЦИЯ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА: СМЕНА ПАРАДИГМЫ[1]

Раскрывается место и роль оборонно-промышленного комплекса в системе воспроизводственных отношений социальной рыночной экономики.

Ключевые слова: воспроизводство, конечное потребление, воспроизводственная функция ОПК, экономический рост, инновации, структурная политика.

В системе стратегических ориентиров развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК) наиболее существенное значение имеют те, которые отвечают потребностям роста экономики страны и ее регионов. Выявление такого рода ориентиров предполагает, с методологической точки зрения, исследование оборонно-промышленного комплекса сквозь призму общественного воспроизводства, которое охватывает четыре фазы: собственное производство; распределение рабочей силы; распределение орудий и предметов труда; товарно-денежное обращение и обмен; конечное потребление.

Изучение ОПК в качестве системной составляющей общественного воспроизводства связано с выявлением его воспроизводственной функции, которая обнаруживается в отношениях ОПК к конечному потреблению как решающей фазе воспроизводства. Последнее, в свою очередь, предполагает разработку научного представления о месте и роли конечного потребления в системе воспроизводственных отношений. Известно, что абстрактных экономических систем не бывает, они всегда характеризуются конкретно-историческим содержанием и специфической социальной природой, которая определяет удельный вес и значение всех составляющих сегментов общественного воспроизводства. Так, в системе планомерно организованного воспроизводства была создана мощная и эффективно работающая, с точки зрения поставленных перед ней целей, система высокотехнологичных отраслей производства, ядро которой составлял во-

[1]Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ «Разработка стратегических ориентиров инновационного развития экономики Красноярского края на основе использования научно-производственного потенциала предприятия ОПК в регионе», проект № 08-02-00261а.

енно-промышленный комплекс (ВПК). Являясь, главным образом, милитаристски ориентированным, он находился в противоречии с принципами экономической безопасности высокотехнологичных производств в долгосрочной перспективе, и именно потому, что ВПК вступил в полемическое отношение с конечным потреблением.

Тяжелая и сырьевая промышленность, а также ВПК развивались успешно, между тем многие гражданские отрасли, лишенные притока новейших технологий, отставали. К 1970 г. СССР опережал США по уровню производства угля, кокса, тракторов, цемента, но значительно отставал по производству предметов потребления. На протяжении всех десятилетий советской власти хронически отставал аграрный сектор экономики. СССР, имея больше половины мировых площадей плодородных черноземов, так и не смог не только создать базу для развития индустрии и сферы услуг, но и накормить население.

Таким образом, в СССР ВПК подчинял себе гражданское производство, которое не имело источников самостоятельного развития, так как финансировалось государством по остаточному принципу. По сути дела, гражданское производство кредитовало ВПК на безвозвратной основе.

Гражданский сектор не конкурировал с ВКП ни за рабочую силу, ни за материальные и финансовые ресурсы. Без «высоких технологий» потребительский сектор мог существовать только под патронажем государства, которое ограждало его от конкуренции мирового рынка. Как только в ходе рыночных преобразований патронаж был снят, потребительский рынок мгновенно обрушился.

В нормальной рыночной экономике источником финансирования ВКП является потребительский рынок, точнее сектор производства потребительских товаров. Чем выше производительность труда в этом секторе, тем больше труда и капитала общество может направить в сектор ВКП. Именно поэтому производство товаров народного потребления (ТНП) должно было технически оснащаться в первую очередь. Именно в пределах данной связи становится ясным, что источником капитала вообще является труд, занятый в сфере производства потребительских товаров. И если страна не имеет развитой сферы производства жизненных средств, то она не имеет отечественных источников развития ОПК. В СССР производство предметов потребления не являлось приоритетным, а потому все гражданское производство работало на ВПК, а не наоборот.

Если исходить из того, что именно сектор производства товаров народного потребления является приоритетным в системе воспроизводственных отношений, то и экономический рост, увязанный с техническим прогрессом, следует понять с учетом данного факта. В действительности, экономический рост обеспечивается приоритетным развитием на основе новейших технологий сектора, производящего товары народного потребления, т. е. товаров конечного потребления. Если рост конечного потребления в системе общественного воспроизводства является источником развития экономической системы в целом, в том числе и ОПК как ее составляющей, то становится понятным в исходном пункте и воспроизводственная функция ОПК. ВПК должен стать одним из факторов роста конечного потребления, а не только сектором, обеспечивающим оборону страны. Таким образом, в современной рыночной экономике у ОПК обнаруживаются две функции – оборонная и воспроизводственная.

Реализация ОПК своей воспроизводственной функции позволяет преодолеть полемическое, а в некоторых случаях и антагонистическое, его отношение к социально-экономическому развитию общества и подъему производительности труда в экономике.

Нередко в специальной литературе воспроизводственная функция ОПК трактуется в упрощенном виде, а именно, как способность предприятий ОПК создавать наряду с вооружением товары технического назначения для гражданских отраслей, ТНП и самостоятельно выходить с ними на рынок, открывая тем самым для себя дополнительный источник «живых» денежных средств. При этом подразумевается, что полученные предприятием деньги с рынка потребительских товаров могут быть использованы на развитие ОПК. Это мнение ошибочно, так как в конкурентной среде капитал, затраченный на производство товаров конечного потребления, кем бы он ни был инвестирован для этих целей, подчиняется объективным законам простого и расширенного воспроизводства, а потому, чтобы сохранить свою конкурентоспособность, он вынужден всю чистую прибыль пускать на собственное развитие, а не на развитие ОПК. Производство предприятиями ОПК товаров конечного потребления на самом деле не реализует его воспроизводственную функцию и может практиковаться лишь в условиях неконкурентной среды и полной подчиненности сферы гражданского производства интересам ОПК. Последнее теперь невозможно, так как производство товаров конечного потребления вырвалось из плена высокотехнологического сектора экономики и приобрело по отношению к нему самостоятельное, экономически обособленное развитие.

ВПК как часть советской экономики оказался менее подготовлен к длительному состязанию в военной сфере с западом в условиях мирного времени именно потому, что он находился в полемическом отношении к производству товаров конечного потребления. Между тем как в странах с развитой рыночной экономикой приоритет в развитии принадлежал гражданскому производству.

Например, в США (данные за 1998 г.) в структуре расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) приоритетными являлись гражданские разработки (2,2 % валового внутреннего продукта (ВВП) против 0,4 % ВВП – на военные). В России же ситуация была обратная – 75 % всех НИОКР предназначалась для военных разработок [1. С. 201].

Перестройка военно-промышленного комплекса в условиях прекращения «холодной» войны и демилитаризацией российской экономики связано с активным «возвращением» военной промышленности в гражданскую экономику в виде конверсии. Эффективность конверсии зависит от создания в ее ходе условий для наиболее полного использования накопленного производственного и научно-технического потенциала отраслей как оборонной промышленности, так и гражданского производства, выполняющих оборонные заказы. Происходит полное или частичное замещение оборонной продукции

гражданской (производственно-техническими или потребительскими товарами) либо продукцией двойного назначения (оборонной и гражданской). Оно осуществляется на основе использования уже имеющихся мощностей или на основе их реконструкции и создания новых.

Конверсия ВПК должна при государственной финансовой поддержке и в рамках специальных государственных программ послужить базой для развития высокотехнологичных и наукоемких производств. Это даст импульс устойчивому экономическому росту, позволит стране занять достойное место в международном разделении труда, на мировых рынках.

С началом конверсии и с масштабным сокращением государственного оборонного заказа предприятия ОПК встали перед проблемой поиска новых источников финансирования и, тем самым, сохранения и развития своего производства и технологий. В этот период предприятия ОПК стали осваивать рынки продажи своей продукции, среди которых можно выделить:

– рынок государственного заказа;

– рынок товаров длительного пользования для населения;

– рынок продукции производственно-технического назначения;

– рынок экспортной продукции оборонного назначения;

– рынок товаров и услуг гражданского назначения, предназначенных для иностранных заказчиков.

Конверсия ОПК является одним из путей его вовлечения в реальный сектор экономики. Однако следует признать, что в рамках конверсии ОПК не реализует свою воспроизводственную функцию. Более того, решая свои внутрисекторные проблемы, предприятия ОПК в ходе конверсионных мероприятий могут вступать в новые противоречия с гражданским сектором экономики. Так, например, вряд ли экономически оправдана организация на предприятиях ОПК производства товаров конечного потребления, так как такие предприятия, вступая в конкуренцию с предприятиями гражданского сектора, могут повышать конкурентоспособность своих товаров за счет бюджетных средств.

Как же тогда должна реализовываться воспроизводственная функция ОПК, если не считать конверсию способом ее осуществления? На наш взгляд, основная задача ОПК – специализация на производстве оборонных средств, а его воспроизводственная функция заключается в разработке научных знаний, обеспечивающих технический прогресс всех отраслей экономики, а также в предоставлении услуг, имеющих общенациональное значение и инфраструктурный характер.

В связи с переходом на рыночные принципы хозяйствования коренным образом изменяется значение сферы производства товаров конечного потребления. Именно она вместе с производством средств производства для изготовления предметов потребления превращается в источник средств для расширенного производства или, другими словами, экономического роста. Вопрос о приоритетном значении возрождения и развития производства жизненных средств в обеспечении экономического роста на современном этапе обстоятельно исследуется в работах В. А. Медведева [2].

В условиях рынка гражданский сектор экономики, ориентированный на платежеспособный спрос населения, непрерывно финансируется и кредитуется населением через рынок потребительских товаров. А это означает, что в новых условиях принудить экономику к первоочередному, да еще и безвозвратному, кредитованию ОПК невозможно. Экономический рост гражданского сектора оказывается самостоятельным, не только независимым от потребностей роста ОПК, но и вступающим в конкуренцию с ним за денежные ресурсы. Деньги для ОПК приобретают решающее значение, тогда как в прошлом предприятия ОПК производили продукцию «любой ценой».

Подчеркнем еще раз: в системе рыночной экономики гражданский сектор, ориентированный на спрос населения, воспроизводится за счет платежеспособного спроса населения, а следовательно, он не зависим от государства, самостоятелен по отношению к нему.

Однако гражданский сектор экономики воспроизводится не только за счет накопления капитала, функционирующего в этой сфере, но и за счет технического прогресса, который лежит в основе расширенного воспроизводства. И ОПК может иметь перспективы собственного долгосрочного развития, если будет участвовать в обеспечении технического прогресса всей экономики и прежде всего производства товаров конечного потребления.

В условиях перехода российской экономики на инновационную модель развития ОПК неизбежно будет развивать принципиально новую функцию, а именно, функцию «локомотива» экономического роста всей экономики. Такого рода функцию ОПК мы называем воспроизводственной функцией.

В настоящее время ОПК возрождается. Он наращивает производственные мощности и научный потенциал. Однако возрождение ОПК страны не является лишь делом увеличения оборонного заказа и объемов финансирования предприятий ОПК. Восстановление ОПК должно осуществляться не только на основе использования современных средств научно-технического прогресса, но, что самое главное, на основе принципиально нового взаимодействия гражданского и оборонного секторов экономики. Иначе остается соблазн восстановить мобилизационный способ финансового и материального обеспечения оборонно-промышленного комплекса и «вернуться в историю», между тем как движение ОПК по пути прогресса должно быть связано с развитием его воспроизводственной функции.

Возрождающийся оборонно-промышленный комплекс сталкивается с хроническим дефицитом финансовых, а следовательно, и материальных ресурсов, для развития его инновационного и производственного потенциала. Естественно, для преодоления вышеназванного дефицита, прежде всего, необходимо обратиться к внутриотраслевым факторам, что вызывает необходимость осуществления реформ самого ОПК, а также реструктуризации предприятий, в него входящих. И именно в этом русле правительство приняло ряд нормативных актов, программных документов, направленных на развитие ОПК на ближайшие годы и перспективу. Однако развитие ОПК, особенно перспективное, не исчерпывается прове-

дением реструктуризации, изменяющей характер взаимоотношений между субъектами ОПК и обеспечивающей наиболее эффективное использование ресурсов и привлечение инвестиций. Совершенствование и реформирование внутриотраслевых отношений ОПК в настоящее время, естественно, следует отнести к числу приоритетных направлений развития оборонно-промышленного комплекса. Что же касается его стратегического развития, то роль реструктуризации в этом процессе развития носит ограниченный характер, и прежде всего потому, что синергетический эффект, возникающий при реструктуризации предприятий ОПК, не сравним с синергетическим эффектом, возникающим в результате вовлечения ОПК в общенациональный воспроизводственный процесс. В связи с этим, актуальным становится вопрос идет об исследовании, во-первых, воспроизводственной функции ОПК в дополнении к оборонной, во-вторых, о способах их ограниченного единства.

Воспроизводственная функция ОПК не может реализоваться при современном состоянии российской экономики. Дело в том, что сложившаяся экспортно-ориентированная модель хозяйствования не соответствует интересам развития сектора, производящего товары конечного потребления: основой российской экономики в настоящее время является обмен «нефти на продовольствие». Такого рода обмен не только свертывает отечественное производство жизненных средств, но и разрушает воспроизводственный процесс в целом. В результате, страна утрачивает собственный источник экономического роста, и тем самым воспроизводственная функция ОПК лишается смысла.

Выход из создавшегося положения в российской экономике мы видим в возвращении государства в экономику. Монетаристский подход к регулированию экономики, базирующийся на максимальном отстранении государства от хозяйственной деятельности, несет в себе разрушительные тенденции. Но и переход к кейнсианской модели управления российской экономики не решает воспроизводственных задач. Правительству необходимо разработать и осуществить структурную экономическую политику по восстановлению национального хозяйства, в пределах которого возможно осуществить и воспроизводственную функцию ОПК. Более того, у российского правительства есть редкий шанс соединить решение проблем повышения обороноспособности страны с созданием воспроизводственных основ российской экономики.

Целью структурной экономической политики должно быть формирование процесса генерации отечественного капитала, и прежде всего промышленного, функционирующего в сфере производства товаров потребительского назначения. Капитал есть накопленный ресурс, который включен в процесс воспроизводства и возрастания стоимости путем взаимной конвертации своих разнообразных форм, главная из которых в современных условиях – человеческий капитал. Поэтому расширение воспроизводств товаров конечного потребления в известном смысле есть воспроизводство человеческого капитала.

Приоритетное развитие производства предметов потребления в рыночных условиях становится существенно значимым и для ОПК, так как он лишился льготных условий воспроизводства для него человеческого капитала.

Библиографический список

1. Багриновский, К. А. Современные методы управления технологическим развитием / К. А. Багриновский, Н. А. Бендиков, Е. Ю. Хрусталев. М. : РОСПЭН, 2001.

2. Медведев, В. А. Воспроизводство и приоритеты развития / В. А. Медведев. М. : Экономика, 2004.

V. I. Lyachin, A. A. Luk'yanova

REPRODUCTION FUNCTION OF MILITARY-INDUSTRIAL COMPLEX: PARADIGM CHANGE

The paper describes the role of military-industrial complex in reproduction function of the market economy.

Keywords: reproduction, consumptive use, reproduction function of military-industrial complex, economic growth, innovations, structural policy.

УДК 332.1

А. А. Гордеев

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Предложена модель оценки эффективности и качества управления муниципальными образованиями. Сформирована четырехуровневая система показателей (индикаторов), составляющих информационную основу оценки эффективности и качества управления муниципальными образованиями. Разработана методика нормирования индикаторов для объединения их в индикаторы более высокого уровня. Создан инструмент автоматизированного расчета индикаторов всех уровней в модели эффективности управления муниципальными образованиями.

Ключевые слова: муниципальное управление, региональная экономика, местное самоуправление, эффективность управления МО, муниципальные образования.

Муниципальные образования (МО) все заметнее функционируют как самостоятельные субъекты экономического процесса. В связи с этим развитие рыночных отношений требует от них разработки и реализации эффективной экономической политики. Цель любого МО – социально-экономическое развитие, включающее создание качественной «среды», понимаемой в широком смысле как совокупность условий жизни населения и функционирования хозяйствующих субъектов на территории данного МО.

Одним из основных условий прозрачности деятельности местных властей и контроля за исполнением принятых решений является полнота и доступность информации для населения, позволяющая производить оценку их деятельности.

Оценку деятельности местных властей, федерации и края по управлению МО можно представить в виде оценки эффективности управления МО. Согласно традиционному подходу, эффективность есть отношение полезного результата (эффекта) к затратам на его получение, определяемое на народнохозяйственном и отраслевом уровнях [1].

Исследования практики нормативного регулирования процессов оценки эффективности управления МО в РФ выявили отсутствие четкой терминологии, необходимой для оценки эффективности управления на уровне МО [2–5]. В существующих попытках оценки эффективности управления МО можно выделить следующие проблемы:

1. Оценка эффективности управления МО сводится либо к оценке социально-экономического развития муниципальных образований, либо к изменению показателей качества жизни. При этом оценка эффективности управления МО производится чаще всего по узким показателям социально-экономического развития, в основном по бюджету и финансам. Публикации по результатам исследований и практическому опыту также ориентированы либо на «узкое» видение роли МО, либо на комплексный подход к оценке его социально-экономического положения.

2. Существующие оценки эффективности управления МО не охватывают полностью деятельность территорий, в том числе хозяйствующих субъектов, расположенных на данной территории, и не позволяют произвести одинаковое толкование результатов.

3. Показатели (индикаторы) оценки эффективности управления МО при объединении их в индикаторы более высокого уровня имеют одинаковую (равную) степень важности, т. е. имеют одинаковый вес в структуре получаемого индикатора, что не позволяет отразить реальную эффективность управления с учетом полномочий МО, закрепленных законодательными актами.

4. Существующие инструменты и программные обеспечения не позволяют производить оценку эффективности управления по отдельным блокам эффективности, а также по уровням управления МО, разграничивая компетенции федерации, региона и местной власти.

На наш взгляд, оценка эффективности управления МО зависит от цели развития, воплощаемой в форме подготовленных управленческих решений и действий для конкретного МО в зависимости от накопленного потенциала. Это является основой для принятия решений и действий в области социально-экономического развития, являющегося следствием эффективного или неэффективного управления. Таким образом, развитие муниципальных образований зависит от полноты использования существующих возможностей местного сообщества, а также от эффективности управления их ресурсными потенциалами.

В целом, эффективность управления МО зависит не от отдельных показателей, а от их совокупности, значение которых определяется в значительной мере влиянием внешних факторов (общей социально-экономической ситуацией в государстве, политикой федеральных и региональных властей и др.), не зависящих от компетенций управления МО. Это вызывает необходимость производить оценку эффективности МО по результатам социально-экономического развития не только в целом, но и на основе разграничения компетенций МО, компетенций федерации и региона.

На наш взгляд, разработка модели оценки эффективности и качества управления МО должна осуществляться с учетом следующих предположений и посылок:

– муниципальные интересы выступают как база оценки и обоснования принятия управленческих решений и действий;

– цель оценки эффективности и качества управления МО состоит в повышении уровня ответственности МО за результаты своей деятельности и определении специфических факторов и причинно-следственных связей, влияющих на их социальное и экономическое развитие;

– модель оценки эффективности и качества управления МО основывается на обеспечении достоверности исходных данных, учете важнейших элементов, составляющих потенциал социально-экономического развития

территории (экономический, финансово-инвестиционный, природно-ресурсный потенциал и потенциал качества жизни).

Таким образом, модель оценки эффективности и качества управления МО базируется на том, что муниципальные образования:

– представляются как субъекты экономической деятельности и реальные участники экономического процесса на территории МО;

– несут ответственность за создание качественной «среды», понимаемой как совокупность условий жизни населения и функционирования хозяйствующих субъектов на территории, и ответственность за комплексное социально-экономическое развитие территории МО;

– представлены в виде единой системы показателей и индикаторов, которые отражают ситуацию во всех сферах экономики и социальной среды, находящихся как в прямом (муниципальном секторе), так и в косвенном (независимые предприятия и организации) управлении территории МО.

Кроме этого, модель оценки эффективности и качества управления МО должна учитывать направления реформы системы организации местного самоуправления и бюджетного устройства РФ, нашедшие отражение в следующих федеральных законах: ФЗ № 131 от 6 октября 2003 г. «Об общих принципах …» и ФЗ № 95 от 4 июля 2003 г. «О внесении изменений... „Об общих принципах …"», а также специфику МО и разграничение предметов ведения в соответствии с ФЗ № 131 от 6 октября 2003 г. «Об общих принципах …», и основываться на государственной, региональной и муниципальной статистике.

Модель оценки эффективности управления, основанная на представлении территории МО как экономического пространства, на котором происходит формирование его социально-экономического потенциала, представлена на рис. 1.

Как видно, каждый из потенциалов в разной степени находится в компетенции муниципальной и федеральной власти, поэтому их необходимо разграничивать.

В свою очередь, эффективность управления муниципальным образованием оценивается комплексом основных показателей (индикаторов) и дополнительных индикаторов, которые характеризуют использование социально-экономического потенциала (рис. 2).

Оценка эффективности управления муниципальными образованиями невозможна без соответствующей информационной базы. Анализ состояния муниципального управления в России выявил противоречия между информационными потребностями органов управления и возможностями действующих систем их информационного обеспечения. С одной стороны, аналитическая информация необходима как основа планирования деятельности любого социально-экономического объекта, с другой – как предварительная оценка последствий принимаемых решений с целью их оптимизации.

Авторы предлагают представить информационную базу оценки эффективности управления МО многоуровневой системой индикаторов (показателей). Исходные единичные показатели образуют нулевой уровень информационной системы оценки эффективности управления в МО и представлены в виде самостоятельных статистических показателей Пi^t. Расчетные индикаторы, получаемые сопоставлением исходных единичных показателей, образуют индикаторы первого уровня Иi^t. Для дальнейшего группирования индикаторов, ввиду разных единиц измерения, необходимо произвести процедуру нормирования единичных индикаторов. Частные ЧИi^t, интегральные ИИi^t, сводные СИi^t индикаторы информационной системы оценки эффективности управления в МО образуются сворачиванием по соответствующим уровням. Эффективность управления в МО определяется комплексом основных и дополнительных индикаторов. Уровни и иерархия основных показателей (индикаторов) методики оценки эффективности управления МО представлены на рис. 3, где ИКЖ – индикатор качества жизни (ИКЖ 1 – индикатор качества среды, ИКЖ 2 – индикатор качества человеческого потенциала, ИКЖ 3 – индикатор качества деятельности), ИФИП – индикатор финансово-инвестиционного потенциала (ИФИП 1 – индикатор потенциала финансов, ИФИП 2 – индикатор инвестиционного потенциала), ИЭП – индикатор экономического потенциала (ИЭП 1 – индикатор потенциала промышленности,

Рис. 1. Экономическое пространство и структура социально-экономического потенциала МО

ИЭП 2 – индикатор потенциала внешнеэкономической деятельности (ВЭД), ИЭП 3 – индикатор потенциала сельского хозяйства и агропромышленного комплекса (АПК), ИЭП 4 – индикатор потенциала муниципальной сферы экономики, ИЭП 5 – индикатор потенциала инфраструктурной сферы экономики); ИПРП – индикатор природно-ресурсного потенциала (ИПРП 1 – индикатор потенциала минерально-сырьевых ресурсов, ИПРП 2 – индикатор потенциала водных ресурсов, ИПРП 3 – индикатор потенциала земельных ресурсов, ИПРП 4 – индикатор потенциала лесных ресурсов, ИПРП 5 – индикатор демографического потенциала).

В каждом блоке индикаторы 1-го уровня делятся, с одной стороны, на позитивные индикаторы, рост которых характеризует увеличение потенциала МО, и негативные индикаторы, рост значений которых свидетельствует о снижении возможностей МО за счет неэффективного управления, с другой стороны – на индикаторы, значения которых определяются действиями, находящимися в компетенции МО, и те индикаторы, значения которых определяются действиями, находящимися в компетенции федерации и региона.

Одной из ключевых проблем группировки индикаторов в индикаторы более высокого уровня является их нормирование. Анализ российской практики нормирования индикаторов показал, что одним из наиболее эффективных методов нормирования индикаторов для оценки эффективности управления может стать индексный метод с некоторыми его модификациями, хотя в отличие от нормативного подхода он не дает возможности обоснования нормативных зависимостей, отражающих прогрессивный характер связи величины затрат на управление и его результатов [6–10]. В результате, указанный метод с определенными изменениями и дополнениями

Основные показатели/индикаторы			
Индикаторы оценки природно-ресурсного потенциала (ПРП)	Индикаторы оценки экономического потенциала (ЭП)	Индикаторы оценки финансово-инвестиционного потенциала	Индикаторы оценки потенциала качества жизни населения (ПКЖ)

Дополнительные индикаторы			
Индикатор деловой активности	Индикатор инвестиционной привлекательности	Индикатор предпринимательской уверености	Индикатор качества развития человеческого потенциала

Рис. 2. Модель оценки эффективности управления в МО

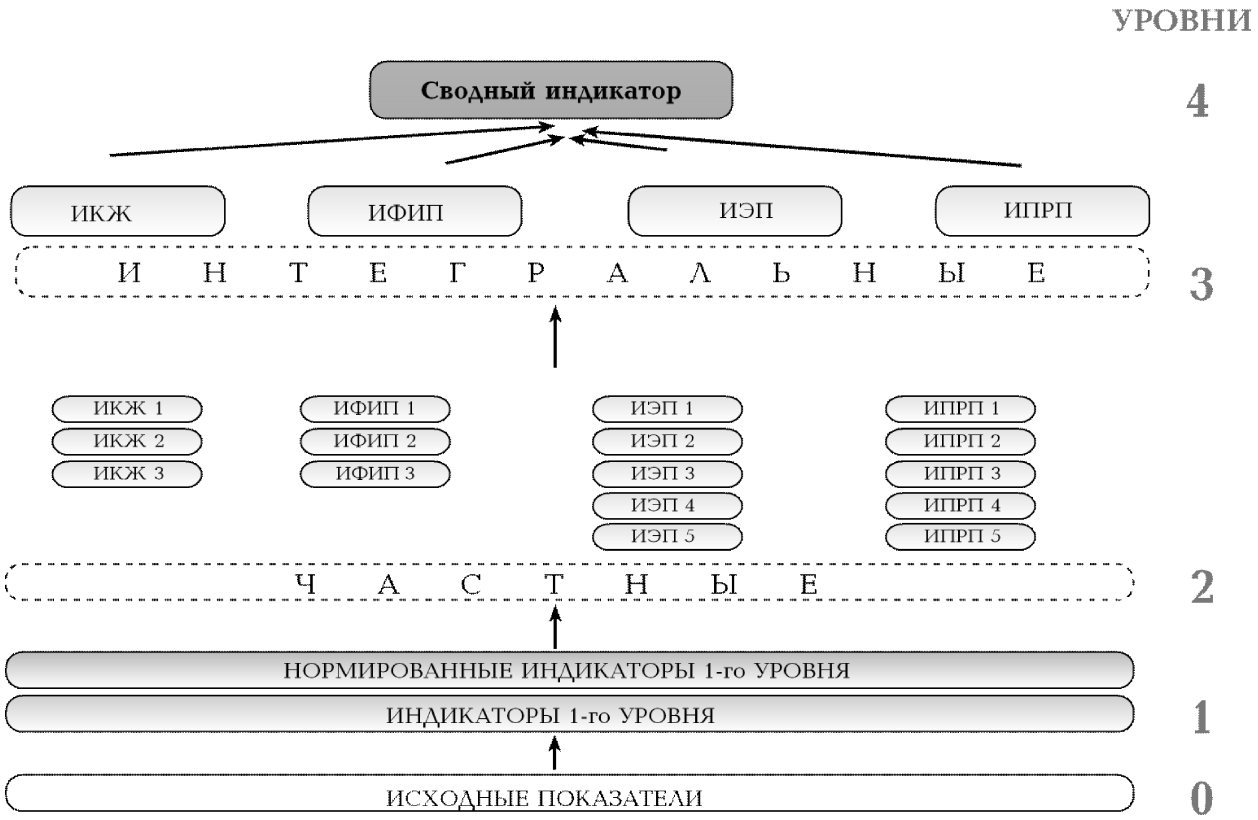


Рис. 3. Уровни и иерархия основных показателей/индикаторов методики оценки эффективности управления МО

можно считать основой методики нормирования основных индикаторов оценки эффективности управления МО, имеющей в своем составе количественную характеристику уровня использования потенциальных возможностей региона по созданию эффекта. Для получения такой характеристики производится сравнение конкретного региона по каждому показателю с условным эталонным регионом, имеющим наиболее высокие и наиболее низкие результаты по всем сравниваемым индикаторам.

Выбор эталонного региона может осуществляться из совокупности однотипных или разнородных объектов. Это не является препятствием к использованию метода, потому что показатели сопоставимы для разнородных региональных систем (приведены, например, к численности населения или к площади территории).

Необходимость модификации индексного метода для оценки эффективности управления МО Красноярского края вызвано наличием часто встречающегося высокого максимального значения (в несколько раз выше основного значения). Из-за таких скачков значение максимума принимается очень высоким по сравнению с основным перечнем, вследствие чего 90 % ненормированных значений становятся очень низкими по сравнению с максимумом и поэтому неприменимыми для дальнейшего сравнения друг с другом (рис. 4).

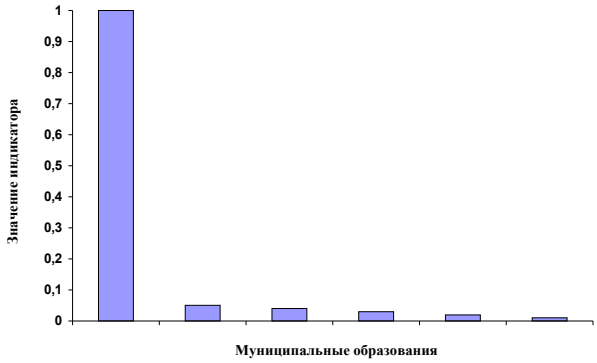


Рис. 4. Ненормированные значения индикатора 1-го уровня в разрезе МО

По нашему мнению, алгоритм индексного метода с учетом внесения модификаций заключается в следующем.

Сначала в перечне значений индикаторов производится выбор тех индикаторов, значения которых равны нулю. Нормированным индикаторам этих МО также присваивается значение 0. Перечень индикаторов, значения которых больше нуля разбивается на группы (в статистике принято разбивать весь перечень на 2 (медиана), 4 (квартиль) и 10 (дециль) групп). Число групп тесно связано с объемом совокупности. Здесь нет строго научных приемов, позволяющих решать этот вопрос при любых взаимосвязях названных величин. Всякий раз эта задача решается с учетом конкретных обстоятельств. Однако при равенстве интервалов для ориентировки существует формула, предложенная американским ученым Стерджессом, с помощью которой можно выделить число групп n при известной численности совокупности N:

$$N = 1 + 3{,}322 \lg n,$$

где n – количество территорий (МО), значения индикаторов которых выше нуля; N – количество групп.

В том случае, если $N = 1$, нормирование индикаторов происходит по индексному методу. Если $N > 1$, определяются границы значений интервалов. Для этого необходимо рассчитать частоту значений в каждом интервале:

$$F = n / N,$$

где F – частота значений в одном интервале; n – количество территорий МО, значения индикаторов которых выше нуля; N – количество групп.

Таким образом, за нижнюю границу N-го интервала принимается значение $X_{iн}$, при $iн = F(N-1) + 1$, а его верхняя граница равна $X_{iк}$, при $iк = F \cdot N + 1$, где i – порядковый номер индикатора в упорядоченном по возрастанию массиве индикаторов. Верхняя граница N-го интервала одновременно является нижней границей $N + 1$-го интервала. Для каждого интервала определяются максимальное и минимальное значения нормированного индикатора. Следующим шагом является нормирование индикатора внутри интервала, в который попал индикатор:

$$И^t_{i(2)} = (Y_i - X_{i\,\min}) / (X_{i\,\max} - X_{i\,\min}),$$

где $И^t_{i(2)}$ – нормированный индикатор в интервале; $X_{i\,\min}$ – нижняя граница интервала, в который попал индикатор; $X_{i\,\max}$ – верхняя граница интервала, в который попал индикатор.

С помощью нормированного индикатора в интервале и полученного количества интервалов рассчитывается нормируемый индикатор по формуле

$$И^t_i = И^t_{i(2)} (1 / N) + (k - 1) / n,$$

где $И^t_{i(2)}$ – нормированный показатель внутри интервала; k – номер интервала; N – количество интервалов, на которое делится весь перечень индикаторов.

Таким образом, происходит сглаживание ненормированных значений индикаторов 1-го уровня и перечень нормированных индикаторов вышеописанным способом выглядит, как на рис. 5.

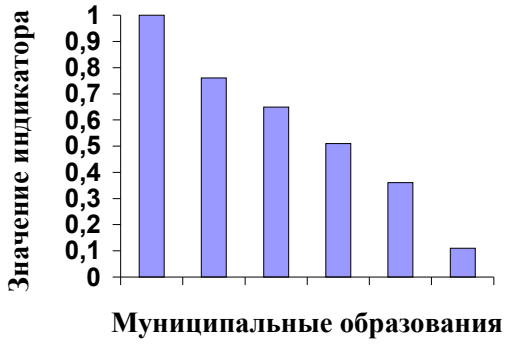


Рис. 5. Нормированные значения индикатора 1-го уровня в разрезе МО

Подобным методом нормируются индикаторы оценки эффективности управления всех муниципальных образований за требуемый период времени.

Оценку качества управления предлагается проводить по скорости и синхронности экономических процессов, осуществляемых территорией МО.

Направления развития процессов на территории МО рекомендуется оценивать с помощью скоростных характеристик (темпов прироста потенциалов).

Совокупная оценка эффективности территории МО проводится по двум составляющим: сводному индикатору использования потенциала и скорости его изменения, где обозначены интервалы оценки, дано определение характеристики, предложены критерии оценки МО по всей совокупности потенциалов.

При объединении индикаторов оценки эффективности МО в индикаторы более высокого уровня необходимо учитывать их степени значимости на основе системы экспертной оценки, позволяющей определять их значения для частных и интегральных индикаторов. Проведенный опрос и обработка анкетных данных определили значения важности интегральных показателей для совокупной характеристики эффективности управления МО Красноярского края (табл. 1, 2):

Нормирование и расчет индикаторов 1-го уровня, расчет частных, интегральных, сводного, дополнительных индикаторов, построение рейтингов МО требуют трудоемких математических расчетов, что обуславливает применение специализированного программного обеспечения (ПО) для автоматизации расчетов. Существующие программные обеспечения в основном используются для хранения статистических показателей социально-экономического развития и не позволяют заложить инновационную методику расчета индикаторов различных уровней. В связи с этим требуется разработка ПО для автоматизации расчетов оценки эффективности управления МО (рис. 6).

При разработке программного обеспечения для оценки эффективности и качества управления муниципальными образованиями Красноярского края были использованы следующие языки программирования и базы данных: PHP, БД MySQL, HTML.

Для внесения исходной информации в базу данных необходимо пройти авторизацию или регистрацию в том случае, если соответствующей учетной записи не существует. Это позволяет вносить информацию одновременно нескольким администраторам с разных удаленных точек доступа, а обработка исходной информации происходит на центральном сервере (рис. 7).

Таким образом, представленная методика оценки эффективности управления МО позволяет:

– получать по результатам контроля информацию, необходимую для анализа причин и источников неэффективных управленческих решений, а также выявления процессов, не поддающихся или трудно поддающихся управленческим воздействиям;

– оценивать влияние управленческих решений на эффективность использования всех видов местных ресурсов и потенциала территории МО;

– обеспечивать поддержку принятия управленческих решений и определять направления совершенствования процессов муниципального управления и в конечном итоге воздействовать на тенденции социально-экономического развития МО;

– выявлять внутренние ресурсы (потенциалы) и создавать механизмы экономических, правовых, социальных, обучающих, управленческих, организационных решений, способных обеспечить достижение поставленных целей.

Библиографический список

1. Большая советская энциклопедия : в 30 т. М. : Советская энциклопедия, 1969–1978.

2. Данилов-Данильян, В. И. Экологический вызов и устойчивое развитие : учеб. пособие / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. М. : Прогресс-Традиция, 2000.

3. Индикаторы социально-экономического развития муниципальных образований / Г. Ю. Ветров, Д. В. Визга-

Таблица 1

Коэффициенты значимости интегральных значений индикаторов территории МО

Интегральные индикаторы		Значимость
Природно-ресурсный потенциал	ПРП	0,139
Экономический потенциал	ЭП	0,228
Финансово-инвестиционный потенциал	ФИП	0,319
Потенциал качества жизни	КПЖ	0,315

Таблица 2

Коэффициенты значимости частных индикаторов территории МО

Частные индикаторы		Значимость
Индикатор качества среды	ИКЖ 1	0,315
Индикатор качества человеческого потенциала	ИКЖ 2	0,259
Индикатор качества деятельности	ИКЖ 3	0,426
Индикатор потенциала финансов	ИФИП 1	0,509
Индикатор инвестиционного потенциала	ИФИП 2	0,491
Индикатор потенциала промышленности	ИЭП 1	0,102
Индикатор потенциала ВЭД	ИЭП 2	0,114
Индикатор потенциала с.-х и АПК	ИЭП 3	0,199
Индикатор потенциала муниципальной сферы экономики	ИЭП 4	0,307
Индикатор потенциала инфраструктурной сферы экономики	ИЭП 5	0,277
Индикатор потенциала минерально-сырьевых ресурсов	ИПРП 1	0,097
Индикатор потенциала водных ресурсов	ИПРП 2	0,211
Индикатор потенциала земельных ресурсов	ИПРП 3	0,207
Индикатор потенциала лесных ресурсов	ИПРП 4	0,204
Индикатор демографического потенциала	ИПРП 5	0,281

лов, А. А. Шанин, Н. И. Шевырова. 2-е изд., доп. М. : Фонд «Институт экономики города», 2002.

4. Колмаков, И. Б. Методы и модели прогнозирования показателей дифференциации денежных доходов населения / И. Б. Колмаков. М. : Институт микроэкономики, 2004.

5. Лавровский, Б. К вопросу о методологии и техники региональной классификации / Б. Лавровский, В. Максаков // Региональная политика, направленная на сокращение социально-экономической и правовой асимметрии. Новосибирск, 2000. Вып. 2. С. 81–82.

6. Лавровский, Б. Политика регионального выравнивания в России / Б. Лавровский, В. Максаков // Вопросы экономики. 2004. № 10. С. 91–96.

7. Гуськов, Н. С. Экономическая безопасность регионов России / Н. С. Гуськов, В. Е. Зенякин, В. В. Крюков. М. : Алгоритм, 2000.

8. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В. В. Корнев, А. Ф. Гареев, С. В. Васютин, В. В. Райх. М. : Издатель Молгачева С. В. ; Нолидж, 2001.

9. Гайдышев, И. Анализ и обработка данных : спец. справочник / И. Гайдышев. СПб. : Питер, 2001.

10. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики : учеб. для вузов : в 2 т. Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. 2-е изд., испр. М. : ЮНИТИ-Дана, 2001.

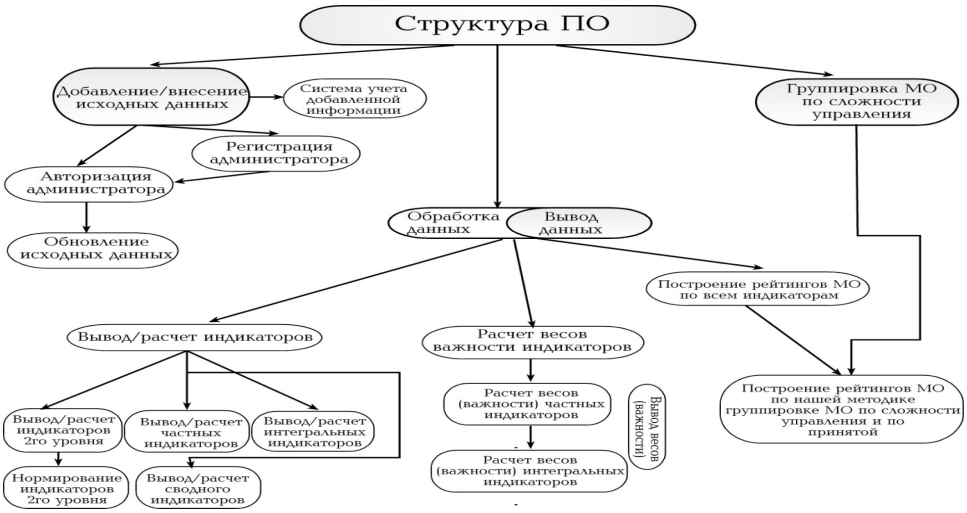


Рис. 6. Структура программного обеспечения оценки эффективности и качества управления МО Красноярского края

Рис. 7. Структура обработки информация по оценке эффективности и качества управления МО

A. A. Gordeev

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE MANAGEMENT EFFICIENCY EVALUATION IN MUNICIPAL UNITS OF KRASNOYARSK REGION

The paper suggests an evaluation model of the efficiency and quality of municipal units management. A four-level system of indicators is formed. They are the informational foundation of evaluation of the efficiency and quality of municipal units management. A methodology of indicators rating to integrate them into indicators of higher level is worked. A tool for indicator computer analysis of all levels in models of municipal units efficiency management is developed.

Keywords: municipal management, regional economy, local government, efficiency of management MU, municipal units.

УДК 65.011(075.8)

М. Н. Петров, Н. Г. Треногин

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ

Рассмотрены принципы построения современных систем управления на предприятиях телекоммуникационной отрасли. Представлены различные подходы к принципам управления бизнес-процессами

Ключевые слова: фирма, управление, бизнес-процесс, оптимизация, система.

Современное предприятие электросвязи – это сложная человекомашинная система, функционирование которой зависит от различных факторов. Эти факторы можно сгруппировать следующим образом:

– общественно-политические (изменения в государственном устройстве, изменения в отношении к собственности и т. д.);

– технологические (изменение в технологиях обработки и доставки информации, конвергенция, увеличение видов и качества предоставляемых пользователям услуг и т. д.), которые позволяют организовать ведение бизнеса по новым правилам и принципам как в отношении предоставления услуг клиентам, так и организации бизнес-процессов внутри самого предприятия;

– организационно-управленческие, предполагающие на основе 1-го и 2-го фактора внедрять в производство самые современные, основанные на последних достижениях науки и техники принципы организации бизнес-процессов предприятия и совершенствовать (производить реинжиниринг) их в зависимости от рыночных потребностей изменения бизнеса в кратчайшие сроки;

– использование современных разработок в области социологии и психологии (мотивационные и компенсационные аспекты) для создания благоприятного климата на производстве, направленного на созидательный труд (внедрение новейших технологий в новых услугах и операционной деятельности) во благо компании.

Все вышеперечисленные факторы взаимосвязаны и оказывают существенное влияние на организацию эффективной деятельности предприятия электросвязи [1].

Современное предприятие электросвязи – киберкорпорация. В конце XX в. произошли существенные политические изменения в странах Восточной Европы, позволившие сформировать новую регулирующую и законодательную среду, которая способствовала развитию в телекоммуникациях таких процессов, как либерализация, дерегулирование и глобализация. Либерализация и дерегулирование в связи с ослаблением государственного контроля определили переход от монопольной структуры рынка к конкурентной среде, что повлекло за собой весьма прогрессивные изменения в индустрии электросвязи.

Либерализация рынков привела к росту числа альянсов и приватизации государственных компаний. Были проданы значительные части национальных телекоммуникационных компаний Швейцарии, Франции, а также стран Восточной Европы. Аналогичные процессы происходят и на других континентах. Либерализация мировых рынков приводит к увеличению числа участников рынка, увеличению предлагаемого набора услуг и технологических инноваций, что обеспечивает переход от индустриального общества, основанного на создании механизмов, облегчающих физический труд, к информационному обществу, основанному на применении систем, усиливающих мыслительную деятельность человека [2].

Основной движущей силой либерализации, своего рода катализатором, является технический прогресс, который обеспечивает новые возможности в развитии общества и, как следствие, основания к углублению либерализации и дерегулирования в телекоммуникациях.

Не менее важным ключевым фактором является глобализация. Ее суть состоит в том, что в связи с развитием информационных и коммуникационных технологий различные формы активности, ранее реализуемые на местном и региональном уровне, сегодня реализуются в континентальных и мировых масштабах.

Движущими силами глобализации являются международная торговля, международные телекоммуникации и международная финансовая деятельность. Влияние глобализации охватывает все секторы мировой экономики. В отношении электросвязи глобализация снижает роль национальных границ при предоставлении телекоммуникационных услуг. Как и либерализация, глобализация существенно зависит от развития информационных, телекоммуникационных технологий и технического прогресса в целом [3].

Рассмотрим, как процессы либерализации и глобализации повлияли на деятельность, организационные структуры, принципы организации бизнеса, организацию технологических процессов и формирование новых услуг, предоставляемых клиентам в отрасли связи.

Большинство предприятий электросвязи России стали акционерными обществами. В течение последнего десятилетия создано много предприятий – альтернативных операторов связи. Рынок регулируется антимонопольным законодательством. Конкуренция подталкивает телекоммуникационные компании на развитие новых видов услуг, организацию бизнеса с учетом тенденций мирового уровня и внедрение современнейших методов управления компаниями.

В основе всех нововведений лежит использование современных компьютерных сетей и информационных систем (ИС) управления предприятиями, которые позволяют централизовать структуры управления, сделать процессы управления компаниями прозрачными, логичными и эффективными.

Современное предприятие электросвязи пронизано информационными технологиями и компьютерными сетями. Развивая телекоммуникационные системы как

для предоставления услуг, так и для автоматизации внутренних бизнес-процессов, акционированные предприятия ставят и решают задачи, которые были не совсем логичны в условиях монополизированной экономики. Практика показывает, что те участники рыночной гонки, у которых хватает финансовых средств и интеллектуального потенциала на инновации и внедрение новых информационных систем управления предприятием и современных методов ведения бизнеса – являются лидерами.

Кратко рассмотрим формулу успеха лидеров, охарактеризуем, благодаря каким инструментам он достигается, и что представляют собой эти компании. Основой успеха является максимальная автоматизация бизнес-процессов. Но не просто застывшая схема автоматизации, а развивающаяся, подверженная принципам реструктуризации (business process reengineering – BPR). Причем цель проведения реструктуризации, естественно, связана с укреплением позиций компании на рынке, реакцией на требования рынка, причем как в долгосрочной, так и в средне- и краткосрочной перспективах. Однако, если весь бизнес компании максимально автоматизирован, то основным требованием к информационным системам управления предприятием является гибкость и настраиваемость под требования бизнеса. В настоящее время имеются готовые решения и инструментальные средства, позволяющие создавать такие информационные системы. Причем процессы реинжиниринга производятся в режиме, близком к автоматическому.

Такие современные предприятия иногда называют киберкорпорациями [4]. Предприятия электросвязи в значительной степени попадают под это определение. В основе их деятельности лежит эксплуатация информационных и телекоммуникационных систем и сетей, ресурсы которых, с одной стороны, являются основным товаром, предоставляемым в качестве услуг клиентам, а с другой стороны, используются самой компанией для нужд внутрикорпоративной автоматизации. Причем, чем выше степень автоматизации бизнес-процессов компании, тем меньше затраты на проведение реинжиниринга. Чем гибче автоматизированная система управления, тем меньшее времени требуется на изменение ее под требования рынка при краткосрочных перспективах. Последнее позволяет реализовать эффективную маркетинговую политику компании.

Можно выделить движущие силы процесса возникновения киберкорпораций:

– развитие микроэлектроники (введение понятия стандартного, универсального элемента микропроцессорного контроллера, как основной структурообразующей частицы (атома) всего мира информационных компьютерных систем, возможности которого увеличиваются в соответствии с законом Мура);

– прогресс в области технологий построения компьютерных сетей, снижающий остроту проблемы доступа и транспортировки информации (технологическая основа изменения возможностей для предоставления новых услуг, обеспечения мультисервисности сетей и организации нового подхода к ведению бизнеса телекоммуникационных операторов);

– бурный рост в области создания программного обеспечения, позволяющий реализацию оптимальной управляемости бизнесом предприятия через BPR, Project Management, CASE-технологии – основы создания киберкорпораций.

Основной принцип существования современного предприятия – BPR и комплексная автоматизация. История развития принципа BPR изложена в работах Э. Деминга. В Японии, США и других странах в различных отраслях он был пионером, который ввел в практику подход непрерывного усовершенствования процессов, или CPI (Continious Process Improvement), заключающийся в организации работ, при которой [5]:

– ставится цель постоянного повышения качества продуктов и услуг (в отличие от повышения производительности «любой ценой»);

– организация работ для этого трансформируется и динамично совершенствуется;

– критерии качества исходят от потребителя;

–в центр внимания ставится не числовой показатель результата той или иной производственной функции или деятельности, а качество процесса ее выполнения;

– исследуются и устраняются недостатки производственной системы, а не отдельных работников;

– повышается роль решений и инициативы каждого работника;

– снимаются барьеры, установленные производственными подразделениями, организуется групповая («артельная», командная) работа;

– на основе всего этого (как побочный, а не главный результат) снижаются затраты на производство.

Э. Деминг начал вводить в практику этот подход в 40–50-е гг. прошлого века в промышленном производстве. Несколько лет его работы консультантом в Японии привели к тому, что он считается одним из создателей «Японского чуда», ключевой эффект которого состоял в следующем. Несколько талантливых японских инженеров обнаружили в литературе и подтвердили на практике, что при повышении качества продукции неизбежно происходит и увеличение производительности. Это подход в Японии назвали TQM (Total Quality Management), он является японским вариантом подхода CPI Э. Деминга. Следующим этапом в развитии методов и систем управления стали идеи М. Хаммера, который по сравнению с CPI и TQM предложил гораздо более радикальный подход к улучшению управления BPR. Главной целью BPR является резкое ускорение реакции предприятия на изменения в требованиях потребителей (или на прогноз таких изменений) при многократном снижении затрат всех видов. В BPR входят цели и задачи, присущие CPI, и, кроме того, на первый план выведены новые цели и методы, диктуемые новой ситуацией в мире:

– резкое снижение затрат времени на выполнение функций;

– резкое снижение числа работников и других затрат на выполнение функций;

– глобализация бизнеса – работа с клиентами и партнерами в любой точке мира;

– работа с клиентом в режиме 24 · 365 (24 часа 365 дней);

– опора на рост мобильности персонала;

– работа на будущие потребности клиента;

– ускоренное продвижение новых технологий;

– движение в информационное общество (и «общество знаний»).

Произошли существенные качественные изменения в информационных технологиях, которые в 1980-х гг. стали оказывать решающие влияния не только на способы, но и на сами цели автоматизации бизнес-процессов. В числе таких изменений, к середине 1990-х гг. уже утвердившихся в практическом проектировании, указывалось разностороннее развитие и промышленное освоение принципов и механизмов так называемой «открытой архитектуры» и принципов нового системного проектирования. При развитии новых информационных технологий возникает понимание того, что для построения сложных информационных систем управления предприятием не собственно программирование, а наличие адекватных обобщенных понятийных моделей объектов автоматизации является единственным стабильным средством, интегрирующим компоненты сложной ИС в условиях высокой изменчивости требований к ИС [6–9].

Анализ структуры интегрированной информационной системы управления предприятием телекоммуникационной отрасли. Стержневой частью информационных систем любых предприятий, независимо от вида деятельности, являются подсистемы автоматизации технологических процессов. Для предприятий связи эти процессы и подходы к их автоматизации описаны в стандартах, представляющих идеологию Telecommunication Management Networks (TMN), которые изложены в рекомендациях серии M – ITU-T и других источниках.

Построение информационной системы управления предприятием электросвязи с учетом концепции TMN. Для управления телекоммуникационными сетями и в целом деятельно-стью предприятий связи экспертами ITU-T предложена концепция TMN (Telecommunication Management Network – стандарты M.3000, M.3010, M.3200, M.3400 [10; 11]). Появление концепции связанно с необходимостью интегрального подхода к управлению различными сетями (передачи данных, телефонными сетями общего пользования и др.), централизованного адми--нистрирования, согласованного с общими задачами повышения эффективности функционирования предприятий электросвязи. При этом TMN представляется выделенной информационной системой, не зависящей от сети электросвязи, однако способной взаимодействовать с данной сетью, получать и передавать управляющую информацию по средством определенных интерфейсов. Выделяются следующие компоненты архитектуры сети TMN:

– внутрикорпоративная сеть передачи данных, отделенная от публичной сети передачи данных;

– система операций – набор прикладного и системного программного обеспечения, серверов управления, серверов СУБД и др.;

– рабочие станции – ПК пользователей информационной системы, обеспечивающие пользовательский интерфейс к системе.

Таким образом, концепция утверждает следующие базовые принципы: предприятие электросвязи должно иметь выделенную корпоративную сеть, причем выделение может происходить как с использованием каналов первичной цифровой сети, так и на физическом уровне; информационная система предприятия должна рассматриваться в целом как система взаимодействующих компонентов, а не как набор отдельно работающих информационных систем.

Выделяются следующие функциональные блоки системы TMN и точки взаимодействия этих блоков:

1. OSF – Operations System Function (функции системы операций). Данный блок включат в себя функции обработки информации о состоянии сети, качестве и объемах обслуживания абонентов, а также функции управ-ления компонентами сети, обслуживанием абонентов и т. д.

2. WSF – Workstation Function Block (функции рабочей станции). Основная функция блока отображение информации пользователям в визуальной форме.

3. MF – Mediation Function (функции промежуточного звена). Задача блока – поддержка взаимодействия с сетевыми элементами, агентами сбора информации, Q-адаптерами, агрегация и предобработка данных.

4. NEF – Network Element Function (функции сетевых элементов). Обеспечиваются функции, встроенные в элементы сети, позволяющие им взаимодействовать с сетью управления, предоставляя информацию о состоянии объекта сети и поддерживая команды управления.

5. QAF – Q-Adaptor Function (функции Q-адаптеров). Средства, обеспечивающие интеграцию с TMN оборудования, не поддерживающего данных стандартов (например, управляемого по SNMP).

Каждая из описанных выше функций реализуется в виде соответствующих элементов. Причем элементы могут быть реализованы в виде одного устройства или же в виде различных взаимодействующих устройств, серверов и рабочих станций. Далее рассмотрим метод, позволяющий определить оптимальное размещение функциональных блоков системы по аппаратным компонентам.

В основе концепции TMN лежит объектный подход, при котором все элементы сети – линии, коммутационные поля, абонентские комплекты, порты коммутаторов, коммутаторы в целом и т. д. – представляются в виде объектов, имеющих определенные свойства. Программное обеспечение системы операций также строится по объектному принципу. Объекты более высоких уровней общаются с объектами более низких по иерархии уровней посредством вызова методов. При этом объект управляющий называется менеджером, а управляемый – агентом.

Для взаимодействия в точке q предлагается использовать протокол CMIP – Common Management Information Protocol (общий протокол управления). Объекты, поддерживающие CMIP, должны обеспечивать обработку методов (запросов) Get, Set, Create, Delete Action.

Все объекты системы делятся по следующим уровням TMN:

1. BM (Business Management) – уровень управления бизнесом. На данном уровне выделены такие задачи, как:

– поддержка процесса принятия решений, планирование инвестиций и оптимального распределения имеющихся ресурсов;

– составление финансовых отчетов;

– бюджетирование;

– агрегирование данных о предприятии в целом.

В информационных системах производственных предприятий перечисленные функции обычно относятся к задачам ERP (CSRP) систем. Однако систем такого класса, ориентированных на предприятия связи и разработанных с учетом концепции TMN, до настоящего времени на рынке не появилось.

2. SM (Service Management) – уровень управления услугами. На данном уровне выделены следующие задачи:

– поддержка всех видов взаимодействия с клиентами;

– взаимодействие с другими операторами;

– анализ статистической информации (в том числе анализ качества обслуживания – QoS).

В настоящее время данные задачи решаются, как правило, различными системами: автоматизированной системой расчетов, системами автоматизации пунктов продаж (POS), системами Call-центров и др.

3. NM (Network Management) – уровень управления сетью. На данном уровне выделены следующие задачи:

– контроль за функционированием сетевых элементов;

– конфигурирование сети для предоставления услуг клиентам;

– управление статистикой, контроль журналов.

4. NEM (Network Element Management) – уровень управления сетевыми элементами. На этом уровне решаются задачи взаимодействия с компонентами сети.

5. NE (Network Elements) – уровень сетевых элементов.

На каждом из уровней управления поддерживаются следующие функ-ции управления:

– PM (Performance Management) – управление производительностью;

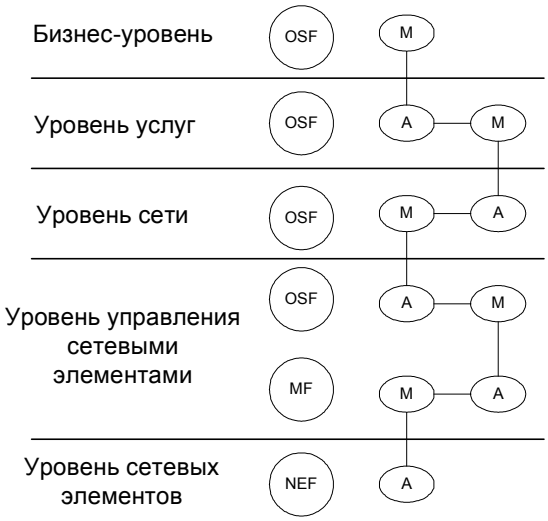
– FM (Fault Management) – управление отказами;

– CM (Configuration Management) – управление конфигурацией;

– AM (Accounting Management) – управление доступом;

– SM (Security Management) – управление безопасностью.

Каждый из уровней TMN состоит из определенных функций, реализованных в виде объектов – менеджеров и агентов (см. рисунок). Размещение данных объектов по элементам сети электросвязи и сети TMN может являться предметом оптимального поиска.



Реализация концепции TMN

Основой взаимодействия объектов на всех уровнях должна быть единая интегрированная база данных (БЗ). Эта база данных должна включать общесистемные справочники, общую базу контрагентов предприятия (по рекомендациям она должна основываться на каталоге X.500), базу услуг и тарифов, данные о структуре сети электросвязи (линейную бухгалтерию) и т. д. При этом для крупных предприятий, подразделения которых удалены на значительные расстояния, затруднительно иметь данную базу в единственном экземпляре. Как правило, используются технологии распределенных баз данных. При этом задача оптимального размещения данных для описываемой БД представляется актуальной и своевременной.

Стандартизация систем управления предприятием (верхнего уровня TMN) для операторов связи отсутствует. В качестве решений используются либо универсальные системы, не ориентированные на бизнес-процессы оператора связи, либо так называемые отраслевые решения. Общие принципы построения систем расчетов с абонентами описаны в Общих технических требованиях [12].

В данном случае очевидно противоречие: фирмы разработчики программного обеспечения заинтересованы в увеличении объемов продаж, и поэтому детализация в автоматизации бизнес-процессов какой-то отрасли–дело, на их взгляд, неблагодарное. В то же время решение проблемы автоматизации с ориентацией на отраслевую специфику необходимо, и этим занимаются либо специалисты по автоматизации самих отраслевых предприятий, либо специализированные фирмы, занимающиеся внедрением подобного типа систем, либо специалисты фирмы разработчика универсальных систем, реализуя проект с внедрением своей системы, ориентированной на конкретного заказчика. Внедрение заказных проектов, естественно, отражается на их стоимости в сторону увеличения.

Отраслевые решения на самом деле есть. Создание такого программного обеспечения могут себе позволить немногие, например такие известные фирмы, как SAP и ORACLE. Они производят программный продукт, ориентированный на специфику определенных отраслей. В области телекоммуникаций известным лидером является фирма SAP. Внедрение импортных систем на российских предприятиях происходит с большими затруднениями, и, наверно, нет и десяти проектов без проблем.

Есть попытка создания отраслевого решения для телекоммуникационных предприятий в России, это фирма «Ай-Ти». Она реализовала в рамках своей системы «Босс-корпорация» биллинговую подсистему.

Нельзя не отметить еще одну проблему, которая существует при выборе решения, обеспечивающего автоматизацию бизнес-процессов оператора связи: какая фирма создала программное обеспечение. Если фирма специализируется на программном обеспечении для отрасли телекоммуникаций, например, AMDOCS (Израиль), Инфосфера (Самара), STROM telecom (Чехия), ФОРС (Москва), «Амфител» (Москва), то качество биллинговых и других систем, автоматизирующих деятельность оператора связи, не вызывает сомнений. В отношении разработок, идущих от общей автоматизации к отраслевым решениям, необходимо внимательно рассмотреть

программное обеспечение перед принятием решения об его использовании.

Существует целый ряд систем, созданных непосредственно силами коллективов, занимающихся автоматизацией внутри предприятий связи. Эти программные продукты прошли сертификацию и предлагаются в качестве тиражируемых систем расчетов. Однако в данном случае возникают сомнения в возможностях коллектива разработчиков в качественном содействии при внедрении и дальнейшем сопровождении этих систем. Особенно, если они все еще продолжают работать внутри компании оператора связи и не стали специализированной фирмой по производству программных продуктов.

Из каких подсистем должна состоять и какие функции выполнять информационная система управления оператора связи? Прежде всего, это автоматизация в той или иной степени нижних уровней иерархии TMN:

1) автоматизированная система расчетов (АСР);

2) система технического учета и управления сетевыми ресурсами компании оператора связи;

3) централизованная система технической эксплуатации;

4) система повременного учета стоимости разговоров (СПУС).

Существуют следующие системы управления услугами: автоматизация абонентско-технического учета, биллинговая система – АСР, включающая ведение взаимоотношений с клиентами, производящая начисление, прием платежей и отслеживающая дебиторов на произвольном отрезке времени и, конечно же, система управления бизнес-процессами оператора, которая включает:

– базовую подсистему бухгалтерского учета с возможностью реализации функциональности управленческого учета;

– подсистему управления финансово-экономической деятельностью: бюджетирование, управление инвестициями и капиталовложениями, управление тарифами, управление дебиторской задолженностью;

– подсистему управления персоналом;

– подсистему поддержки приятия решений, включающую в себя хранилище данных и работающую на основе OLAP (On-Line Analytical Processing) – технологии многомерного анализа данных.

Все вышеперечисленные системы должны быть взаимосвязаны и работать в общем информационном пространстве [13; 14].

Библиографический список

1. Никулин, А. И. Проектирование, внедрение и обеспечение жизненного цикла информационных систем управления предприятиями электросвязи / А. И. Никулин, Н. Г. Треногин // Перспективы развития современных средств и систем телекоммуникаций : материалы юбилейной (десятой) международ. науч.-техн. конф. Иркутск, 2004.

2. Самойленко, С. И. Сравнительная оценка адаптивной коммутации / С. И. Самойленко // Вопросы кибернетики. М. : НСК АН СССР, 1982. С. 116–127.

3. Кох, Р. Эволюция и конвергенция в электросвязи / Р. Кох, Г. Г. Яновский. М. : Радио и связь, 2001.

4. Мартин, Дж. Превратите вашу компанию в киберкорпорацию / Дж. Мартин // Computerworld. Россия. 1995. 14 ноября.

5. Деминг, В. Э. Выход из кризиса / В. Э. Деминг. Тверь : Альба, 1994.

6. Зиндер, Е. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг / Е. Зиндер // Системы управления базами данных. 1995. № 4.

7. Зиндер, Е. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг. Ч. 2. Бизнес-реинжиниринг / Е. Зиндер // Системы управления базами данных 1996. № 1.

8. Зиндер, Е. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг. Ч. 3. Методы нового системного проектирования / Е. Зиндер // Системы управления базами данных. 1996. № 2.

9. Зайцев, Н. Л. Экономика, организация и управление предприятием / Н. Л. Зайцев. М. : Инфра-М, 2005.

10. Overview of Telecommunication Management Network Recommendation : ITU-T Recommendation M.3000. 1992.

11. Principles for a Telecommunication Management Network : ITU-T Recommendation M.3010. 1996.

12. Автоматизированные системы расчетов с пользователями за услуги связи : общие технические требования / Госкомсвязь России. М., 1998.

13. Крук, Б. И. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 1 : учеб. пособие / Б. И. Крук, В. Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. 3-е изд., испр. и доп. Новосибирск : Сиб. предприятие «Наука» РАН, 2000.

14. Петров, М. Н. Распределенные информационные системы управления в телекоммуникационной отрасли / М. Н. Петров, Н. Г. Треногин ; под. ред. проф. М. Н. Петрова. Красноярск, 2006.

M. N. Petrov, N. G. Trenogin

THE INFORMATION CONTROL SYSTEMS ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES IN TELECOMMUNICATION BRANCH

The principles of modern control systems construction at telecommunication branch enterprises are considered. Various approaches to the principles of control by business processes are presented.

Keywords: firm, management, business-process, optimisation, system.

УДК: 378:001.891

В. В. Кольга

ПОСТРОЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Существующая система подготовки кадров для аэрокосмической отрасли требует совершенствования. Построение современной концепции образовательной системы требует новых теоретических подходов, построенных на общенаучных методологических принципах.

Ключевые слова: подготовка кадров, непрерывное аэрокосмическое образование, профессиональное образование

Космонавтика – область деятельности по историческим меркам молодая, но оказывающая все более существенное влияние на развитие человеческого общества. Даже само содержание этого понятия за последние годы значительно изменилось. Если на начальном этапе становления космонавтики оно определялось как «космический полет», «межпланетное путешествие», «межзвездный перелет» и т. д., то в настоящее время космонавтика отождествляется с широкомасштабной, многоаспектной деятельностью по исследованию, освоению и использованию космического пространства.

Научно-технический, производственный, организационный уровень предприятий ракетно-космического и авиационного комплекса всегда был выше, чем в других отраслях. Аэрокосмические предприятия в среднем имеют лучшее и более современное оборудование, инновационные технологии и системы корпоративного управления жизненным циклом продукции. Все это в совокупности требует привлечения специалистов, владеющих прогрессивными методиками проектировочных, конструкторских, управленческих решений.

Тем не менее, существующая система государственных структур подготовки кадров для аэрокосмической отрасли нуждается в совершенствовании. Созрела необходимость в создании педагогической системы непрерывного аэрокосмического образования, охватывающей все уровни подготовки кадров: от ранней профориентации молодежи до подготовки кадров высшей квалификации.

Система непрерывного аэрокосмического образования является подсистемой более общей системы профессионального образования. В этой связи на нее распространяются закономерности создания, функционирования и развития.

Прежде всего, это общенаучный *принцип объективности*, требующий всестороннего учета условий и факторов, в которых развивались объективные знания о космическом пространстве и методы его исследования, аэрокосмическая отрасль и ракетно-космическая техника, процесс становления аэрокосмического образования.

Объективная потребность общества в специалисте аэрокосмической отрасли новой формации, обладающего глобальным космическим мышлением, привела к переосмыслению общественно-исторической ситуации, необходимости реформирования и инноваций в сфере образования. Во второй половине XX в. сложились объективные предпосылки для перехода от отдельных разрозненных педагогических инноваций в аэрокосмическом образовании к созданию целостной системы подготовки специалиста аэрокосмической отрасли.

Принцип объективности связан с преодолением противоречия между объективным характером научных знаний о Вселенной, добываемых в процессе исследования и освоения космического пространства, и субъективным характером самой проектировочной деятельности. Применительно к предмету исследования принцип объективности обусловлен требованиями к творческому характеру педагогической деятельности в аэрокосмическом образовании. В процессе подготовки будущего специалиста он выступает не в качестве механического «регистратора» специальных аэрокосмических знаний, а в роли личности, обладающей сложившимся мировоззрением и способностью творчески подойти к процессу создания новой аэрокосмической техники и дальнейшего исследования космического пространства.

Другим важнейшим методологическим принципом для создания системы непрерывного аэрокосмического образования является *принцип единства теории и практики*. На его основе строится теоретическая модель, связанная с движением от известного к неизвестному. Практическая ценность модели заключается в обеспечении поэтапной подготовки специалиста аэрокосмической отрасли различного уровня квалификации и образованности.

Принцип связи теории с практикой имеет особое значение в непрерывном аэрокосмическом образовании. Теоретическая подготовка будущих специалистов носит сложный и многоплановый характер. Она включает в себя общеобразовательные, общетехнические и специальные аэрокосмические знания. Теоретическое обучение включает в себя элементы научного поиска в области наук о космосе, задачи прогнозирования, проектирования и моделирования ракетно-космической техники и технологии будущего.

Основные изученные понятия, теории, законы, факты формируют у будущего специалиста целенаправленный характер его практической деятельности. Содержание аэрокосмического образования должно быть сформировано по блокам, с жесткой привязкой к различным формам профессиональной деятельности специалиста аэрокосмической отрасли (экспериментальная, производственная, технологическая и др.) Многообразие учебных предметов определяет различные формы связи теории с практикой. Знания, умения и навыки, полученные по общеобразовательным предметам, являются научной основой для изучения общетехнических и специальных

предметов аэрокосмического цикла. Их связь с практической деятельностью будет как прямой, так и косвенной.

Общетехнические знания, умения и навыки используются в тесной взаимосвязи с общеобразовательными и специальными учебными дисциплинами и обеспечивают переход к основам профессиональной деятельности специалиста-ракетчика и от них – к конкретной производственной деятельности.

Специальные знания, умения и навыки аэрокосмического цикла дисциплин используются в производительном труде, составляя основу профессионально-квалификационной характеристики специалиста и обеспечивая естественные связи системы непрерывного аэрокосмического образования с аэрокосмической отраслью, запросами работодателей. Эти связи положены в основу концепции формирования системы непрерывного аэрокосмического образования на уровне базового методологического принципа.

Практика – это основа, цель и критерий истинности, в том числе и познания будущего. С другой стороны, практика является источником научных идей, импульсом для развития современных летательных аппаратов, спутниковых технологий, педагогических инноваций в аэрокосмическом образовании.

Кроме того, связь теории с практикой в аэрокосмическом образовании обуславливает содержание образования в целом и отдельных учебных предметов в частности. В аэрокосмическом образовании, как нигде, велика доля практической составляющей в учебном процессе (огневые и сертификационные испытания, моделирование ракетной техники, предстартовые и пусковые операции и др.). Все формы связи теории с практикой от визуального наблюдения за процессом изготовления и запуска объектов ракетно-космической техники до создания современных космических аппаратов по нанотехнологиям способствуют формированию личности специалиста нового поколения.

Чтобы получить целостное представление о всеобщей связи явлений в космическом пространстве, необходимо аналитическое рассмотрение законов Вселенной дополнить синтезом и продемонстрировать будущим специалистам их практическое применение. Для каждого образовательного этапа необходимо наметить круг основных мировоззренческих, гуманистических, аэрокосмических понятий, теорий, законов, фактов, пронизывавших все учебные предметы и объединяющих их в единый содержательный комплекс.

Следовательно, связь теории с практикой в аэрокосмическом образовании выражается в направленности учебного процесса на полный цикл создания аэрокосмической продукции: от инновационной идеи до производства и запуска космического аппарата. Встроенность практической деятельности в непрерывное аэрокосмическое образование направлена на обеспечение интенсивной подготовки специалистов различного уровня образованности и квалификации, совершенствование профессиональной компетентности специалистов, осуществление органического единства и взаимосвязи общего и профессионального аэрокосмического образования, обеспечение преемственности между образовательными уровнями в системе непрерывного аэрокосмического образования.

Принцип историзма требует изучения и оценки непрерывного аэрокосмического образования как исторического явления, развивающегося, изменяющегося во времени, использования исторического подхода при изучении системы подготовки специалистов аэрокосмической отрасли в ее развитии.

Принцип историзма имеет два аспекта, исключительно важных для нашего исследования: с одной стороны, он требует рассмотрения процесса становления аэрокосмической отрасли и аэрокосмического образования в их историческом развитии, выявления тенденций этого развития; с другой – предполагает характеристику важнейших социально-экономических факторов, которые в соответствующую историческую эпоху определяли специфику развития теории и практики образовательного процесса подготовки специалиста аэрокосмической отрасли (специфические формы и методы обучения, содержание образования, формирование образовательных целей системы подготовки, особенности педагогических моделей).

Принцип историзма требует использования преемственности исторических этапов развития аэрокосмической отрасли как основы для прогнозирования модели личности специалиста и формирования на ее базе системы непрерывного аэрокосмического образования.

Сущность *принципа развития* заключается в том, что формирование системы непрерывного аэрокосмического образования требует полного и всестороннего отражения объективности процессов становления и развития аэрокосмической отрасли, анализа противоречий в существующей системе подготовки кадров отрасли, процесса количественных и качественных изменений в современном глобально развивающемся мире. Способность к развитию – одно из всеобщих свойств материи и сознания. Всеобщий механизм и источник развития – возникновение и разрешение противоречий. Процесс развития выражает содержание основных законов материалистической диалектики: отрицания, единства и борьбы противоположностей, перехода количественных изменений в качественные. Принцип развития дает возможность научного объяснения развитию сложных процессов в аэрокосмической отрасли и аэрокосмическом образовании.

Задача создания системы непрерывного аэрокосмического образования состоит в разработке теоретических подходов и практических способов разрешения и преодоления выявленных противоречий.

Требования диалектической логики вытекают из самих объективных законов развития аэрокосмической отрасли. Если возникновение аэрокосмического образования выступает как борьба внутренних противоположностей, находящихся в единстве, то для его дальнейшего развития необходимо изучить их во всей полноте. Поэтому, исследуя содержание аэрокосмического образования и сам процесс обучения, необходимо рассматривать их с позиций глобальных требований мирового экономического развития, целей и задач системы профессионального аэрокосмического образования, физиологических механизмов, психологических особенностей обучения, личностных способностей будущих специалистов и т. д.

Не менее важное значение приобретает требование изучения аэрокосмического образования в его диалектическом развитии. Важно проследить, как возникает и развивается новое в содержании аэрокосмического образования, обучении, воспитании и при этом выяснить закономерности этих изменений.

Необходимо исследовать тенденции и закономерности, обуславливающие изменение характера и содержания профессиональной деятельности специалиста аэрокосмической отрасли, развитие умственных и физических способностей специалистов разной степени квалификации. По мере развития аэрокосмической и ракетной техники, содержание труда также меняется в результате постоянного совершенствования и внедрения новых производственных технологий, принципов управления и организации труда.

Принцип детерминизма в методологическом плане дает возможность выявить связи и взаимодействия, раскрывающие специфику возникновения феномена аэрокосмического образования в системе профессиональной подготовки, всю совокупность определяющих и побочных требований его развития, определяемых развитием аэрокосмической отрасли, обосновать позитивный характер такого развития. Это предопределяет надежную методологическую и мировоззренческую позицию для исследования непрерывного аэрокосмического образования.

Принцип детерминизма в непрерывном аэрокосмическом образовании исходит из наличия объективных закономерностей развития человеческого сообщества и ракетно-космической техники и влияния этих факторов на процесс профессиональной подготовки специалистов аэрокосмической отрасли.

Выводы, полученные по результатам методологического анализа подходов и тенденций формирования образовательной системы, позволяют в дальнейшем представить единую педагогическую концепцию непрерывного аэрокосмического образования, включая его основные идеи, принципы, содержание. Кроме того, выявленные условия обеспечивают разработку модели системы непрерывного аэрокосмического образования, основанную на выявленных внутренних и внешних связях, а также последовательно наращиваемом наборе профессиональных компетенций конкурентоспособного специалиста ракетно-космической отрасли.

V. V. Kolga

CREATING THE CONCEPT OF CONTINUOUS AEROSPACE EDUCATION

The existing system of the aerospace branch personnel training needs some perfection. Creating the modern concept of educational system requires new theoretical approaches, based on general scientific methodological principles.

Keywords: personnel training, continuous aerospace education, vocational training.

УДК 378

Ю. Б. Козлова

ОРГАНИЗАЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ОБЩЕНИЯ

Подготовка в вузах современных специалистов для осуществления инновационных преобразований в России требует внимания в вопросах развития личностных качеств студентов (работоспособность, внимательность, уверенность, заинтересованность). Организация совершенствования информационно-педагогического общения преподавателя со студентами на лекционных занятиях является одним из путей решения данной задачи.

Ключевые слова: инновационные преобразования, мониторинг, подготовка специалистов, компетенция.

На современном этапе в России становится заметным стремление к улучшению качества жизни. Президент Российской Федерации отмечает необходимость осуществления инновационных преобразований в экономике, необходимость смены общественного сознания по отношению к собственности и деятельности. Главные векторы экономической программы президента: институты, инфраструктура, инновации, инвестиции и для осуществления выдвинутой программы развития России нужны активные, уверенные в себе, творческие, квалифицированные кадры, обучение, воспитание и развитие которых закладывается в стенах вузов. И целью высших учебных заведений должна стать подготовка специалиста, способного креативно мыслить, работать в команде, предлагать инновационные решения, развивать инфраструктуры. Обеспечение подготовки такого специалиста подразумевает организацию эффективного взаимодействия элементов педагогического процесса. Поскольку педагогический процесс организуется преподавателем, то в первую очередь от его профессиональной компетенции будет зависеть качество подготовки специалиста. Среди составляющих профессиональной компетенции в данном контексте хочется выделить ту структуру, которая отвечает за необходимость развития положительных индивидуальных качеств личности (способностей, интересов, склонностей). Рассматривая организацию педагогичес-

кого процесса в вузе, можно отметить, что преподаватели обычно имеют образование того вуза, в котором работают. Этот факт отрицательно на содержании учебной информации не сказывается, но остальные связи между элементами педагогического процесса могут быть реализованы не компетентно, в силу отсутствия у преподавателя педагогических знаний. Особенно актуальны знания организации информационно-педагогического общения преподавателя со студентами в процессе обучения: знания основ психологии личности и социальной психологии, сущности и проблем обучения и воспитания в высшей школе, биологических и психологических пределов человеческого восприятия и усвоения, особенностей влияния на результаты педагогической деятельности индивидуальных различий студентов. Государственные и международные требования к квалификации преподавателя подтверждают это. Педагогическое призвание, компетентность могут сформироваться как качества личности преподавателя в процессе накопления теоретического и практического опыта, самооценки своих педагогических способностей, но в отсутствии этих процессов информационно-педагогическое общение преподавателя со студентами в процессе обучения реализуется не эффективно, что создает проблему качества подготовки специалиста.

Анализ педагогической теории, а также опыт работы в вузе позволяют выделить противоречия между:

– потребностью государства и общества в специалисте, способном осуществлять инновационные преобразования в экономической жизни России и недостаточном уровне развития в вузе таких качеств личности студента как креативность мышления, умение работать в команде, работоспособность, внимательность, уверенность в себе, заинтересованность;

– потребностью государства и общества в преподавателе, компетентном по вопросам организации информационно-педагогического общения со студентами и недостаточном уровне педагогических знаний у преподавателей технических вузов;

– осознанием преподавателем необходимости повышения компетентности по вопросам организации качественного информационно-педагогического общения со студентами на лекционных занятиях и недостаточной разработанностью методик по данному вопросу.

Таким образом, возникает потребность в создании такой методики организации совершенствования информационно-педагогического общения со студентами на лекционных занятиях, которая могла бы нейтрализовать формальность и принести ощутимую пользу преподавателю по вопросам организации информационно- педагогического общения, позволить преподавателю взглянуть на себя со стороны, откорректировать в дальнейшем свою работу.

На текущий момент в Сибирском государственном аэрокосмическом университете (СибГАУ) разработана методика организации совершенствования информационно-педагогического общения со студентами на лекционных занятиях, основанная на модели информационно-педагогического общения, учитывающей информационно-психологические и коммуникационные особенности среды (условия) обучения, специфику восприятия информации студентами и уровень информационной активности учебного занятия.

Осуществление организации совершенствования заключается в частичной автоматизации мониторинга организации преподавателем информационно-педагогического общения со студентами на лекционном занятии. При данном подходе в качестве входных компонентов потребуется видеозапись лекционного занятия и услуги эксперта для оценки деятельности преподавателя в период итерации. Экспертом может быть и сам преподаватель, поскольку обрабатывать видеозапись можно в любое время, а оценка итерации не представляется сложным процессом и производится путем выбора преобладающего компонента. Предлагаемый подход уменьшает время обработки данных мониторинга. Дидактические основы, которые заложены в расчетную систему обработки данных, позволят выработать рекомендации преподавателю для корректировки постановки учебного занятия.

Центральным элементом данной методики является модель информационно-педагогического общения.

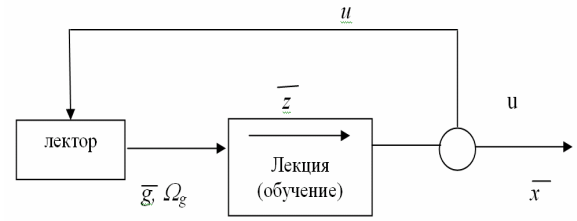
Перейдем к рассмотрению основного механизма системы мониторинга – модели информационно-педагогического общения. Одна из основных идей подхода состоит в том, что оценочные показатели деятельности лектора следует обобщить и построить модель, математический аппарат, на основе которого можно реализовать автоматизированную обработку результатов мониторинга с выработкой рекомендаций по координации способов подачи информационного потока.

При разработке модели автор исходила из соображений того, что лектор может оказывать влияние на аудиторию (повышать или понижать степень восприятия информации слушателями) за счет голоса, внешнего вида, других различных вербальных и невербальных воздействий. Эти качественные показатели преподавателю достаточно трудно изменить. С опытом приходят некоторые навыки управления голосом, скорость речи можно замедлить, но человек по своему складу, говорящий медленно, вряд ли сможет говорить на лекциях быстрее. Кроме того, эти качественные показатели невозможно измерить и просчитать, чтобы строить на их основе математический аппарат.

Другие показатели преподаватель вполне может регулировать, например, стиль изложения, структурирование материала, корректировка хода занятия в зависимости от времени его проведения, учет возрастного, психотипического (визуального, аудиального, кинестетического, дигитального), социального состава слушателей.

Перечисленные теоретические подходы были задействованы при создании модели информационно-педагогического общения. Рассматриваемая в ней деятельность лектора, представлена как объект управления с выходным переменным вектором x, вектором состояния z и сигналом управления u (см. рисунок). Поведение лектора должно зависеть от ряда факторов, совокупность которых обозначим через вектор g, который может включать в себя неизвестные параметры объекта, не точно известные характеристики, измеряемые внешние возмущения и т. д. Предположим, что задано множество $\Omega g \in g$, определяющее тип рассматриваемых объектов управления, а также задана цель управления, определяющая в общем случае усвоение лекционных материалов студен-

тами, а в частном – использование в лекции психолого-физиологических параметров восприятия.



Система управления в технологии обучения

Поскольку модель строится для социального процесса, воздействие на деятельность преподавателя возможно только на уровне рекомендаций. Именно эти рекомендации и будут выступать в качестве сигнала управления *u*. Изначально неизвестно в какой степени лектор использует параметры вектора *g* и поэтому достижение цели может быть обеспечено в два этапа. Сначала можно изучить объект управления с целью определения неизвестного вектора *g*, а затем, используя полученную информацию, сформировать алгоритм управления. Одновременно изучать объект и управлять им, в данной системе было бы возможно при достаточно разработанных методах распознавания речи. Но на практике такая замкнутая система нецелесообразна. Она потребовала бы технического усложнения процесса, что вносит внешнее возмущение как для обучаемого, так и для обучающего. Кроме того, обучение многовариантно и невозможно однозначно рекомендовать в момент времени *t* какую-то определенную деятельность. Единовременно проверить восприятие информации невозможно, потому что это опять же социальный процесс. Следовательно, использовать механизм восприятия для замыкания системы не представляется возможным.

Управляющее воздействие обусловлено рядом факторов. Например, временем проведения занятия, соотношением возрастных диапазонов группы слушателей и преподавателя, а также предельными соотношениями использования в лекции тех или иных форм активации внимания.

Вектор состояния – это описание действий преподавателя в каждый момент лекционного периода. На основе фактических значений этого вектора, в конечный момент лекции будет вырабатываться управляющее воздействие.

Анализ итераций во время обучения – один из методов, позволяющий выявить какие-то недоработанные моменты процесса обучения, отреагировать на них и тем самым повысить качество занятия.

Один из основных компонентов методики – это оценка итераций при мониторинге. Итерации оцениваются с точки зрения информационной активности в единицу времени. Любое успешное занятие структурируется (цели, задачи, основной материал, выводы, итоги). В занятии должны быть паузы, запись конспекта, общение (обсуждение, размышление). Данные компоненты оцениваем по девятибалльной шкале (от 0 до 8), основываясь на необходимости напряжения внимания студента для понимания предлагаемой информации:

– объяснение лектора, полезная информация (8);
– повторение, выводы (7);
– определение цели и задач (6);
– запись конспекта (5);
– общение по теме (4);
– общение вне темы (3);
– запланированная пауза (2);
– вынужденная пауза (1);
– начало, конец занятия (0).

Весомость коэффициентов выставлена из соображения требуемого внимания студента в процессе подачи лекционного материала той или иной формой.

Моделирование механизмов базы знаний системы управления опирается на мышление человека применительно к решению задач планирования педагогической деятельности по отношению к лекционному занятию.

Обозначим компоненты лекционного занятия коэффициентами: $К_0, \ldots, К_8$, где объяснение лектора, полезная информация – $К_8$; повторения, выводы – $К_7$; определение цели и задач – $К_6$; запись конспекта – $К_5$; общение по теме – $К_4$; общение вне темы – $К_3$; запланированная пауза – $К_2$; вынужденная пауза – $К_1$; начало, конец занятия – $К_0$. Количество замеров информационной активности на продолжении всей лекции – $S_з$.

Исходя из практической оценки лекционных занятий можно отметить, что если общение преподавателя по тематике лекции со студентами отсутствует, либо не превышает 5 % от числа всех замеров, форма изложения материала – авторитарная. Общение со студентами по теме положительно сказывается на восприятии и, если общение превышает 5 % от всей продолжительности лекции, то форму изложения уже можно назвать демократической.

Если $К_4 < 5$ %, то форма изложения материала – авторитарная.

Если $К_4 > 5$ %, то форма изложения материала – демократическая.

Отсутствие в лекции элементов планирования затрудняет представление об общих целях и задачах, поэтому следует обращать внимание на использование компонента занятия $К_6$.

Когда $К_6 < 5$ %, желательно сделать введение по целям, задачам и структуре материала на лекцию.

Если повторению материала уделяется меньше 5 % от общего числа замеров, то снижается степень понимания и запоминания.

Когда $К_7 < 5$ %, то уровень усвоения материала можно повысить повторением.

Объяснения, обсуждения, запись конспекта должны быть сбалансированы. Отсутствие сбалансированности ведет к проблемам восприятия.

Если $К_4$ или $К_8 > 50$ %, то у студента не остается документированной информации для повторения материала.

Когда $К_5 > 50$ %, тогда следует уделить внимание обсуждению и объяснению материала.

Если $\sum К_8 \approx \sum К_6 \approx \sum К_4$, лекция идет в оптимальном для восприятия темпе (разница между данными компонентами может составлять ±10 %).

Когда какой-то канал восприятия (аудиал, визуал, кинестетик, дигитал) меньше 15 %, рекомендуется уделить внимание этому каналу.

Отдых в течении лекции необходим для того, чтобы система восприятия человека смогла уложить в память очередную порцию информации и настроится на прием новой. В то же время частые сторонние отвлечения мешают сосредоточиться.

Поэтому если $К_2 < 5$ % , то желательно делать паузы для отдыха и смены подтемы.

Если $К_1 > 10$ %, наличие сторонних отвлечений мешает восприятию информации.

Когда цели и задачи курса подменяются другой информацией, теряется смысл лекционного занятия.

Если $К_3 > 30$ %, то лекция проходит с недостаточной степенью информативности.

Другие особенности ведения лекции в меньшей степени подвержены формализации, поэтому частота и периодичность их использования должна оцениваться экспертом- человеком.

Существует еще ряд критериев, которые помогают выработать рекомендации преподавателю по скорости выдачи материала. Физиологическая готовность человека к достижение результата в течение суток меняется. Занятия, проходящие в период времени с 13:00 до 16:00, более тяжело воспринимаются слушателями и их нужно проводить менее интенсивно. Временной диапазон с 21:00 до 8:00 обычно не бывает вовлечен в учебный процесс и низкую готовность к достижению результата в данный период можно не рассматривать.

График зависимости активизации степени внимания не использует критерии фактического времени проведения занятия. Данная информация вводится дополнительным коэффициентом $К_t$, по которому экспертная система выдает соответствующие рекомендации.

Введем в систему еще три коэффициента $К_п$, $К_у$ и $К_а$. Они будут обозначать апперцепцию преподавателя и учащихся, а также коэффициент уменьшения апперцепции соответственно. Возьмем за основу вычислений модель по Riedel, в которой «настоящее время» оценивается в 6 с. Из всех возможных возрастных диапазонов существуют такие сочетания преподаватель–ученик, которые маловероятны (преподаватель от 0 до 20 лет – ученики любой возрастной категории). Вариант, когда учитель обладает более низкой скоростью апперцепции, согласно своего возраста, чем его ученики, тоже можно не рассматривать, потому что преподаватель не сможет преодолеть свои физиологические возможности. Остаются несколько вариантов, когда преподавателя можно ориентировать на уменьшение скорости подачи материала или подтвердить соответствие скоростей апперцепции у преподавателя и учащихся. Все данные по вычислению коэффициента уменьшения скорости апперцепции сведены в таблицу. Если взять за 100 % апперцепцию преподавателя, то зная апперцепцию ученика, можно выяснить, сколько процентов информации успевает перерабатывать ученик, следовательно, на сколько процентов преподаватель должен снизить интенсивность занятия, чтобы слушатели его понимали.

Описанная модель реализована, а методика организации совершенствования информационно-педагогического общения со студентами на лекционном занятии опробована в рамках экспериментальной деятельности, проводимой в аэрокосмическом университете. Целью экспериментов было выявление зависимости развития личностных качеств студента (креативность мышления, умение работать в команде, работоспособность, внимательность, уверенность в себе, заинтересованность) от умения и способов организации информационно-педагогического общения преподавателями. По результатам исследования было выявлено повышение мотивации, качества усвоения информации в тех группах, где преподаватели отреагировали на результаты мониторинга и уделили внимание корректировки организации информационно-педагогического общения. Практическая реализация модели данного общения на лекционных занятиях, предложенная методика и методическое сопровождение позволяют продолжить исследования в сфере совершенствования информационно- педагогического общения, что создает условия подготовки в вузах активных, уверенных в себе, творческих, квалифицированных кадров.

Коэффициенты апперцепции

№ п/п	Возраст преподавателя	Апперцепция преподавателя, $К_п$	Возраст учащегося	Апперцепция учащегося $К_у$	Коэффициент уменьшения скорости апперцепции, $К_а$, % ($К_а = 100\ \% – К_{у*} \cdot 100\ \% / К_п$)
1*	20–29	15	10–29	15	$100 – 15 \cdot 100/15 = 0$
2	20–29	15	30–39	14	$100 – 14 \cdot 100/15 = 6{,}7$
3	20–29	15	40–49	13	$100 – 13 \cdot 100/15 = 13{,}3$
4	20–29	15	50–60	11	$100 – 11 \cdot 100/15 = 26{,}6$
5*	30–39	14	30–39	14	$100 – 15 \cdot 100/15 = 0$
6	30–39	14	40–49	13	$100 – 13 \cdot 100/15 = 13{,}3$
7	30–39	14	50–60	11	$100 – 11 \cdot 100/14 = 21{,}4$

Примечание. Апперцепция взята в усредненном варианте по возрастному диапазону. Варианты, которые отмечены звездочкой (*) и все остальные случаи, которые не отражены в таблице не требуют внесения в лекционный процесс поправок согласно разнице в возрасте.

Y. V. Kozlova

THE ORGANIZATION OF INFORMATION-PEDAGOGICAL DIALOGUE IMPROVING

Modern experts preparation at Higher school for innovation reforms realization in Russia demands great attention in questions concerning with personal students qualities development (working capacity, attentiveness, confidence, interest). The organization of the information-pedagogical dialogue improving of the teacher and students at lectures is one of the ways to solve the given problem.

Keywords: innovation reform, monitoring, modern experts, competence.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аврамчикова Надежда Тимофеевна – кандидат экономических наук, профессор кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Саратовский экономический институт в 1971 г. Область научных интересов – региональная экономика, статистика.

Алгазин Евгений Игоревич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры общей электротехники Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1984 г. Область научных интересов – инвариантные системы передачи информации.

Александрова Наталья Борисовна – младший научный сотрудник Красноярского отдела Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 1999 г. Область научных интересов – методологическое обоснование инвестиционного и инновационного развития территорий, формирование стратегий регионального развития, организационно-экономические механизмы управления инновационным развитием отраслевых комплексов, экономическая оценка инновационных проектов.

Анистратенко Оксана Юрьевна – ассистент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – системный анализ, математическое моделирование.

Анохин Виктор Алексеевич – старший преподаватель кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники Иркутского государственного технического университета. Окончил Московское высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана в 1986 г. Область научных интересов – технический мониторинг компьютерно-интегрированных технологических систем механообработки, технология машиностроения.

Антамошкин Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Томский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – системный анализ.

Антамошкина Ольга Игоревна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга Красноярского государственного аграрного университета. Окончила Томский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – автоматизированные системы управления предприятиями.

Богданов Константин Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1990 г. Область научных интересов – управление основными производственными фондами машиностроительных предприятий.

Бойко Оксана Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела переподготовки кадров высшей квалификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей, теория автоматического управления, композиционные материалы.

Вавилов Денис Владимирович – аспирант кафедры проектирования и экспериментальной механики машин Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – численное моделирование физических процессов, специальные приводы, мелкомодульные зубчатые передачи, исследование контактного взаимодействия.

Варава Борис Николаевич – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Томский государственный университет в 1969 г. Область научных интересов – системный анализ, математическое моделирование.

Варнаков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – низкоразмерные структуры, вакуумная техника, электронная спектроскопия.

Васильев Евгений Николаевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – теплофизика, математическое моделирование.

Вовк Алексей Андреевич – соискатель степени кандидата технических наук кафедры систем искусственного интеллекта института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный университета в 2004 г. Область научных интересов – агентские системы, обработка изображений.

Голощапова Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры финансов и кредита Сибир-

ского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2001 г. Область научных интересов – инновации, налоговое стимулирование.

Гордеев Андрей Анатольевич – аспирант института градостроительства, управления и региональной экономики Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – региональная экономика, информационные технологии.

Григорьев Юрий Михайлович – доктор физико-математических наук, действительный член Академии наук Республики Саха (Якутия), заведующий кафедрой теоретической физики Якутского государственного университета имени М. К. Амосова. Окончил Якутский государственный университет в 1981 г. Область научных интересов – механика, теоретическая физика, математическое моделирование.

Данильченко Юрий Васильевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет в 1995 г. Область научных интересов – промышленный маркетинг.

Дектерев Артем Александрович – аспирант Института теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 2007 г. Область научных интересов – теплофизика, математическое моделирование.

Доронин Сергей Владимирович – старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский институт цветных металлов и золота в 1985 г. Область научных интересов – конструкционная прочность, механика разрушения.

Доррер Михаил Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры системотехники Сибирского государственного технологического университета. Окончил Красноярскую государственную технологическую академию в 1994 г. Область научных интересов – системный анализ, имитационное моделирование экономических систем.

Ермолаева Любовь Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий и математического моделирования Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – информационные технологии управления, информационные системы в экономике, системный анализ.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, заведующий кафедрой финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Алтайский политехнический институт имени И. И. Ползунова в 1985 г., аспирантуру Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина в 1989 г. Область научных интересов – управление инновационной деятельностью предприятий, финансовое планирование инвестиционной и текущей деятельности предприятий.

Ерыгина Лилия Викторовна – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета заочного и дополнительного образования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота в 1985 г. Область научных интересов – планирование и контроль, система контроллинга деятельности предприятий.

Ефимов Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1991 г. Область научных интересов – автоматизация проектирования многопроцессорных вычислительных систем обработки информации и управления в режиме реального времени.

Иптышев Андрей Анатольевич – кандидат технических наук, начальник отдела непрерывного образования агентства профессионального образования и науки администрации Красноярского края. Окончил Хакасский технический институт – филиал Красноярского государственного технического университета в 1998 г. Область научных интересов – системный анализ и обработка информации в технике и технологиях.

Казаков Александр Андреевич – аспирант кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – региональная экономика.

Кайчук Леонид Николаевич – технический директор ФГУП «Красноярский машиностроительный завод». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1980 г. Область научных интересов – технологическое обеспечение производства ракетно-космической техники.

Карасева Маргарита Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический институт в 1990 г. и Сибирскую аэрокосмическую академию в 1999 г. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей.

Ковалевский Артем Павлович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Новосибирского государственного технического университета. Окончил Новосибирский государственный технический университет в 1992 г. Область научных интересов – прикладная теория вероятностей.

Козлова Юлия Борисовна – старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию в 1993 г. Область научных интересов – педагогика, информационные технологии.

Кокутенко Анастасия Анатольевна – студент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли из космоса.

Колмыков Владимир Афанасьевич – кандидат технических наук, академик Международной инженерной академии, профессор, заведующий кафедрой организации и управления наукоемкими производствами, генеральный директор ФГУП «Красноярский машиностроительный завод». Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1988 г. Область научных интересов – экономика, управление предприятиями оборонно-промышленного комплекса.

Кольга Вадим Валентинович – доктор педагогических наук, доцент, проректор по довузовской и воспитательной работе Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский инженерно-строительный институт в 1983 г. Область научных интересов – педагогика профессионального образования.

Косырев Николай Николаевич – младший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 2003 г. Область научных интересов – автоматизация физического эксперимента, эллипсометрия магнитных наноматериалов.

Котенок Андрей Владимирович – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – модели повышения отказоустойчивости программных систем.

Кох Лариса Вячеславовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международных экономических отношений Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Окончила Дальневосточный политехнический институт в 1981 г. Область научных интересов – проблемы банковского бизнеса.

Кочура Сергей Григорьевич – главный конструктор электрического проектирования и испытаний космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1978 г. Область научных интересов – электрическое проектирование и испытания систем электропитания, систем управления космических аппаратов к воздействию факторов космического пространства естественного и техногенного происхождения.

Кравцов Павел Александрович – аспирант Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 2004 г. Область научных интересов – автоматизированные системы управления предприятиями.

Краев Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук и Российской академии космонавтики имени К. Э. Циолковского, член-корреспондент Академии наук высшей школы, заслуженный деятель науки и техники РФ, заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – гидродинамика систем подачи энергодвигательных установок.

Краева Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – насосные агрегаты подачи малорасходных систем ракет-носителей.

Краснопеев Василий Борисович – аспирант кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – надежность пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов.

Литвинцев Кирилл Юрьевич – инженер ООО «Торинс». Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – численное моделирование, теплофизика, гидродинамика.

Ловчиков Анатолий Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1970 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов.

Лукьянова Анна Александровна – доктор экономических наук, профессор, декан финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Новосибирский сельскохозяйственный институт в 1983 г. Область научных интересов – экономика и управление народным хозяйством, региональная экономика.

Лячин Владимир Иванович – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный педагогический институт в 1962 г. Область научных интересов – теория воспроизводства социальной рыночной экономики.

Максимов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационный спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – взаимодействие космического аппарата с факторами космического пространства естественного и техногенного происхождения.

Малинкин Виталий Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры многоканальной электрической связи и оптических систем Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1975 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация.

Молокова Наталья Викторовна – доцент кафедры моделирования оптимизации систем Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 1996 г. Область научных интересов – математическое моделирование.

Надирадзе Андрей Борисович – профессор, ведущий научный сотрудник кафедры электроракетных двигателей и энергетических установок Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия электроракетных двигателей на элементы и системы космических аппаратов, компьютерное моделирование сложных систем, взаимодействие плазмы с поверхностью.

Некрасов Михаил Викторович – инженер-программист ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – автоматика и вычислительная техника, системный анализ и управление, информатика, космические исследования.

Никулин Николай Анатольевич – аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – многофазный линейный асинхронный двигатель с поперечным потоком.

Новиков Виктор Васильевич – аспирант кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – региональная экономика.

Носкова Елена Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт космической техники в 1990 г. Область научных интересов – автоматизированное проектирование систем электропитания и электромеханических систем.

Овчинников Сергей Геннадьевич – профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, заместитель директора Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия 3*d*-металлооксидов, теория высокотемпературной сверхпроводимости.

Окладникова Екатерина Николаевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной экологии Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 1998 г. Область научных интересов – техногенная безопасность, системный анализ.

Орлов Александр Сергеевич – кандидат технических наук, инженер отдела прочности ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2002 г. Область научных интересов – анализ виброударного и виброакустического нагружения космических аппаратов.

Орлова Марфа Николаевна – младший научный сотрудник Научно-исследовательского института математики при Якутском государственном университете имени М. К. Амосова. Окончила физико-технический институт Якутского государственного университета в 2003 г. Область научных интересов – теоретическая физика, математическое моделирование.

Пакман Дмитрий Натанович – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 2000 г. Область научных интересов – системный анализ и управление, программирование.

Панарин Виктор Иванович – доцент, начальник военной кафедры Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1977 г. Область научных интересов – адаптивная фильтрация.

Петров Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1974 г. Область научных интересов – исследование свойств, обработка информации.

Плотникова Татьяна Николаевна – кандидат технических наук, доцент Хакасского технического института – филиала Сибирского федерального университета. Окончила Новосибирскую государственную академию строительства в 1996 г. Область научных интересов – региональная экономика.

Поподько Галина Ивановна – кандидат экономических наук, доцент Сибирского федерального университета. Окончила Новосибирский государственный университет в 1979 г. Область научных интересов – социально-экономическое развитие территории, уровень жизни, трудовые ресурсы, механизмы инновационного развития страны и региона.

Прейс Александр Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Иркутское высшее военно-авиационное инженерное училище в 1996 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация авиационной техники.

Русаков Геннадий Николаевич – врач-хирург, заведующий хирургическим отделением муниципального

учреждения здравоохранения «Абаканская городская больница». Окончил Красноярский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – региональная экономика, социально-экономические процессы.

Салтыкова Татьяна Николаевна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – искусственный интеллект, распознавание образов, графические форматы файлов.

Семенкин Евгений Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, интеллектуальный анализ данных, эволюционные алгоритмы.

Сигова Елена Михайловна – инженер Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – конструкционная прочность, механика разрушения.

Симаков Павел Валерьевич – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – системный анализ, исследование операций, теория расписаний, дискретное имитационное моделирование.

Скрябина Ольга Евгеньевна – аспирант кафедры теоретической физики Якутского государственного университета имени М. К. Амосова. Окончила Якутский государственный университет в 2003 г. Область научных интересов – геофизика, математическое моделирование.

Смирнов Виктор Александрович – кандидат технических наук, начальник сектора отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия собственной атмосферы, плазмы электроракетных двигателей и метеорного вещества на функционирование космического аппарата.

Степанова Наталья Викторовна – студент Алтайского экономико-юридического института. Область научных интересов – математические модели экономики.

Сугак Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский технологический институт в 1978 г. Область научных интересов – инженерная экология, техногенная безопасность, системный анализ.

Суханов Владимир Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического проектирования института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – исследование многофазных машиновентильных систем.

Сухинин Анатолий Иванович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории леса Института леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Томский государственный университет в 1967 г. Область научных интересов – теплофизика, газовая динамика, химическая кинетика и горение, дистанционные методы зондирования Земли из космоса.

Тарасова Татьяна Николаевна – исполняющий обязанности заведующего кафедрой менеджмента Сибирского института бизнеса и информационных технологий. Окончила Омский институт (филиал) Российского государственного торгово-экономического университета в 2003 г. Область научных интересов – менеджмент промышленного предприятия, организационное проектирование систем управления.

Терпугов Александр Федорович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики Томского государственного университета. Окончил Томский государственный университет в 1961 г. Область научных интересов – математические модели экономики.

Токмин Константин Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – поддержка принятия решений, оптимизация, эволюционные алгоритмы.

Толманов Иван Анатольевич – сменный заместитель начальника Центра управления полетами ООО «Air Union». Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – анализ и контроль ресурсного состояния авиационных двигателей в процессе эксплуатации.

Треногин Николай Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры системного анализа и управления операциями Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1979 г. Область научных интересов – телекоммуникации и информационные технологии.

Тынченко Вадим Сергеевич – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, магистр техники и технологии. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, оптимизация сложных систем.

Улицкая Татьяна Романовна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, начальник бюро стратегического планирования ФГУП «Красноярский машиностроительный завод». Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2001 г. Область научных интересов – экономика, управление предприятиями оборонно-промышленного комплекса.

Усаков Владимир Иосифович – доктор технических наук, профессор, главный инженер ФГУП «Центральное конструкторское бюро „Геофизика“». Окончил Красноярский политехнический институт в 1969 г. Область научных интересов – приводы специального назначения, методология проектирования, исследования контактного взаимодействия, мелкомодульные и волновые зубчатые колеса, системы точной механики в космической отрасли.

Федоренко Илья Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный торгово-экономический институт в 1994 г. Область научных интересов – бухгалтерский учет, аудит, налогообложение.

Чекашкин Денис Михайлович – главный специалист Внешторгбанка. Окончил Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – региональная экономика.

Шайдуров Александр Викторович – ведущий инженер Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, старший лаборант кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 2005 г. Область научных интересов – компьютерные технологии, автоматизация физических процессов, высоковакуумное оборудование.

Шаймарданов Лев Гайнуллович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, заведующий кафедрой технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Куйбышевский авиационный институт в 1966 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей.

Шамлицкий Ярослав Иванович – кандидат технических наук, директор по качеству ОАО «Красноярский завод холодильников „Бирюса“». Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева в 2000 г. Область научных интересов – системный анализ, управление и обработка информации.

Шапошников Владимир Владимирович – старший научный сотрудник НИО-208 Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1985 г. Область научных интересов – электростатистическая зарядка и активная нейтрализация космического аппарата, проблемы совместимости электроракетных двигателей с космическими аппаратами.

Юрикова Евгения Александровна – аспирант кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – дистанционное зондирование Земли из космоса.

Юрковская Галина Ивановна – старший преподаватель кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский технологический институт в 1993 г. Область научных интересов – финансово-экономический анализ деятельности предприятия, управление финансами предприятия, управление инвестициями.

Якимова Екатерина Андреевна – аспирант Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2004 г. Область научных интересов – конкурентоспособность организации, методы ее оценки и повышения.

Яхно Лилия Владимировна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 1996 г. Область научных интересов – симметрии, законы сохранения и точные решения уравнений теории пластичности.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА 3

Ефимов С. Н., Тынченко В. С. Модели и алгоритмы формирования GRID-систем для структурно-параметрического синтеза нейросетевых моделей 4

Анохин В. А. Применение теорем котельникова в условиях компьютерно-интегрированных технологических систем производства 9

Васильев Е. Н., Дектерев А. А. Математическое моделирование процессов тепломассообмена в двухфазном контуре терморегулирования с капиллярным насосом 12

Орлов А. С. Конечно-элементное моделирование диффузного поля в акустических реверберационных камерах большого объема 16

Молокова Н. В. Численное исследование и анализ процесса загрязнения пористой среды 20

Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Моделирование систем с существенными нелинейностями на основе параллельных вычислений с асинхронным обменом 24

Ловчиков А. Н., Носкова Е. Е. Проектирование конвертеров с широтно-импульсной модуляцией на основе метода гармонической линеаризации 27

Алгазин Е. И., Ковалевский А. П., Малинкин В. Б. Помехоустойчивость инвариантной системы передачи информации при наличии слабых корреляционных связей 29

Карасева М. В. Система программно-алгоритмической поддержки мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии 32

Шайдуров А. В., Овчинников С. Г., Косырев Н. Н., Варнаков С. Н. Сетевой метод автоматизации высоковакуумной установки для получения сверхтонких пленок на базе Linux 37

Варава Б. Н., Анистратенко О. Ю. Математический анализ медико-биологической дискретной информации с применением процедуры метода Прони 39

Литвинцев К. Ю. Особенности использования конечно-объемного, дискретно-ординатного и диффузионного приближения для уравнения радиационного теплопереноса 44

Семенкин Е.С., Токмин К. А. Коэволюционный подход для решения задач условной многокритериальной оптимизации 47

Симаков П. В. Об оптимизации расписаний дискретных производств позаказного типа с применением имитационного моделирования 52

Доррер М. Г. Взвешенная вероятностная оценка бизнес-процесса на основе формализмов цепей Маркова 56

Степанова Н. В., Терпугов А. Ф. Определение оптимального объема партии товара скоропортящейся продукции 60

Яхно Л. В. Преобразование решения надаи в решение Прандтля для системы двумерной идеальной пластичности 65

Григорьев Ю. М., Скрябина О. Е. Математическое моделирование относительной динамики твердого и жидкого ядер земли 68

Котенок А. В. К проблеме выбора мультиверсионной модели повышения надежности программного обеспечения 72

Юрикова Е. А., Кокутенко А. А., Сухинин А. И. Исследование возможностей применения данных SPOT-4 для дешифрирования изображений поврежденных пожарами участков растительности 75

Салтыкова Т. Н. Алгоритм эталонной оценки качества сжатых изображений с использованием метода нечеткой классификации объектов 79

Вавилов Д. В., Иптышев А. А., Усаков В. И. Моделирование накатывания мелкомодульных цилиндрических зубчатых передач с заданными показателями качества 83

Сугак Е. В., Окладникова Е. Н., Ермолаева Л. В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском 87

Антамошкина О. И., Кравцов П. А. Алгоритм формирования производственных расписаний в условиях риска и неопределенности 91

Сигова Е. М., Доронин С. В. Расчетно-экспериментальная оценка коэффициентов запаса в конструкциях с развивающейся усталостной трещиной 94

Вовк А. А. Оценка скорости сходимости процесса формирования и/или-дерева решения задач анализа изображений 99

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА 105

Краев М. В., Кайчук Л. Н., Краева Е. М. Анализ проточной части турбины жидкостного ракетного двигателя замкнутой схемы 106
Бойко О. Г. Правомерность использования интегральных функций распределения случайных величин в расчетах надежности функциональных систем 109
Прейс А. А. Анализ процесса старения авиационных двигателей Д-30ф6 при эксплуатации 111
Шаймарданов Л. Г., Толманов И. А. Проблемы обеспечения надежности современных авиадвигателей 114
Бойко О. Г., Краснопеев В. Б. Исследование процессов старения систем электроснабжения и автоматики самолета ТУ-154м 116
Надирадзе А. Б., Шапошников В. В., Смирнов В. А., Максимов И. А., Кочура С. Г. Исследование эрозионного воздействия струй стационарных плазменных двигателей на радиоотражающее сетеполотно крупногабаритных антенн космических аппаратов 120

РАЗДЕЛ 3. ЭКОНОМИКА 125

Колмыков В. А., Ерыгин Ю. В., Улицкая Т. Р. Показатели инновационного потенциала как инструменты формирования стратегии инновационного развития предприятий ракетно-космической отрасли 126
Ерыгина Л. В. Инструменты контроллинга инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности 131
Данильченко Ю. В., Бойко А. А. Специфика брендинга в конверсионном производстве 137
Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С. Проблемы финансирования инновационного развития предприятия оборонно-промышленного комплекса 141
Тарасова Т. Н. Критерии эффективности реструктуризации системы управления предприятием 147
Якимова Е. А. Методика оценки конкурентоспособности предприятия оптовой торговли, оказывающего дистрибьюторские услуги 151
Кох Л. В. Глобализация и глокализация в банковском бизнесе 157
Казаков А. А. Проблемы формирования региональной программы развития биоэнергетики 162
Юрковская Г. И. Инструменты оценки исполнения проекта для проектно-ориентированных предприятий 166
Белякова Г. Я., Новиков В. В. Теоретические подходы к совершенствованию системы планирования и управления кадровым обеспечением районов нового освоения 172
Поподько Г. И., Александрова Н. Б. Анализ государственной политики поддержки и стимулирования инновационной деятельности в России 175
Белякова Г. Я., Чекашкин Д. М. Региональные инструменты формирования промышленной политики 180
Аврамчикова Н. Т. Современная региональная политика: опыт зарубежных стран 185
Лячин В. И., Лукьянова А. А. Воспроизводственная функция оборонно-промышленного комплекса: смена парадигмы 191
Гордеев А. А. Методические основы оценки эффективности управления муниципальными образованиями Красноярского края 195
Петров М. Н., Треногин Н. Г. Анализ информационных систем управления бизнес-процессами в телекоммуникационной отрасли 201

РАЗДЕЛ 4. ПЕДАГОГИКА 207

Кольга В. В. Построение концепции системы непрерывного аэрокосмического образования 208
Козлова Ю. Б. Организации совершенствования информационно-педагогического общения 210

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 214

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS 3

Efimov S. N., Tynchenko V. S. Models and algorithms of grid-systems forming for structural and parametric synthesis of neural network models 8
Anokhin V. A. Sampling theorems of kotelnikof application in conditions of computer-integrated manufacturing systems 12
Vasilev E. N., Dekterev A. A. Mathematical simulation of the heat and mass transfer processes in the two-phase thermo control circuits with capillary pump 16
Orlov A. S. Finite element modeling of diffusive field in big volume acoustic reverberant cameras 20
Molokova N. V. Computational investigation and the process of the porous medium contamination analysis 24
Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Systems modelling with essential nonlinear elementson the basis of parallel calculations with the asynchronous exchange 26
Lovchikov A. N., Noskova E. E. Converters with pulse-width modulation design on the basis of harmonic linearization method 29
Algazin E. I., Kovalevsky A. P., Malinkin V. B. The noise immunity of the invariant system of information transmission in the presence of weak correlation contacts 32
Karaseva M. V. Multilingual algorithmic and software support system for adaptive-training technology 36
Shaidurov A. V., Ovchinnikov S. G., Kosyrev N. N., Varnakov S. N. Network technique of the high-vacuum installation automation for obtaining hyperfine films on the linux basis 39
Varava B. N., Anistratenko O. Yu. The mahtematical analysis of medical and biological discret data by means of the modified prony method 43
Litvitsev K. Yu. Features of the finite – volume method, discrete – ordinates method and p1 approximation application for radiation heat transfer equation 47
Semenkin E. S., Tokmin K. A. Co-evolutionary approach to constrained multicriteria optimization problems 51
Simakov P. V. About job shop scheduling optimization with simulation in make-to-order discrete environment 56
Dorrer M. G. Weighed probability estimation of the business process based on the formal description of markov chains 60
Stepanova N. V., Terpugov A. F. Determination of optimal amount of perishable goods 64
Yakhno L. V. Solutions transformation of nadai and prandtl for the plane ideal plasticity system 67
Grigoryev Y. M., Skryabina O. E. Mathematical modeling of relative dynamics of the earth liquid and solid inner cores 72
Kotenok A. V. Preliminaries to choosing of a n-version approach to fault tolerant software systems 75
Yurikova E. A., Kokutenko A. A., Sukhinin A. I. Research of opportunities of application of data SPOT-4 for interpretation the areas of vegetation damaged by fires 78
Saltykova T. N. Absolute standard rating algorithm to evaluate identify quality of the shrunk images using the object fuzzy classification method 82
Vavilov D. V., Iptyshev A. A., Usakov V. I. Simualtion of the spur gear serration rolling process with prescribed quality indicators 86
Sugak E. V., Okladnikova E. N., Ermolaeva L. V. Information control technologies of socialand-ecologic risk 91
Antamoshkina O. I., Kravtsov P. A. Algorithm for production schedule formation in conditions of risks and uncertainty 94
Sigova E. M., Doronin S. V. Settlement-experimental estimation of safety factors in designs with a developing fatigue crack 99
Vovk A. A. Rate of convergence estimation of the process for «and/or» decision tree formation for image analysis 104

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING 105

Kraev M. V., Kaichuk L. N., Kraeva E. M. The flowing part of turbine zhrd of the closed circuit analysis 108
Boyko O. G. About ability of using the integral functions of accidental values distribution in calculations of the functional systems reliability 110
Preis A. A. D-30f6 aircraft engine deterioration processes analysis in operation 114
Shaimardanov L. G., Tolmanov A. I. The problems of modern aircraft engines reliability maintenance 115
Boyko O. G., Krasnopeev V. B. The analysis of Tupolev-154m aircraft electric and automation systems deterioration 119

Nadiradze A. B., Shapospnikov V. V., Smirnov V. A., Maximov I. A., Kochura S. G. The research of the erosive impact by the stationary plasma engine jets on the radio-reflective net of the space craft large-sized antennas 124

PART 3. ECONOMICS 125

Kolmykov V. A., Erygin Yu. V., Ulitskaya T. R. Showings of the innovation potential as tools at space-rocket branch enterprises 131
Erygina L. V. Innovative development controlling tools of the space-rocket industry enterprises 136
Danilshenko Yu. V., Boiko A. A. Specific character of branding in conversion manufacturing 140
Erygin Yu. V., Goloschapova O. S. The problems of the innovation development financing of the defensive-industrial complex enterprises 146
Tarasova T. N. Effectiveness criteria of the enterprise management system restructuring 151
Yakimova E. A. The estimation method of the whole-sale trade distribution company competitiveness 156
Kokh L. V. Globalization and glocalization in the banking business 161
Kazakov A. A. Problems of the regional program of bioenergetics development forming 165
Yurkovskaya G. I. The tools of the project fulfillment evaluation for project-oriented enterprises 172
Belyakova G. Ya., Novikov V. V. Theoretical approaches to the improvement of the personnel planning and management system for newlu developed regions 175
Popodko G. I., Aleksandrova N. B. Analysis of public policy concerning support and stimulation of innovation activity in Russia 179
Belyakova G. Ya., Chekashkin D. M. Regional instruments of industrial policy development 184
Avramchikova N. T. Contemporary regional policy: experience of foreign countries 191
Lyachin V. I., Luk'yanova A. A. Reproduction function of military-industrial complex: paradigm change 194
Gordeev A. A. Methodological foundations of the management efficiency evaluation in municipal units of Krasnoyarsk region 200
Petrov M. N., Trenogin N. G. The information control systems analysis of business processes in telecommunication branch 205

PART 4. PEDAGOGICS 207

Kolga V. V. Creating the concept of continuous aerospace education 210
Kozlova Y. V. The organization of information-pedagogical dialogue improving 213

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 214

ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИКЕ СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в электронном и печатном виде (в печатном виде – 2 экз.) на русском языке с их английским переводом либо на английском языке с переводом на русский язык фамилии автора (ов), названия статьи, аннотации и ключевых слов. Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (ов) статьи. Количество авторов одной статьи не более 5-ти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй в соавторстве.

Индекс УДК предшествует названию статьи, соответствует заявленной теме и проставляется в верхнем левом углу листа.

Оригинал должен быть чистым, не помятым, без правок, вписанных от руки. Страницы нумеруются карандашом на обороте.

Электронная копия. Статья набирается в программе Microsoft Word.

Содержание. В статье необходимо сформулировать проблемы, отразить объект исследования, достигнутый уровень процесса исследования, новизну результатов, область их применения.

Статья должна заканчиваться выводом. Текст вывода набирается отдельным абзацем (абзацами), в котором акцентируется новизна результатов, эффективность их использования и др.

Объем статьи: 7–8 страниц (включая рисунки, таблицы и библиографический список).

Параметры страницы. Формат А4 (210 х 297). Поля: правое и левое – 2 см., верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру набираются инициалы, фамилия автора (ов).

Не допускается (!) набирать тексты прописными (заглавными) буквами и жирным шрифтом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформления набора, выполняемого в журнале.

Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку (курсивом) – аннотация, ключевые слова (не более 6).

Основной текст статьи размещается через пробел от аннотации. Межстрочный интервал – одинарный, межбуквенный и междусловный интервал – нормальный, перенос слов не допускается. Заголовки глав должны быть центрированы.

Абзацный отступ равен 0,5 см.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки, например [1]. Ссылки должны быть последовательно пронумерованы.

Примечания: 1. Смысловые пояснения основного текста или дополнения к нему оформляются в виде внутритекстовых примечаний среди строк основного текста специальной рубрикой, выделенной светлым курсивом: *Примечание:* (одно примечание*)*, *Примечания*: (несколько примечаний). Отделяются от текста *точкой* (если стоят в единственном числе в подбор к тексту примечания).

Примечания должны быть последовательно пронумерованы.

2. При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов – символами (шрифт Symbol). Специальные сложные символы, а также многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным образом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Набор математических формул в пределах всего текста должен быть единообразен:

– русские и греческие символы – прямым шрифтом,
– латинские – курсивом.
– размер обычного символа – 12 пт,
– крупный индекс – 10 пт,
– мелкий индекс – 9 пт,
– крупный символ – 11 пт,
– мелкий символ – 10 пт.

Формулы, набранные отдельными строками, располагают по центру.

Не допускается (!) набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы. Слово «таблица» набирается светлым курсивом с выравниванием вправо, шрифтом 11, например, *Таблица 1* ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, она может быть помещена на отдельной странице, а в том случае, когда она имеет значительную ширину – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации. Оформляются отдельным файлом с расширением tiff. Последовательно пронумеровываются обычным шрифтом без кавычек с выравниванием по центру, например, Рис. 1,. Могут содержать подрисуночную подпись, шрифтом 11 пт Иллюстрации могут быть сканированы с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Не принимаются цветные иллюстрации или с разрешением 300 dpi и более.

Библиографический список составляется в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещается после основного текста (ГОСТ 7.1-2003).

Текст на английском языке (в русскоязычной версии) приводится в конце статьи и включает в себе перевод заглавия статьи, фамилию автора (ов), аннотацию и ключевые слова (не более 6).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1. Экспертное заключение о возможности открытой публикации.

2. Сведения об авторе:

– фамилия, имя, отчество (полностью);
– ученая степень, звание, должность;
– вуз, год его окончания;
– область научных интересов;
– место работы, номер телефона;
– адрес для переписки (для иногородних);
– e-mail.

ВНИМАНИЕ! Материалы статьи авторы сдают лично секретарю журнала или высылаются почтой с указанием обратного адреса.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.