ВЕСТНИК

Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 4 (30)

Главный редактор
доктор экономических наук
профессор
Г. П. Беляков

Заместители главного редактора:
доктор технических наук
профессор
И. В. Ковалев

доктор технических наук
профессор
Л. Г. Шаймарданов

Редакционная коллегия:
С. С. Аплеснин
Е. Н. Головенкин
Ю. В. Ерыгин
М. В. Краев
В. Д. Лаптенок
А. Н. Ловчиков
А. В. Медведев
В. В. Москвичев
В. А. Охорзин
К. Г. Охоткин (отв. секретарь)
С. И. Сенашов
В. Г. Сомов

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

© Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2010
© Коллектив авторов, 2010

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

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

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

Электронная версия журнала представлена на сайте Научной электронной библиотеки (http: //www.elibrary.ru) и сайте журнала (www.vestnik.sibsau.ru)
Журнал включен в каталоги:
российской прессы «Роспечать» (МАП) – 11399;
объединенный «Пресса России» – 39263

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций 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 Т. А. Ермолаева, Т. Е. Ильющенко, К. С. Мирошникова, Е. Г. Некрасова, О. А. Плехова, А. И. Эберле
Редактор английского текста Е. А. Гончаров
Компьютерная верстка М. А. Белоусовой
Подп. в печать 28.12.2010. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 26,04.
Уч.-изд. л. 33,5. Тираж 1000 экз. С 127/10 .
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии ИП Суховольской Ю. П.
660125, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2.

УДК 62.501

А. В. Медведев

ТЕОРИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ. МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассматриваются некоторые вопросы моделирования дискретно-непрерывных процессов. Приводятся краткие сведения о моделировании стохастических процессов в рамках параметрической теории идентификации. Основной акцент сделан на проблемах моделирования процессов и объектов в условиях непараметрической неопределенности, а также на случае, когда задача идентификации не укладывается в рамки параметрической и непараметрической теории. Приведены новые формулировки задач идентификации.

Ключевые слова: непараметрические оценки, непараметрическая неопределенность, модель, идентификация, дискретно-непрерывные процессы, параметрические модели, априорная информация.

Даже незначительное отступление от истины
в дальнейшем ведет к бесконечным ошибкам.
Демокрит

Теория – в виду практики.
Девиз конгрессов IFAC

Безусловно, проблема моделирования и идентификации надолго останется одной из центральных проблем кибернетики. Мы обратим основное внимание на некоторые особенности различных задач идентификации. Последнее будет обусловлено как различными уровнями априорной информации об исследуемом объекте, процессе [1], так и стремлением максимально приблизиться к реальности [2]. Здесь уместно вспомнить замечательное высказывание П. Л. Чебышева: «Математика пережила два периода. В первом задачи ставились богами (делийская задача об удвоении куба), во втором – полубогами (Б. Паскаль, П. Ферма). Мы вошли в третий период, когда задачи ставит нужда».

По-видимому, одним из первых обративших внимание на уровни априорной информации при формулировке задач идентификации и управления, был А. А. Фельдбаум [3]. В сущности, исследование проблемы идентификации, которое порождает те или иные разделы теории идентификации, методы, модели, в значительной степени обусловлено уровнем априорной информации. А Я. З. Цыпкин прямо говорил: «Априорная информация – это основа для формулировки проблемы оптимальности. Текущая информация – средство решения этой проблемы» [4]. Текущая информация – это результаты измерения всех доступных переменных, определяющих характер и поведение исследуемого процесса.

Отметим одну существенную деталь. Основную роль здесь играют как имеющиеся средства контроля, так и сама технология измерения переменных. Более того, отличие в средствах контроля неизбежно будет приводить к различным постановкам задач идентификации и моделирования даже для процессов одного и того же типа. Важным здесь также является и тип (марка) технологического аппарата (оборудования), в котором протекает интересующий нас процесс. Все это в итоге существенно влияет на разрешение проблемы идентификации и, в частности, на разработку математических моделей конкретных процессов.

Классическая схема задачи идентификации. Приведем достаточно общую схему исследуемого процесса, принятую в теории моделирования и идентификации [5; 6] (рис. 1).

На рис. 1 приняты следующие обозначения: A – неизвестный оператор объекта; $x(t)$ – векторная выходная переменная процесса; $u(t)$ – векторное управляющее воздействие; $\mu(t)$ – вектор входных неуправляемых, но контролируемых воздействий; $\xi(t)$ – векторное случайное воздействие; (t) – непрерывное время; u_t, μ_t, x_t означают измерение $u(t)$, $\mu(t)$, $x(t)$ в дискретное время; h^u, h^μ, h^x – случайные помехи измерений соответствующих переменных процесса. Контроль переменных (x, u, μ) осуществляется через интервал времени Δt, т. е. u_i, μ_i, x_i, здесь $i = \overline{1, s}$ – выборка измерений переменных процесса, s – объем выборки,

Объект, показанный на рис. 1, описывается неизвестным оператором A, т. е.

$$x(t) = A(u(t), \mu(t)\xi(t), t). \qquad (1)$$

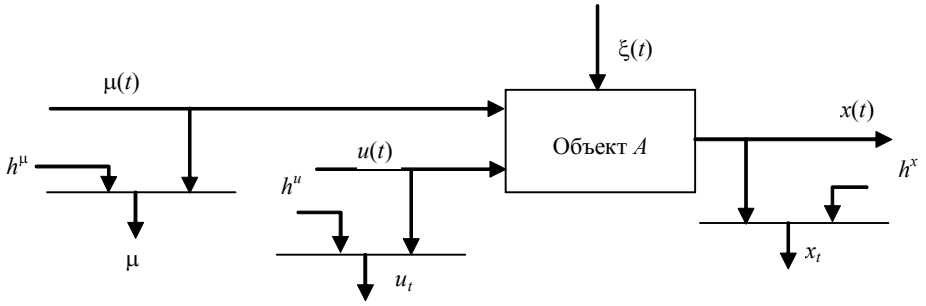


Рис. 1

Ясно, что при исследовании реального процесса класс операторов A должен быть как-то определен. Кроме того необходимы сведения о случайных возмущениях, действующих на объект и при измерении входных–выходных переменных $u(t)$ и $x(t)$. Таким образом, мы располагаем текущей информацией об объекте в виде выборки измерений $\{u_t, \mu_t, x_t, t = \overline{1,s}\}$ или в виде временных векторов $\underline{u_s} = (u_1, ..., u_t, ..., u_s)$ и $\underline{\mu_s} = (\mu_1, ..., \mu_t, ..., \mu_s)$, $x_s = (x_1, ..., x_t, ..., x_s)$, а также априорной информацией о нем. Последнее может базироваться на фундаментальных законах, лежащих в основе разнообразных физических, механических, электротехнических, химических, биофизических и других процессов и объектов, или на результатах предшествующих исследований интересующих нас объектов.

Приведем наиболее общую схему многомерного стохастического процесса, часто встречающегося во многих приложениях (рис. 2), где $\omega^i(t)$: $i = 1, 2, ..., k$ – переменные процесса, контролируемые в том числе и по длине объекта.

Отметим существенные отличия выходных переменных $z(t)$, $q(t)$ и $x(t)$, представленных на рис. 2. Выходная переменная $x(t)$ контролируется через интервалы времени Δt, $q(t)$ – через существенно большие интервалы времени ΔT, z – через интервалы времени T ($T >> \Delta T >> \Delta t$) ($\Delta t$, ΔT и T – дискретность, с которой происходят измерения). С практической точки зрения для исследуемого процесса наиболее важным является контроль переменных $z(t)$. Например, выходные переменные $x(t)$ контролируются с помощью различного рода индукционных, емкостных и других датчиков, $q(t)$ – на основе лабораторных анализов, а $z(t)$ – в результате длительного химического анализа, физико-механических испытаний и др. Этим и обусловлено существенное отличие дискретности контроля выходных переменных $x(t)$ и $z(t)$, которое состоит в том, что измеренное значение выхода объекта станет известным только через определенные промежутки времени, чем и объясняется запаздывание в измерениях выходных переменных объекта $x(t)$, $q(t)$ и $z(t)$. В этом случае выходные переменные, как и ранее, зависят от входных переменных и $\omega(t)$ (дополнительной информации), т. е. следующим образом:

$$x(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), \xi(t), t). \quad (2)$$

При моделировании подобных процессов, учитывая различную дискретизацию контроля измерений $x(t)$, $q(t)$ и $z(t)$, при прогнозировании $q(t)$ и $z(t)$ естественно использовать весь набор переменных:

$$q(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), x(t), \xi(t), t), \quad (3)$$

$$z(t) = A(u(t), \mu(t), \omega(t), x(t), q(t), \xi(t), t). \quad (4)$$

Поскольку значения ΔT и T намного превышают постоянные времени объекта, то при моделировании придется учитывать, что рассматриваемые процессы относятся к классу статических с запаздыванием, что значительно повышает их роль в задачах идентификации стохастических систем.

Многообразие задач идентификации и моделирования обусловлено различными типами исследуемых процессов (статические или динамические, линейные или нелинейные, с распределенными или сосредоточенными параметрами, стационарные или нестационарные и др.), а также большим разнообразием случайных возмущений, действующих на объект и в каналах связи. Как уже отмечалось выше, существенная роль при формулировке задач моделирования конкретных процессов принадлежит средствам контроля и технологии измерения переменных объекта. В зависимости от объема априорной информации различают задачи идентификации в узком и широком смысле. В настоящее время наиболее полно развита теория идентификации в узком смысле [4; 5]. Достижения в области идентификации в широком смысле значительно более скромные. Вот что пишет Н. С. Райбман в предисловии к русскому изданию книги

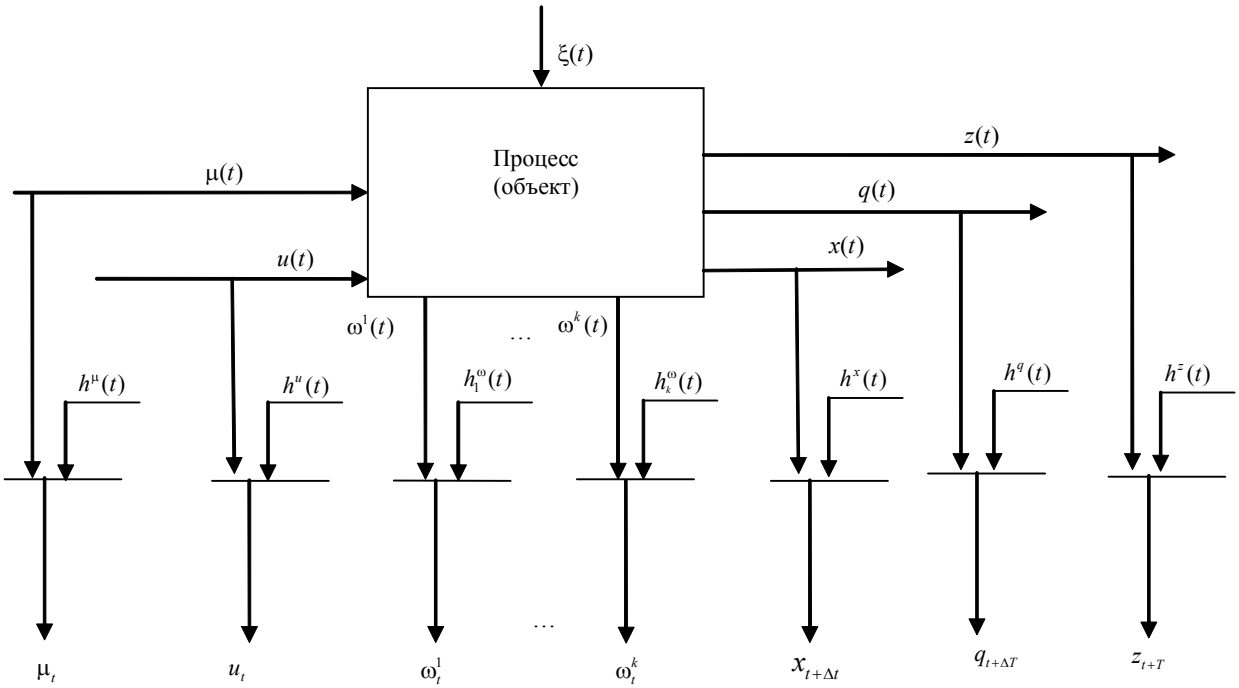


Рис. 2

П. Эйкхоффа «Основы идентификации систем управления»: «Априорная информация об объекте при идентификации в „широком“ смысле отсутствует или очень бедная, поэтому приходится предварительно решать большое число дополнительных задач. К этим задачам относятся: выбор структуры системы и задание класса моделей, оценивание степени стационарности и линейности объекта и действующих переменных, оценивание степени и формы влияния входных переменных на выходные, выбор информативных переменных и др. К настоящему времени накоплен большой опыт решения задач идентификации в „узком смысле“. Методы же решения задач идентификации в „широком“ смысле начали разрабатываться только в последние годы, и здесь результаты значительно скромнее, что в первую очередь можно объяснить чрезвычайной трудностью задачи» [6].

В качестве примера приведем типичный для многих отраслей промышленности процесс измельчения конкретного продукта. Речь пойдет о помоле клинкера в шаровой трехкамерной мельнице сухого помола, схема которой приведена на рис. 3. Клинкером являются гранулы, образовавшиеся в результате обжига сырьевой смеси, измельчение которых приводит к получению цемента.

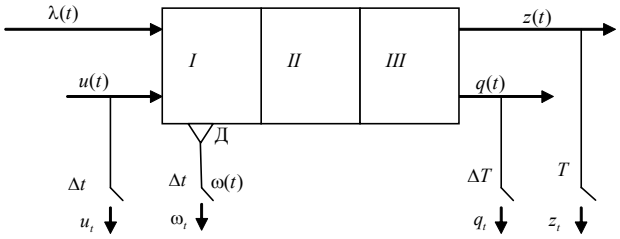


Рис. 3

Мельница сухого помола представляет собой цилиндрический вращающийся барабан, разделенный сеточными перегородками на три камеры, загруженные мелющими телами (в камере *I* достаточно крупные металлические шары, в камере *II* – шары меньшего размера, в камере *III* – цильберс-металлические цилиндры небольшого размера). Клинкер, поступающий в мельницу, измельчается в камерах *I*, *II*, *III* и превращается в цемент. Таким образом, с технологической точки зрения входом мельницы является загрузка клинкера, а выходом – цемент.

Введем следующие обозначения (они совпадают с обозначениями статьи [1]): $\lambda(t)$ – неконтролируемая входная переменная (размалываемость клинкера), $u(t)$ – контролируемая со случайной ошибкой входная переменная (загрузка/количество клинкера); $\omega(t)$ – шум в камере *I*, контролируемый индукционным датчиком Д через интервал Δt, который в системах регулирования используется как выходной сигнал процесса измельчения; $q(t)$ – выход мельницы (тонкость измельчения), измеряемый через интервал времени $\Delta T >> \Delta t$; $z(t)$ – основной показатель качества цемента (активность, прочность цементной балочки при сжатии), контролируемый через $T >> \Delta T >> \Delta t$. Постоянная времени объекта – примерно 5–7 мин; $u(t)$ и $\omega(t)$ в локальных аналоговых системах регулирования контролируются непрерывно, а в цифровых системах регулирования – дискретно через интервал Δt, который может измеряться через несколько секунд. Контроль выходных переменных $q(t)$, $z(t)$ осуществляется в лаборатории по технологии, регламентируемой стандартами, причем $\Delta T = 2$ ч, а $T = 28$ сут. Отметим, что $q(t)$ – технологический показатель собственно процесса измельчения, а $z(t)$ – показатель качества (марки) цемента, который зависит не только от тонкости измельчения $q(t)$, но и от показателей работы предыдущих технологических переделов: приготовления сырьевой смеси, помола, обжига. В частности, переменная $\lambda(t)$, показанная на рис. 1, является важным технологическим показателем размалываемости клинкера, существенно влияющим на процесс измельчения последнего, но она не может быть измерена. Экспертные оценки размалываемости клинкера, конечно, возможны, так же как анализ одной его гранулы средствами петрографии и др., но все они требуют длительного времени, очень трудоемки, не представительны и дают грубые усредненные результаты.

Таким образом, технология контроля переменных, существенно влияющих на процесс измельчения, трудоемка, осуществляется через различные интервалы времени, а получаемые при этом данные сильно зашумлены, что приводит к серьезным трудностям при моделировании подобных процессов. А ведь это сравнительно простой технологический процесс, типичный для многих отраслей промышленности. Наконец, заметим, что этот процесс не укладывается в классическую схему задачи идентификации, представленную на рис. 1.

Анализ описанного выше реального процесса измельчения показывает, что управление объектом ведется не по выходной переменной $q(t)$, доступной для измерения через интервал времени ΔT, а по косвенной переменной $\omega(t)$, которая контролируется непрерывно или через интервал времени Δt. Связь между $q(t)$ и $\omega(t)$ носит стохастический характер и часто оказывается довольно слабой. Попытка управлять переменной $q(t)$ неизбежно приводит к необходимости рассматривать объект как статический с запаздыванием из-за длительности измерения $q(t)$. Впрочем, динамическая система в установившемся режиме может рассматриваться как статическая [3]. Это существенно повышает роль теории идентификации и управления статическими стохастическими системами с запаздыванием, которой уделяется незначительное внимание в монографиях [7; 8] и других публикациях.

Безусловно, при моделировании и управлении процессами измельчения, а также другими подобными процессами, целесообразно использовать сигналы или нечто аналогичное им, но это требует тщательного анализа не только самого объекта, но и средств и технологии контроля всех доступных переменных, а также априорной информации, которая по различным каналам многомерной системы объекта может одновременно соответствовать различным уровням априорной информации. Только такой анализ может привести к адекватной реальному процессу постановке задачи идентификации и управления и содействовать успешному их решению, т. е. построению качественных моделей управления конкретны-

ми процессами и объектами. Неучет тех или иных переменных, параметров, характера измерения и контроля, априорной информации, а также некоторая вольность при принятии тех или иных допущений, неизбежных при математической постановке задачи, в конечном счете может привести к негативным последствиям. Все эти вопросы часто обходятся при исследовании проблемы моделирования с теоретической точки зрения. Но при решении прикладных задач, построении моделей конкретных процессов без этого просто нельзя обойтись, ибо «истина ничуть не страдает от того, если кто-либо ее не признает» (И. Ф. Шиллер). Представляется уместным еще раз акцентировать внимание на формулировке проблемы идентификации реального процесса на самой начальной стадии: «…гораздо труднее увидеть проблему, чем найти ее решение. Для первого требуется воображение, а для второго только умение» (Дж. Д. Бернал).

Идентификация в узком и широком смыслах. При моделировании разнообразных дискретно-непрерывных процессов в настоящее время доминирует теория идентификации в узком смысле (параметрическая идентификация). Ее содержание состоит в том, что на первом этапе каким-то образом определяется параметрический класс операторов A, например

$$\tilde{x}_\alpha(t) = A^\alpha(u(t), \mu(t), t, \alpha), \qquad (5)$$

а на втором этапе осуществляется оценка параметров б на основе имеющейся выборки $\{x_t, u_t, \mu_t, t = \overline{1,S}\}$, где s – объем выборки. Успех решения задачи идентификации в этом случае существенно зависит от того, насколько удачно определен оператор (1).

Идентификация в широком смысле (параметрическая идентификация) предполагает отсутствие этапа выбора параметрического класса оператора (1), если, конечно, для этого нет достаточных априорных сведений. Часто оказывается значительно проще определить класс операторов (1) на основе сведений качественного характера, например линейности процесса или типа нелинейности и др. Задача идентификации состоит в оценивании этого оператора на основе выборки $\{x_t, u_t, \mu_t, t = \overline{1,S}\}$ в форме

$$\tilde{x}_S(t) = A_S(u(t), \mu(t), t, \vec{x}_S, \vec{u}_S, \vec{\mu}_S). \qquad (6)$$

Параметрическая идентификация. Идентификация в узком смысле предполагает выбор класса моделей с точностью до параметров (5), с последующей оценкой этих параметров по мере поступления измерений входов-выходов объекта. Как уже отмечалось ранее, методы параметрической идентификации достаточно хорошо развиты [5–9]. Тем не менее обратим внимание на одну особенность, имеющую важное значение при оценивании параметров.

Из соображений простоты рассмотрим статическую систему с двумя входами $u = (u_1, u_2)$ и одним выходом x. Более того, примем в качестве примера простейшую модель в виде $\hat{x} = au_1 + bu_2$. При наличии выборки измерений со случайными помехами входа-выхода $\{x_i, u_1^i, u_2^i, i = \overline{1,s}\}$ легко оценить параметры a и b. Пусть, без нарушения общности, $u_1 \in [0,1], u_2 \in [0,1], x \in [0,1]$, но входные переменные стохастически зависимы, что проиллюстрировано на рис. 4, где $\Omega(u)$ – область существования переменных u_1 и u_2; $\Omega^H(u)$ – область протекания реального процесса [10]. Ясно, что в единичном кубе область $\Omega^H(x,u)$ будет иметь трубчатую структуру и $\Omega^H(u) \subset \Omega(u)$ (рис. 5). Заметим, что области $\Omega(u)$, $\Omega(x,u)$ всегда известны (в нашем случае это единичный куб), а области $\Omega^H(u)$, $\Omega^H(x,u)$ всегда неизвестны. При построении модели процесса $x = (u_1, u_2)$ этот факт необходимо учитывать, так как из-за погрешности измерений или случайных фактов, действующих на процесс, а также при исследовании процесса на модели $\tilde{x}_\alpha(u) = A^\alpha(u, \alpha)$, где $u = (u_1, u_2)$, может случиться так, что $u \notin \Omega^H(u)$. В этом случае оценка (прогноз) x может оказаться величиной физически не реализуемой, т. е. $x \notin \Omega(x)$. В этом легко убедиться, анализируя следующий случай.

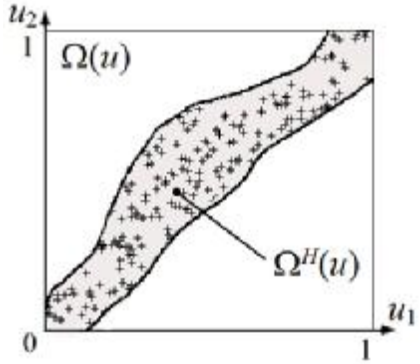


Рис. 4

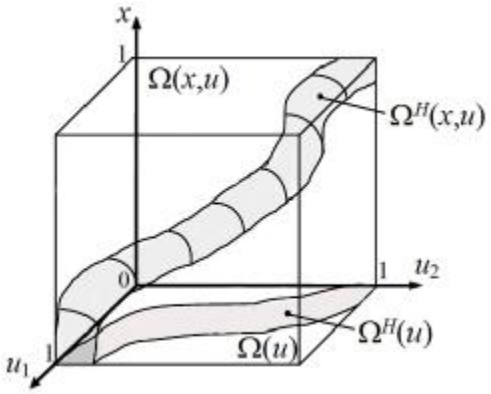


Рис. 5

Пусть из соображений простоты процесс протекает по диагонали куба. Тогда, взяв в качестве модели уравнение плоскости $\hat{x} = au_1 + bu_2$, оценим параметры модели a и b по имеющейся выборке измерений входа-выхода со случайными погрешностями, т. е. по выборке $\{x_i, u_1^i, u_2^i, i = \overline{1,s}\}$. Легко видеть, что оценки параметров a и b, полученные по выборкам измерений, соответствующим различным экспериментам, будут значительно отличаться, хотя квадратичная ошибка $w(a,b)$ прогноза по такой модели будет одинаково мала. Действительно, через прямую в кубе $\Omega(x,u)$, проходящую по его диагонали, можно провести сколько угодно плоскостей. Если представить себе отсутствие помех при измерении входа-выхода процесса, то по выборкам наблюдений в различных экспериментах будут получаться существенно отличающиеся значения параметров модели a и b, но плоскости (они же модели) будут проходить через пря-

мую в пространстве (а это и есть исследуемый процесс). Как показывают вычислительные эксперименты, квадратичная ошибка прогноза линейных моделей в этом случае близка к нулю.

Проиллюстрируем это обстоятельство на рис. 6, где критерий $w(a,b)$ показан в зависимости от значений (a,b), где w_0 – минимальное значение квадратичной ошибки $w(a,b)=\frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s}(x_i-au_1^i-bu_2^i)^2$, т. е. $w_0(a^*,b^*)=\min_{(a,b)} w(a,b)$. Там же показано сечение $w(a,b)$ плоскостями $w=w_1$, $w=w_2$. Из этого следует, что при одной и той же величине ошибки (может быть, вполне удовлетворительной с практической точки зрения) могут получаться существенно отличающиеся оценки параметров a и b. И, как мы уже отмечали, области реального протекания процесса $\Omega^H(u)$, $\Omega^H(x,u)$ всегда неизвестны.

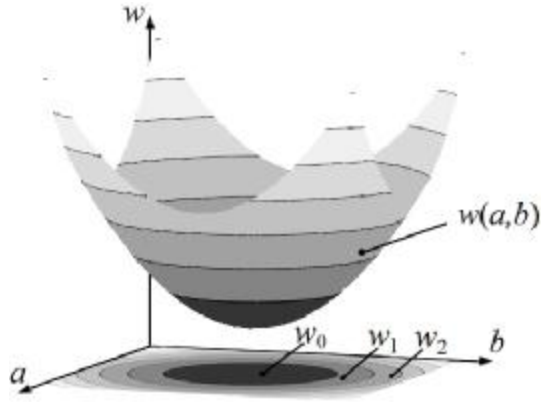


Рис. 6

Параметрическая модель статического процесса, представленного на рис. 1, может быть принята в виде

$$\hat{x}(u,\mu)=F(u,\mu,\alpha), \tag{7}$$

где $F(\cdot)$ – некоторая функция; α – вектор параметров, например

$$\hat{x}(u,\mu)=\sum_{i=1}^{N}\alpha_i\varphi_i(u,\mu), \tag{8}$$

где $\varphi_i, i=\overline{1,N}$ – система линейно-независимых функций $(u,\mu)\in\Omega(u,\mu)$, $(u,\mu,x)\in\Omega(u,\mu,x)$. В случае стохастической зависимости компонент векторов $u\in R^k$, $\mu\in R^n$ исследуемый процесс имеет трубчатую структуру, аналогичную представленной на рис. 5. Тогда параметрическая модель должна быть взята в виде

$$\hat{x}(u,\mu)=F(u,\mu,\alpha)I(u,\mu), \tag{9}$$

где $I(u,\mu)$ – индикатор, такой что

$$I(u,\mu)=\begin{cases}1, \text{ если } (u,\mu)\in\Omega^H(u,\mu)\subset\Omega(u,\mu),\\ 0, \text{ если } (u,\mu)\notin\Omega^H(u,\mu).\end{cases} \tag{10}$$

Ясно, что если $\Omega^H(u,\mu)=\Omega(u,\mu)$, то модель (9) совпадает с общепринятыми моделями (7) и (8).

В качестве оценки индикаторной функции $I(u,\mu)$ может быть принята статистика [11]:

$$I(u,\mu)=\begin{cases}1, \text{ если } \sum_{i=1}^{s}\prod_{j=1}^{k}\Phi\left(\frac{u_j-u_j^i}{c_s}\right)\prod_{j=1}^{n}\Phi\left(\frac{\mu_i-\mu_j^i}{c_s}\right)>0\\ 0, \text{ если } \sum_{i=1}^{s}\prod_{j=1}^{k}\Phi\left(\frac{u_j-u_j^i}{c_s}\right)\prod_{j=1}^{n}\Phi\left(\frac{\mu_i-\mu_j^i}{c_s}\right)\le 0,\end{cases} \tag{11}$$

где колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ и параметр размытости c_s удовлетворяют условиям сходимости [11].

Непараметрическая идентификация. Идентификация в условиях непараметрической неопределенности отличается от параметрической отсутствием этапа выбора параметрического класса моделей. В этом случае необходимы только качественные свойства процесса. Так, для статического объекта достаточно требования однозначности характеристики исследуемого процесса. В этом случае его модель имеет следующий вид:

$$x_s(u,\mu)=\frac{\sum_{i=1}^{s}u_i\prod_{j=1}^{k}\Phi\left(\frac{u_j-u_j^i}{c_s}\right)\prod_{j=1}^{n}\Phi\left(\frac{\mu_j-\mu_j^i}{c_s}\right)}{\sum_{i=1}^{s}\prod_{j=1}^{k}\Phi\left(\frac{u_j-u_j^i}{c_s}\right)\prod_{j=1}^{n}\Phi\left(\frac{\mu_j-\mu_j^i}{c_s}\right)}. \tag{12}$$

В случае динамического объекта необходимо построить непараметрическую оценку весовой функции системы с последующим восстановлением интеграла Дюамеля. Этот путь предложен в [1; 11]. Рассмотрим далее новый класс моделей.

Комплексные модели дискретно-непрерывных процессов. Проанализируем проблему моделирования процесса, представленного на рис. 2. В эту схему укладываются и процессы с распределенными параметрами. Выделим здесь два существенных фактора: во-первых, относительно некоторых каналов процесса на основе фундаментальных законов физики, механики, электротехники и других могут быть определены классы параметрических моделей; во-вторых, эти процессы протекают в технологических аппаратах, конструкциях, которые также следует учитывать при моделировании. Одним словом, процессы одной и той же природы, но протекающие в объектах различных типов, могут оказаться отличающимися, а следовательно, и их модели будут разными. Таким образом, при моделировании подобных процессов необходимо учитывать оба эти фактора, поскольку они в итоге влияют на характер протекания интересующего нас процесса.

Представим первый блок модели процесса в виде системы параметрических уравнений, описывающих некоторые его связи на основании известных законов, в достаточно общем виде:

$$F_i\left(\begin{matrix}\mu(t),u(t),\omega(t,l),x(t),\\ \frac{\partial\omega(t,l)}{\partial t},\frac{\partial^2\omega(t,l)}{\partial t^2},\frac{\partial\omega(t,l)}{\partial l},\frac{\partial^2\omega(t,l)}{\partial l^2},\alpha_i\end{matrix}\right)=0, \tag{13}$$

$$\alpha_i=0,\ \ i=\overline{1,N_1},$$

где α_i, $i=\overline{1,N_1}$ – вектор параметров; l – координата по длине объекта; F_i, $i=\overline{1,N_1}$ – известные функции. Краевые и начальные условия (13) определяются в каждом конкретном случае.

Второй блок моделей (а это чаще всего статические модели), обусловлен техническими, технологическими, конструктивными особенностям объекта и имеет вид

$$\Psi_j\left(\mu(t),u(t),\omega(t,l),x(t),q(t),z(t)\right)=0,\quad j=\overline{1,N_2}, \tag{14}$$

где функции Ψ_j, $j=\overline{1,N_2}$, могут быть как заданы, т. е. выбраны с точностью до параметров, так и не заданы, при этом будут известны лишь их качественные характеристики.

Уместно заметить, что некоторые функции либо какие-то их компоненты, входящие в (13), (14), могут отсутствовать. Для всех вектор-функций, входящих в (13), (14), введем составные векторы: $\mu^{\langle j\rangle}(t),u^{\langle j\rangle}(t),\omega^{\langle j\rangle}(t,l),x^{\langle j\rangle}(t),q^{\langle j\rangle}(t),z^{\langle j\rangle}(t)$. Это означает, что эти векторы при каждом j, $j=1,N_2$, составлены из некоторых компонент соответствующего вектора, например запись $\mu^{\langle j\rangle}(t)$ говорит о том, что j-й вектор состоит из нескольких (или всех) компонент вектора $\mu(t)$. Тогда модель процесса, представленного на рис. 2 (назовем ее К-моделью), будет иметь вид

$$\begin{cases} F_i\left(\begin{array}{l}\mu^{\langle i\rangle},u^{\langle i\rangle},\omega^{\langle i\rangle},x^{\langle i\rangle},\dfrac{\partial\omega^{\langle i\rangle}}{\partial t},\\ \dfrac{\partial^2\omega^{\langle i\rangle}}{\partial t^2},\dfrac{\partial\omega^{\langle i\rangle}}{\partial l},\dfrac{\partial^2\omega^{\langle i\rangle}}{\partial l^2},\alpha_i\end{array}\right)=0,\quad i=\overline{1,N_1},\\ \Psi_i\left(\mu^{\langle i\rangle},u^{\langle i\rangle},\omega^{\langle i\rangle},x^{\langle i\rangle},q^{\langle i\rangle},z^{\langle i\rangle},\beta_j\right)=0,\quad j=\overline{1,n_2},\\ S_j\left(\begin{array}{l}\mu^{\langle i\rangle},u^{\langle i\rangle},\omega^{\langle i\rangle},x^{\langle i\rangle},q^{\langle i\rangle},z^{\langle i\rangle},\overline{\mu_s^{\langle j\rangle}},\\ \overline{u_s^{\langle j\rangle}},\ \overline{\omega_s^{\langle j\rangle}},\ \overline{x_s^{\langle j\rangle}},\ \overline{q_s^{\langle j\rangle}},\ \overline{z_s^{\langle j\rangle}}\end{array}\right)=0,\quad j=\overline{n_2+1,N_2},\end{cases} \tag{15}$$

где β_j – вектор параметров, $j=\overline{1,n_2}$; $\Psi_j(\cdot)$, $j=\overline{1,n_2}$, определены с точностью до параметров $\beta_j(\cdot)$; $j=1,n_2$, $S_j(\cdot)$, $j=n_2+1,N_2$ – непараметрические статистики. Из соображений простоты аргументы функций, входящих в (15), опущены.

К-модели имеют достаточно сложную форму, но более точно отражают свойства реально протекающего процесса в том или ином объекте. Они *принципиально* отличаются от общеизвестных моделей тем, что объединяют уравнения, полученные на основе фундаментальных законов процесса, технические, конструктивные особенности объекта и его параметрическую и непараметрическую составляющие *в единое целое*. Упрощение модели дискретно-непрерывного процесса, в том числе распределенного, неизбежно приведет к ухудшению ее качества. Может оказаться, что упрощенные модели, в отличие от (15), уже не пригодны создания систем автоматического управления в силу своей грубости.

Библиографические ссылки

1. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Общий подход // Вестник СибГАУ. 2008. Вып. 3(20). С. 65–69.
2. Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Процессы // Вестник СибГАУ. Вып. 3 (29). С. 4–9.
3. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. М. : Физматгиз, 1963.
4. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М. : Наука, 1968.
5. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации. М. : Наука, 1984.
6. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М. : Мир, 1975.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления : в 2 т. Т. 1 : Математические модели, динамические характеристики и анализ систем управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : Изд-во Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана, 2004.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления : в 2 т. Т. 2 : Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : Изд-во Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана, 2004.
9. Льюнг Л. Идентификация систем. М. : Наука, 1991.
10. Медведев А. В. Анализ данных в задаче идентификации // Компьютерный анализ данных моделирования. Т. 2 ; Белорус. гос. ун-т. Минск, 1995. С. 201–206.
11. Медведев А. В. Непараметрические системы адаптации. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1983.

A. V. Medvedev

THEORY OF NON-PARAMETRIC SYSTEMS. MODELING

Some problems discrete-continuous processes modeling are considered. The brief information about stochastic processes modeling in the frames of parametric theory of identification. The main emphasis is either in the processes and objects modeling in condition of non-parametric uncertainty or in the case when the problem of identification is not in limits of parametric and non-parametric theory. New formulations of identification problems are given.

Keywords: non-parametric estimations, non-parametric uncertainty, model, identification, discrete-continuous processes, parametric models, a priori information.

© Медведев А. В., 2010

УДК 539.374

С. И. Сенашов, В. И. Бурмак

ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ*

Построено новое точное решение уравнений плоского напряженного состояния, описывающее сжатие пластического слоя жесткими плитами, которые сближаются с постоянным ускорением.

Ключевые слова: пластичность, плоское напряженное состояние, точное решение.

Рассмотрим уравнения, описывающие плоское напряженное состояние в случае медленных нестационарных течений. Уравнения имеют вид

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}+\frac{\partial \tau}{\partial y}=0,\quad \frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial \tau}{\partial x}+\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}=0, \tag{1}$$

$$\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau^2=3k^2, \tag{2}$$

$$\frac{\frac{\partial u}{\partial x}}{2\sigma_x-\sigma_y}=\frac{\frac{\partial v}{\partial y}}{2\sigma_y-\sigma_x}=\frac{\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}}{6\tau}=\lambda^{-1}, \tag{3}$$

где σ_x,σ_y,τ – компоненты тензора напряжений; k – постоянная пластичности; u,v – компоненты вектора скорости; l – некоторая положительная функция, определяемая по условию пластичности (2). Уравнения (1) – это условия равновесия, (3) – закон течения. Из (1)…(3) получаем

$$3\sigma_x=\lambda\left(2\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right),\ 3\sigma_y=\lambda\left(2\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial u}{\partial x}\right),$$

$$6\tau=\lambda\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right). \tag{4}$$

С учетом (4) уравнения (1)…(3) запишутся в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial\frac{\lambda}{3}\left(2\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)}{\partial x}+\frac{\partial\frac{\lambda}{6}\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)}{\partial y}=0,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial\frac{\lambda}{6}\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)}{\partial x}+\frac{\partial\frac{\lambda}{3}\left(\frac{\partial u}{\partial x}+2\frac{\partial v}{\partial y}\right)}{\partial y}=0,$$

$$3\sqrt{3}k\lambda^{-1}=\left(\begin{array}{l}\left(2\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial x}+2\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2-\\ -\left(2\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)\left(\frac{\partial u}{\partial x}+2\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{3}{4}\left(\frac{\partial v}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2\end{array}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{5}$$

Можно показать, что уравнения (5) допускают оператор

$$X=t\frac{\partial}{\partial t}+u\frac{\partial}{\partial u}+v\frac{\partial}{\partial v}$$

в смысле Ли. Поэтому решение уравнений (5) можно искать в виде

$$u=tu(x,y),\ \ v=tv(x,y).$$

Решения такого вида могут быть использованы для описания движений с постоянным ускорением. В данной статье мы ограничимся решениями вида

$$u=tu(y),\ \ v=tv(y). \tag{6}$$

Подставим (6) в (5), в результате получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для определения u,v:

$$u+\frac{d}{dy}\frac{ku'}{\sqrt{4v'^2+u'^2}}=0,\ v+\frac{d}{dy}\frac{kv'}{\sqrt{4v'^2+u'^2}}=0. \tag{7}$$

Здесь штрих означает производную по переменной y.

Пусть $2v'=w\sin\theta,\ 2u'=w\cos\theta,$ тогда система (7) запишется в виде

$$u+k\frac{d}{dy}\cos\theta=0,\ \ v+2k\frac{d}{dy}\sin\theta=0. \tag{8}$$

Продифференцируем (8) по y и с учетом введенных выше обозначений получим

$$w\cos\theta+k\frac{\mathrm{d}^2}{dy^2}\cos\theta=0,\ w\sin\theta+4\mathrm{k}\frac{\mathrm{d}^2}{dy^2}\sin\theta=0. \tag{9}$$

Умножим первое уравнение (9) на $-\sin\theta,$ а второе – на $\cos\theta$ и сложим:

$$\theta''\left(4\cos^2\theta+\sin^2\theta\right)-3\theta'^2\sin\theta\cos\theta=0. \tag{10}$$

Пусть $\theta'=p(\theta),$ тогда $\theta''=p'p$ и уравнение (10) запишется в виде

$$p'\left(4\cos^2\theta+\sin^2\theta\right)-3p\sin\theta\cos\theta=0.$$

Интегрируя его, получим

$$p=\theta'=\frac{c}{\sqrt{1+3\cos^2\theta}},$$

где c – произвольная постоянная. Следовательно,

$$cy=\int_0^\theta\sqrt{1+3\cos^2\theta}d\theta=$$

$$=\frac{1}{4}\int_0^\theta\sqrt{1-\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2\sin^2\theta}d\theta=\frac{1}{4}E\left(\theta,\frac{\sqrt{3}}{2}\right), \tag{11}$$

где $E\left(\theta,\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ – эллиптический интеграл второго рода. Из формулы (11) следует, что $\theta=\theta(y)$ – монотонно возрастающая функция при $c>0.$ Поскольку

$$\theta'=\frac{c}{\sqrt{1+3\cos^2\theta}},$$

то из формул (8) получаем

$$u=-k\frac{d}{dy}\cos\theta=\frac{ck\sin\theta}{\sqrt{1+3\cos^2\theta}},$$

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.», проект № 1121.

$$v = -2k\frac{d}{dy}\sin\theta = -\frac{ck\cos\theta}{\sqrt{1+3\cos^2\theta}}. \quad (12)$$

Компоненты тензора напряжений в этом случае будут

$$\tau = k\cos\theta,$$

$$\sigma_y = 2k\sin\theta,\ \ \sigma_x = k\sin\theta. \quad (13)$$

Дадим одну из возможных интерпретаций построенного решения (11)…(13). Пусть

$$y_1 = E\left(-\frac{\pi}{4}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right),\ \ y_2 = E\left(-\frac{3\pi}{4}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

тогда

$$\tau(y_1) = k\frac{\sqrt{2}}{2},$$

$$\sigma_y(y_1) = \sqrt{2}k,\ \ u(y_1) = ck\frac{\sqrt{5}}{5},\ \ v(y_1) = -ck\frac{\sqrt{5}}{5},$$

$$\tau(y_2) = -k\frac{\sqrt{2}}{2},$$

$$\sigma_y(y_2) = -\sqrt{2}k,\ \ u(y_2) = -ck\frac{\sqrt{5}}{5},\ \ v(y_2) = ck\frac{\sqrt{5}}{5}. \quad (14)$$

Это означает, что верхняя шероховатая жесткая плита, заданная уравнением $y = y_1$, движется вниз и вправо с постоянными ускорениями. На плите задано постоянное нормальное и касательные напряжения. Вторая плита (ее уравнение $y = y_2$), движется вверх и влево с постоянными ускорениями. На этой плите также заданы нормальное и касательное напряжения.

Замечание. Подобные решения можно построить и для описания сжатия трубы, стенки которой движутся с постоянным ускорением.

S. I. Senashov, V. I. Burmak

EXACT SOLUTIONS OF EQUATION OF PLASTICITY OF PLANE STRESS CONDITION

The article presents a new exact solution of equation of plane stress state, which describes compression of plastic layer with rigid sheet, which come close to constant acceleration.

Keywords: plasticity, plasticity of plane stress condition, exact solution.

© Сенашов С. И., Бурмак В. И., 2010

УДК 538.911; 539.21

В. М. Ленченко, Ю. Ю. Логинов, А. В. Мозжерин

ЛАВИННОЕ УМНОЖЕНИЕ И ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ РЕКОМБИНАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Определены условия ускорения носителей тока в полупроводниках до ударно-ионизационных энергий в сильных электрических полях ограниченной протяженности. Описаны генерационно-рекомбинационные процессы лавинного умножения и излучательной рекомбинации в виде микроплазм, возникающих в обратно смещенных p–n-переходах солнечных элементов. Представлено физическое обоснование диагностики микродефектов в полупроводниках с помощью микроплазм.

Ключевые слова: микроплазмы, солнечные элементы, p–n-переход.

Солнечные элементы широко используются в качестве источников энергии, в том числе на энергетических платформах космических аппаратов. В обратно смещенных *p–n*-переходах, расположенных у поверхности полупроводника (как, например, в светодиодах и солнечных элементах), в предпробойных электрических полях наблюдаются светящиеся точки и пятна, названные в [1] микроплазмами. Микроплазменный пробой, происходящий в обратно смещенных *p–n*-переходах, сильно локализован, не превышает 1 мкм в диаметре и сопровождается свечением невысокой интенсивности [2]. Интенсивность этого свечения и количество микроплазм возрастают при увеличении прикладываемого к *p–n*-переходу напряжения.

Локализация микроплазм может быть вызвана резким возрастанием электрического поля в области свечения и увеличением коэффициентов лавинного умножения. Вероятнее всего это происходит в местах, где имеются неоднородности *p–n*-перехода. Такие неоднородности могут быть связаны с микродефектами, флуктуациями фронта легирования, дислокациями и др. В этих локальных областях может происходить уплотнение электрического поля $E > E_п$, где $E_п$ – пороговое поле для лавинного умножения носителей тока. Предполагается, что

свечение микроплазм является результатом рекомбинации «горячих» электронов и дырок, ускоренных в таких сильных полях ($E > E_п$) до ударно-ионизационных энергий.

Оценка качества полупроводниковых пластин и солнечных элементов, основанная на применении микроплазм, представляет большой интерес для обнаружения микродефектов, тип которых можно определить, используя электронно-микроскопические методы.

Экспериментальная часть. Объектом исследований являлись солнечные элементы, изготовленные на основе монокристаллического кремния, в которых *p*-слой был изготовлен путем легирования бора с концентрацией до 10^{16} атомов/см^3, а *n*-слой – диффузионным способом с применением легирующей примеси атомов фосфора с концентрацией до 10^{21} атомов/см^3. Расположение *p–n*-перехода на глубине 0,4 мкм от лицевой поверхности солнечных элементов позволяло наблюдать в оптическом микроскопе микроплазменное свечение, возникающее в обратно смещенном *p–n*-переходе. Электронно-микроскопические исследования дефектов в области *p–n*-переходов солнечных элементов осуществлялись с помощью просвечивающего электронного микроскопа JEM-2100.

Причины возникновения микроплазм. Причиной возникновения микроплазм могут служить неоднородности *p–n*-переходов, связанные со структурными дефектами в этой области полупроводника, например с дислокациями. Во-первых, в районе дислокации имеются области сжатия и растяжения кристаллической решетки. В области сжатия (растяжения) вблизи дислокаций ширина запрещенной зоны может уменьшиться на 0,2…0,4 эВ. Так как пороговая энергия ионизации принимается пропорциональной ширине запрещенной зоны, то ее уменьшение вблизи дислокаций должно привести к увеличению коэффициентов ионизации носителей и, следовательно, к микроплазменному пробою. Во-вторых, дислокации в кристаллах являются центрами осаждения примесей, которые могут формировать примесные атмосферы вокруг дислокаций или в результате распада пересыщенного твердого раствора – выделения второй фазы. Наличие примесных атмосфер легирующих примесей должно приводить к локальному изменению области пространственного заряда и к увеличению напряженности поля в местах пересечения *p–n*-перехода дислокацией. Выделения второй фазы могут являться одной из главных причин, способствующих понижению напряжения пробоя *p–n*-перехода. В-третьих, вдоль дислокаций могут быть повышены коэффициенты диффузии примесей, что также может привести к резкому понижению напряжения пробоя.

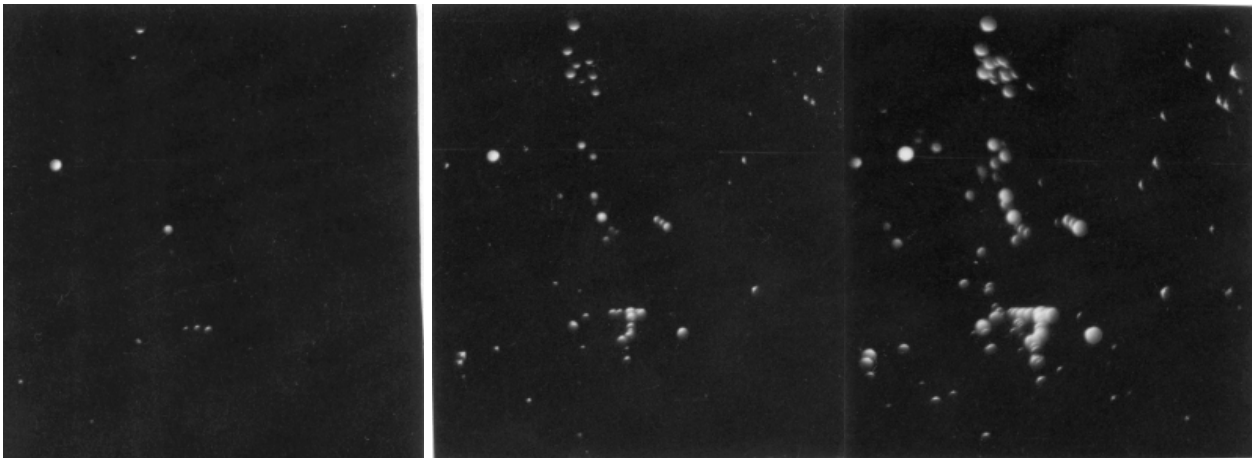
Типичные фотоснимки микроплазм на поверхности солнечных элементов при возрастающих обратных напряжениях представлены ниже (рис. 1).

Существует большое количество фактов, подтверждающих, что включения второй фазы являются одной из основных причин ухудшения обратных характеристик полупроводниковых *p–n*-переходов [3]. Выделения второй фазы встречаются практически во всех полупроводниковых материалах. Форма включений может быть самой разнообразной: сферической, цилиндрической, дискообразной или иглообразной [3]. Локальному понижению напряжения пробоя также может способствовать искривление фронта диффузии, например при диффузии легирующей примеси вдоль скопления дислокаций.

Типичными дефектами в кремнии являются краевые и винтовые дислокации, которые могут быть декорированы примесными преципитатами, образовавшимися в результате диффузии примесей из объема полупроводника на дислокации с последующим распадом пересыщенного твердого раствора [3] (рис. 2).

Ниже будет приведено описание генерационно-рекомбинационных процессов с оценкой кинетических параметров и условий излучательной рекомбинации носителей тока в микроплазмах.

О разогреве носителей тока в сильном электрическом поле. Микроплазмы возникают при увеличении обратного напряжения, приложенного к *p–n*-переходу, когда напряженность электрического поля в области пространственного заряда достигает значений, при которых наблюдается ударная ионизация. В общем случае в ударной ионизации могут принимать участие носители, как инжектированные в область пространственного заряда, так и генерированные в этой области.



а *б* *в*

Рис. 1. Увеличение интенсивности и числа микроплазм в кремниевом солнечном элементе при повышении напряжения: *а* – 7 В; *б* – 8 В; *в* – 10 В

Под разогревом принято понимать увеличение средней кинетической энергии броуновского движения частиц (электронов или дырок) в электрическом поле сверх их среднерешеточной тепловой энергии. Запишем уравнение разогрева в обычной форме:

$$\frac{d\varepsilon}{dx} = qE - S(\varepsilon, E), \qquad (1)$$

где q и ε – заряд и энергия частицы; E – напряженность электрического поля; $S(\varepsilon, E)$ – уменьшение потери энергии, испытываемое частицей на единице пути по направлению ее дрейфа.

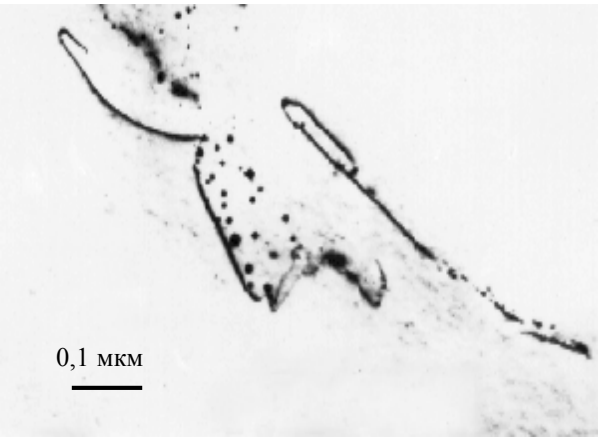


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение примесных выделений на дислокациях в кремнии в области *p–n*-перехода

Проведем окончательные расчеты зависимости $S(\varepsilon, E)$ от энергии частицы (ε) при ее торможении в столкновениях с акустическими колебаниями решетки. Для этого воспользуемся приведенными в [4] выражениями, согласно которым $S(\varepsilon, E)$ можно привести к виду

$$S(\varepsilon, E) = \frac{1}{\mu E}\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{\text{ст}}, \qquad (2)$$

где

$$\left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)_{\text{ст}} = 2\frac{qU_e^2}{\mu_0}\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right)^{3/2}\left(1 - \frac{2kT}{\varepsilon}\right), \qquad (3)$$

$$\mu = \mu_0\sqrt{\frac{kT}{\varepsilon}}. \qquad (4)$$

Здесь μ_0 – подвижность частиц при температуре решетки T, U_e – скорость акустических волн в кристалле; k – постоянная Больцмана. При этом уравнение (1) перепишется в виде

$$\frac{d\varepsilon}{dx} = qE\left[1 - 2\left(\frac{U_e}{\mu E}\right)^2\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right)^2\left(1 - \frac{2kT}{\varepsilon}\right)\right]. \qquad (5)$$

В протяженном однородном электрическом поле электроны ускоряются до предельной энергии, определяемой из условия $\frac{d\varepsilon}{dt} = 0$.

Из равенства нулю квадратной скобки уравнения (5) находим

$$\varepsilon_{\text{нас}} = kT(1 + \sqrt{1 + \alpha^2}), \qquad (6)$$

где

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\mu_0 E}{U_e}. \qquad (7)$$

В безразмерных переменных

$$y = \frac{\varepsilon}{kT}, \quad y_н = \frac{\varepsilon_{\text{нас}}}{kT}, \quad \frac{1}{\lambda} = \frac{qE}{kT}\frac{\sqrt{1+\alpha^2}}{\alpha^2} \qquad (8)$$

интегрирование уравнения (1) при начальных условиях $x = 0, y = 1$ может быть представлено в виде

$$y = 1 + (y_m - 1)\,\text{th}\left(\frac{x}{\lambda}\right). \qquad (9)$$

В сильных полях ($\alpha >> 1$) из (6) и (8) имеем

$$\varepsilon_{\text{нас}} = kT\alpha, \qquad (10)$$

$$\lambda = \frac{kT}{qE}\alpha = \frac{kT\mu_0}{qU_e\sqrt{2}}. \qquad (11)$$

В предпробойных электрических полях часть электронов может достигать энергии $\varepsilon > \varepsilon_i$, достаточной для ударной ионизации. Полагая, что $\varepsilon_{\text{нас}} = \varepsilon_i$, из (9), (10) и (11) найдем выражение для напряженности поля E_i – стартового для лавинного умножения носителей тока:

$$E_i = \frac{\varepsilon_i}{q\lambda}\,\text{cth}\,\frac{x_i}{\lambda}, \qquad (12)$$

где x_i – протяженность участка сильного поля ($E > E_i$).

Полагая для кремния $\varepsilon_i = 3{,}6$ эВ, $U_e = 5\cdot10^5$ см/с, $\mu_0 = 10^3$ см/(В·с), из формул (10)…(12) получим $\lambda = 3\cdot10^{-5}$см, $E_i = 1{,}4\cdot10^5$ В/см.

Подобные расчеты были проведены и для случая, когда хаотизация и торможение движения носителей тока осуществлялись оптическими и пьезоэлектрическими фононами. В приближении $\varepsilon >> kT_D$, где T_D – температура Дебая, для рассеяния на оптическом деформационном потенциале получены следующие выражения для λ, ε и E_i:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{нас}}\left(1 - e^{-\frac{x}{\lambda}}\right), \qquad (13)$$

$$\varepsilon_{\text{нас}} = qE\lambda, \quad \lambda = bqE, \qquad (14)$$

где $b = 2kT_D\left(\frac{\pi\rho\hbar^2}{m^2 D N_q}\right)^2$.

Полагая для оценок $D \approx 8\cdot10^8$ эВ/см, $N_q \approx 0{,}1$, $\rho = 2{,}3$ г/см^3, найдем $E_i = 10^5$ В/см, $\lambda = 3{,}6\cdot10^{-5}$см.

В пределах допусков при выборе параметров, входящих в формулы (10)…(12) и (13), можно считать, что в кремнии роль акустических и оптических фононов в процессах торможения и хаотизации горячих носителей тока примерно одинакова. Полученные значения λ, E_i и x_i сопоставлены с соответствующими значениями, характеризующими лавинное умножение в *p–n*-переходах.

Обоснование эстафетной модели лавинного умножения в *p–n*-переходах. Для оценок напряженности электрического поля E и его протяженности l в обратно смещенном резком *p–n*-переходе воспользуемся следующими приближенными формулами [5]:

$$l = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 V}{qN}}, \quad E_m l = 2V, \qquad (15)$$

где V – приложенное напряжение; N – эффективная концентрация основных легирующих примесей (акцепторов и доноров); $\varepsilon\varepsilon_0$ – диэлектрическая проницаемость полупроводника; E_m – напряженность поля в середине *p–n*-перехода.

В этом приближении протяженности x_i участка сильного поля ($E_i < E < E_m$) может быть определена из уравнения

$$x_i = l\left(1 - \frac{E_i}{E_m}\right), \qquad (16)$$

в котором E_i зависит от x_i по формуле (12).

Для типичного *p–n*-перехода, у которого $N \approx 10^{17}$ см$^{-3}$, первые признаки лавинного умножения проявляются при обратных напряжений $V \approx 10$ В. При этом с помощью выражений (15) и (16) находим $l \approx 4 \cdot 10^{-5}$ см, $E_m \approx 3 \cdot 10^5$ В/см и $x_i = 3 \cdot 10^{-5}$ см.

Учет неоднородного распределения примесей в *p–n*-переходах не существенно уточняет эти оценки. По порядку величины x_i и λ, определяемые выражением (14), одинаковы, что противоречит классической модели лавинного умножения [1], которая справедлива при $x_i >> \lambda$ (условие непрерывности ионизации). Это означает, что на самом деле лавинное умножение на однопролетных участках сильного поля ($x_i \approx \lambda$) осуществляется по эстафетной модели [6]: электроны в конце участка ($0 < x < x_i$) генерируют дырки, которые, ускоряясь в обратном направлении, в начале этого участка генерируют электроны, и количество таких циклов взаимной генерации носителей тока может быть достаточно большим:

$$\nu_i = \frac{v_d}{x_i} \approx 10^{12} \text{ с}^{-1}, \qquad (17)$$

где v_d – предельная (~ 10^7 см/с) скорость зарядов в сильном поле.

Формально этот процесс описывается уравнениями [6]:

$$j_n = j_{n_0} + \gamma_p j_p,$$
$$j_p = j_{p_0} + \gamma_n j_n, \qquad (18)$$

где j_{n_0} и j_{p_0} – стартовые; j_n и j_p – полные потоки электронов и дырок в *p–n*-переходе; γ_n и γ_p – коэффициенты ударной ионизации частиц после их ускорения на лавинном участке.

Таким образом, анализ интенсивности и количества микроплазм, возникающих на лицевой поверхности солнечных элементов при увеличении приложенного к *p–n*-переходу обратного напряжения, может являться экспресс-методом обнаружения микродефектов и оценки качества солнечных батарей.

Библиографические ссылки

1. Грехов И. В. Сережкин Ю. Н. Лавинный пробой *p–n*-перехода в полупроводниках. Л. : Энергия. Ленингр. отделение, 1980.

2. Ленченко В. М., Логинов Ю. Ю., Турчин П. П. Выявление микродефектов на поверхности полупроводниковых пластин с помощью микроплазм // Кремний-2007 : материалы IV Рос. конф. по физике, материаловедению и физ.-хим. основам технологии получения легирован. кристаллов кремния и прибор. структур на их основе / Моск. ин-т стали и сплавов. М., 2007. С. 107–108.

3. Логинов Ю. Ю., Браун П. Д., Дьюроуз К. Закономерности образования структурных дефектов в полупроводниках. М. : Логос, 2003.

4. Зеегер К. Физика полупроводников. М. : Мир, 1977.

5. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М. : Мир, 1984.

6. Ленченко В. М. Эстафетная модель лавинных процессов в *p–n*-переходах // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Сер. «Физико-математические науки». 2004. № 5. С. 52–61.

V. M. Lenchenko, Yu. Yu. Loginov, A. V. Mozzherin

AVALANCHE MULTIPLICATION AND RADIATIVE RECOMBINATION OF CARRIERS IN SILICON SOLAR CELLS

The paper defines the conditions for acceleration of carriers in semiconductors to the shock-ionization energies in a strong electric field of limited length and describes the generation and recombination processes of avalanche multiplication and recombination in microplasma that arise in the reverse-biased p–n-junction solar cells. This is a physical justification for diagnosis of microdefects in semiconductors with the help of microplasma.

Keywords: microplasma, solar cells, pn-transition.

© Ленченко В. М., Логинов Ю. Ю., Мозжерин А. В., 2010

УДК 539.3

А. Ю. Власов, Ю. В. Захаров, Н. В. Филенкова

ИЗГИБ УПРУГОЙ КОНСОЛИ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ: ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ НАГРУЗОК*

Рассмотрен практически значимый случай потери устойчивости консоли при изгибе в поле центробежных сил – случай общего перемещения действующей сосредоточенной нагрузки. Получены точные решения задачи в геометрически нелинейной постановке для пороговых нагрузок и стрелы прогиба консоли. Определены случаи возможных переходов между формами консоли, отличающимися числом точек перегиба.

Ключевые слова: консоль, центробежная сила, формы изгиба, устойчивость.

Задачи, связанные с изгибом консоли в поле центробежных сил, актуальны при разработке конструкций лопастей вертолетов, лопаток турбин и других конструкций, в том числе и применяемых в космосе, где присутствуют гибкие элементы консольного типа, находящиеся одновременно под действием растягивающей и сжимающей нагрузок.

Ранее задачи изгиба для консоли с сосредоточенной на конце массой в плоскости вращения и в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения, рассматривались в работе [1], где при условии малости прогибов на основе решения линейных уравнений получена зависимость эффективного коэффициента жесткости от приведенной растягивающей нагрузки. Решение в геометрически нелинейной постановке применительно к расчету изгиба консоли в механизме центробежного регулятора скорости вращения вала дано в работе [2], где точные выражения для стрелы прогиба были определены через три эллиптических параметра Попова – эллиптический модуль и два значения эллиптических амплитуд на концах консоли. Изгибно-крутильные пространственные колебания стержня с учетом кориолисовых сил инерции при условии малости прогиба рассмотрены в работе [3].

Стремительное усложнение конструкций и исполнительных механизмов, основанных на геометрически нелинейном изгибе составных элементов, применение современных конструкционных материалов, а также ограничения, накладываемые условиями эксплуатации, приводят к необходимости исследования устойчивости нагруженной конструкции. Цель данной работы – дать аналитический метод расчета гибких элементов консольного типа при пространственном изгибе в поле центробежных сил.

Для практического применения можно выделить два вида нагружения консоли в поле центробежных сил, приводящих к двум различным вариантам изгиба.

Первый вариант – нелинейный изгиб в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения. Он рассмотрен в работе [4], где получены точные аналитические решения, зависящие от одного параметра.

Второй вариант – нелинейный изгиб в плоскости вращения, обусловленный растягивающей центробежной и изгибающей следящей нагрузкой, направленной перпендикулярно свободному концу консоли, ранее не рассматривался. Однако этот вариант в определенном приближении моделирует, например, изгиб лопасти в плоскости вращения, если набегающий на нее поток перпендикулярен ее оси.

Изучение статически равновесных форм изгиба консоли в поле центробежных сил после потери устойчивости, а также пороговых значений нагрузок; является актуальным и в связи с различными механическими и биомеханическими задачами требует дополнительного рассмотрения. Исследуем обозначенные выше варианты нагружения консоли и определим условия существования равновесных форм изгиба с точками перегиба и без них, а также значения пороговых нагрузок, при которых возможно существование таких статически равновесных форм.

Схемы нагружения консоли. Уравнения изгиба стержней хорошо известны. Наиболее подробно теория изгиба гибких стержней изложена в монографии [2]. В данной статье теорию изгиба стержней рассмотрим для случая больших геометрических нелинейностей, в основном следуя работам [1; 2; 5].

Введем систему координат. Пусть x, y – декартовы координаты в плоскости изгиба стержня; l – криволинейное расстояние от начала координат вдоль линии стержня до рассматриваемой точки; $\theta = \theta(l)$ – угол наклона касательной в текущей точке к линии стержня; $d\theta/dl$ – кривизна этой кривой. Покажем возможные схемы нагружения консоли при вращении, а также необходимые для дальнейших выкладок обозначения действующих сил и характеристик упругой кривой (рис. 1).

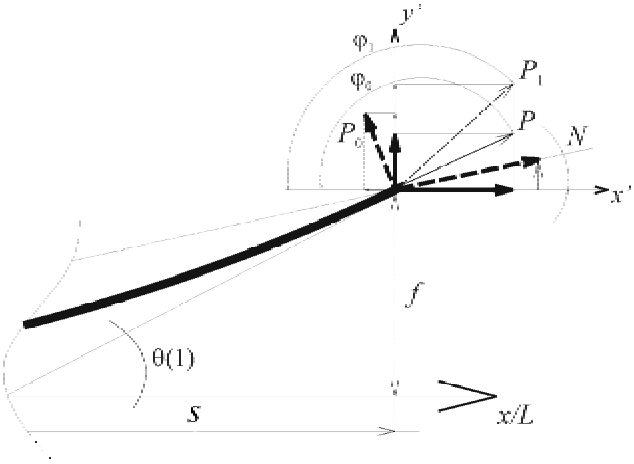


Рис. 1. Схемы нагружения консоли

*Работа поддержана программой Минобразования России «Развитие научного потенциала высшей школы», проект 2.1.1/735.

Схема нагружения, показанная сплошными линиями, определяет изгиб в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения. Пунктирными линиями отмечен изгиб в плоскости вращения. Через φ_0, φ_1 обозначены углы приложения результирующих сил P и P_1 в системе координат x', y'; P_0, N – соответственно сжимающая и растягивающая компоненты результирующих нагрузок; f – прогиб конца консоли; α – угол отклонения растягивающей составляющей N; θ – угол между осью Ox и касательной к оси стержня в случае, если за положительный отсчет углов выбрано направление против часовой стрелки. Заметим, что составляющая P_0 в случае изгиба в плоскости вращения сохраняет постоянный угол с касательной, проведенной к концу консоли, т. е. является следящей.

В случае изгиба в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения, проекция результирующей силы P_{x2} совпадает с растягивающей силой N и имеет неизменное направление. В случае изгиба в плоскости чертежа растягивающая сила N поворачивается, и линия ее действия проходит через начальное сечение консоли.

Общий случай постановки задачи. Опишем решение задачи изгиба стержня, основываясь на работах [5; 6]. Пусть тонкий стержень, изначально прямой, закрепленный на левом конце и свободный либо закрепленный на правом, подвергается действию (сжатию под произвольным углом) внешней нагрузки, сосредоточенной на правом конце стержня. Изначальное неизогнутое положение стержня – вдоль оси Ox. Левый закрепленный конец стержня расположен в начале координат. Изгиб происходит с выпучиванием вверх.

Уравнение равновесия стержня приведем к уравнению нелинейного маятника:

$$EI\frac{d^2\theta}{dl^2} - P_x \sin\theta + P_y \cos\theta = 0. \qquad (1)$$

Для упрощения уравнения введем угол наклона φ_0 направления сосредоточенной силы P к оси Ox. Для изучения возможных вариантов изгиба стержня рассмотрим угол направления силы φ_0, изменяющийся в пределах от 0 до $\pi/2$. Величины P и φ_0 считаются известными. В результате получим

$$P_x = -P\cos\varphi_0,\ P_y = P\sin\varphi_0. \qquad (2)$$

Подставим выражения (2) в уравнение (1):

$$\frac{d^2\theta}{dl^2} + \frac{P}{EI}\sin\left(\theta + \varphi_0\right) = 0.$$

Введем безразмерную длину $t = l/L$, изменяющуюся в пределах от 0 до 1 (здесь L – длина консоли), и сделаем замену $\gamma = \theta + \varphi_0$. Введем обозначение для собственного числа $q^2 = PL^2/EI$, где E – модуль Юнга; I – момент инерции стержня, и получим уравнение для угла γ типа уравнения нелинейного маятника:

$$\frac{d^2\gamma}{dt^2} + q^2 \sin\gamma = 0. \qquad (3)$$

Решение этого уравнения хорошо известно из [2; 5]:

$$\gamma(t) = 2\arcsin[k\ \mathrm{sn}(qt + F_1, k)],$$

$$d\gamma(t)/dt = 2kq\ \mathrm{cn}(qt + F_1, k),$$

где функции sn и cn – эллиптические синус и косинус Якоби. Модуль эллиптических функций k и параметр F_1 играют роль констант интегрирования, и их связь с действующей силой P и углом приложения φ_0 определяется по граничным условиям каждого конкретного случая изгиба стержня.

Поставим граничные условия к уравнению равновесия (1). Защемление на левом конце стержня требует, чтобы

$$\theta(0) = 0.$$

На свободном конце должно выполняться условие равенства нулю момента сил:

$$d\theta(L)/dl = 0.$$

Для уравнения (3) эти условия запишутся в виде

$$\gamma(0) = \varphi_0,\ d\gamma(1)/dt = 0. \qquad (4)$$

Уравнение равновесия стержня будет соответствовать (1), причем угол, под которым действует сила, в системе координат изменяется в пределах от 0 до π. В работах [5; 6] рассматривалось изменение этого угла в пределах от 0 до $\pi/2$. Угол, равный р, соответствует ситуации, когда стержень совпадает с осью Ox и деформация чистого изгиба исключена в связи с отсутствием перерезывающей составляющей нагрузки. Также исключено растяжение консоли, поскольку эта возможность в сформулированной модели не учитывается. Произвольность перемещения силы достигается за счет изменения компонент результирующей силы, что возможно при вращении консоли за счет увеличения растягивающей нагрузки при увеличении угловой скорости вращения.

В общем случае угол приложения результирующей силы в зависимости от результирующих проекций, когда за положительное направление при определении проекций выбрано направление вдоль консоли как ось Ox, можно представить в виде

$$\varphi_1 = \pi m - \mathrm{arctg}(P_{y2}/P_{x2}),\ m = 0, 1, 2, \ldots . \qquad (5)$$

Пороговые значения нагрузок при изгибе в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения. В случае изгиба в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения,

$$\varphi_0 = \pi/2 + \mathrm{arctg}(P_{x2}/P_{y2}), \qquad (6)$$

где P_{y2}, P_{x2} – соответственно поперечная и продольная составляющие результирующей нагрузки, были получены пороговые значения нагрузки для случая изгиба консоли перпендикулярно плоскости вращения:

$$\frac{P}{P_c} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 (n-1)^2 K^2 \left(\cos\left(\frac{1}{2}\right)\cdot \mathrm{arctg}\left(P_{y'}/P_{x'}\right)\right),$$

где $P_c = (\pi/2)^2 EI/L^2$ – эйлерова критическая сила; n – номер моды решения; $K(k)$ – полный эллиптический интеграл первого рода, откуда

$$\left(\frac{P_{y'}}{P_c}\right)^2 + \left(\frac{P_{x'}}{P_c}\right)^2 = \left(\frac{4}{\pi}\right)^4 (n-1)^4 K^4 \times$$

$$\times\left(\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+\frac{P_{y'}}{\sqrt{P_{y'}^2+P_{x'}^2}}} + \sqrt{1-\frac{P_{y'}}{\sqrt{P_{y'}^2+P_{x'}^2}}}\right)\right). \qquad (7)$$

Соотношение (7) определяет конфигурации для действующих сил, при которых реализуются статически равновесные формы изгиба консоли при различном количестве точек перегиба, определяемых числом n. Зависи-

мость поперечной нагрузки от растягивающей нагрузки [4] в соответствии с выражением (7) характеризует формы изгиба консоли с двумя и тремя точками перегиба (рис. 2). Однако в работе [4] анализ показанных зависимостей не проводился.

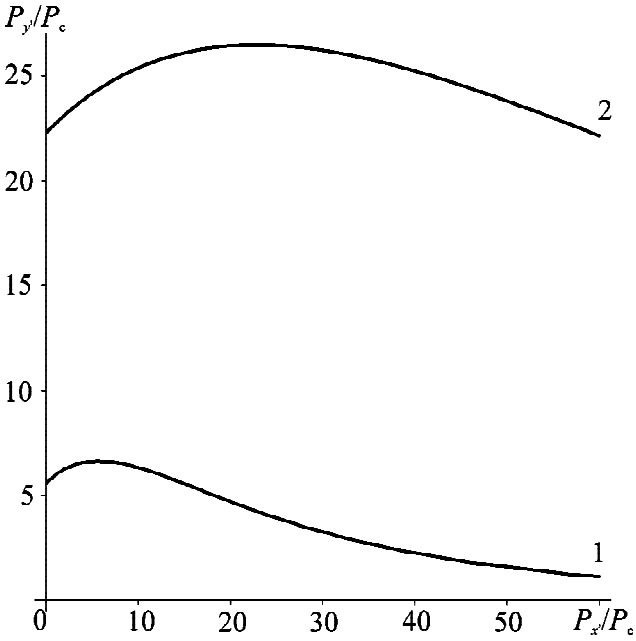


Рис. 2. Возможные значения пороговых нагрузок в соответствии с (2) для случая *1* (две точки перегиба) и *2* (три точки перегиба)

Рассмотрим рис. 2 более подробно. Анализ этого рисунка показывает, что равновесные формы изогнутой консоли, соответствующие определенному числу точек перегиба, возможны только при определенных значениях поперечной и растягивающей продольной нагрузок. Представленные зависимости также характеризуются тем, что при некоторых поперечных нагрузках переход от формы с одной точкой перегиба к форме с двумя точками перегиба возможен при двух значениях растягивающей составляющей: при фиксированной ненулевой растягивающей или поперечной составляющей нагрузки пороговое значение искомой другой составляющей нагрузки дается выражением (7); в случае отсутствия растягивающей нагрузки пороги для поперечной нагрузки принимают известные значения [5].

Обращает на себя внимание тот факт, что кривые для пороговых нагрузок имеют максимум, и поэтому при фиксированном значении поперечной нагрузки $P_{y'}$ могут быть два значения растягивающей нагрузки $P_{x'}$, при которых возможны переходы от одной формы изгиба к другой.

Отметим, что конфигурации нагрузок, соответствующие форме изгиба без точки перегиба, могут быть любыми. Для формы с одной точкой перегиба возможны только те конфигурации, которые располагаются на кривой *1* и выше, для двух точек перегиба – на кривой *2* и выше. Таким образом, если мы выбираем конфигурацию сил для формы с одной точкой перегиба выше кривой *1*, то возможны равновесные формы и для формы изгиба с одной точкой перегиба, и для формы с двумя точками перегиба. Формы равновесия с двумя точками перегиба при некоторых значениях растягивающей составляющей нагрузки, когда конфигурация попадает в зону под максимумом, могут оказаться неустойчивыми и возможно, что через прощелкивание форма с двумя точками перегиба изменится в форму с одной точкой перегиба. В полученных решениях факт возможной неустойчивости определяется отсутствием решений для статической задачи. Реальный физический процесс перехода от формы с бомльшим числом точек перегиба к формам с меньшим числом точек неясен, однако теоретически соотношение (7) показывает условия (необходимые нагрузки), от которых зависит этот переход. Также не исключается возможность обратного перехода от форм с меньшим числом точек к формам с бомльшим числом точек, причем соотношение (2) позволяет выбрать оптимальные условия для реализации такого перехода. Например, при большой растягивающей нагрузке (кривая *1* рис. 2) необходима незначительная поперечная, возможно, импульсно приложенная нагрузка.

Изгиб в плоскости вращения. В данном случае необходимо ввести угол между направлением действующей силы N и осью Ox', который позволит вычислить продольную растягивающую компоненту силы и добавку к заданной поперечной компоненте. Это возможно при постоянной угловой скорости вращения консоли.

Если обозначить угол между вектором N и осью Ox' через α, то выражения для компонент продольной и поперечной составляющих будут представлены выражениями

$$P_{x'} = N\cos\alpha - P_0\sin\theta(1),$$
$$P_{y'} = P_0\cos\theta(1) + N\sin\alpha. \qquad (8)$$

Угол α определяется стрелой прогиба и проекцией s длины стержня на ось Ox':

$$\alpha = \nu\pi + \operatorname{arctg}\left(\frac{f}{s}\right). \qquad (9)$$

Если крайняя точка свободного конца консоли при изгибе находится в первом квадранте, то $\nu = 0$, если во втором квадранте, то $\nu = 1$.

Входящие в (9) величины f и s определяются следующими выражениями:

$$f \equiv \frac{y(1)}{L} = \frac{2k\,\mathrm{cn}\,F_1}{(pK(k)-F_1)}\cos\varphi_1 + \left(1 - \frac{2[pE(k)-E(\mathrm{am}\,F_1,k)]}{(pK(k)-F_1)}\right)\sin\varphi_1, \qquad (10)$$

$$s \equiv \frac{x(1)}{L} = \frac{2k\,\mathrm{cn}\,F_1}{(pK(k)-F_1)}\sin\varphi_1 - \left(1 - \frac{2[pE(k)-E(\mathrm{am}\,F_1,k)]}{(pK(k)-F_1)}\right)\cos\varphi_1, \qquad (11)$$

где $p = 1, 2, 3, \ldots$, $E(\mathrm{am}\,u, k)$ – неполный эллиптический интеграл второго рода от эллиптической амплитуды Якоби.

Учитывая выражение для угла в случае изгиба в плоскости вращения $\varphi_1 = \pi m - \operatorname{arctg}(P_{y'}/P_{x'})$, $m = 0, 1, 2, \ldots$, а также полученные в работе [6] соотношения для нагрузки, получим систему уравнений для определения угла φ_1

и эллиптического модуля k в зависимости от заданных нагрузок. В этом случае угол направления действия результирующей силы φ_1 дается выражением

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{P_{y'}}{P_{x'}} = \frac{P_0\cos\theta(1) + N\sin\alpha}{P_0\sin\theta(1) - N\cos\alpha},$$

или после тригонометрических преобразований

$$-P_0\cos(\theta(1)+\varphi_1) = N\sin(\alpha+\varphi_1).$$

Учитывая выражение для угла наклона касательной на конце стержня $\theta(1) = -\varphi_1 + 2\arcsin(k)$ [6], окончательно получим

$$N\sin(\varphi_1+\alpha) + P_0(1-2k^2) = 0. \qquad (12)$$

При отсутствии растягивающей силы $N = 0$. Тогда мы имеем известное предельное значение эллиптического модуля $k^2 = \frac{1}{2}$, соответствующее случаю изгиба следящей нагрузкой, направленной под прямым углом к оси консоли [7].

Используя выражения для проекций нагрузок (8), выражение для спектра собственных значений, полученное в [6], а также соотношение (12), запишем систему уравнений для определения эллиптического модуля k и угла приложения результирующей нагрузки φ_1:

$$\begin{cases} N\sin(\varphi_1+\alpha) + P_0(1-2k^2) = 0, \\ \dfrac{1}{P_c}\sqrt{P_{x'}^2 + P_{y'}^2} - \left(\dfrac{2}{\pi}\right)^2 [(2n-1)K(k) - F_1]^2 = 0. \end{cases} \qquad (13)$$

При заданных нагрузках N и P_0, решая численным методом систему уравнений (13), получим значения искомых параметров, которые позволяют однозначно определить профиль изогнутой консоли.

Пороговые значения нагрузок. Последовательно рассмотрим пороговые ситуации для случаев первой и последующих мод.

Учитывая разложения для разностей эллиптических интегралов [8] в окрестности произвольной точки, переходя $k \to k_0$, а также учитывая, что $\sqrt{1-k_0^2} = |\cos(\varphi_1/2)| = \cos(\varphi_1/2)$ при $-\pi < \varphi_1 < \pi$, получим выражения для угла α в случае перегибных форм изгиба. Для формы консоли с одной точкой перегиба $n = 1$ выражения (10) и (11) примут вид

$$f = 2k_0\sqrt{1-k_0^2}\cos\varphi_1 + [1-2(1-k_0^2)]\sin\varphi_1 = 0,$$
$$s = 2k_0\sqrt{1-k_0^2}\sin\varphi_1 - [1-2(1-k_0^2)]\cos\varphi_1 = 1. \qquad (14)$$

Тогда, подставив результат (14) в (9) и зная, что крайняя точка свободного конца консоли находится в первом квадранте ($v = 0$), имеем

$$\alpha = 0. \qquad (15)$$

Преобразуем систему (13) с учетом результата (15) при $k \to k_0$ и для первой моды получим

$$\frac{1}{P_c}\sqrt{N^2 + P_0^2} = 0.$$

Этот результат в отсутствии растягивающей составляющей $N = 0$ соответствует известному для изгиба консоли следящей силой P_0 случаю формы с одной точкой перегиба [7]. Также отметим, что потеря устойчивости формы происходит беспороговым образом.

Для последующих форм изгиба при $n = 2, 3$, учитывая, что крайняя точка свободного конца консоли при приближении к пороговому значению находится во втором квадранте ($v = 1$), получим

$$\alpha = \pi - \varphi_1.$$

Переходя к пределу $k \to k_0$ с учетом соотношений (13), выведем выражение для пороговых нагрузок:

$$\begin{cases} \dfrac{P_0}{N}\cos\varphi_1 = 0, \ \ \varphi_1 = \pm\dfrac{\pi}{2}, \\ \dfrac{1}{P_c}(-N+P_0) = \left(\dfrac{4}{\pi}\right)^2 (n-1)^2 K^2(\sin(\varphi_1/2)). \end{cases} \qquad (16)$$

Первоначально знак угла φ_1 определяется для каждого порогового значения в зависимости от начального выбора направления деформирования. Например, в рассматриваемом случае при переходе от формы с одной точкой перегиба к форме с двумя точками перегиба $\varphi_1 = -\pi/2$ (а также при любых других переходах) должно выполняться условие $\theta(1) = 0$, что означает смену знака эллиптического модуля при переходе от одной перегибной формы к другой. Тогда в выражении (16) при извлечении квадратного корня выбирается положительный знак. Окончательно имеем

$$\frac{P_0}{P_c} = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 (n-1)^2 K^2\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) + \frac{N}{P_c}. \qquad (17)$$

В отсутствии растягивающей составляющей нагрузки $N = 0$ выражение для пороговых нагрузок (17) соответствует известному выражению для случая изгиба консоли сосредоточенной следящей силой, приложенной к свободному концу под прямым углом [4; 6; 7]. Для того чтобы получить плавный переход между формами изгиба в условиях действия дополнительной растягивающей нагрузки, нужно увеличить пороговое значение следящей сжимающей нагрузки на величину добавляемой растягивающей нагрузки. А для того чтобы плавно вернуться от формы с бомльшим числом точек перегиба к форме с меньшим числом точек перегиба, достаточно увеличить растягивающую составляющую нагрузки. Таким образом, при заданной следящей нагрузке выше пороговой существует возможность мягкого перехода от формы изгиба с большим числом точек перегиба к форме с меньшим числом таких точек. При вращении увеличение растягивающей составляющей возможно при увеличении угловой скорости вращения. Таким образом, подбирая угловую скорость вращения, можно исключить переходы изгибающейся в плоскости вращения консоли к перегибным формам изгиба и тем самым управлять устойчивостью консоли.

При фиксированной ненулевой растягивающей или поперечной составляющей нагрузки пороговое значение искомой составляющей нагрузки определяется выражением (17). Отметим, что с увеличением растягивающей нагрузки увеличение порогового значения поперечной нагрузки происходит линейным образом в отличие от случая, рассмотренного в [7].

Точки перегиба. Выражения, определяющее перемещение точек перегиба и сжатия при изменении действующих на консоль нагрузок, следуют из (8) при значениях угла $ц_1$ и модуля k, определяемых по (13):

$$t_1 = \frac{(2m+1)K(k) - F_2}{(2n-1)K(k) - F_2},$$

где $F_2 = F(\sin(\varphi_1/2)/k)$.

Таким образом, на примере двух задач изгиба консоли в поле центробежных сил как частных случаев приложения действующих нагрузок можно сделать вывод о том, что если к консоли приложены несколько нагрузок, одна из которых следящая, то при некоторых значениях следящей составляющей переходы к новым перегибным формам консоли осуществляются плавно. Иными словами, при пороговых значениях следящей нагрузки, которые определяются всеми оставшимися составляющими, переход к перегибным формам, соответствующим последующей моде, является продолжением уже имеющейся формы в отличие от случаев, когда результирующая действующая сила носит поступательный характер. Также нужно отметить, что при наличии в системе действующих сил хотя бы одной следящей составляющей можно получить плавный переход исходной формы в перегибную форму. При этом результирующая нагрузка и угол, под которым она направлена, будут соответствовать случаю изгиба вследствие действия поступательной нагрузки, направленной под произвольным углом к исходной форме изгиба.

Библиографические ссылки

1. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М. : Наука, 1979.

2. Попов Е. П. Теория и расчет гибких упругих стержней. М. : Наука, 1986.

3. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. М. : Машиностроение, 1970.

4. Захаров Ю. В., Власов А. Ю., Охоткин К. Г. Статические формы изгиба упругой консоли в поле центробежных сил: точные и приближенные решения // Вестн. Краснояр. гос. ун-та. Сер. «Физико-математические науки». 2006. № 1. С. 10–15.

5. Захаров Ю. В., Захаренко А. А. Динамическая потеря устойчивости в нелинейной задаче о консоли // Вычисл. технологии. 1999. Т. 4, № 1. С. 48-54.

6. Захаров Ю. В., Охоткин К. Г. Нелинейный изгиб тонких упругих стержней // Журн. прикл. математики и техн. физики. 2002. Т. 43, № 5. С. 124–131.

7. Захаров Ю. В., Охоткин К. Г., Скоробогатов А. Д. Изгиб стержней под действием следящей нагрузки // Журн. прикл. математики и техн. физики. 2004. Т. 45, № 5. С. 167–175.

8. Захаров Ю. В., Охоткин К. Г., Власов А. Ю. Приближенные формулы для стрелы прогиба упругого стержня при поперечном нагружении // Журн. прикл. математики и техн. физики. 2002. Т. 43, № 5. С. 132–134.

A. Yu. Vlasov, Yu. V. Zakharov, N. V. Filenkova

ELASTIC CANTILEVER BENDING UNDER THE IMPACT OF CENTRIFUGAL FORCE: CRITICAL LOADS

A practically significant case of cantilever bending when common effective load is traveling is considered. In case of geometrical nonlinear bending of cantilever under the impact of centrifugal force exact solutions for critical load and bending deflection of cantilever are obtained. Cases of possible conversions of cantilever forms with differing number of inflection are specified.

Keywords: cantilever, centrifugal force, forms of bend, stability.

© Власов А. Ю., Захаров Ю. В., Филенкова Н. В., 2010

УДК 005; 519.7; 303.732

В. А. Охорзин, И. С. Рыжиков

ГИБРИДНЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается метод для решения задач идентификации параметров линейных и нелинейных динамических систем по наблюдаемому выходу, основанный на методе эволюционных стратегий. Представлен подход к структурной идентификации линейных систем.

Ключевые слова: идентификация, эволюционные стратегии, структура, параметры, динамика.

В данной статье рассматривается решение безусловной экстремальной задачи

$$Q(a) \to \min_a,\ a \in R^n, \tag{1}$$

где $Q(\cdot): R^n \to R$ – целевая функция, определенная в некоторой области пространства R^n. В общем случае считается, что целевая функция является многоэкстремальной и ее вид неизвестен.

Метод эволюционных стратегий представляет собой стохастический процесс поиска экстремума, который реализуется операциями селекции, рекомбинации, мутации, определенными на множестве решений (популяции).

Решение задачи представляется некоторым набором – хромосомой. Таким образом, для популяции объема N каждая хромосома $H_i, i = \overline{1,N}$ представлена набором параметров объекта op_i и набором стратегических параметров sp_i [1]:

$$H_i = < op_i, sp_i >,$$

$$op_i = (o_1^i, \dots, o_q^i),$$

$$sp_i = (s_1^i, \dots, s_q^i),$$

где $o_j^i \in R, s_j^i \in R,\ i = \overline{1,N},\ j = \overline{1,q}$.

Таким образом, каждое решение задачи, или, учитывая принятую терминологию, индивид I, имеет свою хромосому и соответствующее значение функции пригодности – некоторую функцию, в общем случае задаваемую через целевую функцию, положительно определенную и сохраняющую порядок:

$$I_i = \left\langle H_i, f_Q(op_i) \right\rangle, i = \overline{1,N}.$$

В данной статье функция пригодности определяется в следующем виде:

$$f_Q(op) = \frac{1}{1 + Q(op)},\ Q(op) \ge 0. \tag{2}$$

Сформируем множество мощности N в некотором шаре $B(c) = \{x \in R^n : \|x - c\| \le r\}$ пространства R^n, где параметры c и r, равно как и метрика в (1), выбираются исследователем. Данное множество является начальной популяцией. Отметим заранее, что заданный радиус шара не ограничивает пространство, на котором будет происходить поиск.

Далее будем формировать новую популяцию того же объема посредством последовательного выполнения операций эволюции. В этой статье мы не будем рассматривать общепринятые операции рекомбинации и селекции, которые подробно описаны, например, в [1]. Оговорим только, что нами рассматривались типы селекции, стандартные для генетического алгоритма: ранговая и турнирная, в то время как классический метод эволюционных стратегий предполагает лишь пропорциональную селекцию.

Рекомбинация носит вероятностный характер, т. е. выбранная пара скрещивается с некоторой заданной вероятностью p_r, формируя таким образом нового индивида либо с вероятностью $1 - p_r$ сохраняя одного из родителей. Затем полученный индивид подвергается мутации.

Операция мутации также была модифицирована. Пусть $t \in R^n$ – случайный вектор, каждая координата которого равна 1 с вероятностью p_m и 0 с вероятностью $1 - p_m$. Определим диагональную матрицу T размера $n \times n$, $T_{i,j} = \delta_{i,j} \cdot t_i,\ i, j = \overline{1,n}$. Тогда модифицируем операцию мутации следующим образом:

$$op_i = op_i + T \cdot N(0, sp_i), \tag{3}$$

$$sp_i = sp_i + T \cdot N(0,1), \tag{4}$$

где $N(m, \sigma^2)$ – нормально распределенная случайная величина с математическим ожиданием m и дисперсией σ^2.

После формирования новой популяции объема N для первых n_o элементов упорядоченного по $Q(op_i)$ множества I используем метод покоординатного спуска для уточнения решения, полученного стохастическим алгоритмом.

Таким образом, предлагаемый в данной статье алгоритм является гибридным, поскольку он сочетает в себе две различных по своей природе поисковых процедуры: случайный поиск и метод покоординатного спуска, и модифицированным, так как в нем изменены операции мутации (3) и (4) и селекции.

При решении идентификационных и управленческих задач в динамических системах критерии точности идентификации или качества системы управления типа (1) часто имеют многоэкстремальный характер, например в системе, описываемой нелинейным дифференциальным уравнением

$$x'' = -x' + a_0 \cdot \sin(a_1 \cdot x),\ x_0 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Пусть реализация решения этого уравнения с неизвестными значениями параметров a задана на сетке $\{x_i, t_i\}, i = \overline{1,s}$. По критерию

$$I_3(a) = \frac{\sum_{i=1}^{s} (x_i - \tilde{x}_i(a))^2}{s - 1} \to \min_a, \tag{5}$$

где $\tilde{x}_i(a)$ – решение нелинейного дифференциального уравнения системы с параметрами a, заданное в узлах

$t_i, i = \overline{1,s}$, будем определять качество решения задачи определения параметров a.

Покажем, что данный критерий в пространстве параметров a_0, a_1 является многоэкстремальной функцией (рис. 1 и 2).

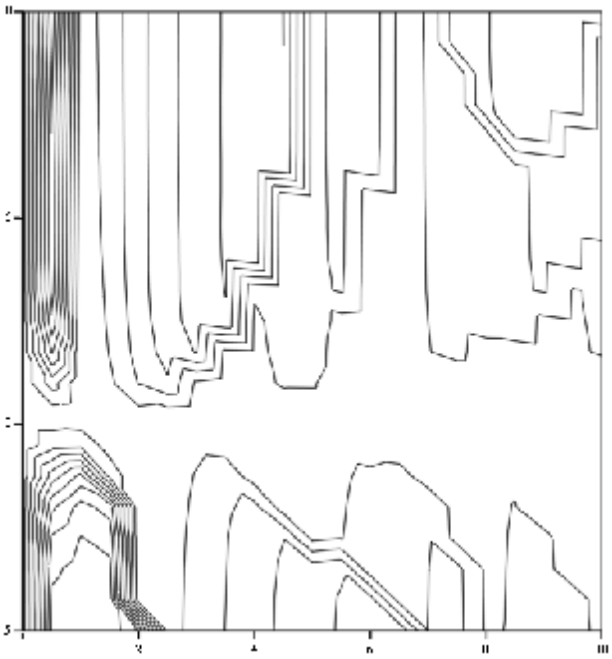


Рис. 1. Линии равного уровня критерия (5) в пространстве параметров a_0, a_1, при $a_0 = [0,10]$, $a_1 = [-5,10]$

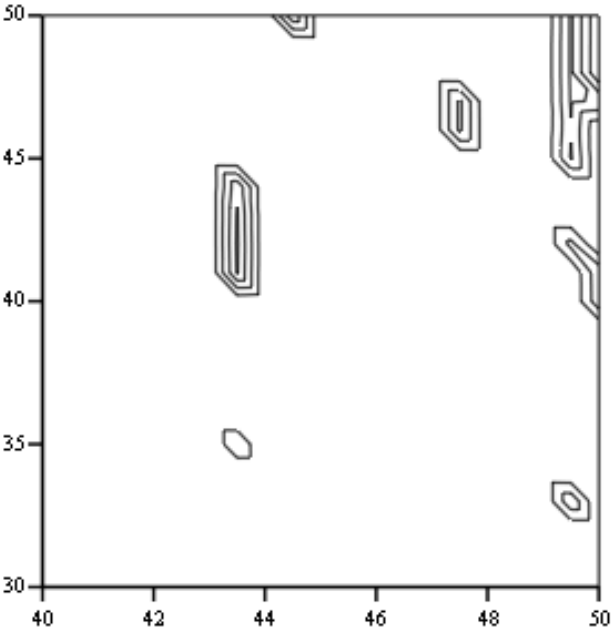


Рис. 2. Линии равного уровня критерия (5) в пространстве параметров a_0, a_1, при $a_0 = [40,50]$, $a_1 = [30,50]$

Применим метод эволюционных стратегий для решения задачи идентификации параметров динамической системы. В качестве настроек алгоритма выберем хорошо зарекомендовавшие себя на других задачах параметры: турнирную селекцию, дискретное скрещивание, модифицированную мутацию. Размер популяции выберем равным 50, число поколений – 50. В каждом поколении ровно два индивида подвергаются локальному улучшению. В таком случае если изначально выборка сформирована в шаре $B(0)$ с радиусом 15, то надежность алгоритма составляет 95 % при параметрах $a_0 = 2, a_1 = 1$. С удалением центра шара от начала координат надежность решения падает, но находятся значения параметров, доставляющие локальный минимум функционалу. В таких локальных точках критерий (5) достигает значения 0,01.

В данном случае алгоритм находит решение даже при том, что функция имеет два глобальных оптимума с равным значением, из-за вида параметрического включения, т. е. алгоритмом будут найдены решения $\tilde{a}_0 \approx -2, \tilde{a}_1 \approx -1$. При использовании локального спуска к некоторым индивидам можно добиться увеличения точности решения задачи, уменьшая шаг локальной оптимизации, но жертвуя скоростью сходимости алгоритма.

Очевидно, что при отсутствии априорной информации о значениях этих параметров можно получить совершенно разные решения задачи идентификации с разными значениями критерия (5). Аналогичная ситуация имеет место при решении краевых задач оптимального управления методом пристрелки, особенно если решения дифференциальных уравнений имеют колебательный характер [2]. Альтернативой обычно применяемому методу многократного спуска в этом случае является предлагаемый эволюционный метод, позволяющий с некоторой вероятностью найти решение многоэкстремальной задачи и определить не только значение параметров динамической системы, но и ее структуру среди заданного множества структур.

Пусть дана выборка объема s, т. е. $\{y_i, u_i, t_i\}, i = \overline{1,s}$, где $y_i \in R$ – измеренный выход динамической системы в момент времени t_i, $u_i = u(t_i)$ – управляющее воздействие. Также известно, что система описывается линейным дифференциальным уравнением вида

$$a_k \cdot x^{(k)} + a_{k-1} \cdot x^{(k-1)} + \ldots + a_0 \cdot x = b \cdot u(t), \qquad (6)$$

$$x(0) = x_0.$$

По данным выборки y_i необходимо определить параметры системы $a_i, i = 0, n$, и ее порядок, который будем считать ограниченным, т. е. $m \le M$, $M \in \Gamma$. Также предположим, что в канале измерения выхода системы действует помеха $\xi : M(\xi) = 0, D(\xi) < \infty$, т. е. $y_i = x(t_i) + \xi_i$.

Это задача структурно-параметрической идентификации при неизвестном порядке системы, причем данная задача будет частично параметризована, поскольку возможную максимальную степень производной мы определяем заранее, ограничивая ей размерность пространства.

Будем считать, что для системы любого порядка ее коэффициент при старшей степени равен 1:

$$x^{(k)} + \frac{a_{k-1}}{a_k} \cdot x^{(k-1)} + \ldots + \frac{a_0}{a_k} \cdot x = \frac{b}{a_k} \cdot u(t),$$

или

$$x^{(k)} + \tilde{a}_k \cdot x^{(k-1)} + \ldots + \tilde{a}_1 \cdot x = \tilde{b} \cdot u(t).$$

Решение задачи идентификации будем искать через решение дифференциального уравнения порядка $m \le k$, такого что

$$\hat{x}^{(m)} + \hat{a}_m \cdot \hat{x}^{(m-1)} + \ldots + \hat{a}_1 \cdot \hat{x} = \hat{a}_0 \cdot u(t),$$

$$\hat{x}(0) = x_0,$$

с параметрами $\hat{a} = (0 \ \ldots \ 0 \ \ \hat{a}_m \ \ \ldots \ \ \hat{a}_1 \ \ \hat{a}_0)^T \in R^n$, т. е. $n = M + 1$, которые доставляют экстремум выбранной функции:

$$I_1(a) = \sum_{i=1}^{N} \left| y_i - \hat{x}(t_i) \right| \Big|_{\hat{a}=a} \to \min_{a \in R^n}, \qquad (7)$$

$$I_2(a) = \max_i \left| y_i - \hat{x}(t_i) \right| \Big|_{\hat{a}=a} \to \min_{a \in R^n}. \qquad (8)$$

Поскольку целевые функции (7) и (8) принимают только неотрицательные значения, то функцию пригодности можно представить в виде

$$f_{I_j}(op) = \frac{1}{1 + I_j(op)}, \ j = 1, 2.$$

Таким образом, нами были выявлены эффективные настройки на ограниченном множестве параметров. В частности, было определено, что число индивидов, подверженных локальному спуску, незначительно влияет на оценку пригодности при числе спусков свыше $\frac{1}{5} \cdot N$. В дальнейшем предполагается проведение более глубоких исследований, включающих дисперсионный анализ.

Пример 1. Пусть исходная система задана уравнением четвертого порядка

$$x''' + x'' + 2 \cdot x' + x = u(t), \ \ u(t) = 1(t).$$

Решим задачу идентификации при $s = 100$, $T = 5$, $D(\xi) = 0,003(3)$. Считаем, что $M = 5$, тогда поиск будет осуществляться на пространстве R^6.

После прогонки алгоритма со следующими настройками: 100 поколений по 100 индивидов, турнирная селекция объемом $\frac{1}{10} \cdot N$, дискретная рекомбинации и вероятность мутации $p_m = \frac{1}{6}$ – было найдено решение $a = \left(0 \ \ 0 \ \ 1 \ \ 2 \ \ 1,04 \ \ 1\right)^T$, $m = 3$. Поиск происходил по критерию (8), значение которого составило 0,199. График решения задачи идентификации и исходной выборки (рис. 3) показывает, что найденная модель полностью соответствует истинному описанию объекта.

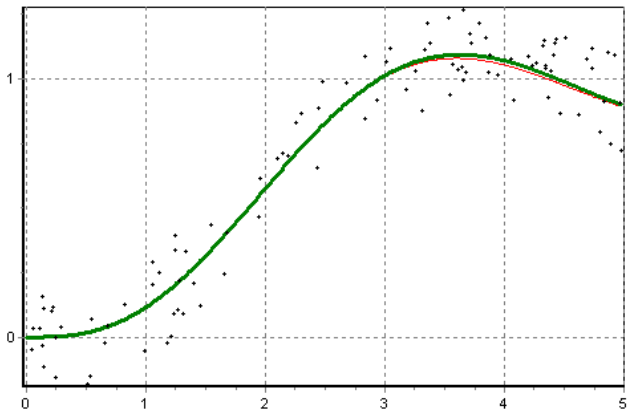


Рис. 3. Система с найденными параметрами и исходная выборка для примера 1

В общем случае мы не имеем данных о том, является ли процесс установившимся или нет. Таким образом, найденное решение может удовлетворять условию задачи, но не являться истинным. Подтвердим это примером.

Пример 2. В условиях, при которых была решена предыдущая задача, для системы

$$x''' + 2 \cdot x'' + 2 \cdot x' + x = 1(t)$$

при аналогичных настройках алгоритма было найдено решение $a = \left(0 \ \ 0 \ \ 4 \ \ 0 \ \ 1,85 \ \ 1\right)^T$. Полученная модель (рис. 4) неплохо аппроксимирует исходное облако точек, однако определяется системой меньшего порядка и, соответственно, с другими параметрами и большим значением критерия, равным 0,216.

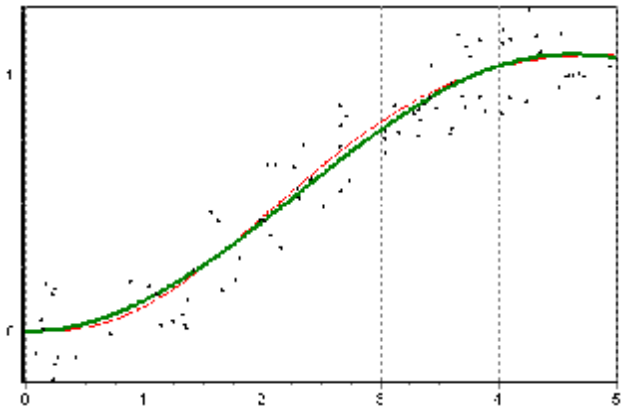


Рис. 4. Система с найденными параметрами и исходная выборка для примера 2

Отметим, что сходимость параметров к истинным значениям может увеличиться с повышением информативность выборки. Иными словами, увеличивая объем, частоту снятия данных и время наблюдения за объектом, можно значительно повысить качество решения задачи.

Таким образом, гибридный модифицированный метод эволюционных стратегий для решения задачи структурно-параметрической идентификации линейных динамических систем в условиях непараметрической неопределенности может быть полезен для решения задач идентификации нелинейных динамических систем с известной структурой. Данные задачи являются в общем случае многоэкстремальными, поэтому требуют применения неклассического оптимизационного метода.

Библиографические ссылки

1. Beyer H.-G. Evolution strategies [Electronic resource] // Scholarpedia : site. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Evolution_strategies (date of visit: 29.11.2010).

2. Охорзин В. А. Прикладная математика в системе MathCAD : учеб. пособие ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

V. A. Okhorzin, I. C. Ryzhikov

HYBRID MODIFIED EVOLUTION STRATEGIES METHOD FOR DYNAMIC SYSTEM IDENTIFICATION

The article covers linear and nonlinear parametric dynamic system identification approach, that is based on evolutionary strategies algorithm, and method of linear dynamic system structure identification.

Keywords: identification, evolution strategies, structure, parameters, dynamic.

© Охорзин В. А., Рыжиков И. С., 2010

УДК 519.872 621.312 519

С. С. Бежитский, Е. А. Головенко, В. А. Горемыкин, М. В. Первухин

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ПИТАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ МАШИНЫ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ С ЛОКАЛЬНЫМ ПОИСКОМ*

Описывается подход к выбору оптимального варианта параметров питания линейной индукционной машины. Оптимизация структуры проводилась с использованием эволюционного алгоритма глобальной оптимизации с уточнением найденного решения локальным поиском. Установлены полезные свойства целевой функции выбора оптимальной структуры индукционной машины.

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, численное моделирование, бегущее магнитное поле, линейные индукционные машины.

Постановка задачи оптимизации структуры ЛИМ. Линейные индукционные машины (ЛИМ) с повышенным рабочим зазором широко используются в металлургии с целью повышения производительности и энергетической эффективности плавильно-литейных агрегатов. Увеличение рабочего зазора обусловлено необходимостью расположения теплоизоляции между индуктором и рабочим телом (расплавом металла). Наличие в ЛИМ значительного немагнитного зазора определяет особенности их конструкции и режимы работы. В частности, для эффективной работы ЛИМ существенными становятся продольный и поперечный краевые эффекты, которые значительно усложняют расчеты при проектировании и моделировании функционирования ЛИМ классическими методами. Следовательно, возникает необходимость в применении численного имитационного математического моделирования с использованием коммерческих пакетов, которые позволяют учитывать краевые эффекты при изучении процессов, происходящих в ЛИМ [1].

Линейные индукционные машины металлургического назначения предназначены для бесконтактного силового воздействия на расплавы металлов в печах и миксерах с целью их перемешивания, дозирования и транспортировки (рис. 1). Индуктор ЛИМ состоит из ферромагнитного сердечника, собранного из листов электротехнической стали, и многофазной обмотки, расположенной в пазах сердечника. Обычно применяют трехфазные обмотки, аналогичные обмоткам нормальных асинхронных машин.

Рис. 1. Общий вид плоской ЛИМ

При питании плоской ЛИМ переменным током в зазоре между сердечником и рабочим телом возникает бегущее магнитное поле, подобное вращающемуся полю асинхронной электрической машины. Это магнитное поле индуктирует в металле токи, что приводит к возникновению электромагнитных сил, под действием которых развивается усилие и металл приходит в движение [1].

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (НИР НК136П/3).

К качеству работы ЛИМ предъявляются строгие требования как с точки зрения технологической и энергетической эффективности, так и с точки зрения надежности. Приоритеты и характер этих требований меняются в зависимости от способа использования машины. К примеру, ЛИМ для дозирования и транспортировки жидких металлов должны обеспечивать строгое линейное движение, так как перпендикулярное движение создает дополнительные гидравлические сопротивления, а это приводит к снижению эффективности работы ЛИМ в составе плавильно-литейного агрегата и дополнительным энергетическим затратам [1]. Совершенно иные требования предъявляются при использовании ЛИМ в качестве перемешивателя металла или кристаллизатора. Главная задача при этом сводится к эффективному растворению легирующих добавок по всему объему ванны печи. В этом случае необходимо создавать движения как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости ванны с металлом, но при этом восходящие потоки не должны разрывать оксидную пленку на поверхности.

Итак, обобщая все требования, можно выделить критерий, который характеризует эффективную работу ЛИМ, – это усилие F (сила Лоренца), развиваемое в жидком металле. Усилие F – векторная величина, а это значит, что его можно разложить на три орта: F_x – составляющую, создающую линейное движение; F_y – составляющую, которая смещает ось движения металла (основываясь на трудах А. И. Вольдека, можно считать, что данная составляющая стремится к нулю); F_z – составляющую, создающую восходящие гидродинамические потоки металла. Таким образом, для определения остаются только два критерия. В данной статье рассматриваются вопросы максимизации составляющей F_x, так как она важна во всех случаях применения ЛИМ в металлургии.

Электромагнитное поле в расчетной области описывается системой уравнений Максвелла:

$$\operatorname{rot}\overline{H} = \gamma(\overline{E} + [\overline{V} \times \overline{B}]), \quad (1)$$

$$\operatorname{rot}\overline{E} = -\frac{\partial \overline{B}}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\operatorname{div}\overline{B} = 0, \quad (3)$$

$$\overline{B} = \mu_0 \mu_r \overline{H}, \quad (4)$$

где $\overline{H}$ – напряженность магнитного поля, А/м; $\overline{E}$ – напряженность электрического поля, В/м; $\overline{V}$ – скорость, м/с; t – время, с; μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м; μ_r – абсолютная магнитная проницаемость [2].

Решение системы уравнений электромагнитного поля осуществляется относительно векторного магнитного потенциала:

$$\Delta\overline{A} - \mu_0\mu_r\gamma\frac{\partial \overline{A}}{\partial t} + \mu_0\mu_r\gamma[\overline{V}\operatorname{rot}\overline{A}] = 0, \quad (5)$$

где $\overline{A}$ – векторный магнитный потенциал, $B \cdot$ с/м; γ – удельная электрическая проводимость; $\overline{V}$ – вектор скорости движения элементарного объема жидкого металла.

В результате решения данного уравнения можно найти все характеристики электромагнитного поля, в том числе и искомую силу Лоренца:

$$\overline{F} = \int_{vol} \overline{N}^T (\overline{J_t} \times \overline{B})\, d(vol), \quad (6)$$

где $\overline{N}$ – вектор функции формы; $\overline{J_t}$ – вектор полной плотности тока; $\overline{B}$ – вектор магнитной индукции [3].

Целевую функцию задачи оптимизации обозначим $W(X)$, где $X = (I_1, I_2, I_3, \varphi_1, \varphi_1, \varphi_3, f)$. С целью классической постановки задачи оптимизации ее нужно привести к задаче минимизации целевой функции:

$$W(X) = \frac{1}{1 + F_x^2(X)} \to \min. \quad (7)$$

В формуле (7) величина F_x при фиксированных параметрах ЛИМ рассчитывается с помощью модели ЛИМ, разработанной в пакете математического моделирования ANSYS.

Рассмотрим, что представляет собой вектор параметров $\overline{X}$. Характер поведения усилий и их значения зависят от многих факторов: токов, сдвигов фаз, частоты питающего напряжения, типа конструкции ЛИМ, ширины активной части магнитопровода и т. д. Решающими параметрами при сохранении геометрии машины являются параметры питания (токи I_1, I_2, I_3, фазы токов в катушках φ_1, φ_2, φ_3, частота питающего напряжения f), варьирование которых вызывает различные эффекты в жидком металле (например, увеличение составляющей F_x приводит к возникновению ламинарного движения в металле вместо турбулентного, уменьшению эффекта отталкивания и т. д.). Для исследуемой модели ЛИМ следует учитывать, что все параметры вектора X изменяются дискретно, а принятые ограничения данных параметров обусловлены как конструкцией машины, так и возможностью серийно выпускаемых источников питания [3]:

– пределы изменения токов I_1, I_2, I_3 в проводниках катушек приняты от 15 до 25 с шагом дискретизации, равным 0,5, при этом проверяется гипотеза, что для достижения максимума F_x необходимо наличие асимметрии токов в катушках (верхний предел выбран исходя из максимальной термической стойкости изоляции обмоток ЛИМ);

– фазы токов рассматриваются только во второй φ_2 и третьей φ_3 катушках в диапазоне от 1 до 360 электрических градусов с шагом 1 градус, а фаза в первой катушке φ_1 приравнивается к 0;

– частота питающего напряжения f задается в диапазоне от 1 до 60 Гц (диапазон выбран исходя из возможностей источника питания и накопленного инженерного опыта) с шагом дискретизации, равным 1.

Решение задачи оптимизации. Постановка задачи оптимизации (7) характеризуется алгоритмически (инструментально, с помощью модели) рассчитываемой целевой функцией с дискретными переменными. Подобная постановка требует соответствующего выбора алгоритма оптимизации. Стохастические оптимизационные алгоритмы давно зарекомендовали себя как эффективное и удобное средство решения практических задач оптимизации [2].

В настоящее время большую популярность благодаря простоте реализации и эффективности приобрел класс методов под общим названием «эволюционные алгоритмы» [4]. Ярким примером таких алгоритмов оптимизации является генетический алгоритм (ГА), каждое решение которого представляется в виде бинарной строки,

называемой хромосомой. Множество решений ГА называют популяцией. Поисковые операторы этого алгоритма имитируют процессы селекции, скрещивания, мутации, происходящие в живой природе.

Как показывает практика применения эволюционных алгоритмов, высокая размерность задач, нелинейность и многоэкстремальность целевой функции не создают для них дополнительных трудностей.

Пошаговая структура генетического алгоритма выглядит следующим образом:

1) инициализация популяции. Создается массив индивидов

$$\text{Population} = \text{Initialization}(X),$$

где $\text{Population} = \{x_1, x_1, ..., x_N\}$, $x_i \in X$, $i = \overline{1, N}$;

2) вычисление функции пригодности для индивидов. Создается массив:

$$\text{Fitness} = \{f(x_1), ..., f(x_N)\}, \quad i = \overline{1, N};$$

3) запоминание лучшего индивида и значения его целевой функции:

$$\text{Best} = \arg \max_{x \in \text{Population}} f(x);$$

4) повтор выполнения операторов селекции, рекомбинации и мутации ($M - 1$) раз и переход к шагу 1.

Размер популяции N, число поколений M и типы операторов являются параметрами (установками) генетического алгоритма, варьирование которых позволяет получить разные по эффективности реализации ГА. Существуют несколько реализаций для каждого из генетических операторов.

В бинарном ГА генотип (решение) представляет собой бинарный вектор, полученный из вещественного или целочисленного вектора фиксированной длины Length:

$$x = (x_1, ..., x_{\text{Length}}), \; x_i \in R \text{ или } Z.$$

Каждая координата может изменяться в некотором заданном интервале с выбранным шагом дискретизации, множество которых определяет область поиска в соответствующем пространстве поиска.

Одним из главных недостатков генетического алгоритма является сходимость к глобальному решению лишь по вероятности. Другими словами, процесс оптимизации этого алгоритма может остановиться в некоторой точке, которая не будет оптимумом. Для устранения данного недостатка используют подходящий алгоритм локального поиска для уточнения решения, найденного генетическим алгоритмом, параметры которого представлены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что область поиска задана на дискретной решетке (гиперкубе), размерность которой равна порядка 10^{10} точек.

В данной работе в качестве алгоритма локального поиска использовался целочисленный алгоритм локальной оптимизации с переходом по первому улучшению.

Выбранные алгоритмы и подход к оптимизации были реализованы с использованием разработанной программной системы на языке высокого уровня C++ Builder 6.0 (окно настроек области поиска и генетического алгоритма и подключения внешней целевой функции этой системы представлено на рис. 2).

Оптимизация проводилась генетическим алгоритмом со следующими настройками: турнирная селекция (размер турнира равен 3), равномерное скрещивание, средняя мутация. Настройки генетического алгоритма выбраны как наиболее универсальные для неизвестной оптимизируемой функции. Число вычислений целевой функции в ГА равно 4 900 (70 индивидов на 70 поколений). Расчет одного значения целевой функции занимает порядка 5 мин. Таким образом, на расчет отводилось почти 17 сут непрерывной работы программы. Оптимизация была прервана на 30 поколении из-за того, что улучшения в оптимизации не наступало (стагнация). Найденное на тот момент решение было хуже уже известного решения. Полученное генетическим алгоритмом решение было уточнено локальным поиском (табл. 2). Параллельно с работой генетического алгоритма была запущена программа оптимизации локальным поиском с целью улучшения известного решения. В результате улучшенное локальным поиском решение без использования генетического алгоритма и решение с использованием ГА совпали.

Результаты оптимизации позволили сделать следующие выводы:

– генетический алгоритм не нашел решения лучше известного в связи с тем, что известное решение было достаточно близким к улучшенному решению, т. е. четыре из шести варьируемых параметров были определены точно лучшими и в улучшении уже не нуждались;

– локальный поиск, стартовавший из известного решения и решения, найденного генетическим алгоритмом, завершился в одной и той же точке области поиска, тем самым было найден локальный минимум, который, возможно, является глобальным минимумом;

– результат оптимизации позволил сформулировать гипотезу о том, что оптимизируемая целевая функция является монотонной и унимодальной.

С целью проверки гипотезы о наличии свойств монотонности и унимодальности целевой функции локальный поиск был осуществлен из нескольких крайних (гранич-

Таблица 1

Параметры структуры области поиска

Наименование параметра (независимой переменной) оптимизации	Обозначение в программной системе	Диапазон (левая граница)	Диапазон (правая граница)	Дискретизация (шаг сетки)
Сила тока в первой катушке, А	I1	15	25	0,5
Сила тока во второй катушке, А	I2	15	25	0,5
Сила тока в третьей катушке, А	I3	15	25	0,5
Фаза во второй катушке, град	fi2	1	180	1
Фаза в третьей катушке, град	fi3	1	180	1
Частота питающего напряжения, Гц	f	20	80	1

ных) точек пространства поиска (рис. 3). Гипотеза подтвердилась: найденные решения были одинаковыми и совпали с решением, найденным ранее и отображенным в табл. 2.

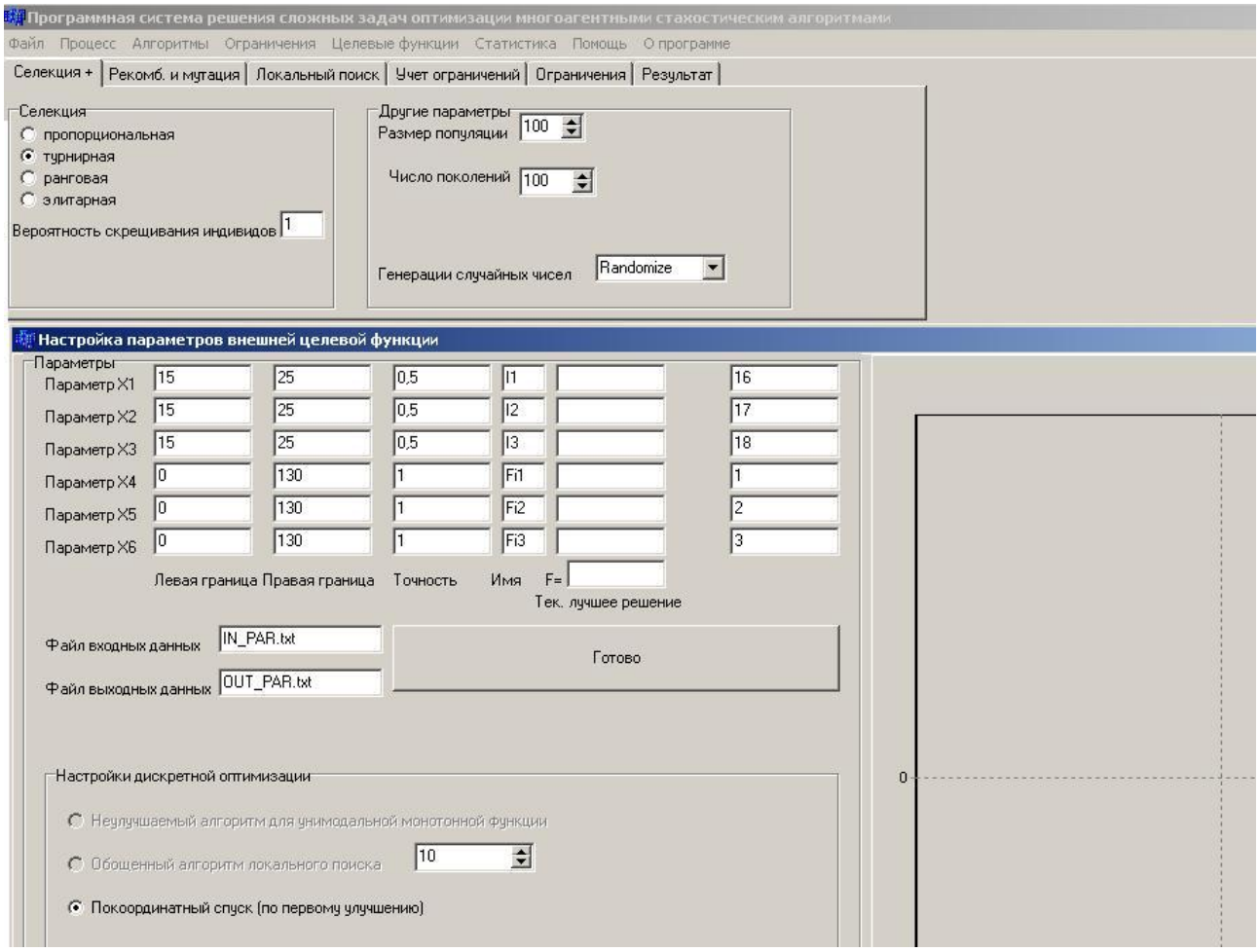


Рис. 2. Основные рабочие окна программной системы

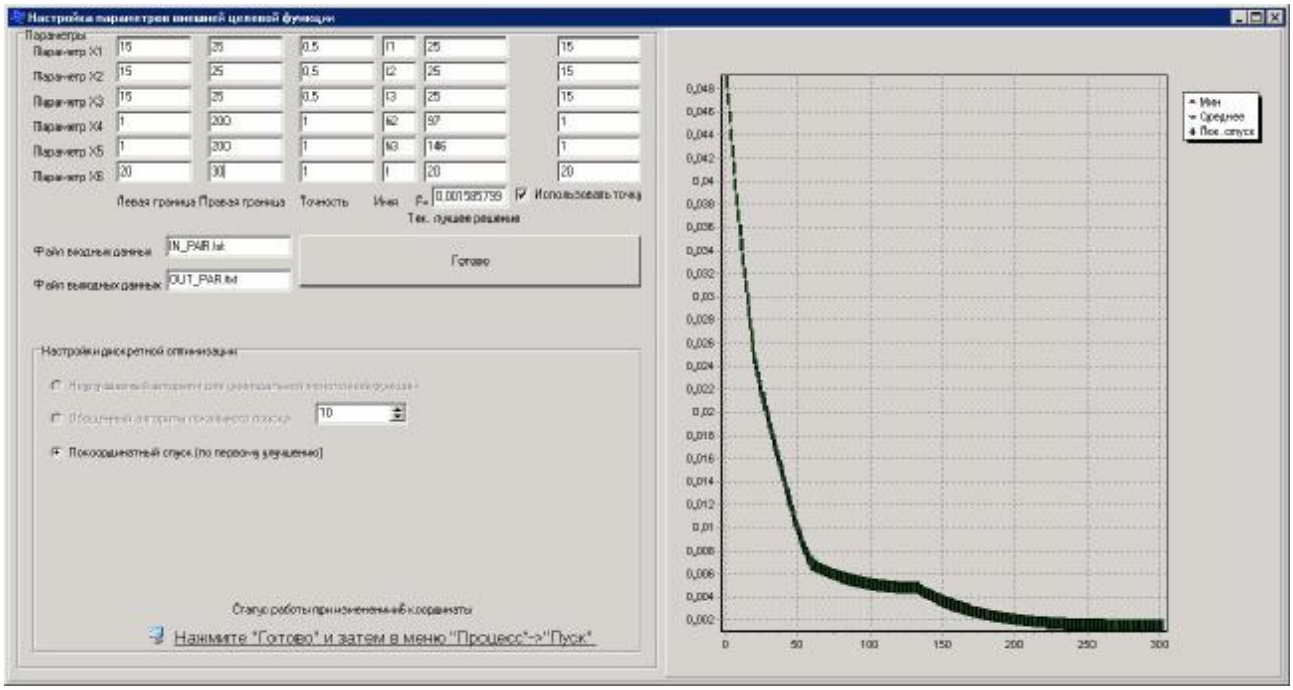


Рис. 3. График сходимости локального поиска
из крайней точки в точку локального (глобального) минимума

Библиографические ссылки

1. Вольдек А. И. Индукционные магнитогидро-динамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. Л. : Энергия. Ленингр. отд-ние, 1970.

2. Курейчик В. М. Интеллектуальные системы. М. : Физматлит, 2005.

3. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. М. : Академия, 2006.

4. Батищев Д. И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач : учеб. пособие / под ред. Я. Е. Львовича. Воронеж, 1995.

Таблица 2

Решение, найденное ГА и уточненное локальным алгоритмом

Наименование параметра (независимой переменной) оптимизации	Обозначение в программной системе	Решение ГА	Решение, улучшенное локальным поиском	Известное решение
Сила тока в первой катушке, А	I1	23,5	25	25
Сила тока во второй катушке, А	I2	25	25	25
Сила тока в третьей катушке, А	I3	23,5	25	25
Фаза во второй катушке, град	fi2	94	97	105
Фаза в третьей катушке, град	fi3	124	146	165
Частота питающего напряжения, Гц	f	21	20	20
Значение целевой функции $W(X)$	–	0,001 952 29	0,001 585 8	0,001 606 8

S. S. Bezhitskiy, E. A. Golovenko, V. A. Goremykin, M. V. Pervuhin

SOLVING PROBLEM OF OPTIMAL CHOICE OF PLAN LINEAR INDUCTION MACHINES POWER SUPPLY CHARACTERISTICS USING GENETIC ALGORITHM WITH LOCAL SEARCH

The approach for choice of optimal variant of power supply characteristics of plan linear induction machines (LIM) is described. Optimization of LIM structure is based on usage of evolution algorithm for global optimization with local search for solution improvement. The useful optimization function features for optimal choice of a plan linear induction machines structure.

Keywords: parametric optimization, computational mobeling, traveling magnetic field, linear induction machines.

© Бежитский С. С., Головенко Е. А., Горемыкин В. А., Первухин М. В., 2010

УДК 004.045

А. А. Еремеевский, В. Х. Ханов

МЕТОД ПОИСКА ЗАДАННОГО ШАБЛОНА ВО ВРЕМЕННОМ РЯДУ*

Рассматривается проблема поиска заданного шаблона в существующем временном ряду. Проводится сравнение скорости разработанной модели поиска при различных длинах временного ряда и шаблонов поиска.

Ключевые слова: обработка временных рядов, поиск шаблона во временном ряду, индекс поиска.

Обработка временных рядов в настоящее время является актуальным инструментом анализа информации, накапливаемой в процессе контроля и управления технологическими процессами, мониторинга окружающей среды, исследования экономических показателей.

Одной из наиболее распространенных задач является поиск заданного шаблона в существующем временном ряду. Суть этой задачи сводится к тому, что имеется шаблон в виде временного ряда фиксированной длины, а в исходном ряде необходимо найти фрагменты, соответствующие шаблону с заданной точностью.

Для прямолинейного решения данной задачи необходимо прежде всего установить окно выборки из исходного ряда, равное длине шаблона, а затем установить окно

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.», ПСП № 1032 от 27 мая 2010 г.

на начало временного ряда и, смещая на один элемент, выбирать из него фрагменты, после чего каждый фрагмент следует сравнить с шаблоном. Очевидно, что такое решение весьма трудоемко и требует значительного времени. Поэтому необходимо найти способы оптимизации данного процесса.

Оптимизация этой задачи впервые была предложена группой исследователей университета штата Мэриленд (США) [1]. Они разработали так называемый *ST*-индекс. В качестве меры, определяющей точность соответствия шаблона и фрагмента ряда, взято евклидово расстояние. Этот выбор основан на том, что дискретное преобразование Фурье (ДПФ) не изменяет расстояния между рядами. Это следует из теоремы Парсеваля:

$$\sum_{i=0}^{n-1}\left|x_i\right|^2 = \sum_{F=0}^{n-1}\left|x_F\right|^2,$$

где x_i – исходный ряд; x_F – дискретное преобразование Фурье. А уже из свойства линейности ДПФ вытекает, что сохраняется и евклидово расстояние между рядами:

$$D(\vec{x},\vec{y}) = D(\vec{X},\vec{Y}),$$

где $D(\vec{x},\vec{y})$ – евклидово расстояние между шаблоном и фрагментом ряда; $D(\vec{X},\vec{Y})$ – евклидово расстояние между ДПФ шаблона и фрагмента ряда.

Разработчики *ST*-индекса опирались на ряд работ по исследованию спектра временных рядов различных процессов, в том числе поведения основных биржевых показателей. Как известно, наибольшей энергией обладают несколько первых гармоник ряда Фурье. Таким образом, если рассчитать евклидово расстояние на основе только первых *n* коэффициентов ДПФ, то оно будет мало отличаться от действительного расстояния между рядами:

$$D(S,Q) = \left(\sum_{i=1}^{l}(S[i]-Q[i])^2\right)^{\frac{1}{2}} \geq$$

$$\geq \left(\sum_{i=1}^{n}(S[i]-Q[i])^2\right)^{\frac{1}{2}}, n < l,$$

где $D(S,Q)$ – евклидово расстояние между ДПФ шаблона и фрагмента ряда; l – длина шаблона и фрагмента ряда; S – ДПФ шаблона; Q – ДПФ фрагмента ряда.

Таким образом, сохранив критерий точности соответствия шаблона и фрагмента ряда и вычисляя евклидово расстояние по первым *n* коэффициентам фурье-образов шаблона и фрагмента, мы гарантированно не пропустим искомый фрагмент ряда. Конечно, существует возможность ошибочной выборки такого фрагмента, полное расстояние между которым и шаблоном будет больше установленного. Для окончательного ответа необходимо вычислить полное евклидово расстояние между отобранными фрагментами и шаблоном.

Для снижения вычислительной сложности применяют быстрое дискретное преобразование Фурье (БДПФ), при этом длина шаблона должна быть кратна 2^n, где *n* – любое целое положительное число больше 1.

При практическом использовании *ST*-индекса возникает несколько проблем:

– *ST*-индекс зависит от длины шаблона, в результате для каждого поиска необходимо заново перестраивать индекс. При этом необходимое количество преобразований Фурье для временного ряда выражается формулой:

$$N = L - l + 1,$$

где L – длина временного ряда; l – длина шаблона. Следовательно, при достаточно большой длине временного ряда необходимое количество преобразований Фурье также будет возрастать, что делает процесс поиска более ресурсозатратным;

– количество операций для каждого БДПФ вычисляется по формуле [2]:

$$N * (\log N),$$

где N – количество значений исходного ряда. Таким образом, количество операций каждого БДПФ линейно зависит от количества значений для преобразования. Как следствие, при возрастающей длине шаблона поиска будет возрастать и количество операций для решения поставленной задачи;

– при возрастании длины шаблона возрастает и количество гармоник для каждого БДПФ [2]:

$$n = 2^m,\ N = 1 + 2^{m-1},$$

где n – исходная длина ряда; N – количество гармоник БДПФ. Как было сказано выше, для определения точного соответствия шаблона участку временного ряда необходимо вычислить полное евклидово расстояние, при этом трудоемкость данного вычисления напрямую зависит от количества элементов шаблона, так как при увеличивающейся длине шаблона увеличивается и количество гармоник БДПФ. Поэтому при увеличении длины шаблона трудоемкость вычисления полного евклидова расстояния также возрастает.

На основании вышеизложенного встает вопрос о создании постоянного индекса временного ряда, не зависящего от длины шаблона поиска. Данную задачу удалось решить путем дальнейшей оптимизации *ST*-индекса.

Временной ряд X_N изначально разбивается на $K = N/4$ частей и для каждой части создается постоянный индекс Q_K из трех значений гармоники БДПФ. При изменении временного ряда индексация производится только для вновь добавленных значений, что позволяет не перестраивать индекс, но при этом всегда поддерживать его актуальность.

Сам шаблон поиска также разбивается на $k = n/4$ частей и для каждой части производится БПДФ с образованием индексов S_k. Далее производится вычисление евклидова расстояния для каждого индекса S_k:

$$\left(\sum_{i=1}^{3}(S_k[i]) - Q_K[i])^2\right)^{\frac{1}{2}},$$

$$k = 1, 2, ..., n/4, K = 1, 2, ..., N/4.$$

Совпадение индекса S_k с индексом Q_K (нулевое евклидово расстояние) означает совпадение части шаблона с частью временного ряда. Очевидно, что дальнейшее сравнение можно производить, опираясь на точки, где это совпадение произошло. Таким образом, если для индекса S_k найдено L соответствий, то для индекса S_{k+1} (следующий фрагмент шаблона поиска) будет вычислено только L евклидовых расстояний с индексом временного ряда Q_{K+1} (следующий фрагмент временного ряда). При этом

если индекс S_{k+1} не совпал с индексом Q_{K+1}, то весь шаблон начиная от точки K является несовпадающим с заданным фрагментом, благодаря чему каждый последующий шаг отсеивает значительную часть вычислений. Количество же необходимых преобразований Фурье зависит только от длины шаблона и вычисляется по формуле

$$N = n/4.$$

При этом обеспечивается требуемая точность при любой длине шаблона, так как индексы содержат не больше трех гармоник и для них всегда вычисляется полное евклидово расстояние.

Для оценки эффективности исследования было произведено сравнение скорости разработанной авторами модели поиска с *ST*-индексом при различных длинах временного ряда и шаблонов поиска (рис. 1, 2). Это сравнение позволяет сделать вывод, что разработанный метод поиска заданного шаблона во временном ряду эффективен при возрастающей длине шаблона и временного ряда. При этом длина шаблона практически не оказывает влияния на скорость поиска.

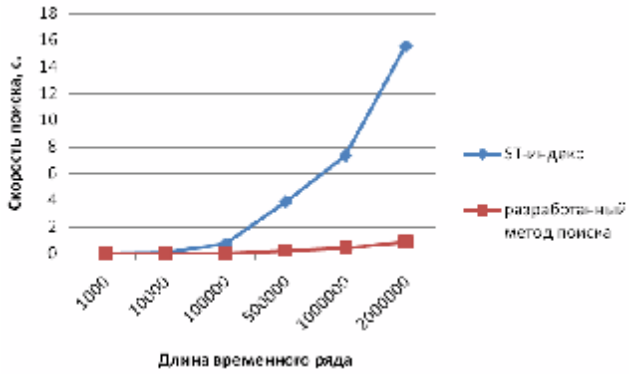


Рис. 1. Сравнение скорости поиска *ST*-индекса с индексом разработанного метода при шаблоне постоянной длины в зависимости от длины временного ряда

Рассматриваемый метод был апробирован при первичном анализе телеметрической информации, принимаемой с российских космических аппаратов (КА) на зарубежные наземные командно-измерительные системы. Отечественные КА имеют формат телеметрических кадров, существенно отличающийся от международных стандартов телеметрии. Вследствие этого зарубежная аппаратура не может в режиме реального времени осуществлять покадровую синхронизацию поступающей с КА телеметрии, выделять и обрабатывать кадры и передавать очищенные данные на последующие этапы обработки. Обычно зарубежная аппаратура при приеме телеметрии с отечественных КА осуществляет полную запись всего потока информации на магнитные носители и последующую обработку программными методами. При подобной постобработке важно создать механизм быстрого доступа к требуемым кадрам телеметрии. Метод поиска заданного шаблона во временном ряду позволил создать упорядоченный индекс для быстрого перехода к нужным фрагментам принятой телеметрии.

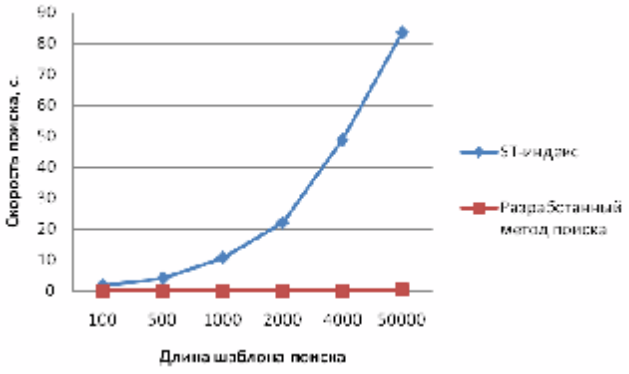


Рис. 2. Сравнение скорости поиска *ST*-индекса с индексом разработанного метода при постоянной длине временного ряда в зависимости от длины шаблона

Библиографические ссылки

1. Faloutsos C., Ranganathan M., Manolopoulos Y. Fast Subsequence Matching in Time-Series Databases // Proc. of the ACM SIGMOD Conf. on Management of Data. Minneapolis, Minn., 1994. P. 419–429.

2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. СПб. : Питер, 2002.

A. A. Eremeevski, V. Kh. Khanov

METHOD OF SEARCH OF THE SET TEMPLATE IN TIME SERIES

The problem of search of the set template in existing time series is considered. Comparison of speed of the developed model of search is made at various lengths time series and search templates.

Keywords: processing of time series, template search in time series, search index.

© Еремеевский А. А., Ханов В. Х., 2010

УДК 528.516

А. М. Алешечкин

ПЕРЕБОРНЫЙ МЕТОД РАЗРЕШЕНИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ В МНОГОШКАЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ*

Рассмотрен алгоритм однозначного определения координат объектов по результатам измерения фазовых сдвигов на пяти метрических частотах радионавигационной системы «Крабик», предназначенной для морских потребителей. Однозначный отсчет радионавигационного параметра реализуется за счет использования переборного метода разрешения фазовой неоднозначности и выбора максимально правдоподобной оценки координат. Показано, что решение поставленной задачи достигается при обеспечении избыточности в системе уравнений, предназначенной для определения координат объектов. Проведен расчет вероятности правильного разрешения неоднозначности в зависимости от среднеквадратической погрешности измерения фазовых сдвигов принимаемых сигналов на метрических частотах системы «Крабик».

Ключевые слова: радионавигационные системы, разрешение неоднозначности, вероятность.

При вождении судов на опасных участках: в каналах, узкостях, шхерах и устьях судоходных рек – требуется высокоточное и оперативное навигационное обеспечение надводных объектов, осуществляемое с помощью радионавигационных систем (РНС) с береговым базированием опорных навигационных пунктов. Высокая точность таких РНС достигается за счет применения фазовых методов измерения радионавигационных параметров (РНП).

Примером РНС наземного базирования, использующей фазовые методы определения РНП, является РНС «Крабик», разработка и серийный выпуск которой с 2001 г. осуществляется предприятием ФГУП «НПП «Радиосвязь» (Красноярск) совместно с Сибирским федеральным университетом.

В состав РНС «Крабик» входят 3…6 опорных станций (ОС), размещенных на берегу в точках с известными координатами. РНС обеспечивает определение координат бортовых станций (БС) в дальномерном, разностно-дальномерном и комбинированном режимах определения места [1].

В настоящее время частотный план РНС «Крабик» задан следующими значениями несущих частот: $f_0 = 421$ МГц – основная несущая частота; $f_1 = 421{,}01$ МГц, $f_2 = 421{,}1$ МГц, $f_3 = 422$ МГц, $f_4 = 426$ МГц, $f_5 = 431$ МГц – вспомогательные несущие частоты. Значения фазовых сдвигов (ФС) измеряются ортогональным фазометром с ограниченными сигналами [2], выполняющим оценку ФС принимаемых сигналов по отношению к их копиям, сформированным синтезатором частоты принимающей станции. Измеренные значения ФС оказываются пропорциональными измеряемым значениям радионавигационных параметров: дальностей БС–ОС – в дальномерном режиме работы, разностям дальностей – в разностно-дальномерном режиме, разностям и суммам дальностей – в комбинированном режиме.

С целью уменьшения систематических погрешностей измерений отсчет значений ФС осуществляется на разностных (метрических) частотах РНС, получаемых путем вычитания основной несущей частоты f_0 из значений вспомогательных частот $f_1 ... f_5$. В результате этого сетка метрических частот образует следующий ряд значений:

$$\begin{aligned} F_{m_1} &= f_1 - f_0 = 10 \text{ кГц}, \\ F_{m_2} &= f_2 - f_0 = 100 \text{ кГц}, \\ F_{m_3} &= f_3 - f_0 = 1 \text{ МГц}, \\ F_{m_4} &= f_4 - f_0 = 5 \text{ МГц}, \\ F_{m_5} &= f_5 - f_0 = 10 \text{ МГц}. \end{aligned} \quad (1)$$

Определение РНП осуществляется на самой высокой метрической частоте F_{m_5}, значение которой составляет 10 МГц. Диапазон однозначных измерений РНП для сигнала частоты F_{m_5} соответствует длине волны данного сигнала, которая составляет около 30 м. Процедура нахождения целого числа длин волн, укладывающихся в отсчетном значении РНП, называется разрешением неоднозначности (РН) фазовых измерений.

Для РН может быть применен известный метод пересчета измерений (МПИ), описанный в [3]. Определение значения полного фазового сдвига на самой высокой метрической частоте F_{m_5} осуществляется путем последовательного перехода от грубых ступеней РН к самой точной ступени, характеризующейся минимальным значением периода однозначности.

Грубые ступени РН характеризуются большими значениями длины волны l и, следовательно, большими значениями периода однозначных измерений. Согласно МПИ, переход от грубых к точным ступеням РН осуществляется с использованием соотношений

$$\Phi_i = N_i + \varphi_i, \quad (2)$$

$$N_i = \left[\frac{\lambda_{i-1}}{\lambda_i} \cdot \Phi_{i-1} - \varphi_i + 0{,}5 \right], \quad (3)$$

где $i = 1, ..., m$ – номер текущей шкалы; m – общее число шкал, для РНС «Крабик» равное 5; [.] означает операцию выделения целой части числа; λ_i – длина волны сигнала на текущей шкале; φ_i – значение измеренного ФС на *i*-й шкале, выраженное в фазовых циклах; $i-1$ – номер предыдущей шкалы с длиной волны λ_i; Φ_{i-1} – значение полного ФС, полученного на предыдущей шкале; N_i – значение целочисленной неоднозначности для *i*-й шкалы; Φ_i – значение полного ФС на текущей шкале.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 08-08-00849).

Длины волн в (3) определяются по значениям метрических частот $F_{m_1} \ldots F_{m_5}$ как

$$\lambda_i = \frac{V}{F_{m_i}}, \quad (4)$$

где $i = 1, \ldots, 5$ – номер метрической частоты РНС «Крабик»; V – значение скорости распространения радиосигналов.

С учетом (4) значения неоднозначностей (3) могут быть определены следующим образом:

$$N_i = \left[\frac{F_{m_i}}{F_{m_{i-1}}} \cdot \Phi_{i-1} - \varphi_i + 0,5 \right]. \quad (5)$$

Использование формулы (3) или (5) совместно с (2) позволяет реализовать процедуру РН с целью нахождения полного ФС Φ_5 для самой высокой метрической частоты РНС «Крабик» F_{m_5}. Значение полного ФС Φ_5 впоследствии может использоваться для вычисления измеренных значений РНП.

Одной из серьезных проблем при разрешении фазовой неоднозначности в РНС «Крабик» является наличие многозначных отсчетов на самой низкой метрической частоте F_{m_1}, равной 10 кГц, длина волны которой составляет 30 км. В результате этого отсчеты РНП могут быть получены в пределах 0…30 км, в то время как для рабочей зоны РНС, равной 150 км, значение двойной дальности может достигать 300 км. Для получения однозначного отсчета требуется задание априорных значений РНП с погрешностью ±15 км. Если же в качестве априорных данных вводятся координаты БС, то для определения места РНС в дальномерном режиме предельная погрешность не должна превышать ±7,5 км. Однако выполнение указанных требований не всегда осуществимо на практике.

Для получения однозначного отсчета РНП без необходимости задания априорных координат БС и изменения частотного плана РНС может быть использован переборный метод определения целого числа циклов первой метрической частоты 10 кГц для измеренного значения РНП.

Переборные методы находят применение при определении угловой ориентации по сигналам спутниковых радионавигационных систем [4–6], однако использование данных методов для решения задач определения координат объектов по сигналам многошкальных РНС в литературе освещено недостаточно.

В частности, имеется публикация [7], посвященная РНС сверхдлинноволнового диапазона, где упоминается возможность аналитического разрешения неоднозначности путем подбора целых циклов в измеренных значениях ФС, однако при этом отмечается высокая вычислительная сложность данной процедуры.

Следует отметить, что при реализации переборных методов определения угловой ориентации согласно [4–6] для выбора оптимальных значений фазовой неоднозначности используется критерий максимального правдоподобия. В связи с этим при реализации переборного метода РН для многошкальных РНС также целесообразно использовать критерий максимума функции правдоподобия.

При нормальном законе распределения погрешностей измерения ФС [8; 9] поиск максимума функции правдоподобия сводится к минимизации показателя ее экспоненты, называемого квадратом суммарной невязки. При независимости [10] и равноточности измерений ФС суммарная невязка $Q(x, y)$ может быть определена по формуле

$$Q(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\lambda_1 \cdot (k_{1i} + \varphi_{1i})}{2} - \sqrt{(x_{\text{о.с}_i} - x)^2 + (y_{\text{о.с}_i} - y)^2} \right)^2}, \quad (6)$$

где $i = 1, \ldots, n$ – текущий номер принимающей ОС; n – общее число ОС; λ_1 – длина волны первой метрической частоты 0,01 МГц; k_{1_i} – перебираемые неоднозначности ФС на первой метрической частоте для *i*-й ОС; φ_{1_i} – значения ФС на первой метрической частоте; x_i, y_i – известные координаты *i*-й ОС; x, y – координаты БС.

При использовании результатов измерений ФС на всех метрических частотах значение суммарной невязки $Q(x, y)$ определяется следующим образом:

$$Q(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{5} \left(\frac{\lambda_j \cdot (k_{ji} + \varphi_{ji})}{2} - \sqrt{(x_{\text{о.с}_i} - x)^2 + (y_{\text{о.с}_i} - y)^2} \right)^2}, \quad (7)$$

где $j = 1, \ldots, 5$ – номер фазовой дорожки, заданной метрической частотой F_{m_j}; k_{ji} – целочисленная неоднозначность ФС *i*-й станции на *j*-й метрической частоте; λ_j – длина волны сигнала *j*-й метрической частоты; φ_{ji} – измеренное значение ФС для *i*-й ОС на *j*-й метрической частоте.

Для расчета суммарной невязки использовались исходные данные по координатам расстановки ОС и БС, приведенные в таблице.

При заданных значениях координат БС, приведенных в нижней строке таблицы, дальности БС–ОС1 (R_1) и БС–ОС2 (R_2) составляют соответственно 50 000,56 и 54 000,81 м. Значения суммарной невязки $Q(x, y)$ вычислялись по выражению (7) в диапазоне дальностей R_1 и R_2 от 2 до 102 км с шагом 1 км, т. е. значения суммарной невязки $Q(x, y)$ были вычислены в 10^4 точках. При проведении расчетов дальности отбирались и по условиям их реализуемости, а именно: сумма полученных дальностей $R_1 + R_2$ должна быть не меньше расстояния между ОС1 и ОС2. По полученным значениям дальностей определялись координаты БС для проверяемой точки и значения дальностей для ОС3–ОС6.

Полученная расстановка ОС, истинное положение БС и положения БС для расчета суммарной невязки приведены на рис. 1, *а*.

Представленные на рис. 1, *б*, *в*, *г* зависимости суммарной невязки от дальностей R_1 и R_2 позволяют сделать вывод о том, что при работе по сигналам двух ОС разрешение неоднозначности методом максимального правдоподобия невозможно, поскольку все минимумы функции правдоподобия одинаковы по своим значениям и равны нулю. С увеличением числа ОС значения суммарной невязки в побочных минимумах увеличиваются, в то время как в основном минимуме значение суммарной невязки при отсутствии погрешности измерения ФС остается постоянным и равным нулю. При этом в значении суммарной невязки при числе ОС больше двух наблюдается один минимум, соответствующий истинному положению БС (см. рис. 1, *в*, *г*).

Следует отметить, что прямой перебор неоднозначностей на всех метрических частотах требует больших

временных затрат (число перебираемых неоднозначностей составляет 10^{4n} для частоты 10 МГц в рабочей зоне 0…150 км). В связи с этим целочисленные неоднозначности k_{ji} на метрической частоте 10 кГц могут быть определены путем перебора, а на остальных метрических частотах – по МПИ независимо для каждого из РНП. В этом случае для получения отсчета потребуется анализ 121 решения, что существенно сокращает время вычисления.

Важным критерием качества алгоритмов разрешения неоднозначности является вероятность правильного разрешения неоднозначности, позволяющая судить о достоверности получаемых оценок координат объектов.

При независимости измеренных значений радионавигационных параметров вероятность правильного определения места БС находится в соответствии с выражением

$$P_{\Sigma} = P_1 \cdot P_2 \cdot \ldots \cdot P_n, \qquad (8)$$

где $P_1, P_2, \ldots, P_n$ – вероятности правильного РН при определении значений радионавигационных параметров; n – общее число РНП, использованных для определения места БС.

С целью упрощения дальнейшего анализа можно положить измерения фазовых сдвигов по сигналам разных ОС равноточными. В этом случае выражение (8) может быть представлено в виде

$$P_{\Sigma} = P^n, \qquad (9)$$

поскольку $P_1 = P_2 = \ldots = P_n = P$.

Вероятность правильного РН при оценке одного РНП определяется в соответствии с выражением [10]:

$$P = \frac{\sqrt{|C|}}{(2\pi)^2} \cdot \int_{-0,5}^{0,5} \int_{-0,5}^{0,5} \int_{-0,5}^{0,5} \int_{-0,5}^{0,5} e^{-0,5\cdot(\Delta^T \cdot C \cdot \Delta)} d\Delta_1 d\Delta_2 d\Delta_3 d\Delta_4, \qquad (10)$$

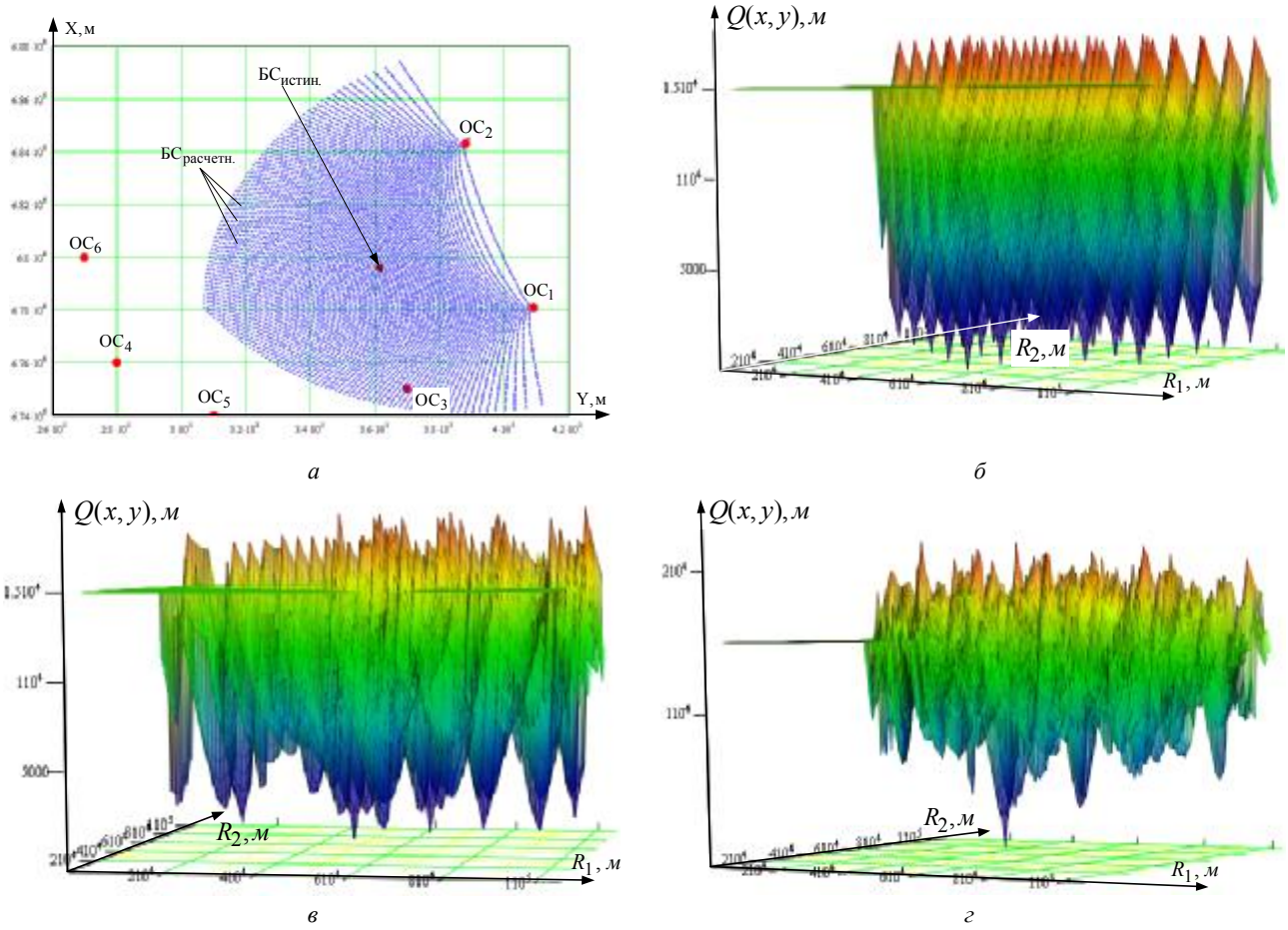


Рис. 1. Результаты расчета суммарной невязки в зависимости от координат БС:
а – расстановка БС и ОС при проведении расчетов; *б* – суммарная невязка, полученная по сигналам двух ОС;
в – суммарная невязка, полученная по сигналам трех ОС; *г* – суммарная невязка, полученная по сигналам шести ОС

Координаты объектов, использованные при моделировании

Станция	Координата *X*, м	Координата *Y*, м
ОС1	6 780 852	409 077
ОС2	6 843 114	387 945
ОС3	6 750 000	370 000
ОС4	6 760 000	280 000
ОС5	6 740 000	310 000
ОС6	6 800 000	270 000
БС	6 796 062	361 446

где $C = K_{\Delta}^{-1}$ – матрица, обратная корреляционной матрице K_{Δ}, характеризующей корреляционные связи между ступенями РН; $\Delta_i = k_i \cdot \Delta\varphi_{i-1} - \Delta\varphi_i$ – погрешность РН, обусловленная погрешностями измерения ФС $\Delta\varphi_i$ и $\Delta\varphi_{i-1}$ на i-й и $(i-1)$-й метрических частотах соответственно.

При взаимной независимости и равноточности измерений ФС на разных метрических частотах по сигналам разных опорных станций матрица K_{Δ} имеет вид [4]:

$$K_{\Delta} = \begin{pmatrix} \sigma_{\varphi}^2 \cdot (k_2^2+1) & -k_3 \cdot \sigma_{\varphi}^2 & 0 & 0 \\ -k_3 \cdot \sigma_{\varphi}^2 & \sigma_{\varphi}^2 \cdot (k_3^2+1) & -k_4 \cdot \sigma_{\varphi}^2 & 0 \\ 0 & -k_4 \cdot \sigma_{\varphi}^2 & \sigma_{\varphi}^2 \cdot (k_4^2+1) & -k_5 \cdot \sigma_{\varphi}^2 \\ 0 & 0 & -k_5 \cdot \sigma_{\varphi}^2 & \sigma_{\varphi}^2 \cdot (k_5^2+1) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $k_2 = F_{m_2} / F_{m_1}$, $k_3 = F_{m_3} / F_{m_2}$, $k_4 = F_{m_4} / F_{m_3}$, $k_5 = F_{m_5} / F_{m_4}$ – коэффициенты сопряжения соседних шкал РНС; $F_{m_1}, F_{m_2}, F_{m_3}, F_{m_4}, F_{m_5}$ – значения метрических частот РНС, заданных в соответствии с выражением (1); σ_{φ} – среднеквадратическое отклонение погрешности измерения ФС, принятое одинаковым для всех метрических частот.

Результаты оценки вероятности правильного разрешения неоднозначности при определении места БС по сигналам РНС «Крабик-БМ» в зависимости от среднеквадратического отклонения погрешности измерений ФС σ_{φ} для случаев работы по сигналам трех–шести ОС приведены ниже (рис. 2).

На графиках рис. 2 цифрами *1…3* обозначены следующие варианты РН:

– *1* – при определении места БС при независимой оценке РНП по МПИ (при этом неоднозначность по дорожке 10 кГц считается устраненной). В этом случае вероятность определения места БС рассчитывается в соответствии с выражением (9);

– *2* – при определении места БС во всей рабочей зоне путем перебора неоднозначностей для дорожки 10 кГц, РН для остальных метрических частот осуществляется по МПИ, выбор оптимального решения – по критерию (6);

– *3* – то же, что и график 2, только выбор оптимального решения осуществляется по критерию (7).

Значения оценок вероятности правильного разрешения неоднозначности для графиков 2 и 3 получены методом статистического моделирования по результатам обработки 1 000 отсчетов как статистических частот P^*, определяемых по формуле

$$P^* = m / n, \quad (12)$$

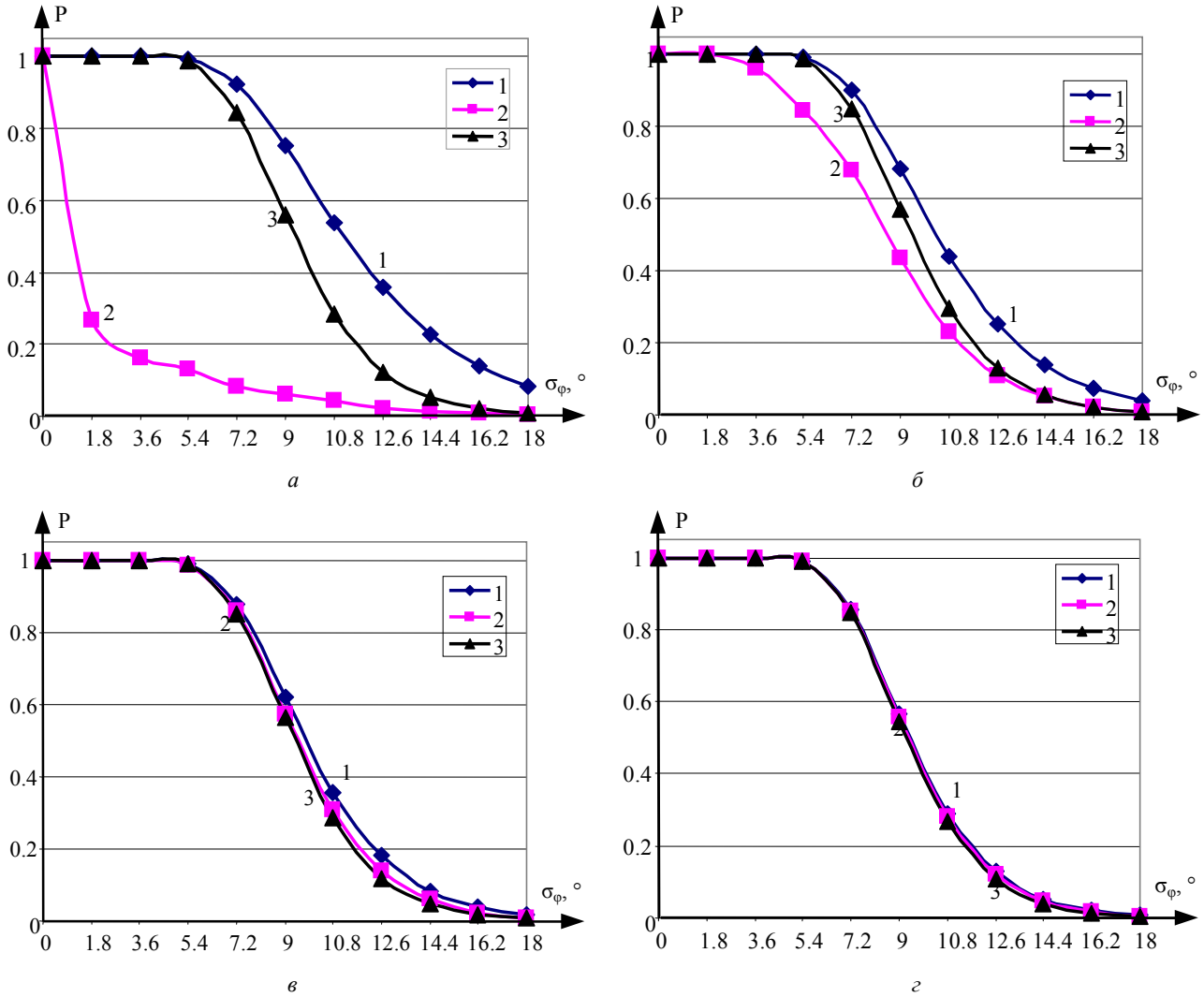


Рис. 2. Вероятность правильного разрешения неоднозначности при работе по вариантам 1–3 при работе по сигналам: *а* – трех ОС; *б* – четырех ОС; *в* – пяти ОС; *г* – шести ОС

где $n = 1\,000$ – общее число испытаний; m – число испытаний, в которых разрешение неоднозначности было выполнено правильно.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование при вычислении суммарной невязки $Q(x, y)$ измерений ФС на всех частотах обеспечивает повышение вероятности правильного разрешения неоднозначности при малом числе ОС (четырех и особенно трех ОС). При пяти и шести ОС существенной разницы между способами вычисления невязки не наблюдается, что объясняется влиянием ошибок в разрешении неоднозначности при оценке РНП по МПИ при переходе с частоты 10 кГц на частоту 10 МГц. Использование расчета (7) по всем частотам обеспечивает повышение вероятности вследствие использования дополнительных измерений на других метрических частотах. При работе с большим числом ОС избыточность по результатам измерений имеется уже на одной метрической частоте, и при больших значениях среднеквадратической погрешности измерения ФС возникают ошибки разрешения неоднозначности по МПИ, которые влияют на результирующую вероятность правильного разрешения неоднозначности. Вероятность правильного разрешения неоднозначности по МПИ является верхней границей вероятности правильного разрешения неоднозначности для разработанного метода, основанного на переборе метрических частот на самой низкой метрической частоте 10 кГц.

Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность правильного РН и однозначной оценки координат объектов в рабочей зоне РНС «Крабик». При этом не нужно задавать априорное место БС с погрешностью, не превышающей ±7,5 км, что требовалось в случае разрешения неоднозначности по МПИ. Необходимым условием реализации алгоритма является наличие избыточных ОС, используемых при определении координат БС. При этом вероятность правильного разрешения неоднозначности при работе по сигналам пяти–шести ОС приближается к верхней границе, задаваемой вероятностью правильного разрешения неоднозначности при независимой оценке РНП по методу пересчета измерений.

Разработанный переборный метод разрешения неоднозначности может быть использован для определения координат объектов по сигналам морских фазовых РНС с целью снижения требований к точности задания априорных координат БС. Другой областью применения данного метода является решение задач определения координат объектов в относительном фазовом режиме по сигналам спутниковых радионавигационных систем.

Библиографические ссылки

1. Высокоточная радионавигационная система для морских потребителей / А. М. Алешечкин, В. И. Кокорин, П. Н. Иванов и др. // Гироскопия и навигация. 2004. № 2. С. 5–12.

2. Пат. 2048676. Рос. Федерация. Устройство для измерения фазы радиосигнала / Гумеров Р. Р. [и др.]. Опубл. 1995, Бюл. № 32.

3. Разрешение неоднозначности в информационно-измерительных многошкальных приборах и системах / В. А. Пономарев, А. В. Пономарев, Т. М. Пономарева и др. СПб. : Изд-во Воен. инж.-космич. ун-та им. А. Ф. Можайского, 2001.

4. Pat. 4963889 USA. Method and Apparatus for Precision Attitude Determination and Kinematic Positioning / Hatch R. R. Publ. 16.10.90.

5. Pat. 5296861 USA. Method and Apparatus for Maximum Likelihood Estimation Direct Integer Search in Differential Carrier Phase Attitude Determination Systems / Knight D. T. Publ. 22.03.94.

6. Пат. 2379700 Рос. Федерация. Способ угловой ориентации объекта по сигналам спутниковых радионавигационных систем / Алешечкин А. М., Кокорин В. И., Фатеев Ю. Л. Опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2.

7. Радионавигационные системы сверхдлинноволнового диапазона / С. Б. Болошин, Г. А. Семенов, А. С. Гузман и др. М. : Радио и связь, 1985.

8. Денисов В. П., Дубинин Д. В. Фазовые радиопеленгаторы / Том. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. Томск, 2002.

9. Алешечкин А. М. Повышение достоверности оценок радионавигационных параметров в радионавигационных системах с фазовыми датчиками // Датчики и системы. 2009. № 7. С. 25–29.

10. Алешечкин А. М. Вероятность правильного устранения неоднозначности в фазовой радионавигационной системе «Крабик» // Гироскопия и навигация. 2009. № 3. С. 74–82.

A. M. Aleshechkin

SEARCH METHOD OF AMBIGUITY RESOLUTION IN MULTI-SCALE PHASE RADIO-NAVIGATION SYSTEMS

Is examined the algorithm of the single-valued determination of objects coordinates from the results of phase shifts measurements at five metric frequencies of the radio-navigation system (RNS) "Krabik", intended for marine users navigation support. In this case single-valued coordinates realizes due to the use of a integer cycles search method of the phase ambiguity resolution and selection of a coordinates, which correspond to the maximum of a likelihood function. It is shown that the solution of the problem presented is achieved at the presence of redundancy in the system of equations, intended for determining the objects coordinates. The calculation the ambiguity resolution success rate, depending on a phase shifts root mean square error for "Krabik" RNS servicing zone is carried out.

Keywords: radio navigation, ambiguity resolution, probability.

© Алешечкин А. М., 2010

УДК 004.724

И. В. Потуремский, А. В. Мурыгин

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УЗЛОВ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА SYSLOG

Рассматривается система мониторинга узлов локальной вычислительной сети (ЛВС), в которой реализована поддержка протокола syslog в режиме реального времени. Система основана на обработке событий, регистрируемых в узлах ЛВС, что позволяет своевременно получать достоверную информацию о состоянии этой сети.

Ключевые слова: мониторинг ЛВС, syslog.

Стремительное развитие локальных вычислительных сетей (ЛВС) сопровождается увеличением не только количества подключаемых персональных компьютеров, но и серверных станций и специальных сетевых устройств, обеспечивающих их поддержку и функционирование. К специальным сетевым устройствам относятся маршрутизаторы, коммутаторы, медиаконвертеры, межсетевые экраны и т. д. Администраторам ЛВС все сложнее осуществлять мониторинг работоспособности узлов ЛВС и ежедневно анализировать регистрационную информацию, относящуюся к сети в целом [1].

Сбор регистрационной информации чаще всего проводится с помощью протокола syslog. Этот протокол и программные средства поддержки обеспечивают запись информации о событиях в системный журнал, а также передачу их на сервер журнализации по сети. Компонентами системы являются генератор сообщений (устройство или процесс), протокол обмена, коллектор сообщений (collector, syslog server), релей (relay), принимающий сообщения от одного или нескольких генераторов [2]. Сообщения, переданные по протоколу syslog, используются администратором сети для анализа событий после того, как произошел сбой, для установления его причины.

Для более оперативного получения информации о сбоях в работе сети применяются системы мониторинга узлов ЛВС, большинство из которых построены на следующем принципе: в определенные интервалы времени система мониторинга выполняет запрос назначенному узлу ЛВС и при получении от него отрицательного ответа либо при отсутствии ответа сообщает о сбое администратору сети [3]. Однако если сбой в устройстве происходит после его проверки или в промежутке между опросами, то администратор узнает о сбое по прошествии значительного времени. Для многих организаций такая ситуация может повлечь за собой сбой технологического процесса обработки информации, что является недопустимым.

Рассматриваемая в данной статье система мониторинга узлов ЛВС реализована на основе протокола syslog и позволяет собирать информацию о нарушениях в работе сети в режиме реального времени. Полученные по протоколу syslog сообщения не просто предоставляются системой для хранения и последующего анализа, а проходят процедуру обработки (унификации) и фильтрации по заданной матрице и в зависимости от критичности осуществляют уведомление администратора ЛВС о произошедшем событии.

Система состоит из двух основных частей: серверной и клиентской (рис. 1).

Серверная часть системы устанавливается на отдельно выделенный сервер и выполняет функции получения, унификации, хранения, шифрования и передачи клиентским частям полученных по стандарту syslog сообщений в режиме реального времени (рис. 2).

Функция «Получение» открывает для чтения указанный администратором сети TCP- или UDP-порт (обычно 514) и обеспечивает прием сообщений по протоколу syslog от сетевых устройств ЛВС согласно заданному списку.

Функция «Унификация» работает следующим образом. Структура сообщения, полученного по протоколу syslog, начинается с поля, которое в закодированном виде содержит информацию об источнике сообщения и уровне серьезности сообщения, за ним записывается время, имя или IP-адрес хоста и произвольный текст сообщения [4].

Уровень серьезности кодируется числом от 0 до 7:

– 0 – система неработоспособна;
– 1 – требуется немедленное вмешательство;
– 2 – критическое состояние;
– 3 – ошибка;
– 4 – предупреждение;
– 5 – все нормально, но важно;
– 6 – информационное сообщение;
– 7 – отладочная информация.

Таким образом, сообщение, полученное по стандарту syslog, содержит критерий важности сообщения. Однако в зависимости от типа сетевого оборудования и производителя уровни серьезности и структура текста сообщений существенно отличаются друг от друга. Например, у коммутатора компании D-Link выключение порта характеризуется уровнем серьезности 6 (информационное сообщение), а у коммутатора компании Dell уровень серьезности при данном событии – 4 (предупреждение). Причем очень часто встречаются ситуации, когда выключение одного порта коммутатора является не критичным (например, при выключении компьютера, подключенного к данному порту), а выключение другого порта на этом же коммутаторе является критичным (например, при выключении порта, к которому подключен сервер сети, либо другого важного сетевого устройства). Поэтому для определения уровня серьезности сообщений от различных устройств производится обработка сообщений и их проверка согласно заданным в матрице сообщений правилам.

Обработка сообщений, полученных по протоколу syslog, осуществляется таким образом, что сообщение принимает следующий вид:

– поле № 1 – [дата и время] – указываются дата и время, когда сообщение было получено сервером. Хотя оригинальное сообщение уже имеет штамп времени, здесь используются дата и время, установленные на сервере, так как не у всех сетевых устройств имеется служба синхронизации времени и формат времени у каждого производителя сетевого устройства может отличаться;

– поле № 2 – [имя либо IP-адрес отправителя] – указывается логическое имя или IP-адрес сетевого устройства, отправившего сообщение;

– поле № 3 – [уровень серьезности] – устанавливается идентичным оригинальному сообщению (в числовом виде);

– поле № 4 – [произвольный текст сообщения] – указывается текст оригинального сообщения.

Например, сообщение, полученное от коммутатора Dell PowerConnect 6224 и имеющее вид

[FEB 11 09:21:18] [192.168.64.254] [NOTIFICATION] [Link Down: Unit 1 Port 2],

после обработки станет таким:

[11.02.2009] [09:21:18] [192.168.64.254] [5] [Link Down: Unit 1 Port 2],

после чего уже обработанное сообщение будет проверяться на уровень критичности согласно заданной администратором сети матрице сообщений.

Матрица сообщений формируется следующим образом. Администратор сети разбивает сообщение, полученное по протоколу syslog, на четыре основных блока:

– 1-й блок – наименование устройства, отправившего сообщение: вводится логическое имя либо IP-адрес устройства (если указать ключевое слово ALL, то данное правило будет рассматриваться для всех устройств);

– 2-й блок – объект контроля: вводится идентификатор объекта контроля (для коммутатора это может быть номер порта, доступ к устройству, конфигурационный файл и т. п.);

– 3-й блок – событие с объектом контроля: вводится событие, которое необходимо отследить (для коммутатора это включение или выключение порта, неудачная или удачная попытка доступа к устройству, изменение или сохранение конфигурационного файла и т. п.);

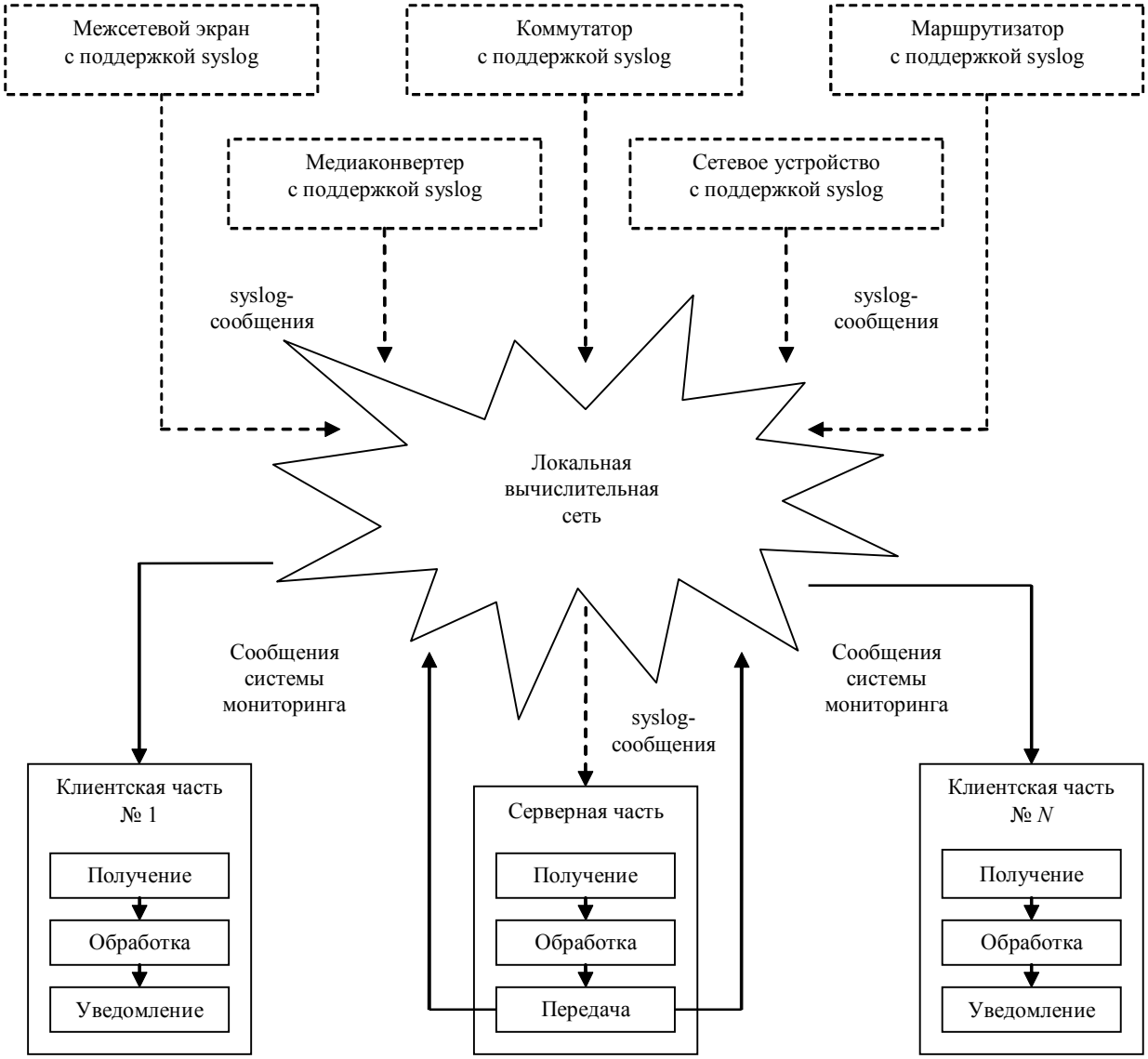


Рис. 1. Общая схема взаимодействия серверной и клиентской частей системы мониторинга узлов ЛВС

– 4-й блок – критичность события: вводится уровень критичности сообщения (0 – критическое состояние, 1 – предупреждение, 2 – информационное сообщение, 3 – не важное сообщение).

Например, если администратору необходимо контролировать все неудачные попытки доступа к устройству по http-протоколу, то он может воспользоваться следующим правилом. Сообщение от коммутатора Dlink

Коммутатор Dlink DES-3550

Структура сообщения по протоколу syslog:
[2009 Feb 11 16:03:00] [192.168.64.121] [WARN] [Login failed through Web
(Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)]

Серверная часть

Функция «Получение»: открывает на чтение 514 UDP порт и принимает сообщение согласно списку:
192.168.64.201-192.168.64.254, 192.168.64.121, 192.168.8.54, … , 192.168.15.1

Функция «Унификация»

1-й этап – «Обработка сообщения». Сообщение принимает вид:
[11.02.2009] [16:03:00] [192.168.64.121] [4] [Login failed through Web
(Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)]

2-й этап – «Проверка на уровень критичности согласно матрице сообщений»

Матрица сообщений

№ п/п	1-й блок	2-й блок	3-й блок	4-й блок
1	192.168.64.254	Port 5	Link Down	0
2	192.168.64.201	AVR	low incoming line voltage	1
3	ALL	Web	Login failed	1
4	ALL	Web	Successful login	2
5	192.168.64.212	Battery	Switched to battery backup	0
…	…	…	…	…
N	ALL	SSH	Successful login	2

Полученное сообщение удовлетворяет правилу № 3

3-й этап – «Назначение критичности сообщения», сообщение принимает вид:
[11.02.2009] [16:03:00] [192.168.64.121] [4] [Login failed through Web
(Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)] [1]

Функция «Хранение»: сохраняет унифицированное сообщение на сервере

Функция «Шифрование»: шифрует унифицированное сообщение

Функция «Передача»: передает зашифрованное сообщение клиентским частям согласно списку

№	Станция	Порт
1	192.168.2.1	2901
2	192.168.2.3	2901
3	192.168.21.52	2805
…	…	…
N	192.168.4.102	2901

Клиентская часть 192.168.2.1 | Клиентская часть 192.168.2.3 | … | Клиентская часть 192.168.4.102

Рис. 2. Схема работы серверной части системы мониторинга узлов ЛВС при получении сообщения по протоколу syslog от сетевого устройства

DES-3550 о неудачной попытке доступа к устройству по http-протоколу, имеющее оригинальный вид

[2009 Feb 11 16:03:00] [192.168.64.121] [WARN] [Login failed through Web (Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)],

после обработки примет вид

[11.02.2009] [09:30:15] [192.168.64.121] [4] [Login failed through Web (Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)]

и будет вноситься следующим образом:

– 1-й блок – 192.168.64.121 (IP-адрес коммутатора);

– 2-й блок – Web (доступ по http-протоколу);

– 3-й блок – Login failed (неудача);

– 4-й блок – 1 (предупреждение).

Таким образом, если после проверки в матрице сообщение удовлетворяет существующему правилу, то в конец сообщения дописывается указанный в 4-м блоке уровень критичности. Например, сообщение о неудачной попытке доступа к коммутатору Dlink DES-3550 по http-протоколу будет иметь вид

[11.02.2009] [09:30:15] [192.168.64.121] [4] [Login failed through Web (Username: admin, IP: 192.168.2.85, MAC: 00-11-44-77-44-11)] [1].

Если сообщение не подпадает ни под одно правило матрицы и имеет уровень серьезности ниже 3 (ошибка) т. е. от 4 до 7, то ему присваивается критичность сообщения 3 (не важное). Если сообщение не попадает ни под одно правило матрицы и имеет уровень серьезности выше 4 (предупреждение) т. е. от 0 до 3, то сообщению присваивается критичность сообщения 0 (критическое состояние).

Функция «Хранение» осуществляет запись и хранение на сервере унифицированного сообщения.

Функция «Шифрование» проводит шифрование унифицированного сообщения по заданному администратором методу (алгоритму).

Функция «Передача» открывает для записи указанный администратором ЛВС TCP- или UDP-порт и обеспечивает передачу шифрованных сообщений клиентским частям согласно заданному списку. Список содержит поля «Станция» и «Порт», в которых соответственно указываются клиентские станции и удаленный порт, на которые необходимо передать зашифрованное сообщение.

Клиентская часть системы мониторинга узлов ЛВС устанавливается на рабочие станции администратора и/или обслуживающего ЛВС персонала и выполняет следующие функции: получение, дешифрование, хранение сообщений и уведомление о событии в сети пользователя рабочей станции (рис. 3).

Функция «Получение» открывает для чтения указанный администратором сети TCP- или UDP-порт и обеспечивает прием сообщений от серверной части.

Функция «Дешифрование» обеспечивает дешифрование полученного сообщения от серверной части по заданному администратором сети методу.

Функция «Хранения» записывает и хранит обработанное сообщение.

Функция «Уведомление» осуществляет уведомление пользователя рабочей станции, на которой установлена клиентская часть, согласно уровню критичности сообщения.

По умолчанию уведомление проводится следующим образом:

– при уровне критичности полученного сообщения 2 (информационное) – появление всплывающего (неактивного) окна, содержащего принятое сообщение, на заданное администратором сети количество времени;

– при уровне критичности полученного сообщения 1 (предупреждение) – мигание иконки клиентской части в меню systray;

– при уровне критичности сообщения 0 (критическое состояние) – мигание иконки клиентской части в меню systray и появление сообщения в активном окне на рабочем столе рабочей станции.

При необходимости администратор и/или обслуживающий ЛВС персонал может сформировать локальную матрицу на своей рабочей станции для изменения заданных правил уведомления.

Для формирования локальной матрицы уведомлений задаются четыре основных блока:

– 1-й блок – наименование устройства, которое является источником сообщения: вводится логическое имя либо IP-адрес устройства (если указать ключевое слово ALL, то это правило будет рассматриваться для всех устройств);

– 2-й блок – критерий важности согласно протоколу syslog (если указать ключевое слово NULL, то данное правило будет рассматриваться для всех критериев важности);

– 3-й блок – критичность события, которое было назначенное после обработки на серверной части системы (если указать ключевое слово NULL, то это правило будет рассматриваться для всех событий);

– 4-й блок – тип уведомления: 0 – ничего не показывать; 1 – появление всплывающего (неактивного) окна; 2 – мигание иконки клиентской части в меню systray; 3 – мигание иконки клиентской части в меню systray и появление сообщения в активном окне.

Все это позволяет добиться гибкости функции «Уведомление» в тех случаях, когда необходимо осуществлять жесткий мониторинг заданного сетевого устройства либо игнорировать любые сообщения от устройства при режиме тестовой отладки.

Таким образом, для получения оперативной информации о сбоях в работе сети в режиме реального времени система мониторинга узлов ЛВС, поддерживающих протокол syslog, должна быть разделена на серверную и клиентскую части. При этом серверная часть производит процедуру обработки и фильтрации по заданной администратором сети матрице сообщений и в зависимости от критериев важности осуществляет передачу зашифрованного сообщения о произошедшем событии клиентской части системы, которая осуществляет получение, дешифрование, хранение и уведомление администратора (либо обслуживающего ЛВС пер-

сонала) согласно установленному уровню критичности. Администратор и/или обслуживающий ЛВС персонал в случае сбоя или критического события (например, при угрозе безопасности узла) сетевого устройства получает уведомление о произошедшем событии в режиме реального времени, что позволяет оперативно предотвращать или исправлять возникшие неисправности.

Библиографические ссылки

1. Терентьев А. М. Задачи полноценного аудита корпоративных сетей // Концепции. 2003. № 1(11). С. 94–95.

2. Lonvick C. Request for Comments 3164. The BSD Syslog Protocol / Cisco Systems. San Jose, Calif., 2001.

3. Терентьев А. М. Методы и средства наблюдения загрузки локальных вычислительных сетей на примере ЦЭМИ РАН : препр. / Центр. экон.-мат. ин-т Рос. акад. наук. М., 2001. № #WP/2001/110.

4. Rose M. Request for Comments 3195 Reliable Delivery for syslog / Cisco Systems. San Jose, Calif., 2001.

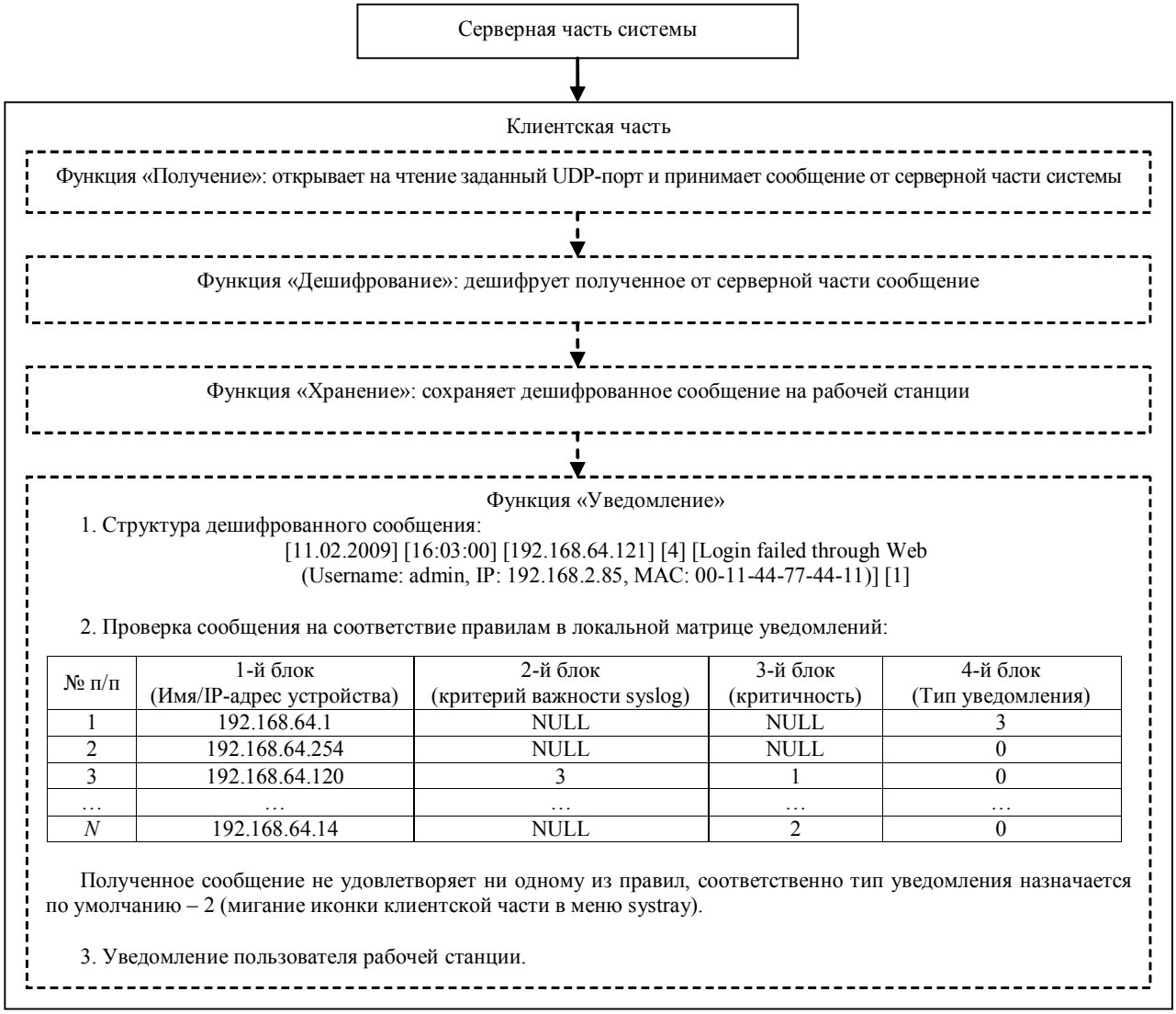


Рис. 3. Схема работы клиентской части системы мониторинга узлов ЛВС при получении сообщения от серверной части

I. V. Poturemskiy, A. V. Murygin

MONITORING SYSTEM OF LAN DEVICES BASED ON SYSLOG PROTOCOL

It is covered a monitoring system for LAN devices which support syslog protocol in real-time mode. The system is based on the processing of events which are registered in LAN devices. This allows receiving of reliable information about network status opportunely.

Keywords: monitoring LAN, syslog.

© Потуремский И. В., Мурыгин А. В., 2010

УДК 681.5

А. Т. Лелеков, М. Ю. Сахнов, С. А. Галочкин, Е. В. Величко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ COMSOL MULTIPHYSICS–MATLAB–SIMULINK

Рассмотрено построение динамических моделей тепловых объектов с распределенными параметрами. Обсуждаются трудности, связанные с интеграцией модели COMSOL в модель Simulink для решения задач управления.

Ключевые слова: моделирование, автоматическое управление, теплопередача, объект с распределенными параметрами, COMSOL Multiphysics, MATLAB, Simulink.

При проектировании систем автоматического управления (САУ), оптимизации и настройке законов управления, обработки сигналов, моделировании поведения объектов управления нередко возникают трудности, связанные с тем, что объект управления невозможно представить сосредоточенной моделью. Поэтому требуется представить его как объект с распределенными параметрами (ОРП), что подразумевает использование для его описания дифференциальных уравнений (ДУ) в частных производных. В данной статье речь пойдет о решении тепловых задач с учетом их динамики, когда нельзя пренебречь длительностью переходного процесса, так как на вход ОРП поступает меняющееся воздействие и необходимо рассчитать отклик в следующий момент времени.

Обычно в таких случаях пользуются следующими подходами:

– построением модели с сосредоточенными параметрами: выбирается простая модель с похожим поведением и производится подбор таких параметров, которые позволят добиться адекватности;

– построением упрощенной (идеализированной) модели с распределенными параметрами: объект линеаризуется и схематизируется до возможно более простой задачи, параметры также подбираются, задача решается аналитическими способами и полученное решение раскладывается в ряд с ограниченным количеством членов;

– построением численных дискретных моделей с распределенными параметрами, отклики которых ищутся с помощью методов конечных элементов или конечных разностей.

Последний подход, имея ряд существенных недостатков по сравнению с предыдущими (низкая аналитическая ценность, сложность модели, высокие требования к вычислительной мощности и др.), обладает при этом ценными преимуществами: сокращением времени подготовки модели, учетом нелинейностей и сложных форм объектов, сложными начальными (НУ) и граничными условиями (ГУ), а также возможностями, т. е. мультифизичности совместного решения уравнений, описывающих различные по природе, но взаимосвязанные физические явления.

Способы реализации этого подхода варьируются от самостоятельного написания программ на языках программирования высокого уровня до использования специализированных программных комплексов. Для моделирования ОРП авторами были использованы возможности комплекса COMSOL Multiphysics 3.4a, который работал совместно с пакетом MATLAB 2008 и Simulink с заданной в них моделью системы управления распределенным объектом. Эти программные комплексы, взаимодействуя по технологии COM, позволяют проводить совместное имитационное моделирование сложных систем управления объектов с распределенными параметрами.

Конечно, можно обойтись использованием одного пакета MATLAB 2008 и Simulink и моделирование ОРП производить в PDE Toolbox (с дополнительным набором функций для решения ДУ в частных производных). Однако PDE Toolbox пока не допускает использования связанных геометрий и возможностей мультифизичности, которыми обладает комплекс COMSOL Multiphysics.

Ход построения модели таков:

1) задать модель управления объектом в пакете MATLAB–Simulink;

2) задать модель объекта управления в COMSOL Multiphysics;

3) интегрировать модель COMSOL в модель Simulink.

В данной статье будут обсуждаться трудности, связанные с реализацией третьего шага.

Стандартные способы экспорта моделей. Программный комплекс COMSOL Multiphysics имеет в своем составе стандартные средства генерации модели Simulink [1]. Процедура генерации создает в области переменных MATLAB структуру sct, которая представляет собой COM-объект. Она указывается как параметр блока COMSOL Multiphysics Subsystem в модели Simulink. Вид модели настраивается двумя параметрами: формой (General или Linearized) и типом (Dynamic или Static).

Первый параметр фактически определяет, в какой программе будет происходить расчет модели. При нелинейных моделях создается модель General (общая), и при имитационном моделировании будет происходить вызов процедур обсчета (солвера) из COMSOL. Если используется модель без нелинейностей или движения переменных нелинейной модели происходят в малой окрестности рабочей точки, то можно создать линеаризованную модель, и тогда не нужно задействовать специализированные процедуры COMSOL, что значительно ускоряет процесс моделирования. Такая модель представляет собой обычный набор матриц передаточных коэффициентов и к ней можно применить стандартные методы снижения порядка.

Второй параметр определяет, можно ли пренебречь зависимыми от времени членами и производными в уравнениях объекта. В типе Dynamic выходные переменные

зависят как от входов, так и от вектора состояния, который всегда хранится в Simulink. Если инерционность распределенного объекта пренебрежимо мала, то можно ограничиться решением только стационарной задачи в частных производных и вектор состояний не потребуется, поскольку входы модели непосредственно определяют выходы.

В проводимых нами расчетах важное значение имеет учет нелинейностей, а скорость тепловых процессов не позволяет упростить модель до статической, поэтому нужно использовать модель типа General Dynamic.

Отметим, что входы модели задаются через имена определенных в COMSOL переменных, которые могут входить в выражения воздействий в области любой размерности: точке, линии, объеме и т. п. Возможности же определения выходов модели сильно ограничены: можно выбрать значение переменной только в какой-либо одной точке. Сколько выбрано точек, столько и будет выходов, т. е. вектор выходов может быть только одномерным. Это может стать существенным недостатком в случае, если требуется сделать усреднение поля по некоторой области или передать все поле для визуализации или обработки, так как блок, сделанный стандартным образом, таких возможностей не предоставляет.

Увеличение размерности вектора выходов. Расчет модели в Simulink производится посредством s-функции femsfun, которая скрыта в маске блока COMSOL Multiphysics Subsystem. Это s-функция первого уровня (Level 1 S-function), за формирование выходов в которой отвечает подфункция mdlOutputs (в ней по COM-технологии вызываются процедуры COMSOL). Собственно вектор выходов формируется в строке

```
sys = l_computeoutput(sct, jsol, vars);
```

Приведем эту функцию полностью:

```
% ==========================================================================
% Compute output variables
% ==========================================================================
function sys = l_computeoutput(sct, jsol, vars)
sys = zeros(length(sct.outexprs),1);
piprop = com.femlab.util.Prop;
piprop.setVectorString('const', vars);
piprop.setSolution('u', jsol);
outprop = com.femlab.util.Prop;
for i=1:length(sct.outexprs)
  sct.outpis(i).eval(sct.outexprs(i), piprop, outprop);
  % Temporary constants are cleared
  out = getvmatrixexch(outprop, logical(1));
  if abs(imag(out{1}))>1e-14*abs(real(out{1}))
    error(['Complex-valued output variable: ' sct.outputnames{i}])
  end
  sys(i) = real(out{1});
end
```

Чтобы пожертвовать возможностью иметь несколько отдельных выходов у блока COMSOL, получив взамен возможность вывода всего поля предпоследнюю строку нужно заменить на строку

```
sys = real(out{1});
```

Можно убрать и весь цикл по *i*, так как размер `sct.outexprs` будет равен 1, т. е. количеству независимых выходов.

Генерировать структуру `sct` необходимо также особым способом. Экспорт должен быть произведен не через интерфейс COMSOL, а в командной строке MATLAB. Программы должны быть запущены совместно, для чего вначале производится экспорт структуры fem в MATLAB, а затем делается вызов функции генерации модели Simulink командой

```
sct=femsim_2D(fem, ...
          'input',{'Q'}, ...
          'outnames',{'Temp'}, ...
                    'output',{{'T' xx}},'Matherr','off');
```

где `fem` – структура, содержащая описание задачи; `{'Q'}` – массив с именами констант – входов модели; `{'Temp'}` – массив с именами выходов; `{{'T' xx}}` – массив с выражением для выходной переменной и точек, в которых оно берется. Эта функция отличается от стандартной функции `femsim` строкой

```
outpoints{i} = reshape(out{2}, prod(size(out{2})), 1);
```

замененной на

```
outpoints{i} = out{2};
```

Это позволяет передать на выход неодномерный массив.

Внутри `femsim_2D` производится вызов функции `femsimlowlevel_2D` взамен стандартной `femsimlowlevel`. Текст функции `femsimlowlevel_2D` не отличается от `femsimlowlevel`, кроме одной строки в цикле

```
for i=1:noutputs
    piprop = postproputil(dummyfem, outparams{i});
    piprop.setInt('mcase',mcase);
    xx = outpoints{i}';
                outpis(i) = com.femlab.xmesh.PostInterp(xmesh, piprop, xx, ...
                        size(xx,1),size(xx,2));
end
```

которая заменена на строку

```
for i=1:noutputs
    piprop = postproputil(dummyfem, outparams{i});
    piprop.setInt('mcase',mcase);
    xx = outpoints{i}; %транспонирование не нужно
                outpis(i) = com.femlab.xmesh.PostInterp(xmesh, piprop, xx, ...
                size(xx,1),size(xx,2));
end
```

где параметр `xx` – матрица координат точек, в которых нужно передать выражение выходной переменной. Для расчета выходов COMSOL использует функцию `postinterp`, поэтому описание `xx` можно найти в соответствующем разделе помощи. В колонках матрицы, содержащих координаты x, y, строка задает номер точки. В двумерном случае, если применяется равномерная прямоугольная сетка, ее можно сгенерировать следующим образом:

```
[X,Y]=meshgrid(0:0.001:0.05,0:0.001:0.05);
n=size(X);
xx=[reshape(X,1,[]);reshape(Y,1,[])];
% Колонки- координаты точек
```

При экспорте структуры `fem` особое внимание нужно уделить параметрам солвера. Он должен быть типа Transient, и эту задачу обязательно решить в COMSOL заранее, чтобы в дальнейшем исключить труднонаходимые Simulink ошибки.

Построенная таким образом модель в качестве выхода может выдавать поле, рассчитанное в каждый момент времени, однако у нее есть существенный недостаток – модели со связанными (coupled) геометриями здесь не работают.

В Словацком технологическом университете (Братислава, Словакия) был создан пакет подпрограмм для MATLAB–Simulink, позволяющий решать задачи моделирования систем с распределенными параметрами с предоставлением возможностей вывода и визуализации двумерных полей [2]. Разработчики этого пакета используют как собственные технологии моделирования ОРП, так и имеющиеся в составе пакета PDE Toolbox приложения MATLAB. Достоинством предлагаемого пакета является то, что он включает в себя средства анализа и синтеза систем управления ОРП. К недостаткам следует отнести закрытость алгоритмов.

Расширение возможностей модели. Расширить возможности полученной модели за счет использования полной функциональности комплекса COMSOL Multiphysics позволяет s-функция, принцип работы которой основан на классическом методе сшивки. В этом методе конечное состояние объекта на очередном участке переходного процесса служит начальными условиями для следующего участка, благодаря чему он нашел широкое применение для решения тепловых задач, описываемых ДУ первого порядка по времени, которые не требуют в качестве начальных условий значений производных.

Несколько вариантов использования метода сшивки описаны в [3–6].

Автор статей [3– 5] изучает времязависимое решение и использует s-функцию первого уровня, отличающуюся следующими особенностями:

– структура `fem`, описывающая ОРП, задана как глобальная переменная. Она создается заранее средствами COMSOL;

– величина шага по времени определяется Simulink, тип времени выборки (sample time) – Continuous. Задача пересчитывается каждый раз на новый период времени с одной промежуточной точкой, т. е. временной интервал делится ровно посередине;

– на выход передаются данные – температурные поля в определенных узлах сетки, созданной в COMSOL;

– данные о состоянии объекта хранятся в векторе состояний Simulink.

В [6] изучается статическое решение. Использована s-функция второго уровня, отличающаяся следующими особенностями:

– структура `fem` создается каждый раз заново скриптом MATLAB;

– величина шага по времени определяется Simulink. Задача стационарная, временной интервал не важен, данные о состоянии объекта не хранятся;

– задача решается с помощью функции формирования выходного вектора. Полученные решения дополнительно обрабатываются, из всего набора данных – полей – выбирается только нужное поле (функция `postinterp`).

В модели, разработанной авторами данной статьи, применена s-функция второго уровня, передающая на выход как все температурное поле, так и ряд рассчитанных с его использованием переменных. Структура `xfem` создается заранее в COMSOL и задается как глобальная переменная. В нотации COMSOL структура `xfem` отличается от `fem` тем, что первая вводит задачу со связанными геометриями. В этой структуре хранится состояние ОРП, переменные Simulink для этого не используются. Входные воздействия переопределяются на каждом шаге. Величина шага по времени выбирается таким образом, чтобы решение изменилось на величину не более 1 %, что для данного типа ДУ составляет также ~1 % от постоянной времени. Шаг задается таким способом, чтобы Simulink вызывал s-функцию только через указанный промежуток. Это возможно потому, что решения тепловых задач практически всегда устойчивы и имеют значительную постоянную времени. Код функции структурно выглядит так:

1) считать `xfem` из области глобальных переменных:

```
global xfem
```

2) перезадать константы `fem.const` – входы модели:

```
Tinlet = block.InputPort(2).Data + 273.15; %Tinlet, переводим в Кельвины
xfem.const{1}=num2str(Tinlet);
```

3) рассчитать НУ текущего шага:

```
init = asseminit(xfem,'init',xfem.sol,'solnum',length(xfem.sol.tlist));
%В качестве НУ берем последнее решение
```

4) вызвать процедуру расчета решения:

```
xfem.sol=femtime(xfem, ...
    'init',init, ... % параметр 'init'- недокументированный
```

```
        'solcomp',{'T'}, ...
        'outcomp',{'T'}, ...
          'tlist',11, ... %задает вектор времен, единственный эл-т – конечное время. Можно задать больше промежуточных точек, решение будет точнее
        'tout','tsteps',...
        'initialstep',2.5, ...
        'maxstep',1e3);
```

5) сформировать выходы – температуры и т. п. – через функции postinterp и postint. На этом шаге удобно извлекать данные из разных геометрий, например Tfield извлекается из основной (номер 1), а Toutlet – из связанной (номер 3). Положение точек температурного поля задается изначально рассчитанной матрицей Coords:

```
  %формируем выходы
  Tfield = postinterp(xfem,'T', Coords.c,'Solnum','end')-273.15; %в градусах Цельсия
  Tfield(find(isnan(Tfield)))=Inf; %NaN недопустимы в s-функции
  Tmean = Tacc_20(Tfield,Coords);
  Toutlet= postint(xfem,'T', ...
      'dl',[2], ...
      'edim',0, ...
      'geomnum',3, ...
     'solnum','end')-273.15; %Toutlet в градусах Цельсия
```

Преимуществами такой модели являются легко задаваемая дополнительная математическая обработка решения, возможность использования связанных геометрий, контроль над ходом решения. Эта модель была успешно опробована и показала устойчивую работу.

Визуализация. Для визуализации рассчитанного температурного поля была создана s-функция первого уровня, не требующая ресурсов COMSOL. Она позволяет визуализировать поле в заранее заданных точках, меняющееся каждый раз после его расчета описанным выше способом. Входные параметры s-функции – матрица координат точек поля и вектор, содержащий значения поля в этих точках. Для решения был использован способ триангуляции, предложенный Б. Н. Делоне в 1934 г. (функция delaunay), согласно которому сетка координат точек поля с любым распределением по геометрии объекта разбивается на сетку из треугольников с вершинами в указанных точках. S-функция строит поверхность из объектов patch на этой сетке, рассчитанной заранее. Приведем далее полный текст этой функции:

```
  function [sys, x0, str, ts] = mysfunTRI(t, x, u, flag, Coords, ZLim)
  % Выводит trisurf, на входе значения z в точках [X Y] из Coords
  %Coords - структура .
  %ZLim - жесткие пределы по Z, чтобы не было масштабирования

  % Определение действия в зависимости от значения flag
  switch flag
      case 0 % Инициализация S-функции
              [sys, x0, str, ts] = mdlInitializeSizes(Coords);
      case 2 % Действия, производимые на каждом шаге по времени
          sys=mdlUpdate(t, x, u, Coords, ZLim);
       case 3 % Вычисление значений на выходах S-функции
           sys=mdlOutputs(t,x,u);
      otherwise % выводим ошибку, т.к. действие не определено
              error(['Unhandled flag = ',num2str(flag)]);
  end


  function [sys, x0, str, ts] = mdlInitializeSizes(Coords) % Инициализация S-функции
  sizes = simsizes; % Получение структуры с описанием S-функции
  sizes.NumInputs = length(Coords.n); % задание числа входных портов
  sizes.NumSampleTimes = 1; % число дискретизаций по времени
  sys = simsizes(sizes); % создание вектора с информацией об S-функции

  x0  = [];
  str = [];
  % задание вектора с шагами расчета
  ts  = [-1 0]; %-1 наследование этого параметра от предыдущего блока
  % создание графического окна GUI_Simulink
  try
      close(get_param(gcbh,'Name'));
  end
  % и запись указателя на него в переменную Fig
  Fig=figure('Position',[400 300 400 300],... %    'Color', 'k',...
      'MenuBar', 'none',...
     'Name', get_param(gcbh,'Name'),...
      'NumberTitle', 'off');
  % сохранение указателя на графическое окно в свойстве UserData S-функции
  set_param(gcbh, 'UserData', Fig);

  function sys=mdlUpdate(t, x, u, Coords, ZLim)
  % получаем указатель на графическое окно GUI_Simulink
  %Fig = get_param(gcbh,'UserData');
  % получаем структуру указателей на объекты окна GUI_Simulink
  % Handles = guihandles(Fig);
  % axes(Handles.ax1)
  trisurf(Coords.tri,Coords.c(1,:),Coords.c(2,:),u,'
```

```
EdgeColor','interp','FaceColor','interp')
  axis equal
  view(2)
  colorbar
  set(gca, 'Zlim', ZLim);
  drawnow; % Классическое решение
  sys=[];

  function sys=mdlOutputs(t,x,u)
  % вычисление значений на выходах блока
S-function
  %выходов нет, поэтому присваиваем пу-
стой массив.
  sys=[];
```

Работа выполнена при программной поддержке научно-образовательного центра интегрированных компьютерных технологий информационно-аналитического департамента Сибирского федерального университета.

Библиографические ссылки

1. Storozhenko Y., Gubanski S., Serdyuk Y. COMSOL-Simulink integrated computer model for simulations of high voltage power transformers // Scientific bull. of Norilsk Industrial Inst. Vol. 3. Norilsk, 2008. P. 28–45.

2. Control of Systems Modeled by COMSOL Multiphysics as Distributed Parameter Systems / G. Hulko, C. Belavy, P. Bucek et al. // Proc. of the COMSOL Multiphysics User's Conf. Milan, 2009.

3. Schijndel A. W. M. van. Integrated modeling of dynamic heat, air and moisture processes in buildings and systems using SimuLink and COMSOL // Building Simulation. 2009. Vol. 2, № 2. P. 143–155.

4. Schijndel A. W. M. van. Implementation of FemLab in S-Functions // Proc. of COMSOL Multiphysics User's Conf. Frankfurt, 2005. P. 324–329.

5. Schijndel A. W. M. van. Integrated building physics simulation with FEMLAB/SIMULINK/MATLAB // Proc. of Eighth Intern. IBPSA Conf. Eindhoven, 2003. P. 1177–1184.

6. Jansen R. M. Finite element model of shape and density adaptation in engineered bone : Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in the Graduate School of The Ohio State University // The Ohio State University. Columbus, Ohio, 2008.

A. T. Lelekov, M. Y. Sahnov, S. A. Galochkin, E. V. Velichko

MODELING OF THERMAL OBJECTS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS WITH THE USE OF COMSOL MULTIPHYSICS–MATLAB–SIMULINK SOFTWARE PACKAGES

Construction of dynamical models of thermal objects with distributed parameters heat is considered. The difficulties of integration of COMSOL Multiphysics model in Simulink are discussed.

Keywords: modeling, automatic control, heat transfer, distributed parameters objects, COMSOL multiphysics, MATLAB, Simulink.

© Лелеков А. Т., Сахнов М. Ю., Галочкин С. А., Величко Е. В., 2010

УДК 538.9; 53.05

С. Н. Варнаков, И. А. Яковлев, С. А. Лященко, С. Г. Овчинников, Г. В. Бондаренко

СРАВНЕНИЕ СИЛИЦИДОВ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВОЙ И ТВЕРДОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ*

Представлены результаты исследований силицидов железа, полученных методами молекулярно-лучевой и твердофазной эпитаксии, с помощью дифракции отраженных быстрых электронов, электронной оже-спектроскопии, спектроскопии характеристических потерь энергии электронов и спектральной эллипсометрии.

Ключевые слова: полупроводниковые и магнитные гетероструктуры, интерфейсы Fe/Si, магнитные силициды.

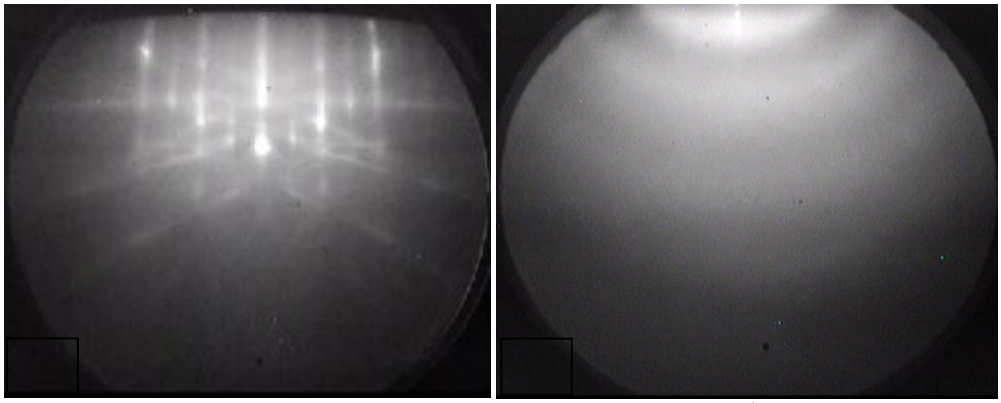
Изучение атомной диффузии и процессов образования при этом различных фаз в 3D-системах является основным в материаловедении. В наноразмерных мультислоях (2D-объектах), атомная диффузия на границах раздела играет важнейшую роль в определении их физических свойств. Так, в туннельных мультислоях отжиг до высоких температур может увеличить магнитосопротивление до определенной величины [1]. В случае гигантского магнитосопротивления (GMR) взаимодиффузия на интерфейсах может значительно влиять на GMR [2].

Магнитные мультислои и сэндвич-структуры с чередующимися полупроводниковыми и металлическими нанослоями интересны тем, что возможно широко варьировать их свойства путем контролируемого введения примеси, а также различными видами излучений и изменением температуры [3]. Что касается взаимодиффузии на интерфейсе в тонкопленочной системе Fe–Si, то тут картина достаточно сложна. Во множестве работ приведены результаты, которые показывают, что на формирование структуры влияет множество факторов: ориентация поверхности подложки, скорость поступления материала, температура образца и даже примеси. При взаимодействии атомов железа с поверхностью кремния образуется целый ряд стабильных и метастабильных соединений. Среди стабильных силицидов железа (Fe_3Si, ε-FeSi, γ-$FeSi_2$) наибольшее внимание привлекает дисилицид в-$FeSi_2$. Этот дисилицид железа, имеющий в форме наночастиц прямую запрещенную зону E_g = 0,85…0,87 эВ [4], привлек значительное внимание как перспективный материал для кремниевой технологии при изготовлении светоизлучателей и фотоприемников.

Целью данной работы является исследование процессов формирования стабильных фаз Fe–Si на границах раздела в наноструктурах Si(100)-подложка/Fe-пленка методами дифракции отраженных быстрых электронов (ДБЭ) (рис. 1), электронной оже-спектроскопии (ЭОС), спектроскопии характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) и спектральной эллипсометрии.

Методами молекулярно-лучевой (МЛЭ) и твердофазной эпитаксии (ТФЭ) в сверхвысоком вакууме на подложках атомарно чистого монокристаллического кремния Si(100), допированных бором и обладающих проводимостью *p*-типа (удельное сопротивление – 5…10 Ом·см) с реконструкцией поверхности (2 ×1) (рис. 1, *а*), на модернизированной установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Ангара» [5] были получены две серии образцов. Базовый вакуум в технологической камере составлял 10^{-7} Па. Скорость роста слоев соответствующих материалов и толщина контролировалась *in situ* быстродействующим лазерным эллипсометром ЛЭФ-751М и составляла для железа 0,16 нм/мин.

Методика проведения первой серии экспериментов заключалась в следующем: подложка кремния нагревалась до заданной температуры (20; 150; 300; 450 °С), после чего проводилось напыление железа в течение 10 минут (метод молекулярно-лучевой эпитаксии). Во второй



а *б*

Рис. 1. Картина ДБЭ от поверхности Si(100) с реконструкцией 2 × 1 в азимутальном направлении [110] (*а*); после напыления железа в течение 10 мин при температуре T_{Si} = 20 °С (*б*)

*Работа выполнена в рамках программы № 4.1 ОФН РАН «Спинтроника», программы Президиума РАН № 27.10, интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН № 22, федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.» (код проекта: НК-179П/ГК П1464).

серии экспериментов вначале проводилось напыление железа на очищенную подложку кремния в течение 10 минут при комнатной температуре, а затем структура отжигалась 1,5 часа при температуре (150; 300; 450 °С) (метод твердофазной эпитаксии). По данным рентгено-флуоресцентной спектроскопии, эффективная толщина пленок железа составила 1,6…1,8 нм (при плотности 7,874 г/см^3).

Все процессы формирования структур контролировались *in situ* методом ДБЭ. При напылении железа на подложку кремния (T_{Si} = 20 °С) дифракция от поверхности Si(100) с реконструкцией 2 × 1 полностью пропадает уже на первой минуте. И на десятой минуте напыления наблюдается дифракционная картина, типичная для порошковых монокристаллов или поликристаллических структур, в виде темных и светлых кольцеобразных объектов (рис. 1, *б*). Данное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что при напылении чистого железа на поверхность кремния Si(100) с реконструкцией 2 × 1 при температуре T_{Si} = 20 °С формируется поликристаллическая структура железа. Причем эффективная толщина железа, необходимая для того, чтобы картина дифракции отраженных быстрых электронов от реконструированной поверхности кремния Si(100) исчезла, составляет менее чем 0,16 нм. Согласно работе В. В. Балашева и др. [6], где были исследованы процессы синтеза и последующего отжига структуры Fe/SiO_2/Si(001), нами было установлено, что наблюдаемые кольца могут быть отнесены к поликристаллической пленке Fe и соответствуют отражениям (110), (112) и (220) объемно центрированной кубической (ОЦК) решетки Fe.

При молекулярно-лучевой эпитаксии дифракционные картины (рис. 2) модифицируются по-разному в зависимости от температуры подложки. При температуре подложки T_{Si} = 150 °С интенсивность рефлексов на дифракционной картине от Si(100) 2 × 1 снижается (рис. 2, слева). Также можно отметить, что на картине до напыления железа основные рефлексы от кремния и (2 × 1)-штрихи от сверхструктуры отличались по уровню интенсивности, а после напыления все рефлексы стали одинаковой интенсивности и размера.

При температуре подложки T_{Si} = 300 °С сразу после начала напыления пропадает сверхструктура 2 × 1, на третьей минуте появляются новые дифракционные пятна (рис. 2, в центре). Наблюдаемые пятна указывают на образование эпитаксиально ориентированных островков силицидов железа.

При температуре подложки T_{Si} = 450 °С, так же, как и при температуре подложки T_{Si} = 300 °С, после начала напыления пропадает сверхструктура 2 × 1 и появляются новые дифракционные пятна (рис. 2, справа), однако дифракционные картины кардинально различаются, что указывает на образование различных эпитаксиально ориентированных островков силицидов железа при температурах подложки 300 и 450 °С. В соответствии с теоретическими расчетами дифрактограмм от различных видов силицидов железа, сделанных авторами работы [6], дифракционные пятна на картинах ДБЭ при температуре отжига 300° (рис. 2, в центре) можно сопоставить моносилициду железа ε-FeSi с кубической решеткой (типа B20) и α-фазе дисилицида (α-$FeSi_2$), имеющей тетрагональную структуру. Дифракционные рефлексы на картине ДБЭ при 450 °С скорее всего принадлежат дисилициду α-$FeSi_2$ и моносилициду железа ε-FeSi.

При твердофазной эпитаксии изменение дифракционных картин наблюдается только при температурах отжига 300 и 450 °С. На кольцевых объектах, характерных для поликристаллической структуры, появляются одинаковые точечные рефлексы, резкость колец увеличивается (рис. 3). Данное обстоятельство позволяет говорить о том, что происходит формирование упорядоченной островковой структуры одних и тех же силицидов железа на поверхности кремния, при температуре отжига 300 и 450 °С. При температуре отжига 150 °С дифракционная картина не меняется, что свидетельствует о поликристалличности полученной структуры.

В соответствии с теоретическими расчетами дифрактограмм от различных видов силицидов железа, сделанных авторами работы [6], дифракционные пятна на картинах ДБЭ при температурах отжига 300 и 450 °С (рис. 3) соответствует фазе моносилицида железа FeSi с ОЦК-решеткой типа CsCl и моносилициду железа ε-FeSi с кубической решеткой (типа B20).

После получения структур Fe/Si(100) был проведен контроль элементного и химического состава с помощью методов электронной оже-спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь энергии электронов. Рассмотрим ЭОС-спектры (рис. 4) от структур, полученных методами молекулярно-лучевой (рис. 4, *а*) и твердофазной эпитаксии (рис. 4, *б*), при различных температурах. Оже-спектры записывались при энергии первичных электронов 3 кэВ в интервале энергий от 30 эВ до 800 эВ.

На данных оже-спектрах можно выделить несколько пиков с энергиями 47, 92, 274, 510, 599, 651, 704 эВ, которые можно идентифицировать как низкоэнергетический пик железа (47 эВ), пик кремния (92 эВ), пик углерода

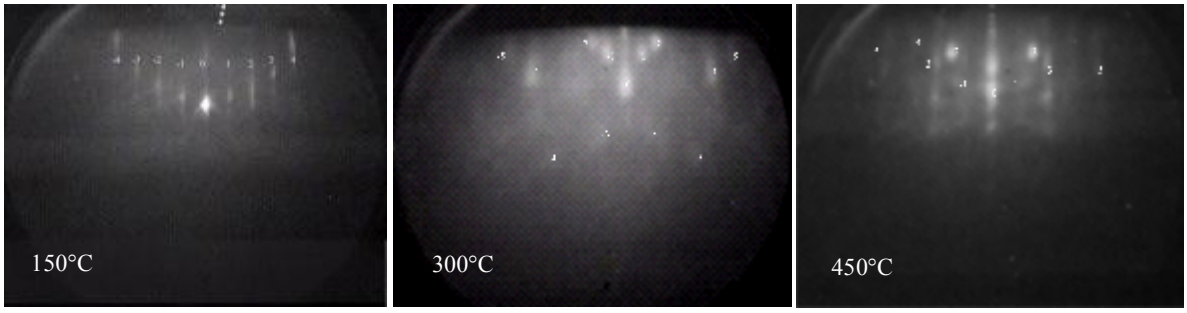


Рис. 2. Дифракционные картины от поверхностей Si(100) 2 × 1 после напыления слоя Fe, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии при различных температурах образца

(272 эВ), пик кислорода (503 эВ), 599 эВ – первый высокоэнергетический пик Fe (598 эВ), 651 эВ – второй высокоэнергетический пик Fe (651 эВ), 704 эВ – третий высокоэнергетический пик Fe (703 эВ). В скобках указаны значения энергии данных пиков, которые были взяты из атласа спектров чистых элементов [7]. Сравнение спектров (см. рис. 4) показывает, что при увеличении температуры интенсивность оже-пика кремния возрастает, в то время как интенсивность низкоэнергетического (47эВ) и высокоэнергетического (703 эВ) пиков железа уменьшается. Принимая во внимание то, что глубина поверхностного анализа метода ЭОС составляет около 2,5 нм, можно говорить о росте концентрации атомов кремния в исследуемом объеме, за счет увеличения взаимодиффузии атомов железа и кремния.

Методом коэффициентов элементной чувствительности (URL: http://www.niivt.ru/education/online_library/aes_spec/) были рассчитаны концентрации всех наблюдаемых элементов. Анализ данных о содержании железа, кремния и углерода в исследуемом объеме, полученных в результате обработки спектров ЭОС (рис. 5), показывает, что при увеличении температуры процесса с 20 до

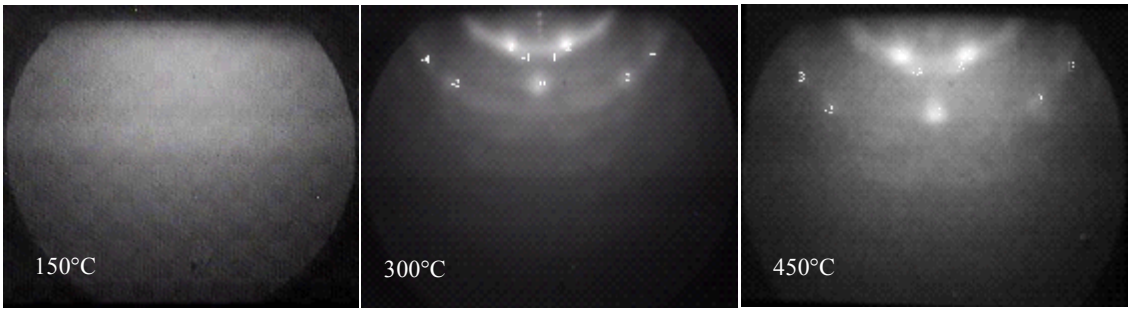
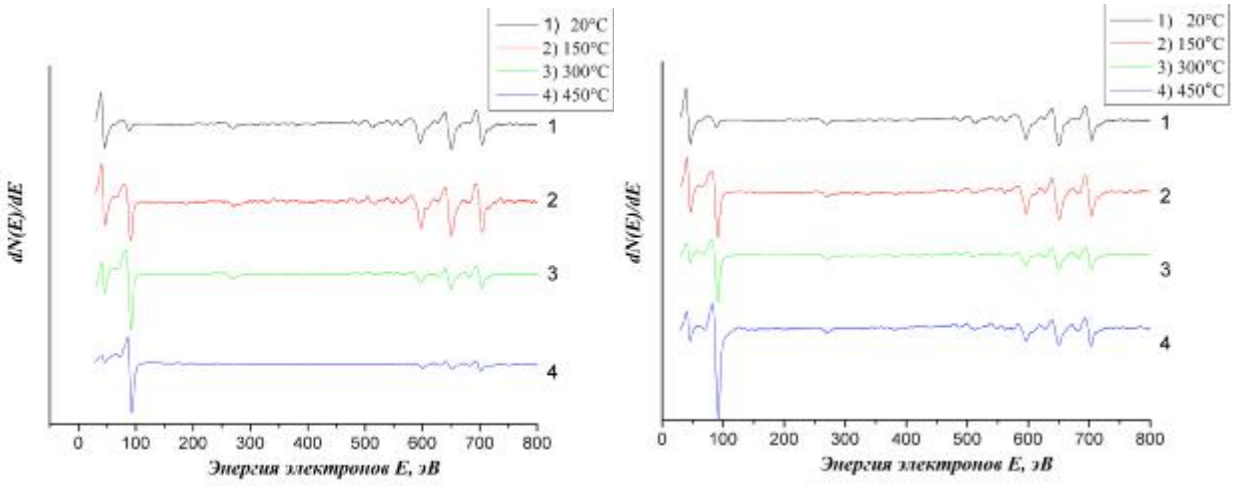
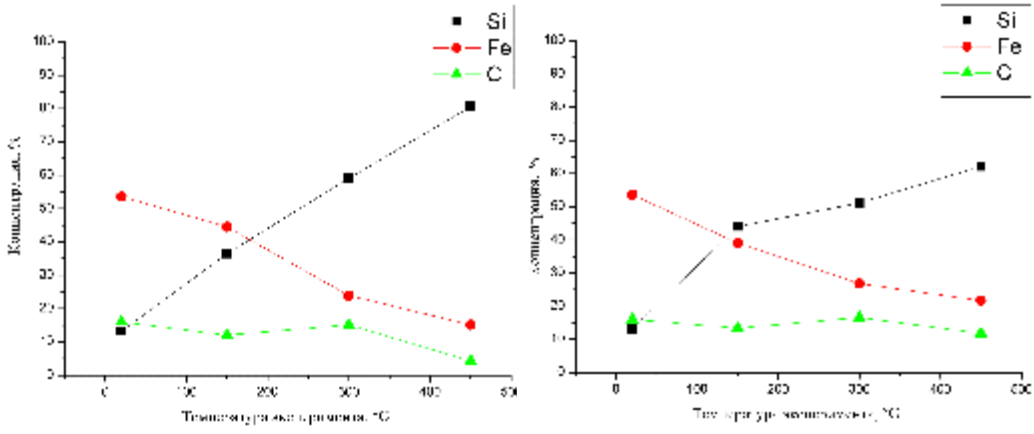


Рис. 3. Дифракционные картины от поверхностей Si(100) 2 × 1 после напыления слоя Fe, полученных методом твердофазной эпитаксии при различных температурах отжига



а *б*

Рис. 4. Спектры ЭОС от структур железа при молекулярно-лучевой эпитаксии (*а*); твердофазной эпитаксии (*б*)



а *б*

Рис. 5. Рассчитанные из ЭОС-спектров значения концентраций элементов при молекулярно-лучевой эпитаксии (*а*); твердофазной эпитаксии (*б*)

450 °С возрастает концентрация кремния с 13,2 до 80,6 % для молекулярно-лучевой эпитаксии и с 13,2 до 62,1 % для твердофазной эпитаксии, в то время как концентрация железа падает с 53,6 до 15,1 % для молекулярно-лучевой эпитаксии и с 53,6 до 21,7 % для твердофазной эпитаксии.

Данное обстоятельство позволяет говорить о том, что в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии большее количество железа вступает в химическую реакцию с кремнием, образуя при этом силициды железа. Анализ формы и интенсивностей пиков Fe (47 эВ) и Si (92 эВ), в соответствии с исследованиями, приведенными в работе [8], дает основания для следующих предположений:

– при напылении железа на поверхность Si(100) при комнатной температуре подложки образуется незначительный раствор железа в кремнии;

– во время реактивной и твердофазной эпитаксии при температуре 150 °С формируется идентичная структура, по виду оже-спектров похожая на спектры Fe_3Si [8];

– при температуре 300 °С оже-спектры для процессов реактивной и твердофазной эпитаксии отличаются. Для процесса реактивной эпитаксии оже-спектры по виду напоминают спектры от $FeSi_2$, в то время как для процесса твердофазной эпитаксии – FeSi [8];

– при температуре 300 °С оже-спектры для процессов реактивной и твердофазной эпитаксии опять идентичны и напоминают спектры от $FeSi_2$ [8].

Спектры характеристических потерь энергии электронов регистрировались в дифференциальном режиме dN/dE (N – число электронов с энергией E) при энергии первичных электронов 1, 2 кэВ. Для количественного анализа экспериментальные спектры были нормированы на интенсивность упругого пика, продифференцированы и сглажены. Рассмотрим зависимости $-d^2N/dE^2$ от величины энергетических потерь электронов $E_0 - E$ (E_0 – энергия первичных электронов) (рис. 6) для структур, полученных методами молекулярно-лучевой (рис. 6, *а*) и твердофазной эпитаксии (рис. 6, *б*), при различных температурах синтеза. Энергетическое положение пиков потерь энергии электронов определялось по максимумам кривой $-d^2N/dE^2$.

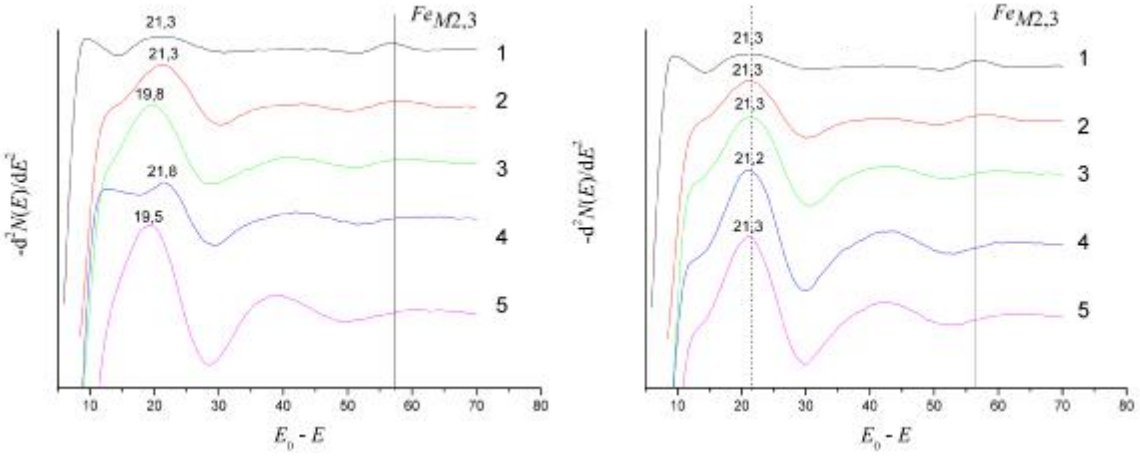
Анализ полученных данных дает возможность заключить, что молекулярно-лучевая эпитаксия приводит к более сильному перемешиванию железа и кремния, так как вид и энергия объемного плазмона претерпевает значительные изменения от температуры. В результате твердофазной эпитаксии энергия объемного плазмона практически не меняется (см. рис. 6, *б*) и составляет 21,3 эВ. Данное обстоятельство позволяет предположить, что процессы взаимодиффузии при твердофазном синтезе происходят гораздо медленнее, чем при молекулярно-лучевой эпитаксии.

После извлечения образцов на воздух были произведены измерения дисперсии эллипсометрических параметров Ψ и Δ на быстродействующем спектральном эллипсометре «Спектроскан». Для всех образцов показан диапазон по длине волны падающего луча 350…700 нм, угол падения луча равен 70 угловым градусам от нормали. Методология проведения спектральных измерений приведена в работе [9].

Далее рассмотрим эллипсометрические данные (рис. 7) по Ψ и Δ для образцов, полученных методом молекулярно-лучевой (рис. 7, *а*) и твердофазной эпитаксии (рис. 7, *б*).

Анализ эллипсометрических параметров позволяет говорить о значительных изменениях оптических свойств исследуемых поверхностей в зависимости от температурных условий синтеза. Амплитудный параметр Ψ увеличивается на большей части спектра при температуре выше 20 °С, а фазовый параметр Δ ведет себя кардинально отличающимся образом в зависимости от температуры подложки при МЛЭ и растет пропорционально температуре синтеза при ТФЭ. Наиболее отличается образец, полученный при температуре 450 °С. Подобное поведение дисперсий эллипсометрических параметров может свидетельствовать о значительных изменениях морфологии поверхности (изменении дисперсии параметра Δ) [10].

Для каждого образца было проведено моделирование с использованием послойного компонентно-градиентного метода [11], реализованного в программе «Градиент SE». Число субслоёв структуры для всех образцов $N = 100$, оптимизация осуществлялась симплекс-методом Нелдера–Мида [12] с половинным делением диапазона каждого параметра подгонки. Использованная функция минимизации [10] имеет вид



а *б*

Рис. 6. Спектры ХПЭЭ от чистого железа (1) и структур, полученных методами молекулярно-лучевой (*а*) и твердофазной эпитаксии (*б*) при 20 °С (2); 150 °С (3);– 300 °С (4); 450 °С (5)

$$\sigma = \frac{1}{M}\left\{\sum_{j=1}^{M}\left|\rho_{ex}(h\nu_j) - \rho_{cal}(h\nu_j)\right|^2\right\}^{\frac{1}{2}}, \qquad (1)$$

где $M = 20$ – количество равноудаленных точек выборки по спектру при оптимизации; $\rho \equiv \mathrm{tg}\psi \cdot e^{i\Delta} = \frac{R_p}{R_s}$ – стандартное уравнение эллипсометрии [13] с коэффициентами Френеля в правой части.

Эффективная диэлектрическая проницаемость многокомпонентной среды рассчитывалась по соотношению Лихтенекера [14] для механической смеси

$$\varepsilon_{eff} = \prod_{i=1}^{S}\varepsilon_i^{\delta_i}, \qquad (2)$$

где S – количество компонентов в среде; ε_i – диэлектрическая проницаемость i-го компонента; δ_i – объемная доля i-го компонента.

Для наилучшего соответствия модели естественным нанообъектам с нормальными законами распределения в качестве функции концентрации [11] компонентов q_i от высоты z над подложкой была выбрана зависимость вида $q_i(z) = \exp(A_i \cdot z + B_i)$, где A_i, B_i – искомые параметры для каждого компонента в структуре модели. Кроме того, такого вида функция обладает некоторой универсальностью по отношению к подмене её более простыми для расчета функциями (линейными, полиномиальными и т. д.).

Изначально по каждому образцу производилась оптимизация модели с совокупностью всех материалов, которые имели отношение к элементам в предполагаемом составе структуры (Si, Fe и O_2) и для которых известны дисперсии комплексной диэлектрической проницаемости в исследуемом спектральном диапазоне, а именно с участием следующих веществ: Void ($\varepsilon = 1$), Fe, Si, $FeSi_2$, SiO_2, FeO и Fe_2O_3. Далее все материалы, интегральная толщина которых при оптимизации оказалась менее 0,001 нм (величины погрешности для поиска интегральной толщины материала при заданных параметрах оптимизации), устранялись из модели, и производилась оптимизация параметров оставшихся компонентов структуры с более высокой точностью (на два порядка по размеру итогового симплекса).

Все параметры, найденные в процессе оптимизации моделей структур, представлены в таблице. В частности, величина функции минимизации σ находилась по урав-

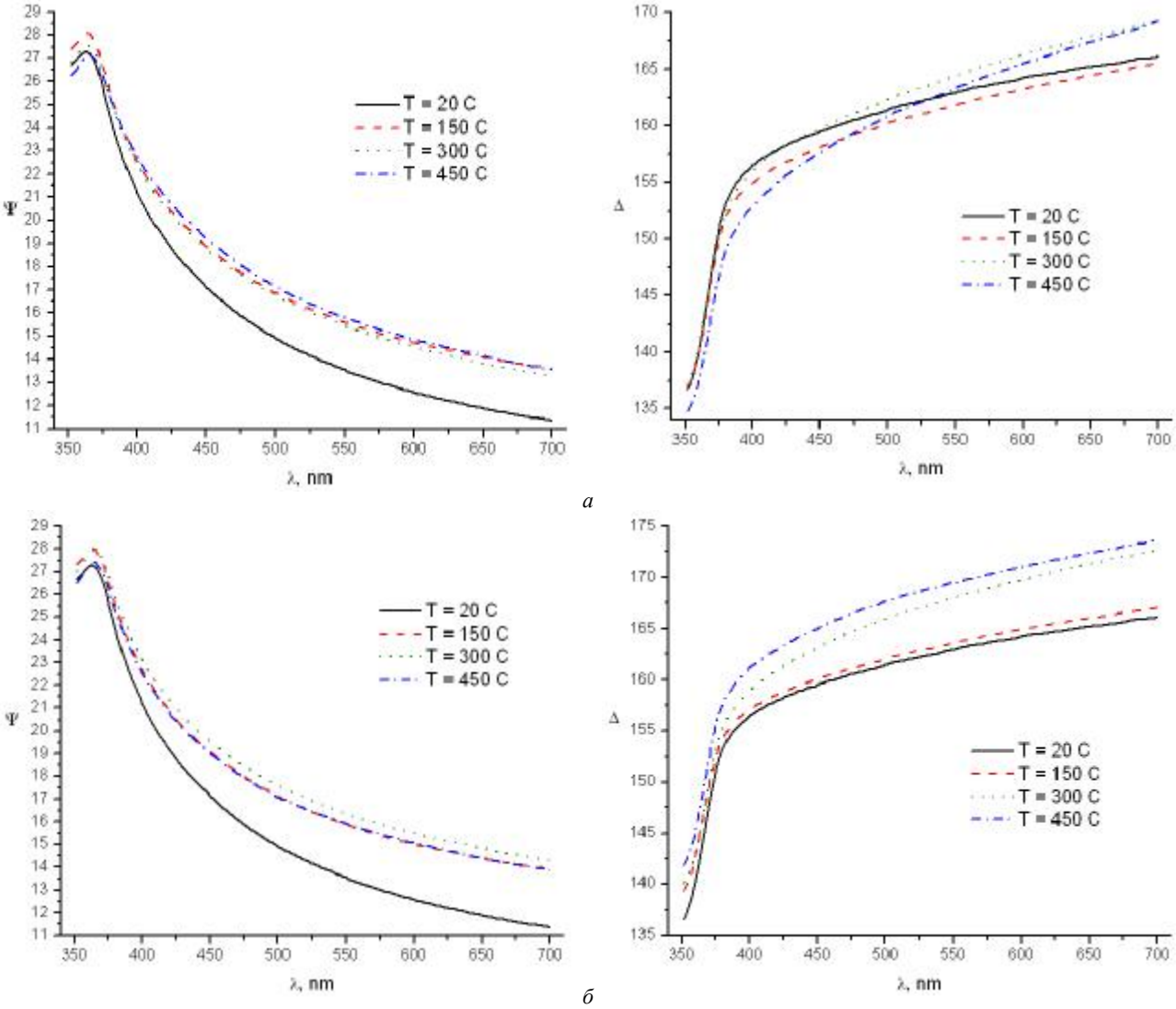


Рис. 7. Дисперсии параметров Ψ и Δ для образцов, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии (*а*); методом твердофазной эпитаксии (*б*)

нению (1), $H_{ср}$ – средняя высота структуры над подложкой, D_{Fe} – интегральная эффективная толщина железа в структуре из расчета на плотность объемного образца металла, с плотностью 7,874 г/см^3. Параметр $Q_{зерен}$ – объемная концентрация материала на средней линии зерен. Если рассматривать предполагаемые зерна как геометрические тела, с окружностью в горизонтальном сечении, то можно записать отношение между их радиусом и концентрацией распределения на поверхности подложки: $Q_{зерен} = r^2 \pi n$, где r, n – радиус и концентрация зерна соответственно.

Символом C обозначены объемные концентрации каждого компонента по всей толщине структуры. При этом под C_{Void} нужно понимать фактическую пористость оптимизированной модели структуры.

Анализ найденных значений параметров в процессе оптимизации моделей, для исследуемых образцов, полученных при различных технологических условиях, позволяет говорить о том, что при синтезе методом МЛЭ растут островковые структуры с относительно большими высотами (до 9,24 нм при 450 °С) и малыми объемными концентрациями материала (0,27 при 300 °С), в то время как для метода ТФЭ наблюдается уменьшение средней высоты островков с более однородным заполнением при увеличении температуры. Также можно отметить, что расчетная толщина пленок составляет 2,27 ± 0,10 нм, что указывает на хорошую стабильность используемой технологии.

Таким образом, методами дифракции отраженных быстрых электронов, электронной оже-спектроскопии, спектроскопии характеристических потерь энергии электронов и спектральной эллипсометрии были исследованы процессы начального формирования стабильных фаз Fe–Si на границах раздела в наноструктурах Si(100)-подложка/Fe-пленка.

Установлено, что при выбранных режимах роста реализуется механизм роста Вольмера–Вебера с характерными высотами островков 7…9 нм для метода МЛЭ и 5…7 нм для метода ТФЭ. По данным СХПЭЭ сделано предположение о том, что процессы взаимодиффузии при твердофазном синтезе происходят гораздо медленнее, чем при молекулярно-лучевой эпитаксии. По данным ДБЭ и ЭОС сделаны выводы о видах силицидов, образующихся при молекулярно-лучевой и твердофазной эпитаксии железа на поверхности кремния Si(100).

Библиографические ссылки

1. Noise in MgO barrier magnetic tunnel junctions with CoFeB electrodes: infuence of annealing temperature / J. Scola, H. Polovy, C. Fermon el al. // Appl. Phys. Lett. 2007. Vol. 90. P. 252501.

2. Effect of diffusion and alloying on the magnetic and transport properties of Fe/V/Fe trilayers / D. Iuєan, M. Alouani, O. Bengone et al // Phys. Rev. B. 2007. Vol. 75. P. 024412.

3. Magnetic properties and nonmagnetic phases formation in (Fe/Si)n films / S. N. Varnakov, S. V. Komogortsev, S. G. Ovchinnikov et al. // J. Appl. Phys. 2008. Vol. 104. P. 094703.

4. Формирование, кристаллическая структура и свойства кремния со встроенными нанокристаллитами дисилицида железа на подложках Si (100) / Н. Г. Галкин, Д. Л. Горошко, В. О. Полярный и др. // ФТП. 2007. Т. 41. С. 1085.

5. Автоматизация технологического оборудования для получения многослойных структур в сверхвысоком вакууме / С. Н. Варнаков, А. А. Лепешев, С. Г. Овчинников и др. // ПТЭ. 2004. В. 6. С. 125.

6. Влияние дефектов тонкого слоя оксида кремния на процессы силицидообразования в системе Fe/SiO_2/Si(001) / В. В. Балашев, В. В. Коробцов, Т. А. Писаренко и др. // ФТТ. 2009. Т. 51. В. 3. С. 565.

7. Handbook of auger electron spectroscopy / L. E. Davis, M. S. McDonald et al. 2nd ed. // Minnesota. Perkin-Elmer Corp., 1976.

8. Egert B., Pazner G. Bonding state of silicon segregated to a-iron surfaces and on iron silicide surfaces studied by electron spectroscopy // Phys. Rev. B. 1984. Vol. 29. № 4. P. 2091.

9. Косырев Н. Н., Варнаков С. Н., Лященко С. А. Метод спектральной эллипсометрии для исследования оптических свойств естественного слоя SiO_2 на поверхности : метод. указания к лаб. работам по курсу «Физика твердого тела» / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010.

10. Fujiwara H. Spectroscopic Ellipsometry. Principles and Application. Wiley, 2007.

11. Горшков М. М. Эллипсометрия. М. : Сов. радио, 1974.

12. Таха Х. А. Глава 3. Симплекс-метод // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. 7-е изд. М. : Вильямс, 2007. С. 95–141.

13. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет : пер. с англ. М. : Мир, 1981.

14. Bruggeman D. A. G. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen // Annalen der Physik. 1935. Vol. 24 (416). P. 636.

Численные значения параметров исследуемых образцов, полученных при различных технологических условиях

Тип	T, °С	σ	$H_{ср}$, нм	Материалы	$C_{Fe(elem)}$, %	C_{FeSi2}, %	$C_{\Sigma Fe}$, %	C_{Void}, %	D_{Fe}, нм	$Q_{зерен}$
	20	0,000 77	8,54	Void, Fe, $FeSi_2$	9,3	13,9	16,3	76,8	1,39	0,14
МЛЭ	150	0,002 81	9,01	Void, Fe, $FeSi_2$	17,2	17,2	25,9	65,6	2,33	0,23
	300	0,001 60	7,14	Void, Fe, $FeSi_2$	17,4	24,6	29,7	58,0	2,12	0,27
	450	0,001 06	9,24	Void, Fe, $FeSi_2$, SiO_2	14,3	21,6	25,1	48,1	2,32	0,22
ТФЭ	150	0,003 39	7,21	Void, Fe, $FeSi_2$, Si	21,1	23,4	32,9	53,7	2,37	0,31
	300	0,002 38	5,93	Void, Fe, $FeSi_2$, Si	23,1	32,7	39,5	43,0	2,34	0,39
	450	0,002 71	5,12	Void, Fe, $FeSi_2$, Si	26,6	32,6	43,0	41,0	2,20	0,46

S. N. Varnakov, I. A. Yakovlev, S. A. Lyaschenko, S. G. Ovchinnikov, G. V. Bondarenko

COMPARISON OF IRON SILICIDE SYNTHESIZED BY MOLECULAR BEAM AND SOLID-PHASE EPITAXY

The initial stages of Fe-Si silicides formation, obtained by methods of reactive and solid-phase epitaxy at different temperatures of substrate Si, high energy electron diffraction, Auger-electron, electron-energy-loss spectroscopic and spectroscopic ellipsometry are presented in the article. The influence of process parameters during deposition on the formation of silicides was investigated.

Keywords: semiconductor and magnetic geterostructures, interfaces Fe/Si, magnetic silicide.

© Варнаков С. Н., Яковлев И. А., Лященко С. А., Овчинников С. Г., Бондаренко Г. В., 2010

УДК 681.323

Е. А. Вейсов, О. В. Непомнящий, Ю. В. Краснобаев, Д. В. Капулин

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ МИКРОПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИМИ ИМПУЛЬСНЫМИ СТАБИЛИЗАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПИТАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ*

Рассмотрено состояние проблем в области цифрового, программного управления энергопреобразущей аппаратурой. Изложены преимущества перехода на программное, микропроцессорное управление источниками питания для перспективных космических аппаратов. В разрезе решения задач автоматического управления энергопреобразующей аппаратурой предложено решение проблемы минимизации конечной длительности переходных процессов при ступенчатом изменении тока нагрузки, методом программного управления. Представлены разработанные алгоритмы функционирования микропроцессорного модуля для данной реализации. Рассмотрена структура SPISE-модели модуля управления импульсным стабилизатором напряжения (ИСН). На основании исследования реализуемой модели процессов показана работоспособность импульсного стабилизатора напряжения с разрабатываемым микропроцессорным устройством управления.

Ключевые слова: электропитание, импульсный стабилизатор, микропроцессор, космический аппарат.

За последние два десятилетия мощность систем электропитания космических аппаратов изменилась с 1…2 до 15…25 кВт [1]. Развитие спутниковых систем предполагает дальнейший рост и их энерговооруженности, и сроков активного существования, что в значительной мере может быть обеспечено за счет совершенствования систем электропитания. Улучшение характеристик систем электропитания можно достигнуть повышением удельных энергетических характеристик основных элементов, увеличением КПД конверторов, входящих в состав энергопреобразующей аппаратуры, применением новых топологий и законов управления конверторами, которые позволяют наиболее полно использовать энергию солнечных и аккумуляторных батарей. Кроме того, на современном этапе законы управления конверторами должны обеспечивать возможность изменения топологии систем электропитания без доработки самих конверторов и обеспечивать работоспособность первых при изменениях характеристик вследствие деградации при эксплуатации и частичных отказах.

Достичь значимых результатов в рамках постоянно повышающихся требований как к реконфигурируемости, так и к живучести аппаратуры возможно только за счет применения современных высокотехнологичных и высокопроизводительных, репрограммируемых систем управления, функционирующих на основе процессорного ядра [2].

Несмотря на то что польза от такой технологии очевидна, реальное внедрение ее на практике остается относительно дорогой и сложной задачей, решение которой стандартными микропроцессорными средствами невозможно. Однако появление новых классов микропроцессорных средств со встроенной способностью цифровой обработки сигналов обеспечит необходимую скорость обработки. При подключении в такие системы специально разработанных периферийных модулей имеется воз-

* Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (код проекта 02.740.11.0508).

можность получить максимальную эффективность и гибкость в данном классе, а также использовать весь спектр возможностей нового подхода.

Рассмотрим текущее состояние задачи микропроцессорного управления импульсным источником. В системе импульсного питания контур управления, который реализует широтно-импульсное преобразование, как правило, выполняется аналоговым. На сегодняшний день цифровое программное управление применяется для реализации простейших функций включения/выключения, плавного пуска, установления последовательности запуска, мониторинга напряжения, обнаружения неисправностей и их устранения. Вместе с тем некоторые импульсные источники питания используют микроконтроллер для отслеживания работы контура управления путем обеспечения линейного регулирования существующего специального контроллера подачи энергии. Более сложные импортные микроконтроллеры, спроектированные специально для рынка источников питания, оснащаются чипами со смешанными сигналами для уменьшения числа компонентов и более активного участия в управляющем контуре импульсного источника питания [3].

Однако во всех этих случаях сам контур управления остается аналоговой функцией, поскольку микроконтроллеры не обладают достаточной обрабатывающей мощностью, чтобы эффективно управлять контуром с помощью цифровых технологий.

Более того, при использовании источников питания для аппаратуры стратегического назначения, например спутниковых космических систем, встает проблема допуска импортных комплектующих к реализации проекта.

Выделим основные преимущества реализации системы управления на основе высокоскоростного процессорного ядра. Здесь появляется способность достичь таких показателей отклика, каких невозможно добиться, используя аналоговый контур управления. Также, применяя «предварительно загруженный» контурный фильтр и поддерживая нелинейные отклики контура, можно получить более быструю синхронизацию и отклик.

Кроме того, при необходимости могут быть добавлены такие функции, как автоматическая калибровка и коррекция системы в зависимости от температуры, входного напряжения и загрузки, синхронизация процесса трансформации электричества с внешними событиями и возможность «горячей» замены компонентов системы.

Интегрированная способность к обработке, необходимая для получения полностью цифровой системы, позволяет аккумулировать и другие функции микропроцессорного управления, в том числе: мониторинг напряжения и отключение устройства при падении/повышении напряжения, дистанционный сбор данных, плавный пуск, переключение между источниками питания, устранение неисправностей, управление системой охлаждения и обнаружение неполадок, а также возможность последовательной связи – и все это без необходимости установки дополнительного процессора.

Также появляется возможность быстрой программной перенастройки системы, например, при изменении требований к емкостной или индуктивной нагрузке, для требуемого отклика источника питания. При программном подходе к управлению появляется возможность такой настройки программного обеспечения, которая позволит поддерживать различные топологии источников с помощью одной аппаратной платформы, а возможно, и менять топологию системы прямо в процессе эксплуатации, основываясь на изменении входного напряжения, например при снижении напряжения аккумулятора. Немаловажным является возможность «полевой» поддержки систем с помощью обновления встроенного программного обеспечения. Снижение количества компонентов в цифровой системе управления приведет к отсутствию допусков на компоненты в контурном фильтре, а следовательно, и к значительному упрощению проверки после завершения производства, повышению технологичности производства устройств с цифровым управлением, уменьшению массы и габаритных характеристик, что является одним из приоритетных направлений при создании бортовых систем космических аппаратов. Переход на цифровое управление позволит быстро работать с множеством контуров, что ведет к расширению технологических возможностей источников питания. Например, появляется возможность независимого управления и распределения нагрузки между несколькими шинами питания в одном устройстве; компенсации коэффициента мощности; адаптивного, предиктивного управления (управления с предсказанием) частотой широтно-импульсной модуляции (ШИМ), позволяющего уменьшить задержки в контуре управления и задержки в передаче информации; оптимизации переходного режима и др. [4].

Рассмотрим более подробно означенную задачу предиктивного управления частотой широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Решение выполняется с целью достижения минимальной конечной длительности переходных процессов при отклонении параметров в силовой цепи от номинальных.

В [1] предложен вариант реализации данной задачи в ИСН понижающего типа с ШИМ на основании закона управления, при котором используются только дискретные значения регулируемой составляющей напряжения на емкости конденсатора выходного фильтра ИСН (рис.1).

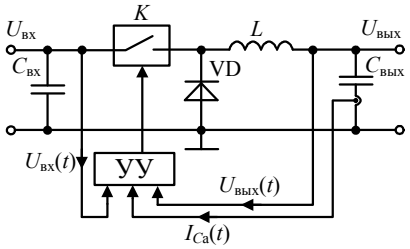


Рис. 1. Импульсный стабилизатор напряжения (упрощенно)

Данный режим работы иллюстрируют временные диаграммы (рис. 2). Здесь $I_н$, I_C и I_L – соответственно токи нагрузки, конденсатора и дросселя выходного фильтра ИСН: $U_{Cр}$ – регулируемая составляющая напряжения на емкости конденсаторам выходного фильтра. На временных диаграммах токов регулируемые и стационарные составляющие обозначены дополнительными индексами р и ст.

Согласно этому варианту реализации, приращение входного сигнала широтно-импульсного модулятора определяется как

$$\Delta U_{\text{у}}(mT) = -\frac{d_0}{U_{\text{вх}} K_{\text{м}}}[2\Delta U_{C\text{р}}(mT) - \Delta U_{C\text{р}}((m-1)T)], \quad (1)$$

где $U_{\text{вх}}$ – напряжение на входе ИСН; $K_{\text{м}} = \Delta t_{\text{и.у}} / \Delta U_{\text{у}}(mT) = T/U_m$, $\Delta t_{\text{и.у}}$ – приращение длительности импульса управления силовым ключом ИСН относительно моментов времени mT управляемого переключения; $\Delta U_{\text{у}}(mT)$ – приращение входного сигнала широтно-импульсного модулятора; U_m – амплитуда пилообразного напряжения ШИМ.

Текущие значения динамической составляющей входного сигнала широтно-импульсного модулятора определяются формулой

$$U_{\text{у}}(mT) = U_{\text{у}}((m-1)T) + \Delta U_{\text{у}}(mT). \quad (2)$$

Вычислить приращение регулируемой составляющей напряжения $\Delta U_{C\text{р}}$ на емкости конденсатора можно путем интегрирования на интервале времени, равном периоду *T*, приращения регулируемой составляющей $\Delta I_{C\text{р}}$ тока конденсатора:

$$\Delta U_{C\text{р}}(mT) = \frac{1}{C}\int_{(m-1)T}^{mT} \Delta I_{C\text{р}}((m-1)T)dt. \quad (3)$$

Поскольку приращение регулируемой составляющей тока конденсатора на интервале между регулируемыми моментами времени mT переключения силового ключа ИСН остается неизменным (см. рис. 2), то для его определения достаточно вычислить первую разность тока конденсатора:

$$\Delta I_{C\text{р}}(mT) = I_{C\text{р}}(mT) - I_{C\text{р}}((m-1)T)$$

или

$$\Delta I_{C\text{р}}(mT) = I_{C\text{р}}(mT+\tau) - I_{C\text{р}}((m-1)T+\tau), \quad (4)$$

где τ – в общем случае произвольно выбранный фиксированный интервал времени.

Для того чтобы располагать временем для проведения вычислительных процедур, необходимых для определения входного сигнала широтно-импульсного модулятора к моменту времени mT, целесообразно τ выбирать так, чтобы моменты времени $(m-1)T+\tau$ максимально удалить от моментов времени mT регулируемого переключения силового ключа ИСН. Для ИСН понижающего типа и при модуляции заднего фронта импульса моменты времени $(m-1)T+\tau$ следует выбрать непосредственно после момента включения силового ключа ИСН. Поскольку в ИСН понижающего типа статический коэффициент заполнения $K_{\text{з.ст}} > 0,25$, то на процедуры выборки дискретных значений входных сигналов и проведение вычислений остается время, близкое к четверти периода преобразования. Использование выражения (4) позволяет определить $\Delta I_{C\text{р}}((m-1)T)$ в момент времени $(m-1)T+\tau$.

Поскольку приращения регулируемой составляющей напряжения на интервале между регулируемыми моментами переключения силового ключа ИСН постоянно, то (3) можно записать в виде

$$\Delta U_{C\text{р}}(mT) = \frac{T}{C}\Delta I_{C\text{р}}((m-1)T). \quad (5)$$

Таким образом, замена процедуры интегрирования согласно (3) определением площади прямоугольника согласно (5) позволяет определить приращение регулируемой составляющей напряжения на емкости конденсатора $\Delta U_{C\text{р}}(mT)$ в окрестности момента времени $(m-1)T+\tau$, т. е. раньше момента времени mT, в окрестности которого формируется регулируемый фронт импульса управления силовым ключом. Соответственно, и вычисление динамической составляющей входного сигнала широтно-импульсного модулятора в соответствии с (1) и (2) также может быть произведено в окрестности моментов времени $(m-1)T+\tau$.

Приведем здесь структурную схему устройства управления, реализующего дискретный закон формирования входного сигнала ШИМ (рис. 3).

Аналого-цифровые преобразователи АЦП1–АЦП3 обеспечивают выборку входных сигналов в моменты времени $mT + t_{\text{см}}$, где $t_{\text{см}}$ – интервал смещения, и оцифровку выбранных значений сигналов на последующих интерва-

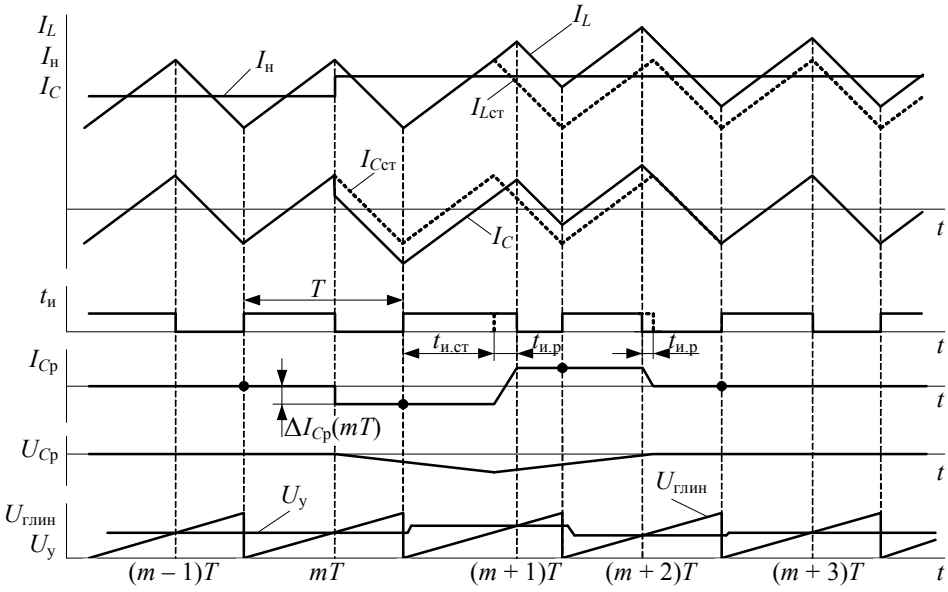


Рис. 2. Временные диаграммы работы ИСН с дискретным управлением

лах времени длительностью в период преобразования T. Измеритель первой разности ИПР обеспечивает выполнение (4), а вычислители В1, В2 и В3 производят вычисления согласно (5), (1) и (2).

Для обеспечения астатизма выходного напряжения ИСН используется способ с вариантом реализации закона управления по мгновенным значениям координат состояния, согласно которому входной сигнала $U_{\text{у}}$ ШИМ формируется как сумма динамического сигнала управления $U_{\text{у.д}}$ и сигнала $U_{\text{у.ст}}$, задающего статический уровень выходного напряжения [1]. Сигнал $U_{\text{у.ст}}$ вычисляется как интеграл сигнала рассогласования по напряжению, взятый с некоторым коэффициентом $K_{\text{р}}$, причем величина этого коэффициента выбирается достаточно малой, что бы на интервале переходного процесса приращение сигнала $U_{\text{у.ст}}$ было много меньше приращений динамического сигнала управления $U_{\text{у.д}}$. Это исключает влияние сигнала $U_{\text{у.ст}}$ на динамические характеристики ИСН. В рассматриваемом ИСН с дискретным способом формирования входного сигнала модулятора сигнал $U_{\text{у.ст}}$ вычисляется посредством вычислителя В4 согласно выражению

$$U_{\text{у.ст}} = K_{\text{р}} \sum_{k=1}^{m} \varepsilon(kT), \qquad (6)$$

где $\varepsilon(kT) = U_{\text{вых}}(mT) - U_0$ – дискретные значения сигнала рассогласования по напряжению; U_0 – задающее напряжение.

Примерный вид входного сигнала $U_{\text{у}}$ и пилообразного опорного напряжения $U_{\text{глин}}$ широтно-импульсного модулятора приведен на рис. 2.

С целью адекватного представления алгоритма формирования управляющего сигнала с точки зрения и логики программного управления, рассмотрим основные состояния вычислительного процесса.

С точки зрения вычислительной логики, началом функционирования микропроцессорной системы в режиме формирования управляющего импульса следует считать активный фронт сигнала готовности. Однако с целью завершения переходных процессов в цифровых и аналоговых модулях системы, а также выхода электронных компонентов источника на рабочий режим вводится программная задержка стартового замера, в процессе которой происходит инициализация начальных значений переменных, настройка подсистем управления и определение системных констант. Здесь и далее интервальные линии реализуются на аппаратно-программном уровне при помощи программируемых, системных таймеров-счетчиков.

Результатом функционирования рассматриваемого программного модуля будет формирование управляющего импульса с предварительным расчетом его корректирующих значений – $\Delta U_{C\text{р}(j)}$ и $\Delta U_{\text{у}(j)}$. Изначально эти переменные должны быть «сброшены» – приравнены к заданному коэффициенту пересчета.

На первоначальном этапе замера, обозначим его как этап (j – 1), происходит оцифровка входных сигналов с АЦП (см. рис. 3, 4).

Посредством драйверов АЦП1–АЦП3 происходит снятие и представление в числовом формате данных по току конденсатора $I_{C(j-1)}$ выходного фильтра, входного напряжения $U_{\text{вх}(j-1)}$ и выходного напряжения $U_{\text{вых}(j-1)}$. Идентичные АЦП2 и АЦП3 функционируют параллельно и синхронно. Тем не менее возможно некоторое рассогласование завершения этапов преобразования. Здесь интервалы оцифровки могут иметь предельно малую разницу, порядка 10^{-9} с, что не является принципиальным недостатком во временных интервалах расчета и компенсируется приемом данных микропроцессорным ядром от АЦП в режиме прямого доступа к памяти. АЦП2 и АЦП3 выполняют преобразование в течение малого интервала смещения $\tau < 0{,}25\ T$, т. е. в течение первой четверти периода.

В разрабатываемой системе драйвера АЦП2 и АЦП3 запускаются по окончании преобразования АЦП1, поэтому имеется возможность использования мультиплексированных каналов АЦП1 для АЦП2 или АЦП3. Таким образом, суммарное время преобразования и предварительной обработки данных по всем каналам не должно превышать четверти периода. Оставшееся время можно успешно использовать для реализации функций управления ИСН, не связанных со стабилизацией.

Полученные на первоначальном этапе значения переменных $I_{C(j-1)}$, $U_{\text{вх}(j-1)}$ и $U_{\text{вых}(j-1)}$ сохраняются в памяти системы и впоследствии будут использованы для расчета величин приращений. Следует отметить, что рассмотренный этап (j – 1) не является расчетным и служит только для формирования стартовых значений.

Непосредственным началом функционирования системы следует считать этап j. Замер и численное представление величин тока и напряжений $I_{C(j)}$, $U_{\text{вх}(j)}$ и $U_{\text{вых}(j)}$ происходит так же, как и в предыдущем фрагменте алгоритма.

По окончании замеров вычислитель В4 производит расчет значения сигнала рассогласования по напряжению согласно выражению (6): $E_{k(j)} := U_{\text{вых}(j-1)} - U_0$. С целью организации принципа предварительного просмотра потока данных, происходит сдвиг индексных переменных, при котором значения переменных, полученных на текущем этапе, используются в расчете значений для сле-

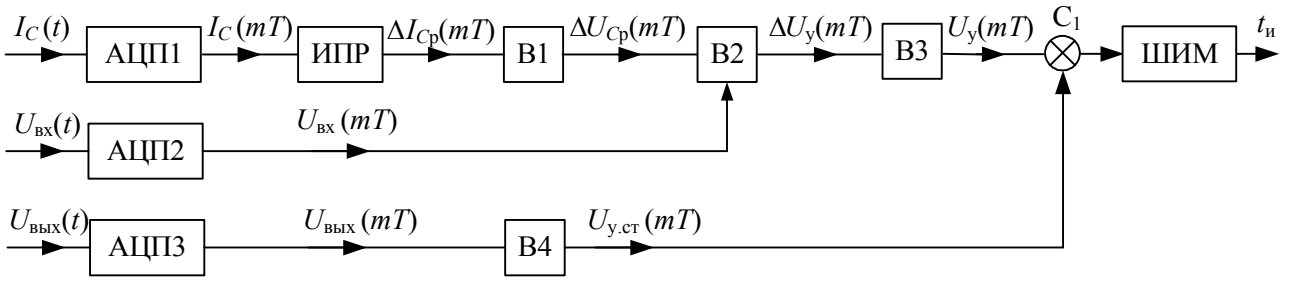


Рис. 3. Структурная схема микропроцессорного устройства управления

дующего. На данном этапе расчетов выполняется нормализация сигнала, задающего уровень выходного напряжения. При выходе значения за верхнюю или нижнюю границу сигнала происходит автоматическое приравнивание текущего значения к фиксированной величине соответствующей границы. Таким образом, при превышении уровня верхней границы сигнал приравнивается, «подтягивается» к ней, и аналогично – при пересечении уровня сигнала нижней границы. На данном этапе исключается возможность выхода за допустимые пределы значения сигнала и реализуется принцип нормализации значений за минимальное время.

По окончании нормализации происходит вычисление приращения текущей, регулируемой составляющей тока конденсатора, $\Delta I_{\text{ср}(j)} := I_{C(j)} - I_{C(j-1)}$. Здесь функционирует интегральный преобразователь, реализующий выражение (4). Полученные значения индексных переменных, как и в предыдущем случае, сдвигаются в массиве данных и сохраняются в памяти вычислительной системы.

На следующем этапе расчетов, в потоковом режиме, функционируют вычислители В1 и В2, производящие вычисление приращения текущей регулируемой составляющей напряжения на емкости конденсатора $\Delta U_{C\text{р}(j)} := \frac{T}{C}\Delta I_{C\text{р}(j)}$ и вычисление текущего приращения входного сигнала ШИМ $\Delta U_{\text{у}(j)} := \frac{d_0/K_{\text{м}}}{U_{\text{вх}(j)}}\left[2\Delta U_{C\text{р}(j)} - \Delta U_{C\text{р}(j-1)}\right]$ согласно выражениям (5) и (1). Полученные результаты занимают место предыдущих в памяти системы, т. е. вновь выполняется сдвиг массива значений.

В завершение посредством вычислителя В3, реализующего выражение (2), происходит расчет текущего значения динамической составляющей входного сигнала широтно-импульсного модулятора $U_{\text{у}(j)} := U_{\text{у}(j-1)} + \Delta U_{C\text{р}(j)}$ и вычисление длительности управляющего импульса $t_{\text{и.у}} := \frac{T}{U_m}U_{\text{у}(j)}$. Полученные результаты переписываются в память со сдвигом значений и цикл повторяется.

Отметим, что при первоначальном запуске на первом периоде преобразования величина $U_{\text{у}(j)} = 0$, следовательно, амплитуда управляющего сигнала будет постепенно нарастать от периода к периоду, и при достижении установившегося значения система выходит на режим.

С целью подтверждения работоспособности ИСН с дискретным способом формирования входного сигнала модулятора разработана модель ИСН понижающего типа в формате SPISE. Модель устройства управления выполнена в соответствии со структурной схемой (см. рис. 3) с использованием аналоговых устройств, имитирующих цифровую обработку поступающей информации. Модель силовой цепи ИСН понижающего типа имеет следующие параметры: индуктивность дросселя L = 150 мГн, емкость конденсатора выходного фильтра C = 1 000 пФ, период преобразования T = 25 мкс, входное напряжение $U_{\text{вх}}$ = 115 В и выходное напряжения $U_{\text{вых}}$ = 100 В. Вычислительные процедуры в модели производятся непосредственно после моментов времени mT в соответствии со структурной схемой (см. рис. 3) и выражениями (3), (4), (7), (8) и по длительности занимают 2 мкс.

На рис. 4 приведены временные диаграммы токов нагрузки $I_{\text{н}}$ и дросселя I_L, выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, входного и опорного напряжений ШИМ, для случая, когда ступенчатое изменение тока нагрузки приводит к изменению длительности импульса управления, не нарушающему условие (1). Диаграммы на рис. 4, *а* и рис. 4, *б* отличаются моментом времени, в который происходит ступенчатое увеличение нагрузки.

Достижение длительности переходного процесса в два-три периода преобразования следует из возврата тока дросселя, выходного напряжения и входного сигнала широтно-импульсного модулятора к стационарным значениям через два-три периода преобразования после момента коммутации тока.

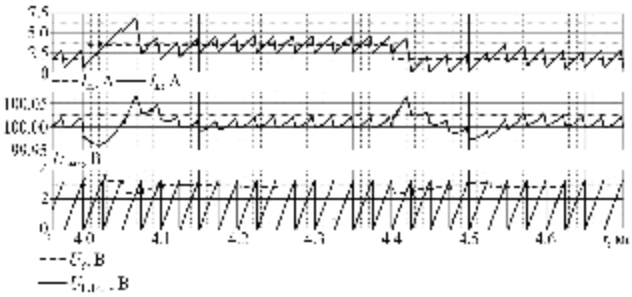
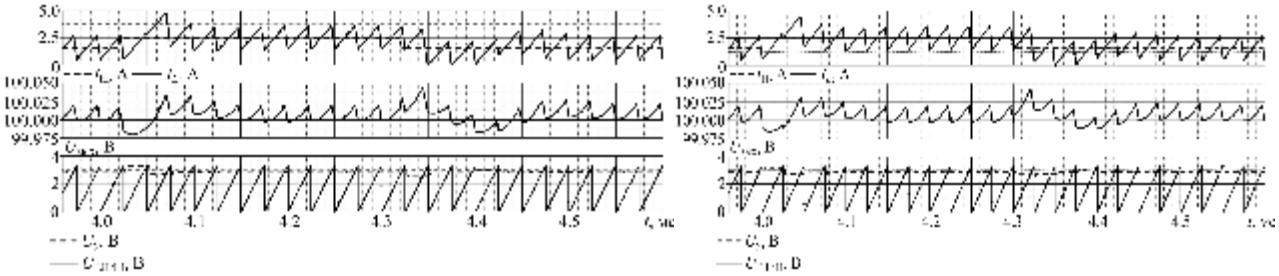


Рис. 5. Временные диаграммы работы ИСН при $U_{\text{вх}}$ = 115 В, $\Delta I_{\text{н}}$ = 2А

В случае ступенчатого изменения тока нагрузки большего значения, приводящего к нарушению условия (1) (рис. 5), длительность переходного процесса несколько возрастает, но остается конечной. При изменении входного напряжения ИСН и соответствующем изменении параметров вычислителя В2 в соответствии с (3), длитель-



а *б*

Рис. 4. Временные диаграммы работы ИСН при $U_{\text{вх}}$ = 115 В, $\Delta I_{\text{н}}$ = 1А: коммутация нагрузки в начале периода преобразования (*а*); коммутация нагрузки в конце периода преобразования (*б*)

ность переходных процессов в ИСН остается минимально возможной.

Таким образом, исследование процессов в модели ИСН показало работоспособность ИСН с предложенным устройством управления и достижение минимальной конечной длительности переходных процессов в два периода преобразования при ступенчатом изменении тока нагрузки. Показано, что необходимость однократного, в течение периода *T*, проведения процедур оцифровывания и проведения вычислительных операций, освобождает существенный временной интервал в работе цифрового вычислительного устройства, который может быть использован для диагностики ИСН, решения задач по распределению тока нагрузки между отдельными ИСН при их параллельной работе на общую нагрузку, что является дополнительным преимуществом предложенного способа управления ИСН, а применение импульсного источника питания, использующего полностью цифровой контур управления, реализуемого при помощи высокоскоростных микропроцессорных средств российского производства, имеет значительные преимущества по сравнению с аналоговыми вариантами и обладает неоспоримыми преимуществами стратегического плана.

Библиографические ссылки

1. Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин, В. И. Иванчура, А. И. Чернышев, Ш. Н. Исляев. Новосибирск : Наука. Сиб. издат. фирма, 1994.

2. Цветков Д. Новые микроконтроллеры DSPIC30 серии SMPS // Новости электроники. 2007. № 13.

3. Кириленко В. Микроконтроллеры и управление импульсными источниками питания. Внедрение полностью цифрового контура управления // Силовая электроника. 2007. № 7(120).

4. Жданкин В. Цифровое управление преобразователем напряжения – это уже реальность // Силовая электроника. 2009. № 1.

E. A. Veysov, O. V. Nepomnyaschi, U. V. Krasnobaev, D. V. Kapulin

METHODS AND ALGORITHMS FOR MICROPROGRAM CONTROL OF HIGH-SPEED, IMPULSE VOLTAGE REGULATORS FOR POWER SUPPLY OF ONBOARD EQUIPMENT OF PERSPECTIVE SPACE VEHICLES

The article dwells upon problems in the field of numeral, program control of energy transforming equipment. Advantages of transition to program, microprocessor control of power supplies for perspective space vehicles are presented. Since we consider the tasks of automatic control of energy transforming equipment, we offer decision of minimization of finite duration of transient phenomena problem, at step change of a current of loading, using program control method. The developed algorithms of functioning of the microprocessor unit for the given implementation are presented. The structure of SPISE-model of the impulse voltage regulator control unit is considered. On the basis of research of the implemented model of processes, working ability of impulse voltage regulator with developed microprocessor control device is shown.

Keywords: power supplies, impulse stabilizer, microprocessor, space vehicle.

© Вейсов Е. А., Непомнящий О. В., Краснобаев Ю. В., Капулин Д. В., 2010

УДК 681.5(075.8)

А. Н. Ловчиков, Е. Е. Носкова

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются разработанные авторами методики анализа и синтеза автоматических систем с широтно-импульсной модуляцией.

Ключевые слова: широтно-импульсные системы, широтно-импульсная модуляция, автоматические системы.

Системы автоматического управления с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) относят к классу нелинейных импульсных. Подобные системы известны достаточно давно и в настоящее время широко применяются, однако разработанных методик анализа и синтеза, особенно для инженерных приложений, практически нет.

Предлагаемые методики анализа и синтеза систем с ШИМ позволяют решить большинство из тех задач, которые при этом возникают: исследовать устойчивость системы и в малом, и в большом; изучить динамические характеристики системы с учетом инерционности ШИМ-ключа; дать оценку увеличения или уменьшения запасов устойчивости при работе системы в нелинейных режимах, объяснить причину возникновения в системе многочастотных колебаний; синтезировать корректирующие устройства, обеспечивающие необходимые запасы устойчивости, построить управление, обеспечивающее системе с ШИМ оптимальность по быстродействию.

Разработанные методики анализа и синтеза основываются на представлении системы с ШИМ как существенно нелинейной системы автоматического управления [1], включающей в себя релейно-гистерезисный элемент с зоной нечувствительности, отражающий реальные характеристики любого ключевого элемента, непрерывную нелинейную часть, содержащую звено запаздывания, отражающее инерционные свойства ключа, на которую воздействует постоянная составляющая и периодическое (пилообразное, треугольное или синусоидальное) внешнее воздействие (рис. 1). Передаточная функция $W_{\text{о.с}}(p)$ вводится при коррекции динамических характеристик системы.

Такой подход дает возможность применять методы исследования существенно нелинейных систем и на их основе разработать методики анализа и синтеза систем с ШИМ, позволяющий эффективно решать задачи обеспечения устойчивости для линейных и нелинейных режимов, более корректно сформулировать условия перехода от нелинейной к квазинепрерывной модели, решать задачи построения многомодульных широтно-импульсных систем (ШИС).

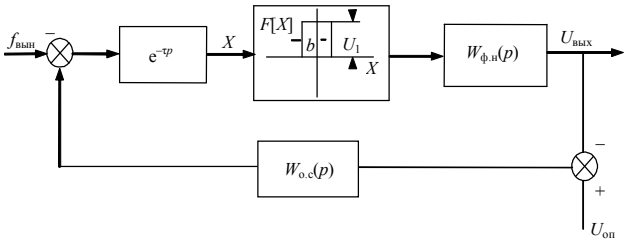


Рис. 1. Структурная схема широтно-импульсной системы

Система автоматического регулирования (см. рис. 1), относится к классу нелинейных систем, так как содержит существенно нелинейный элемент с релейно-гистерезисной характеристикой. К системе приложены внешние воздействия: постоянное (опорный сигнал) и в виде периодических колебаний, в общем случае пилообразных, треугольных или синусоидальных, которые заставляют рассматриваемую систему работать в режиме вынужденных колебаний.

В подавляющем большинстве практических случаев передаточная функция линейной части $W_{\text{л.ч}}(p)$ в ШИС обладает свойством фильтра [1]:

$$|W_{\text{л.ч}}(jn\omega)| << |W_{\text{л.ч}}(j\omega)|,\ n = 2, 3, \ldots .$$

Это следует из самого назначения непрерывной линейной части снижать уровень пульсаций на выходе системы. Следовательно, для анализа устойчивости и синтеза подобной системы может быть применен метод гармонического баланса (гармонической линеаризации), являющийся до настоящего времени самым мощным средством анализа и синтеза существенно нелинейных систем автоматического регулирования и управления.

С точки зрения метода гармонического баланса задача исследования устойчивости рассматриваемой схемы сводится к определению условий возникновения автоколебаний в системе при наличии вынужденных колебаний и постоянной составляющей.

Уравнение динамики системы имеет вид [1]

$$X + W_{\text{л.ч}}(p)\, e^{-\tau p}\, W_{\text{о.с}}(p)\, F[X] = W_{\text{о.с}}(p)\, U_{\text{оп}} - f_{\text{вын}}(t), \quad (1)$$

где $f_{\text{вын}}(t) = B \sin(\omega_2 \cdot t)$.

Решение уравнения находится в виде

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

где $X_{\text{м}} = X_0 + X_A$; $X_{\text{м}}$ – медленно меняющаяся составляющая; X_0 – постоянная составляющая; $X_A = A_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)$ – переменная составляющая, характеризующая автоколебания; $X_B = A_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t + \varphi)$ – переменная составляющая, характеризующая вынужденные колебания в системе; ω_1 – частота автоколебаний, $\omega_2 = 2\pi / T$ – вынужденная частота; T – период переключения.

При использовании принятых обозначений уравнение (1) разбивается на два уравнения соответственно для медленно меняющихся и колебательных составляющих:

$$Q(p) \cdot X_N + R(p) e^{-\tau p} \cdot W_{\text{о.с}}(p) \cdot F^0 = W_{\text{о.с}}(p) \cdot U_{\text{оп}} \cdot Q(p),$$

$$[Q(p) + R(p) e^{-\tau p} W_{\text{о.с}}(p) \cdot (q + q' p / w_2) + Q(p) B (\cos\varphi - \sin\varphi \cdot p / w_2) / A_2] \cdot X_B = 0, \quad (3)$$

где принято $W_{\text{л.ч}}(p) = R(p)/Q(p)$.

Нелинейность и коэффициенты гармонической линеаризации определятся из выражений

$$F[X] = F^0(A_2, X_{\text{м}}) + [q(A_2, X_{\text{м}}) + q'(A_2) \cdot p / w_2] \cdot X_B,$$

$$q(A_2, X_м) = \frac{U_1}{A_2 \cdot \pi} \times$$

$$\times \left(\sqrt{1 - \frac{(b - X_м)^2}{A_2^{\,2}}} + \sqrt{1 - \frac{(b + X_м)^2}{A_2^{\,2}}} \right),$$

$$q'(A_2) = -\frac{2 \cdot U_1 \cdot b}{A_2 \cdot \pi}, \qquad (4)$$

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

Амплитуда A_2 определяется из равенства

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

Решая (3), можно определить функцию смещения

$$F^0(A_2, X_м) = \Phi(X_м) \qquad (5)$$

для заданной нелинейности $F[X]$, которая в дальнейшем используется при определении автоколебательного режима и решения уравнения для постоянных составляющих. Для этого линеаризуем функцию смещения $\Phi(X_м)$ в пределах рабочего режима системы

$$\Phi(X_м) = \Phi^0 + K_A \cdot X_A, \qquad (6)$$

где $K_A = \left. \frac{d\Phi}{dX_м} \right|_{X_м = X_0}$.

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

$$Q(0)X_0 + R(0)W_{о.с}(0)\Phi^0 = W_{ос}(0)U_{оп}Q(0),$$

$$Q(p)X_A + R(p)e^{-\tau p}W_{о.с}(p)K_A X_A = 0. \qquad (7)$$

После подстановки в (7) $p = jw_1$ определяются X_0, A_1 и w_1, т. е. условия возникновения или отсутствия автоколебаний в системе, на основании чего делается заключение об устойчивости системы. Изменяя $W_{л.ч}(p)$ или вводя корректирующие устройства в цепь обратной связи, т. е. также изменяя $W_{о.с}(p)$ и используя вышеизложенную методику, можно синтезировать рассматриваемую ШИС исходя из необходимых запасов устойчивости.

Наличие вынужденных колебаний в системе приводит к эффекту вибрационной линеаризации нелинейности [3]. В этом случае релейно-гистерезисный элемент приобретает квазинепрерывную нелинейную характеристику, зависящую от параметров непрерывной линейной части и нелинейности. Однако такая нелинейная характеристика с большим основанием может быть линеаризована в рабочей точке, чем релейно-гистерезисная. Если в выражении для коэффициента $F^0(4)$ принять $X_м = X_0$, то согласно (6) коэффициент передачи линеаризованной нелинейности определится выражением

$$K_A = \frac{U_1}{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{A_2^2 - (b + X_0)^2}} + \frac{1}{\sqrt{A_2^2 - (b - X_0)^2}} \right), \qquad (8)$$

где A_2 – амплитуда вынужденных колебаний; X_0 – постоянная составляющая на входе нелинейности. Для предварительных расчетов значение коэффициента K_A приближенно определяется исходя из требований к синтезируемой системе. Если принять $W_{о.с}(p) = 1$, то при заданных статической точности X_0 и пульсациях ΔU_2 на стадии предварительного проектирования A_2 определяется приближенно: $A_2 \approx B - \mathrm{D}U_2$.

Таким образом, ШИС можно представить в виде квазилинейной системы с передаточной функцией разомкнутого контура $W_p(p)$, определяемой выражением

$$W_p(p) = K_A\, W_{л.ч}(p)\, W_{о.с}(p)\, e^{-\tau p}. \qquad (9)$$

Как показывают исследования, выражение (9) с высокой степенью точности может быть использовано для анализа устойчивости и синтеза ШИС с целью обеспечения заданных запасов устойчивости.

Рассмотренная структурная схема является классической при решении задачи построения системы, оптимальной по быстродействию [4]. В соответствии с теорией оптимального управления, произведение $e^{-\tau p}\, W_{л.ч}(p)$ является объектом управления (ОУ), $F[X]$ выдает управляющее воздействие, ограниченное сверху U_1 и снизу 0. Сама функция $F[X]$ имеет релейную характеристику, что, в соответствии с принципом максимума Л. С. Понтрягина, необходимо при построении оптимальной по быстродействию системы и наличии ограничений на величину управляющего воздействия.

На основании вышеизложенного задача синтеза ШИС по критерию оптимального быстродействия сводится к определению условий переключения релейного регулирующего элемента $F[X]$, т. е. нахождению уравнения линии переключения [3; 4]. Применительно к схеме (см. рис. 1) задача синтеза предполагает нахождение такой передаточной функции $W_{о.с}(p)$, которая обеспечит оптимальное быстродействие системе.

Решение вышеприведенной задачи осуществляется с применением метода фазовых траекторий и сводится к определению уравнения оптимальной фазовой траектории для объекта управления.

Для простейших случаев уравнение оптимальной фазовой траектории можно получить аналитически. В большинстве практических случаев этого сделать не удается. Методика построения оптимального по быстродействию ШИС в этом случае выглядит следующим образом. По известной передаточной функции объекта управления рассчитываются фазовые траектории и определяется оптимальная. Оптимальная траектория аппроксимируется. Полученное уравнение аппроксимации принимается за уравнение линии переключения теперь уже квазиоптимальной по быстродействию ШИС.

Следует отметить, что сложность решения задачи построения оптимальной по быстродействию системы в значительной степени зависит от вида передаточной функции объекта управления. Изложенная выше методика более справедлива для систем второго порядка без учета запаздывания. Для этого случая важную роль будет играть вид корней характеристического уравнения объекта управления. В случае простых корней, согласно теореме об n-интервалах, оптимальная система отрабатывает возмущение за два интервала постоянства. Если корни комплексные, то количество интервалов постоянства зависит от уровня возмущающего воздействия. Последнее утверждение справедливо и для систем более высокого поряд-

ка, но для таких систем сложно, а часто и невозможно использовать метод фазовых траекторий.

Предложенная выше методика построения оптимальной по быстродействию системы справедлива для больших отклонений и не учитывает наличия внешнего периодического воздействия. Однако и в этом случае, как показано в [3], можно использовать метод фазовых траекторий для анализа поведения ШИС в режиме вынужденных колебаний.

Рассмотрим применение вышеизложенных методик на примере анализа и синтеза импульсного стабилизатора напряжения (ИСН) понижающего типа (рис. 2).

Нелинейная модель ИСН может быть представлена в виде схемы (см. рис. 1). Линейной частью ИСН является однозвенный фильтр с передаточной функцией вход фильтра – выход фильтра с учетом параметров нагрузки:

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

где $K_C = R_{\text{н}}/(R_{\text{н}} + r_1)$ – коэффициент передачи; $R_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки, r_1 – активное сопротивление обмотки дросселя фильтра; L – индуктивность дросселя фильтра; C – емкость конденсатора фильтра; $a_2 = K_C \cdot L \cdot C$; $a_1 = (L + R_{\text{н}} \cdot r_1 \cdot C)/(R_{\text{н}} + r_1)$. Нелинейность $F[X]$ и звено чистого запаздывания e^{-tp} имитируют работу импульсного ключа VT, управляемого ШИМ. В общем случае ШИМ состоит из компаратора, на один из входов которого подается пилообразное напряжение ($U_{\text{пил}}$), а на второй – управляющее (сигнал ошибки) напряжение ($U_{\text{оп}} - U_2$). При анализе ИСН считалось, что на вход компаратора вместо $U_{\text{пил}}$ действует синусоидальное напряжение с такой же амплитудой. Величина амплитуды принималась исходя из допустимой статической ошибки менее 1 %. На основании вышеизложенного метода при разработке нелинейной модели ИСН напряжения $U_{\text{пил}}$ и $U_{\text{оп}}$ моделируются источником вынужденных колебаний $f_{\text{вын}}(t)$ и постоянной составляющей соответственно.

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; $r_1 = 0{,}010$ м; $t = 1$ мкс; $R_{\text{н}} = 10$ м; $B = 0{,}2$ В; $W_{\text{о.с}}(p) = K$ – передаточная функция звена обратной связи; $K = 1$; b – зона нечувствительности компаратора, $b = 0{,}001$.

Согласно [2], процессы в ИСН описываются уравнением динамики (1). Решение этого уравнения ищется в виде (2) из системы уравнений (3) для медленно меняющихся и колебательных составляющих. Решая (3), определяем функцию смещения (5) и линеаризуем ее в пределах рабочего режима ИСН (6). Из рассчитанных функций смещения (рис. 3) при различных значениях параметров фильтра (индуктивностях – рис. 3, *а* и емкостях – рис. 3, *б*) следует, что значение K_A в рабочей точке равно 14…15.

Уравнение (1) теперь примет вид (7) и неизвестные A_1, ω_1 и X_0 определяются из (7) подстановкой $p = j\omega_1$:

$$1 - a_2 \cdot \omega_1^2 + K_A \cdot K_C \cdot K \cdot \cos(\omega_1 \cdot \tau) = 0,$$
$$a_1 \cdot \omega_1 - K_A \cdot K_C \cdot K \cdot \sin(\omega_1 \cdot \tau) = 0,$$
$$X_0 + K_C \cdot K \cdot \Phi^0 = K \cdot U_{\text{оп}}. \qquad (10)$$

При решении (10) f_1 должно быть меньше 25 кГц. Тогда величина $2\pi f_1 \cdot t = \omega_1 \cdot t$ мала и $\sin(\omega_1 \cdot t) \approx \omega_1 \cdot \tau$, а $\cos(\omega_1 \cdot \tau) \approx 1$. Отсюда искомое решение для автоколебаний системы, т.е. условие их существования определится из выражения

$$r_1 \cdot C + LY_{\text{н}} - K \cdot \tau \cdot K_A = 0. \qquad (11)$$

При подстановке значений параметров в (11) следует, что в системе отсутствуют автоколебания. Однако если совместное запаздывание ключа и компаратора будет равно 4 мкс, то в системе возникнут автоколебания с частотой 2,7 кГц.

Для анализа динамических характеристик ИСН как квазилинейной системы передаточную функцию разомкнутого контура представим согласно (9), где $K_A = 15$ (рис. 4). Построим логарифмическую амплитудную (рис. 4, *а*) и фазочастотную (рис. 4, *б*) характеристики ИСН (сплошная линия). Там же пунктирной линией изображены аналогичные характеристики скорректированной системы, когда

$$W_{\text{о.с}}(p) = \frac{1 + T_1 \cdot p}{1 + T_2 \cdot p},$$

при $T_1 = 1{,}25$ мс, $T_2 = 0{,}125$ мс.

Параметры корректирующего устройства выбирались исходя из заданного запаса по фазе $\alpha = 60°$, который обеспечивает корректирующее устройство на частоте среза системы.

В соответствии с изложенной выше методикой синтеза оптимальной по быстродействию широтно-импульсной системы, используя передаточную функцию (10), строим фазовые характеристики и определяем оптимальную траекторию (расчеты в пакете Mathcad) (рис. 5). Штриховой линией показаны фазовые характеристики исходной нескорректированной системы, сплошной линией – оптимальная траектория, штрих-пунктирной – квазиоптимальная (рис. 5, *а*). Поскольку аналитически определить выражение, описывающее оптимальную линию переключения, практически невозможно, была проведе-

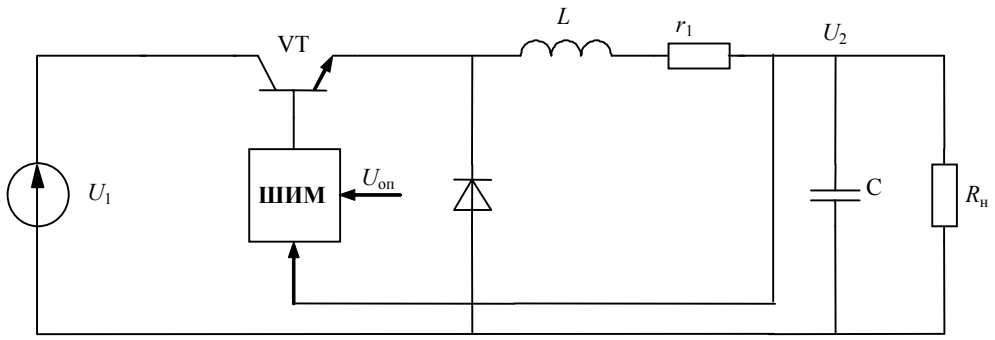


Рис. 2. Принципиальная схема ИСН

на ее аппроксимация, которая позволила получить выражение для линии переключения $X + 1{,}01 \cdot 10^{-9} \cdot \dot{X}^2 \cdot \mathrm{sign}(\dot{X}) = 0$. Квазиоптимальная линия переключения (см. рис. 5, *а*), имеет вид $X + 1{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot \dot{X} = 0$. Переходные процессы в ИСН при включении напряжения питания для трех случаев: нескорректированной системы, с квадратичным (сплошная линия) и линейным (штрихпунктирная линия) законами управления электронным ключом ИСН – приведены на рис. 5, *б*.

Справедливости ради следует отметить, что результаты расчетов (см. рис. 5) получены без учета нелинейной характеристики диода. В реальной схеме без корректирующего устройства наблюдается режим прерывистых токов и переходной процесс не является колебательным. Однако и в этом случае (рис. 6) (расчет с помощью пакета MicroCAP) введение коррекции с рассчитанными параметрами обеспечивает системе оптимальность по быстродействию, что подтверждает правильность предложенной методики синтеза.

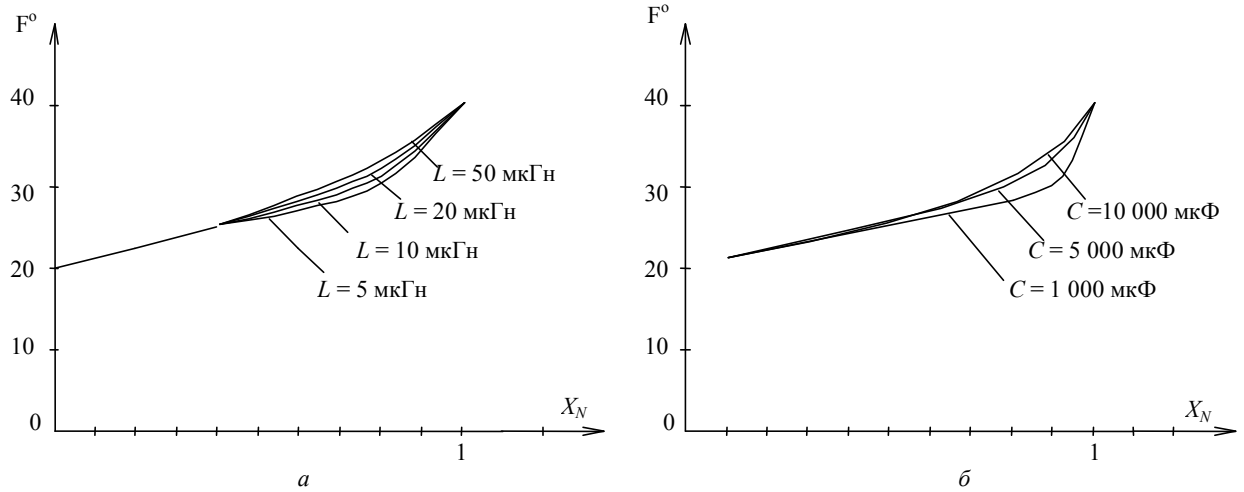


Рис. 3. Функции смещения: *а* – при различных индуктивностях; *б* – при различных емкостях фильтра

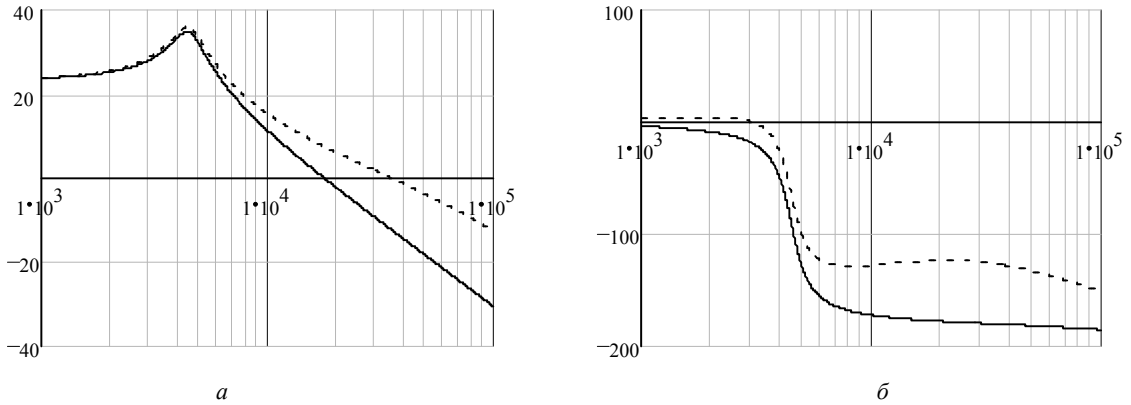


Рис. 4. Характеристики ИСН: *а* – логарифмические; *б* – фазочастотные

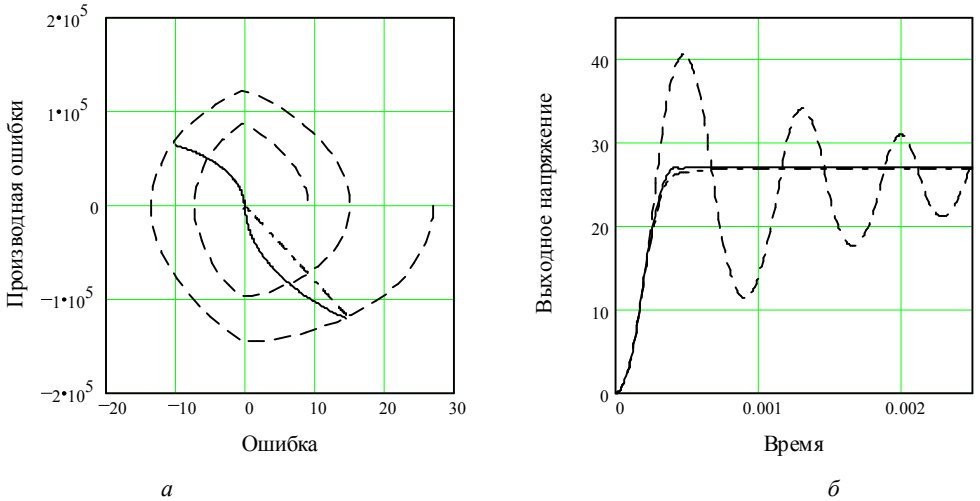


Рис. 5. Характеристики нескорректированной и оптимальной системы: *а* – фазовые характеристики; *б* – переходные процессы

Предложенные методики дают возможность с единых позиций, используя хорошо апробированные методы, с высокой точностью решать задачи анализа и синтеза ШИС: оценивать устойчивость системы и синтезировать ее, исходя из заданных запасов устойчивости, строить оптимальную по быстродействию систему. Данные методики хотя и позволяют уже сейчас решать большое количество задач, связанных с ШИС, однако требуют развития для решения более сложных проблем, например, проведения анализа и синтеза при наличии дополнительных нелинейностей в ШИС, построения оптимальной по быстродействию системы высокого порядка.

Библиографические ссылки

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

2. Волович Г. М. Динамика вентильных источников вторичного электропитания постоянного тока. М. : Энергоатомиздат, 1991.

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

4. Павлов А. А. Синтез релейных систем, оптимальных по быстродействию (метод фазового пространства). М. : Наука, 1966.

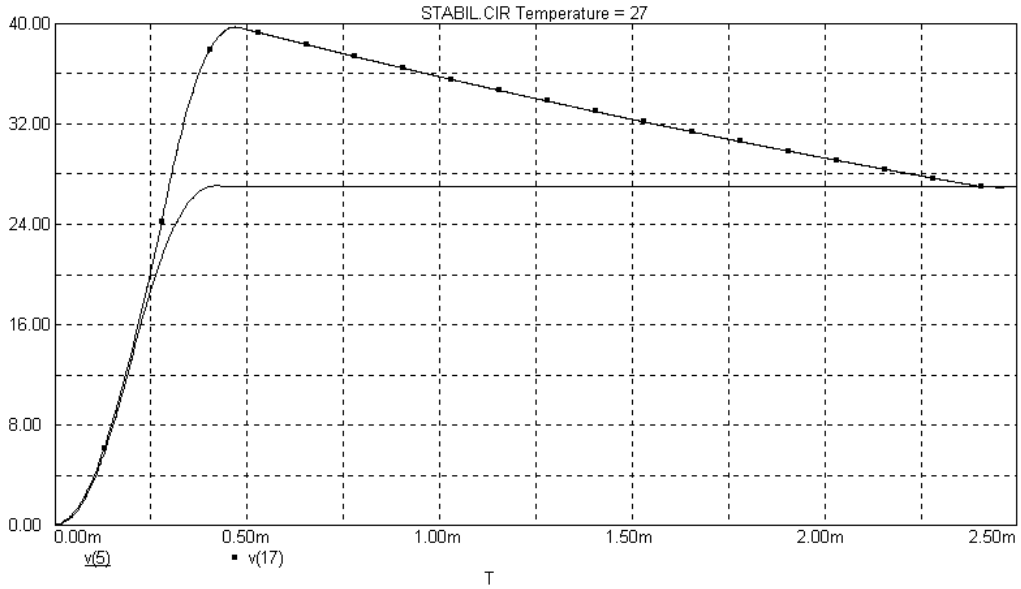


Рис. 6. Переходные процессы в ИСН

A. N. Lovchikov, E. E. Noskova

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF WIDE-PULSE SYSTEMS

In the article we examine and work out methods of analysis and synthesis of automatic systems with wide-pulse modulation.

Keywords: wide-pulse systems, wide-pulse modulation, automatic systems.

© Ловчиков А. Н., Носкова Е. Е., 2010

УДК 621.382

К. В. Богданов, А. Н. Ловчиков

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОВЫШАЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Описываются особенности повышающих и инвертирующих преобразователей с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), основанных на так называемой параллельной схеме, влияющие на эффективность существующих методик синтеза данных преобразователей. Предложены пути повышения эффективности получаемых вторичных источников питания, основанных на данной схеме.

Ключевые слова: широтно-импульсные преобразователи, вторичные источники электропитания, САПР, EDA.

Широтно-импульсные преобразователи в настоящее время очень широко применяются в блоках питания электронных устройств самого различного назначения. Причиной этому является совокупность особенностей, присущих данному типу преобразователей. Во-первых, это высокий КПД, во-вторых, отличные массогабаритные характеристики, в-третьих, простота и технологичность изготовления (часто такие преобразователи выполняются в виде единой микросхемы). Вместе с тем им присущи и недостатки, такие как наличие пульсаций напряжения и тока на выходе, чувствительность к сопротивлению нагрузки и его изменениям, необходимость в наличии опорного напряжения. При преобразовании напряжения от первичного источника часто нет необходимости в универсальном устройстве, имеющем коэффициент преобразования как менее, так и более единицы. Во многих случаях достаточно использовать преобразователь, имеющий $K < 1$ (понижающий) либо $K > 1$ (повышающий).

Вопросы анализа и синтеза понижающих преобразователей с ШИМ широкого спектра мощности достаточно широко освещаются в литературе [1–3], в то же время вопросам анализа и синтеза повышающих широтно-импульсных преобразователей, в частности однотактных повышающих конвертеров, уделяется значительно меньше внимания.

Рассмотрим принципиальную схему повышающего однотактного преобразователя (рис. 1).

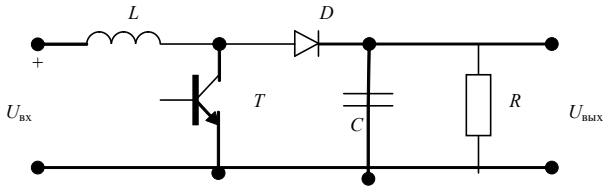


Рис. 1. Базовая схема повышающего однотактного преобразователя с ШИМ ($U_{вх}$ – входное напряжение; $U_{вых}$ – выходное напряжение; R – нагрузка; L – дроссель; C – конденсатор; T – ключ ШИМ)

При анализе данного преобразователя выявлены основные особенности параллельных схем [4]. Прежде всего, это увеличение тока через дроссель, служащий для накопления энергии при разомкнутом ключе. В результате происходит резкое понижение КПД преобразователя, и, потенциально, выход его из строя. Это явление имеет место только при использовании источника с малым внутренним сопротивлением (т. е. источника напряжения). При использовании источника тока (например, в случае питания схемы от солнечной батареи) данный эффект не наблюдается.

Форма фазовых траекторий параллельных схем в области переключения ключа свидетельствует о практически мгновенном изменении сигнала ошибки. Это делает невозможным применение метода фазовых траекторий для оптимизации подобного типа преобразователей.

Однако повышение напряжения питания необходимо осуществлять не только при питании от источников типа солнечных батарей, но и от других типов источников, а потому требуется механизм, позволяющий устранить связанную с этим проблему.

В [5] описана схема управляющего устройства, применяющаяся для регулирования выходного напряжения при работе от источника напряжения. Основным отличием от обычной схемы управления является наличие токозависимого резистора. При повышении тока через дроссель выше определенного значения система управления принудительно перестает подавать импульсы на ключевой элемент, тем самым стабилизируя ток через дроссель. Недостатком данной схемы управления является повышение уровня пульсаций в выходном напряжении, поэтому в работе [4] нами был предложен усовершенствованный вариант данной схемы (рис. 2), в котором скважность управляющих импульсов меняется плавно. Форма выходного напряжения для такой схемы показана на графике 1.

Недостатком данной реализации является значительное уменьшение КПД преобразователя – до 40…60 %, что абсолютно неприемлемо при сколь-нибудь высокой мощности нагрузки. Кроме того, при наличии реактивной нагрузки и ее коммутации происходит значительное замедление переходных процессов.

Более эффективным вариантом обеспечения нормальной работоспособности повышающего и инвертирующего конвертеров является применение «стартера», задача которого заключается в принудительном выключении широтно-импульсной модуляции путем отключения опорного напряжения в те моменты, когда ошибка принимает значения, заведомо не позволяющие ключевому элементу изменить свое состояние. Иными словами, при старте схемы либо при коммутации нагрузки опорное напряжение сравнивается не с выходным напряжением, а с другим напряжением, выбранным таким образом, чтобы разность этих напряжений обеспечила коэффициент заполнения импульсов в районе 0,5.

Простейшая реализация такого механизма на основе диодной развязки и результаты моделирования работы показаны на рис. 3. КПД такого преобразователя оказывается значительно выше, так как ток через дроссель (график 2 на рис. 2 и график 3 на рис. 3) во втором случае в установившемся режиме колеблется около нулевого значения.

Единственный серьезный недостаток данной схемы – наличие значительного перерегулирования при включении устройства и коммутации нагрузки. Нами предлагаются две возможности решения этой проблемы.

Во-первых, применение более «интеллектуального» компаратора, обеспечивающего умножение опорного напряжения на соответствующий коэффициент, зависящий от напряжения на выходе преобразователя.

Во-вторых, добавление понижающего преобразователя, скорректированного по быстродействию. Это позволит не пропустить скачки напряжения в нагрузку.

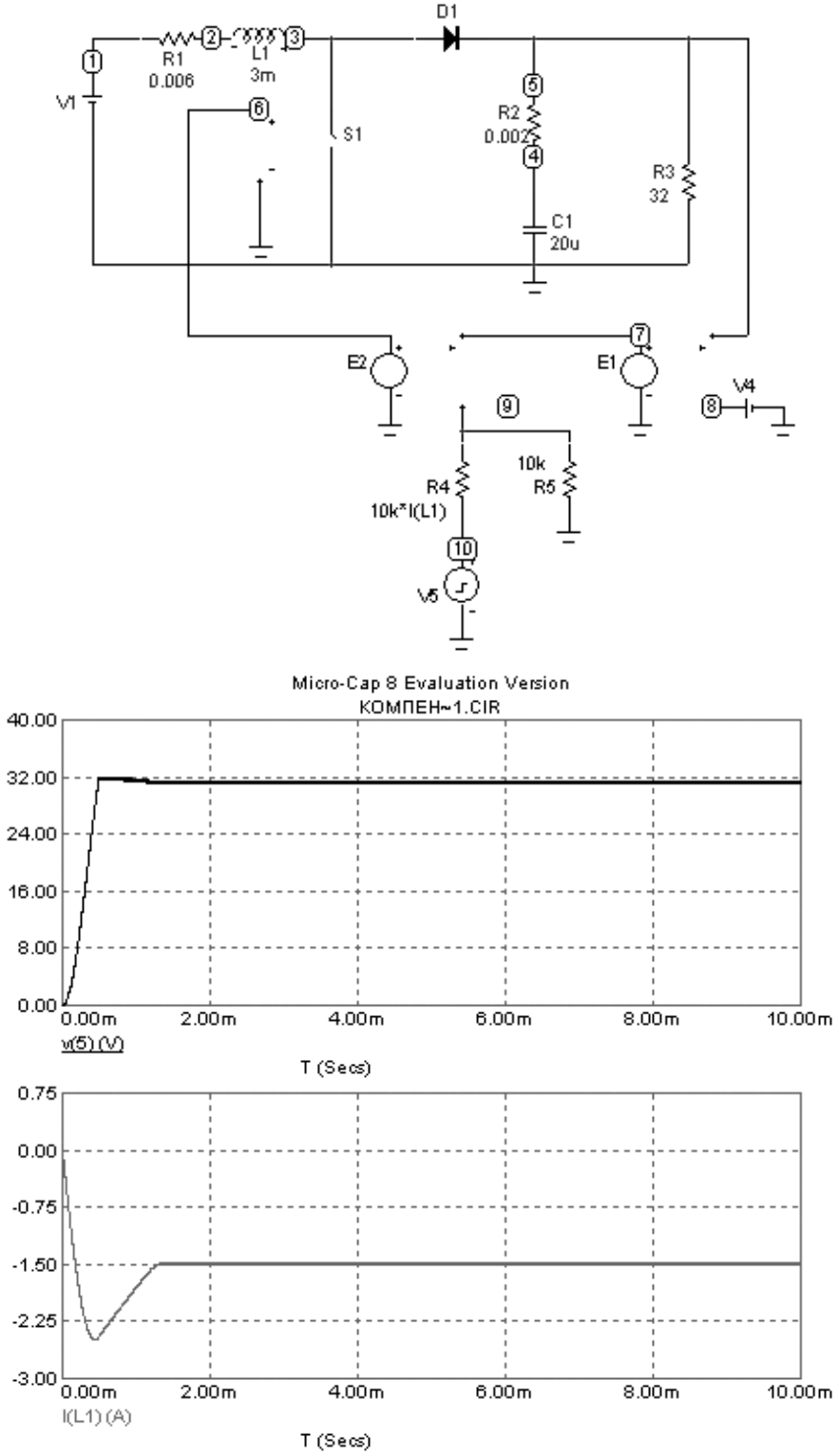


Рис. 2. Повышающий однотактный преобразователь с плавным изменением скважности в зависимости от тока: график напряжения на нагрузке (1) график тока через дроссель L1 преобразователя (2)

Таким образом, данный повышающий преобразователь при относительной конструктивной простоте будет иметь возможность поддерживать стабильное выходное напряжение при широком диапазоне входных напряжений и мощностей нагрузки. В процессе компьютерного моделирования данной схемы диапазон входных напряжений составлял от 17 до 29 В при мощности, рассеиваемой нагрузкой от 30 до 900 Вт. КПД преобразователя при этом колебался в пределах 86…97 %, что сопоставимо с лучшими существующими повышающими преобразователями других типов (а в некоторых случаях и превосходит их).

Библиографические ссылки

1. Иванчура В. И., Манаков А. В., Соустин Б. П. Синтез и исследование быстродействующего ИПН с ШИМ // Техническая электродинамика. 1987. № 1. С. 43–51.

2. Куцаров С. Повышающие преобразователи постоянного напряжения в постоянное // Радиомир. 2004. № 3. С. 41–43.

3. Мартынов А. А. Проектирование вторичных источников питания / СПбГУАП. Спб., 2005.

4. Богданов К. В. Синтез широтно-импульсных преобразователей, оптимальных по быстродействию : дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

5. Yim-Shu L. D., Cheng K. W., Wong S. C. A new approuch to the modeling of converters for SPICE // IEEE Transaction on power electronics. 1992. Vol. 7. № 4. P. 741–753.

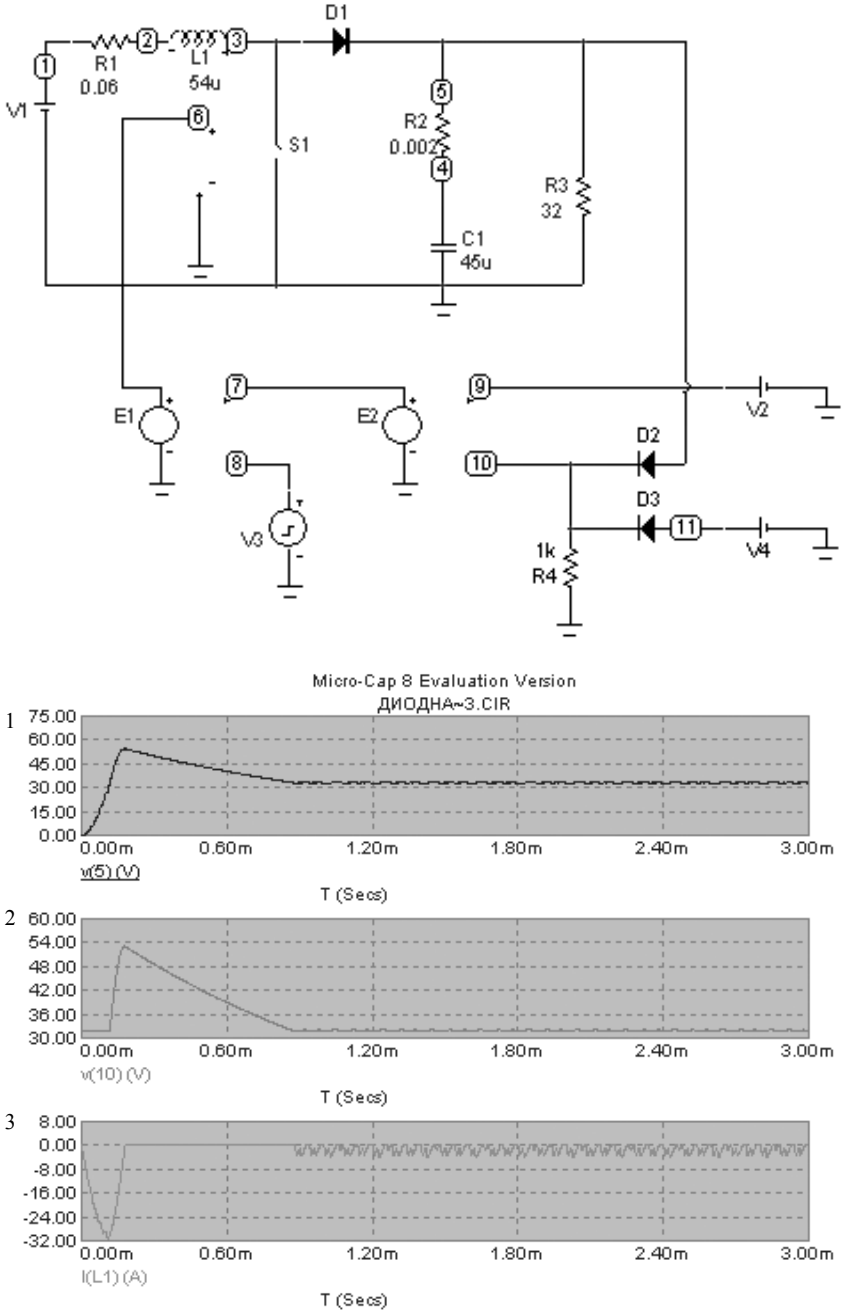


Рис. 3. Повышающий однотактный преобразователь со «стартером»: график напряжения на нагрузке R3 (1), график напряжения на входе компаратора ГПН E1 (2), график тока через дроссель L1 преобразователя (3)

K. V. Bogdanov, A. N. Lovchikov

FEATURES OF SYNTHESIS OF PARALLEL BOOST CONVERTERS WITH PULSE-WIDTH MODULATION

This article describes the main features of boost and inverting PWM converters based on the so-called "Parallel" scheme affecting the efficiency of existing methods of synthesis of data converters, as well as suggests ways to improve the efficiency of the obtained secondary sources of supply, based on this scheme.

Keywords: Pulse-width converters, secondary power supplies, CAD, EDA.

© Богданов К. В., Ловчиков А. Н., 2010

УДК 621.791.72

В. Я. Браверман, В. С. Белозерцев

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА И ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКЕ*

Рассмотрена возможность получения детерминированного спектра выходного сигнала датчика проникающего рентгеновского излучения для управления уровнем фокусировки и глубиной проплавления при электронно-лучевой сварке.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка; рентгеновское излучение; глубина проплавления; уровень фокусировки электронного луча.

Метод [1; 2] основан на использовании экстремальной зависимости глубины проплавления, а, следовательно, и интенсивности проникающего рентгеновского излучения J_x от уровня b фокусировки луча относительно свариваемых поверхностей при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) коническими пучками (рис. 1).

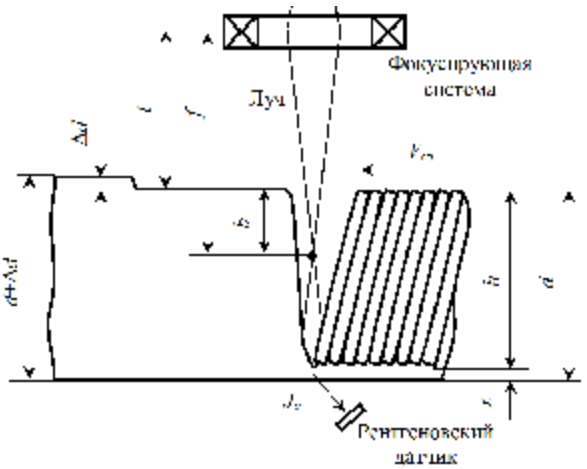


Рис. 1. К определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки луча

При наличии периодических составляющих в некоторых параметрах проникающего рентгеновского излучения, например в параметре x – величине непроплава (а, следовательно, и в глубине проплавления), выходной сигнал датчика рентгеновского излучения представляет собой «почти» периодический процесс [3], составляющие которого находятся в определенном соответствии с уровнем фокусировки электронного луча.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что зависимость глубины проплавления h от уровня фокусировки луча можно аппроксимировать функцией вида [4]:

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(\Delta b)^2 + 0,003(\Delta b)^3]}, \qquad (1)$$

где Δb – изменение уровня фокусировки относительно положения фокуса луча, соответствующего максимальной глубине проплавления. Результаты одного из экспериментов по определению зависимости глубины проплавления от уровня фокусировки электронного луча представлены на рис. 2.

Появление Δb (изменение уровня фокусировки b), а, следовательно, и уменьшение глубины проплавления может быть вызвано изменением фокусного расстояния f на величину Δf из-за нестабильности ускоряющего напряжения $U_{уск}$, тока фокусирующей системы $I_ф$; изменением расстояния l от поверхности свариваемых деталей до фокусирующей системы на величину Δl из-за неточности установки деталей или «биения» механизма перемещения свариваемых деталей; изменением толщины свариваемых деталей d на величину Δd, связанным с не-

* Работа выполнена при финансовой поддержке АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 2957).

точностью заготовок или со сваркой стыков с переменным сечением. Таким образом,

$$\Delta b = \Delta f + \Delta l + \Delta d. \qquad (2)$$

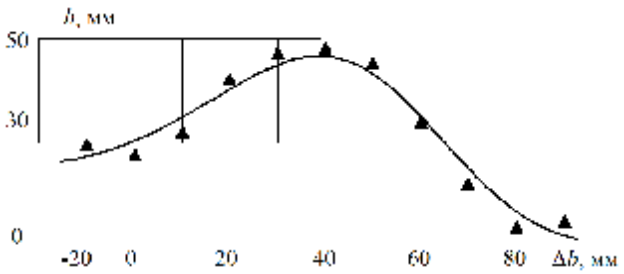


Рис. 2. Зависимость глубины проплавления от уровня фокусировки конического электронного пучка (материал Х18Н10Т; P = 50 кВТ; $\alpha_п$ = 0,05 рад; $\alpha_п$ – угол сходимости электронного пучка)

С учетом (1), (2) глубина проплавления определится формулой

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(\Delta f + \Delta l + \Delta d)^2 + 0,003(\Delta f + \Delta l + \Delta d)^3]}. \qquad (3)$$

Принимая во внимание зависимость фокусного расстояния f от нескольких переменных, приращение Δf этой функции можно определить, используя выражение ее полного дифференциала:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial I_f}\Delta I_f + \frac{\partial f}{\partial U}\Delta U + \frac{\partial f}{\partial l}\Delta l,$$

где $\partial f/\partial I_f, \ldots, \partial f/\partial l$ – частные производные по соответствующим параметрам; $\Delta I_f, \ldots, \Delta l$ – приращения параметров.

Для упрощения дальнейших рассуждений и не изменяя сущности метода, можно допустить, что $\Delta U = \Delta l = 0$, тогда

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial I_f}\Delta I_f.$$

Для многих фокусирующих систем справедлива формула [5]:

$$f = \frac{48UR}{(I_f W)^2},$$

где U – ускоряющее напряжение; R – средний радиус катушки фокусирующей системы; I_f – ток фокусирующей системы; W – число витков катушки фокусирующей системы.

Отсюда, с учетом допущений

$$\Delta f = -\frac{96UR}{I_f^3 W^2}\Delta I_f.$$

Коэффициент перед ΔI_f может быть вычислен для данной электронно-лучевой пушки (ЭЛП). Так, например, для ЭЛП КЭП 2М при ускоряющем напряжении 30 кВ и f = 250 мм

$$\Delta f \approx 8\Delta I_f. \qquad (4)$$

Подставляя (4) в (3) и принимая $\Delta d = 0$, получим

$$h = h_{\max} e^{-0,005[(8\Delta I_f)^2 - 0,003(8\Delta I_f)^3]}. \qquad (5)$$

График зависимости (5) представлен на рис. 3.

Экстремальная зависимость глубины проплавления от изменения тока фокусирующей системы относительно значения тока, соответствующего максимальной глубине проплавления, обусловливает экстремальную зависимость интенсивности проникающего рентгеновского излучения от уровня фокусировки электронного луча, и, следовательно, от глубины проплавления (рис. 4). График построен для случая ЭЛС сплава АМГ-6 при d = 15 мм, f = 250 мм, ускоряющем напряжении 30 кВ (м = 0,147 мм$^{-1}$), $h_{\max}$ = 14 мм. Расчеты произведены в соответствии с выражением (5) и формулами, представленными в [1]:

$$J_x / J_0 = e^{-\mu\left\{15 - 14\cdot e^{-0,005[(8\Delta I_f)^2 - 0,003(8\Delta I_f)^3]}\right\}}. \qquad (6)$$

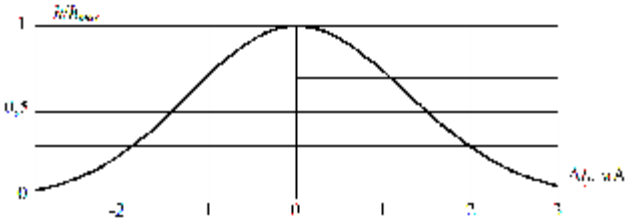


Рис. 3. Зависимость глубины проплавления от изменения тока фокусирующей системы относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления

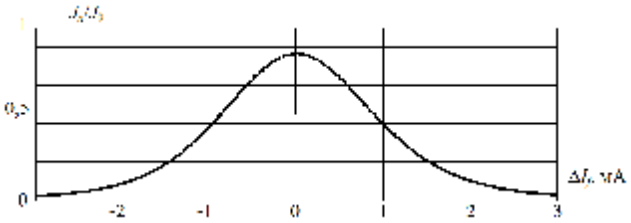


Рис. 4. Зависимость интенсивности проникающего рентгеновского излучения от изменения тока фокусирующей системы относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления

Таким образом, что максимальной глубине проплавления (когда нет расфокусировки относительно положения фокуса, соответствующего максимальной глубине проплавления, т. е. когда $\Delta I_f = 0$) соответствует максимальный уровень интенсивности проникающего рентгеновского излучения.

Если в ток фокусирующей системы ввести периодическую составляющую, то интенсивность J_x проникающего рентгеновского излучения при неизменной J_0 (J_0 зависит от ускоряющего напряжения, тока луча, атомного номера свариваемого материала) станет зависимой от времени и в спектре проникающего рентгеновского излучения появятся составляющие с частотами, кратными частоте модуляции, и амплитудами и фазами, зависящими от уровня и направления смещения фокуса луча относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления. Аналитически это можно представить следующим образом. Ток расфокусировки относительно тока, соответствующего максимальной глубине проплавления, может быть выражен, как

$$\Delta I_f = \Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta, \qquad (7)$$

где ΔI_{f0} – постоянная составляющая (управляющее или возмущающее воздействие); ΔI_{fm} – амплитуда модулирующего сигнала; $\beta = \omega_2 t$; $\omega_2 = 2\pi/T$ – круговая частота; T – период.

Подставляя в (6) значение ΔI_f из (7) и учитывая (5), получим

$$J / J_0 = e^{-\mu\left\{d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^3]}\right\}}. \quad (8)$$

Выражение (8) можно представить рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$J / J_0 = 0,5a_0 + a_1 \cos\beta + ... +$$
$$+ a_k \cos k\beta + b_1 \sin\beta + ... + b_k \sin k\beta,$$

где a_k, b_k ($k = 0, 1, 2, ...$) – коэффициенты Фурье, определяющие амплитуды соответствующих спектральных составляющих интенсивности проникающего рентгеновского излучения:

$$a_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \frac{J}{J_0} \cos k\beta d\beta; \quad b_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \frac{J}{J_0} \sin k\beta d\beta.$$

Анализ зависимостей коэффициентов Фурье от ΔI_{f0} показал, что в спектре интенсивности проникающего рентгеновского излучения присутствуют составляющие с частотами, кратными двойной частоте ($2\omega_2$) модуляции тока фокуса (четные гармоники) и амплитудой, максимальной при отсутствии расфокусировки (ΔI_{f0}), и составляющие с частотой, кратной частоте (ω_2) модуляции тока фокуса (нечетные гармоники) и с нулевым значением амплитуды при отсутствии расфокусировки луча (ΔI_{f0}).

Первые составляющие (рис. 5, слева) рассчитаны по формуле

$$a_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} e^{-\mu\left\{d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^3]}\right\}} \cos k\beta d\beta.$$

Вторые составляющие (рис. 5, справа) получены из выражения

$$b_k = \frac{1}{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} e^{-\mu\left\{d - h_{\max} \cdot e^{-0,005 \cdot [8^2 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^2 - 0,003 \cdot 8^3 (\Delta I_{f0} + \Delta I_{fm} \sin\beta)^3]}\right\}} \sin k\beta d\beta.$$

Расчеты по приведенным формулам подтвердили наличие в спектре проникающего рентгеновского излучения составляющих, несущих информацию о положении фокуса луча и тем самым о глубине проплавления. Так, амплитуды a_k составляющих, кратных двойной частоте модуляции тока фокуса, максимальны при отсутствии расфокусировки луча ($\Delta I_{f0} = 0$) относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления, и, следовательно, максимум их свидетельствует о максимальной глубине проплавления. Амплитуды b_k составляющих с нечетными частотами (ω_2, $3\omega_2$, $5\omega_2$ и т. д.) в некотором диапазоне изменения тока фокуса пропорциональны величине расфокусировки относительно положения, соответствующего максимальной глубине проплавления. Нулевое значение этих составляющих свидетельствует о максимальной глубине проплавления.

Рассмотрим график зависимости амплитуды a_2 спектральной составляющей интенсивности проникающего рентгеновского излучения с частотой $2\omega_2$ от амплитуды ΔI_{fm} модулирующего сигнала при уровне фокусировки электронного луча, соответствующего максимальной глубине проплавления ($\Delta I_{f0} = 0$) (рис. 6). График показывает, что по амплитуде a_2 можно судить о чувствительности метода измерения и выбирать амплитуду модулирующего сигнала, при котором обеспечивается максимальная чувствительность. Отсюда также видно, что рабочую точку (амплитуду модуляции тока фокуса) следует выбирать на правой (более пологой) ветви характеристики $a_2 = f(\Delta I_{fm})$.

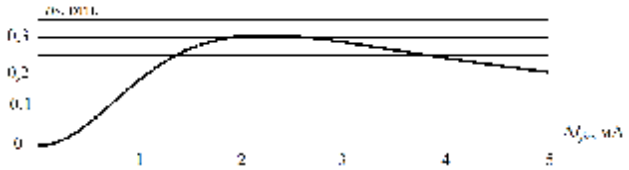


Рис. 6. Зависимость амплитуды a_2 – составляющей интенсивности проникающего рентгеновского излучения с частотой 2ω – от амплитуды моделирующего сигнала ΔI_{fm} при $\Delta I_{f0} = 0$

Таким образом, при модуляции тока фокусирующей системы в спектре проникающего рентгеновского излучения возникают составляющие, несущие информацию о глубине проплавления. Осуществляя, например, час-

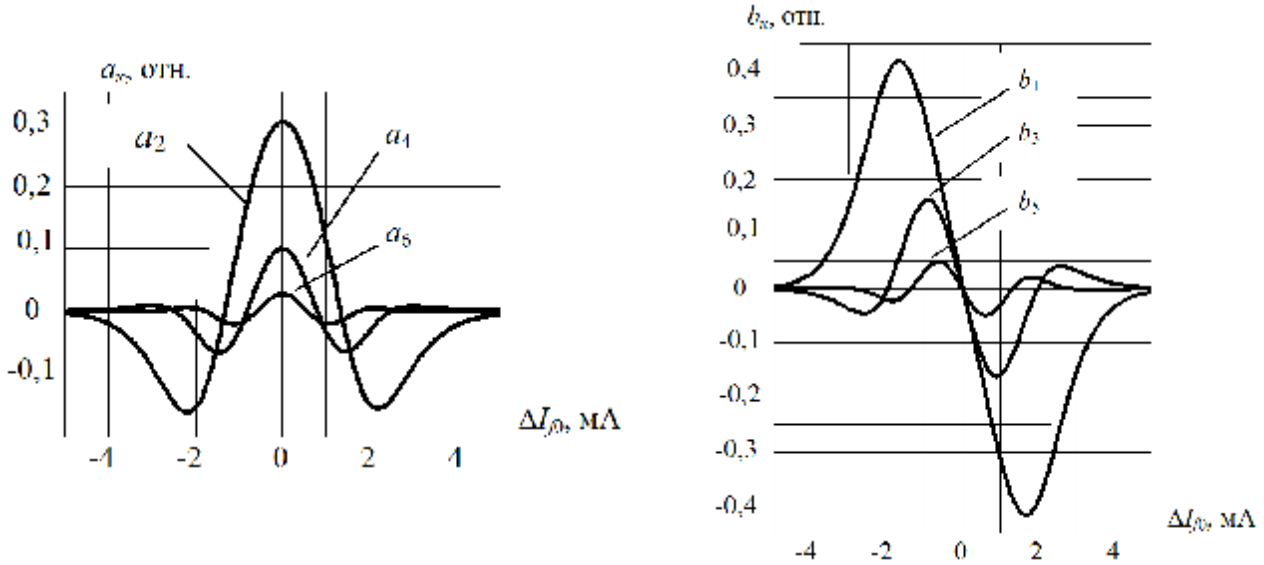


Рис. 5. Зависимости амплитуд спектральных составляющих интенсивности проникающего рентгеновского излучения от степени расфокусировки луча относительно значения фокуса, соответствующего максимальной глубине проплавления

тотную селекцию сигнала рентгеновского датчика, можно реализовать управление глубиной проплавления при ЭЛС.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. При наличии периодических составляющих в некоторых параметрах проникающего рентгеновского излучения выходной сигнал датчика рентгеновского излучения представляет собой «почти» периодический процесс, составляющие которого находятся в определенном соответствии с уровнем фокусировки электронного луча и глубиной проплавления.

2. Осуществляя частотную селекцию сигнала датчика проникающего рентгеновского излучения, можно осуществлять управление уровнем фокусировки электронного луча и глубиной проплавления.

Библиографические ссылки

1. Устройство управления фокусировкой и глубиной проплавления по собственному рентгеновскому излучению при ЭЛС с модуляцией уровня фокусировки / В. Я. Браверман, С. Г. Баякин, В. В. Башенко, В. Ф. Шабанов // Сварочное производство. 1997. № 1. С. 16–19.

2. Пат. РФ № 2113954. Способ электронно-лучевой сварки / В. Я. Браверман, С. Г. Баякин, В. В. Башенко, В. Ф. Шабанов. 1998. Бюл. № 12.

3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов : пер. с англ. М. : Мир, 1971.

4. Hablanian M. H. A correlation of welding variables // Proc. Forth Symp. Electron Beam Technol., Boston, March 1962 / ed. R. Bakish. Boston, 1962.

5. Башенко В. В. Электронно-лучевые установки. Л. : Машиностроение, 1975.

V. Ya. Braverman, V. S. Belozertsev

FREQUENCY-DOMAIN METHOD OF ESTIMATION OF ELECTRON BEAM FOCUSING LEVEL AND MELTING DEPTH DURING ELECTRON-BEAM WELDING

The article considers possibility of obtaining of determinate spectrum of output signal of penetrating X-ray radiation sensor to control focusing level and melting depth during electron-beam welding.

Keywords: electron beam welding, x-ray radiation, melting depth, electron beam focusing level.

© Браверман В. Я., Белозерцев В. С., 2010

УДК 519.854.33

С. Е. Головенкин, Т. К. Гулакова, Р. И. Кузьмич, И. С. Масич, В. А. Шульман

МОДЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ ИНФАРКТА МИОКАРДА*

Исследуется метод классификации данных, основанный на поиске и использовании логических правил. Решающее правило классификации базируется на модели, получаемой в результате решения ряда задач комбинаторной оптимизации. Строится модель классификации для прогнозирования осложнений инфаркта миокарда.

Ключевые слова: инфаркт миокарда, классификация, комбинаторная оптимизация, логические алгоритмы, прогнозирование.

Большое количество задач распознавания, привлекающих внимание исследователей как в медицине, так и во множестве других областей, может быть сформулировано следующим образом. Имеется выборка данных, которая состоит из двух непересекающихся множеств Ω^+ и Ω^- n-мерных векторов. Каждый вектор соответствует некоторому пациенту, векторы множества Ω^+ соответствуют пациентам, находящимся в некотором медицинском состоянии (например, болен или имеет осложнение заболевания), а векторы Ω^- не соответствуют этому состоянию. Компоненты векторов (называемые признаками, переменными, характеристиками или атрибутами) представляют собой результаты определенных измерений, тестов или просто показывают присутствие или отсутствие определенных симптомов. Эти компоненты могут быть численными, номинальными или бинарными.

Задача состоит в том, чтобы на основании имеющейся выборки данных (классифицированных ранее наблюдений) извлечь информацию о состоянии «нового» пациента, наблюдение которого не содержится в выборке. Главная цель решения таких задач – на основе анализа данных и вычислительных систем диагностики и прогно-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (код проекта МК-463.2010.9).

зирования определить индивидуальную терапию для пациента.

Для решения этой задачи исследуется метод анализа данных, в основе которого лежит принцип вывода логических закономерностей, или правил. Каждое правило должно покрывать достаточно много объектов одного класса и практически не покрывать объекты другого класса. Взяв вместе некоторое количество правил, можно получить алгоритм (модель, решающее правило), который будет решать поставленную задачу классификации. Главной особенностью использования такого подхода является то, что в результате работы метода из базы данных извлекаются правила, с помощью которых можно классифицировать объекты и без помощи компьютера и вычислительной системы.

Осложнения инфаркта миокарда. Инфаркт миокарда (ИМ) – распространенное и грозное заболевание. Бурное распространение этого заболевания за последние полвека сделало его одной из наиболее острых проблем современной медицины. Несмотря на то что внедрение современных лечебно-профилактических мероприятий несколько снизило смертность от инфарктов, она продолжает оставаться довольно высокой.

Течение заболевания у пациентов с ИМ различно. ИМ может протекать без осложнений или с осложнениями, не ухудшающими долгосрочный прогноз. В то же время около половины пациентов в острый и подострый периоды имеют осложнения, приводящие к ухудшению течения заболевания и даже летальному исходу. Предвидеть развитие этих осложнений не всегда может даже опытный специалист. В связи с этим прогнозирование осложнений ИМ с целью своевременного проведения необходимых профилактических мероприятий представляется актуальной задачей.

В исследование включены 1 700 больных острым инфарктом миокарда, проходивших лечение в отделении реанимации и интенсивной терапии и в кардиологическом отделении городской клинической больницы [1]. Информация об анамнезе пациентов и течении ИМ получена из историй болезни и сконцентрирована в 117 полях электронной таблицы (базы данных). База данных содержит информацию о возрасте, поле пациента, локализации и глубине ИМ, данных анамнеза, изменениях ЭКГ, количестве калия, натрия, некоторых ферментов крови, особенностях клиники в первые часы заболевания.

За период пребывания больных в стационаре фибрилляция предсердий (ФП) наблюдалась у 170 (10,0 %) больных, фибрилляция желудочков (ФЖ) у 71 (4,2 %), отек легких (ОЛ) у 159 (9,4 %), разрыв сердца (РС) у 54 (3,2 %), летальный исход (ЛИ) у 271 (15,9 %). Данные осложнения и ЛИ были выбраны для прогнозирования.

Ранее для прогнозирования коллективом ученых [1] была создана экспертная система на основе искусственных нейронных сетей. В результате настройки алгоритма обучения и параметров сети на данной выборке была достигнута точность прогнозирования 70…90 %.

Логический анализ данных. В основе предлагаемого подхода к классификации данных лежит метод, происходящий из теории комбинаторной оптимизации и называемый логическим анализом данных (Logical Analysis of Data – LAD) [2]. Последовательные элементы метода:

1) для исключения избыточных переменных в исходной выборке данных в множестве переменных определяется некоторое подмножество S, используя которое, можно отличать положительные наблюдения от отрицательных. Далее для работы метода используются проекции Ω_s^+ и Ω_s^- множеств Ω^+ и Ω^- на S;

2) множество Ω_s^+ покрывается семейством однотипных подмножеств уменьшенного пространства, каждое из которых имеет значительное пересечение с Ω_s^+, но не пересекается с Ω_s^-. Такие подмножества назовем «положительными паттернами». Аналогично множество Ω_s^- покрывается «отрицательными паттернами»;

3) определяется подмножество положительных паттернов, объединение которых покрывает все наблюдения Ω_s^+, и подмножество отрицательных паттернов, объединение которых покрывает все наблюдения Ω_s^-;

4) положительный или отрицательный характер некоторого наблюдения, покрываемого объединением двух подмножеств модели, определяется с помощью решающего правила, основанного на этих подмножествах.

Отличительной особенностью предлагаемого метода является то, что вместо того чтобы просто ответить на вопрос, к какому из классов принадлежит новое наблюдение, он строит аппроксимацию областей пространства признаков, содержащую наблюдения соответствующих классов. Наиболее важные преимущества такого подхода – это возможность дать объяснение для любого решения, полученного данным методом, возможность выявления новых классов наблюдений, возможность анализа роли и природы признаков.

Модель классификации. В основе рассматриваемого подхода лежит понятие паттерна. Положительным паттерном называется подкуб пространства булевых переменных B_2^t, который пересекается с множеством Ω_s^+ и не имеет общих элементов с множеством Ω_s^-. Отрицательный паттерн задается аналогично. Положительный ω-паттерн для $\omega \in \{0,1\}^t$ – это паттерн, содержащий в себе точку ω. Для каждой точки $\omega \in \Omega_s^+$ найдем максимальный ω-паттерн, т. е. покрывающий наибольшее число точек Ω_s^+.

Соответствующий подкуб зададим с помощью переменных y_j:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i \text{ зафиксирована в подкубе,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Иными словами, путем фиксирования l переменных исходного куба размерностью t получаем подкуб размерностью $(t–l)$ и с числом точек 2^{t-l}.

Условие, говорящее о том, что положительный паттерн не должен содержать ни одной точки Ω_s^-, требует, чтобы для каждого наблюдения $\rho \in \Omega_s^-$ переменная y_j принимала значение 1 по меньшей мере для одного j, для которых $\rho_j \neq \omega_j$:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ \rho_j \neq \omega_j}}^{t} y_j \geq 1 \text{ для любого } \rho \in \Omega_S^-.$$

Усиление ограничения для повышения устойчивости к ошибкам производится путем замены числа 1 в правой части неравенства на целое положительное число d.

С другой стороны, позитивное наблюдение $\sigma \in \Omega_s^+$ будет тогда входить в рассматриваемый подкуб, когда пе-

ременная y_j принимает значение 0 для всех индексов j, для которых $\sigma_j \neq \omega_j$. Таким образом, число положительных наблюдений, покрываемых ω-паттерном, может быть вычислено как

$$\sum_{\sigma \in \Omega_S^+} \prod_{\substack{j=1 \\ \sigma_j \neq \omega_j}}^{t} (1 - y_j).$$

Таким образом, имеем задачу условной псевдобулевой оптимизации с алгоритмически заданными функциями:

$$\sum_{\sigma \in \Omega_S^+} \prod_{\substack{j=1 \\ \sigma_j \neq \omega_j}}^{t} (1 - y_j) \to \max, \qquad (1)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ \rho_j \neq \omega_j}}^{t} y_j \geq d \text{ для любого } \rho \in \Omega_S^-, \quad y \in \{0,1\}^t. \qquad (2)$$

Аналогично формулируется задача нахождения максимальных отрицательных паттернов.

В итоге получаем семейство максимальных паттернов, число которых ограничено мощностью выборки данных $|\Omega^+ \cup \Omega^-|$. Обозначим $M_1^+, \ldots, M_p^+$ и $M_1^-, \ldots, M_q^-$ соответственно множества положительных и отрицательных паттернов.

Чтобы классифицировать новое наблюдение, воспользуемся следующим решающим правилом:

1) если наблюдение удовлетворяет условиям одного или нескольких положительных паттернов и не удовлетворяет условиям ни одного из отрицательных, то оно классифицируется как положительное;

2) если наблюдение удовлетворяет условиям одного или нескольких отрицательных паттернов и не удовлетворяет условиям ни одного из положительных, то оно классифицируется как отрицательное;

3) если наблюдение удовлетворяет условиям p' из p положительных паттернов и q' из q отрицательных, то «знак» наблюдения определяется как $(p'/p - q'/q)$;

4) в случае если наблюдение не удовлетворяет условиям ни одного паттерна, положительного или отрицательного, то оно остается неклассифицированным.

Найденный паттерн характеризуется покрытием – числом объектов определенного класса, которые он захватывает, и степенью – количеством фиксированных переменных, которые определяют этот паттерн. Согласно приведенной выше оптимизационной модели (1)–(2), паттерн не покрывает ни одного объекта другого класса (из обучающей выборки).

Наибольшую ценность представляют паттерны, которые имеют наибольшее покрытие. Чем больше покрытие, тем лучше паттерн отображает образ класса.

Специфика описанной выше задачи прогнозирования состоит в том, что база данных имеет большое число неизмеренных значений (пропущенных данных), а сделанные измерения могут быть неточны либо ошибочны. Шумы и выбросы приводят к тому, что объекты различных классов «накладываются» друг на друга, попадая в «область» противоположного класса. В результате вычисляемые паттерны получаются с большей степенью и с существенно меньшим покрытием, чем если бы выбросов и неточностей не было, а итоговая модель состоит из большого числа маленьких паттернов (с малым покрытием). Это не позволяет построить эффективную модель классификации с «хорошо интерпретируемыми» правилами (в которых участвует небольшое число признаков) и с высокой точностью распознавания.

Для повышения устойчивости метода к выбросам следует ослабить ограничение (2). Тогда степень вычисляемых паттернов уменьшится, а покрытие увеличится.

Ограничение оптимизационной модели будет выглядеть следующим образом:

$$\sum_{\rho \in \Omega_S^-} z_\rho \leq D, \text{ где } z_\rho = \begin{cases} 0, \text{ если } \sum\limits_{\substack{j=1 \\ \rho_j \neq \omega_j}}^{t} y_j \geq d, \\ 1, \text{ в противном случае;} \end{cases} \qquad (3)$$

где D – число объектов другого класса, которые допускаются быть покрытыми паттерном (целое неотрицательное число).

Функции (1)–(3) построенной модели оптимизации задаются алгоритмически, т. е. вычисляются через определенную последовательность операций. Для решения задачи оптимизации использовались алгоритмы оптимизации, основанные на поиске граничных точек допустимой области. Эти алгоритмы были разработаны специально для этого класса задач и основаны на поведении монотонных функций модели оптимизации в пространстве булевых переменных. Алгоритмы поиска граничных точек являются поисковыми, т. е. не требуют задания функций в явном виде, с помощью алгебраических выражений, а используют вычисления функций в точках.

Результаты экспериментов. Описанная выше задача по прогнозированию осложнений заболевания решалась с помощью разработанного алгоритма. Исходными данными является выборка, состоящая из 1 700 объектов, каждый из которых характеризуется 117 признаками. Среди признаков встречаются как бинарные (большая часть) и номинальные, так и численные признаки. В выборке присутствует значительное число пропущенных данных.

Ввиду довольно большого объема исходных данных, первоначально для проведения многочисленных серий экспериментов за приемлемое время были использованы уменьшенные выборки. Для каждой из пяти решаемых задач формировались свои выборки данных. При этом в выборку включались все положительные объекты по конкретной задаче (прогнозируемому осложнению), так как их изначально представлено значительно меньше, а отрицательные объекты (без этого осложнения) выбирались из первичной выборки случайным образом.

Для нахождения правил использовались две оптимизационные модели: «жесткая» модель, не допускающая, чтобы построенные правила покрывали объекты другого класса; и модифицированная модель, позволяющая, чтобы правила покрывали некоторое ограниченное число объектов другого класса для «смягчения» возможных неточностей и ошибок в данных.

Следует сделать важное замечание по точности полученных результатов. Точность классификации определяется двумя значениями: чувствительностью – точностью определения пациентов с осложнением, и специфичностью – точностью определения пациентов без осложнений. На практике к чувствительности предъявляются боль-

шие требования, чем к специфичности. Используемый алгоритм (и, соответственно, программное приложение) позволяет повышать чувствительность за счет специфичности (и наоборот) путем изменения весов в решающем правиле. В таблицах приведены точности без каких-либо поправок коэффициентов в решающей функции, т. е. так, как описано выше.

К одному из наиболее важных результатов относится то, что построенная модель классификации, состоящая из набора отдельных правил, позволяет оценить значимость признаков. Чем чаще признак встречается в модели, тем он более значим. А те признаки, которые не встречаются или почти не участвуют в построении решающей модели, значимыми не являются. Как показывают проведенные эксперименты, исключение таких признаков из выборки при построении правил классификации ведет к улучшению решающей модели. Модель, построенная на уменьшенном множестве признаков, как правило, оказывается более точной.

Ниже приведены результаты экспериментов по решению пяти задач прогнозирования.

Задача 1. Фибрилляция предсердий. Для проведения испытаний использовалась выборка данных, состоящая из 169 пациентов с осложнением (положительные объекты) и 169 объектов без осложнения (отрицательные объекты). 10 % из них использовались для контроля и в построении решающей модели не участвовали.

В результате бинаризации из 112 признаков было получено 214 бинарных признаков.

Рассмотрим результаты испытаний с использованием двух оптимизационных моделей: с ограничением (2), исключающим захват паттерном объекта другого класса, и с ограничением (3), позволяющим покрытие паттерном нескольких объектов другого класса (табл. 1). Приведены средние значения покрытий и степени для наборов паттернов.

В результате экспериментов выявлено 7 важных признаков при построении положительных паттернов и 6 при построении отрицательных паттернов. Также был выявлен набор из 36 признаков, не принимающих участие при построении паттернов.

Также задача решалась на уменьшенном множестве признаков, полученном путем исключения незначимых признаков (табл. 2).

В результате бинаризации из 76 признаков было получено 179 бинарных признаков.

Задача 2. Фибрилляция желудочков. В испытании участвовали по 70 положительных и отрицательных объектов, 15 % использовалось при тесте.

Бинарных признаков 206 из 112 исходных.

Результаты представлены в табл. 3.

При построении положительных паттернов выявлено 4 важных признака, при построении отрицательных паттернов – 4 важных признака, а также 56 признаков, не принимающих участие при построении паттернов. Результат исследования при участии 56 признаков (145 бинарных) представлен в табл. 4.

Задача 3. Разрыв сердца. В испытании участвовало по 54 положительных и отрицательных объектов, 15 % использовались для тестирования. Бинарных признаков 204. Результаты для двух моделей представлены в табл. 5.

При построении положительных паттернов выявлено 5 важных признаков, при построении отрицательных паттернов – 5 важных признаков, а также 61 признак, не принимающий участие при построении паттернов. Результат исследования при участии 51 признака (139 бинарных) представлен в табл. 6

Задача 4. Отек легких. В испытании участвовало 157 положительных и 181 отрицательных объектов, 10 % использовались для тестирования. Бинарных признаков 212. Результаты для двух моделей представлены в табл. 7.

Таблица 1

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	13	0	5	84
	Положительные	0	13	7	87
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	23	3	5	89
	Положительные	3	23	7	100

Таблица 2

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	14	0	5	79
	Положительные	0	13	7	93
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	21	3	5	79
	Положительные	3	23	7	87

Таблица 3

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	15	0	6	100
	Положительные	0	14	6	86
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	26	3	3	92
	Положительные	3	21	5	100

При построении положительных паттернов выявлено 8 важных признаков, при построении отрицательных паттернов – 3 важных признака, а также 12 признаков, не принимающих участие при построении паттернов. Результат исследования при участии 100 признаков (201 бинарных) представлен в табл. 8.

Задача 5. Летальный исход. В испытании участвовали 160 положительных и 160 отрицательных объектов, 10 % использовались для тестирования. Бинарных признаков 214. Результаты для двух моделей представлены в табл. 9.

При построении положительных паттернов выявлено 11 важных признаков, при построении отрицательных паттернов – 5 важных признаков, а также 59 признаков, не принимающих участие при построении паттернов. Результат исследования при участии 63 признаков (163 бинарных) представлен в табл. 10.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, модификация условий при поиске правил позволяет находить паттерны с более высоким покрытием, из которых строится более точная модель распознавания. Применение такого подхода необходимо при решении задач с наличием выбросов и шумов и с большим количеством пропусков в выборке данных.

Во-вторых, помимо самого прогнозирования, для каждой задачи оценена значимость признаков. Уменьшение множества признаков за счет исключения незначимых признаков ведет к улучшению решения задачи.

В целом, задача прогнозирования осложнений инфаркта миокарда решена с точностью, сопоставимой с точностью решения посредством искусственных нейронных сетей. При этом логический анализ данных дает ряд преимуществ при практическом использовании. Прежде всего, в явном виде известны правила, по которым принимается решение о принадлежности к какому-либо классу. Кроме того, при применении модели классификации к

Таблица 4

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	16	0	3	100
	Положительные	0	14	5	92
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	27	3	2	89
	Положительные	3	22	6	100

Таблица 5

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	19	0	3	67
	Положительные	0	17	5	100
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	24	3	3	100
	Положительные	3	26	4	62

Таблица 6

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	13	0	3	100
	Положительные	0	19	5	75
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	23	3	3	100
	Положительные	3	28	5	75

Таблица 7

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	14	0	4	76
	Положительные	0	20	7	65
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	22	3	5	65
	Положительные	3	35	7	82

Таблица 8

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	14	0	5	100
	Положительные	0	36	7	95
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	23	3	5	86
	Положительные	3	35	8	70

новому пациенту по тому, каким числом паттернов покрываются его данные, можно судить о вероятности возможной ошибки при распознавании.

Библиографические ссылки

1. Осложнения инфаркта миокарда: база данных для апробации систем распознавания и прогноза : препринт № 6 / А. Н. Горбань, В. А. Шульман, Д. А. Россиев и др. ; Вычислит. центр СО РАН. Красноярск, 1997.

2. Hammer, P. L., Bonates T. Logical Analysis of Data: From Combinatorial Optimization to Medical Applications : research report 10-2005 / RUTCOR. N. Y., 2005.

Таблица 9

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	14	0	4	50
	Положительные	0	33	7	88
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	22	3	4	75
	Положительные	3	52	7	88

Таблица 10

Задача оптимизации	Множество паттернов	Покрытие отрицательных объектов	Покрытие положительных объектов	Степень паттерна	Точность классификации, %
Целевая функция (1), ограничение (2)	Отрицательные	13	0	4	81
	Положительные	0	30	7	88
Целевая функция (1), ограничение (3)	Отрицательные	21	3	4	81
	Положительные	3	47	7	88

S. E. Golovenkin, T. K. Gulakova, R. I. Kuzmich, I. S. Masich, V. A. Shulman

MODEL OF LOGICAL ANALYSIS FOR SOLVING PROBLEM OF PROGNOSIS OF MYOCARDIAL INFARCTION COMPLICATIONS

A data classification method based on search and usage of logical rules is considered in the paper. The decision rule is based on the model received as a result of solving combinatorial optimization problems. The classification model for prediction of myocardial infarction complications is constructed.

Keywords: myocardial infarction, classification, combinatorial optimization, logical algorithms, prognosis.

© Головенкин С. Е., Гулакова Т. К., Кузьмич Р. И., Масич И. С., Шульман В. А., 2010

УДК 004.6

А. В. Коробко, Т. Г. Пенькова

МЕТОД КОНЦЕПТУАЛЬНОГО OLAP-МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОГО КОНЦЕПТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА*

Предложен метод концептуального OLAP-моделирования предметной области. Представлено описание процесса построения интегральной аналитической модели в виде формальной концептуальной решетки OLAP-кубов. Применение концептуальной OLAP-модели позволяет повысить эффективность оперативной аналитической обработки многомерных данных. Выполнено построение концептуальной аналитической модели научной деятельности организации на основе предложенного метода.

Ключевые слова: концептуальное OLAP-моделирование, оперативная аналитическая обработка данных, формальный концептуальный анализ, поддержка принятия решений.

Эффективность управления административными ресурсами во многом определяется своевременностью предоставления аналитической информации. Для поддержки принятия управленческих решений широко используется технология OLAP (On-line analytical processing) [1–5]. Необходимость оперативной аналитической обработки больших объемов данных в задачах организационного управления (территориального, отраслевого, корпоративного и т. п.) требует создания новых подходов к реализации технологии OLAP. Качество анализа данных на основе OLAP во многом определяется доступностью исходных данных и прозрачностью аналитической модели предметной области. Как правило, аналитическая модель представляет собой множество локальных OLAP-моделей с соответствующими витринами данных для решения частных задач [1–3]. Формирование такой фрагментарной модели происходит из-за необходимости привлечения специалиста со знанием структуры и состава исходных данных для решения каждой новой аналитической задачи. Применение специализированного хранилища данных [6–8] в качестве источника исходной информации позволяет частично избежать ошибок согласованности анализируемых данных, но не решает проблему отсутствия возможности оперировать всеми объектами анализа предметной области. Актуальной становится задача построения интегральной OLAP-модели. В ряде случаев [4; 9] интегральный подход реализуется построением каталога показателей, позволяющего систематизировать объекты анализа, но не обеспечивающего поддержку их совместной аналитической обработки. Необходимо разработать метод построения интегральной OLAP-модели на основе структурирования экспертных знаний об объектах анализа предметной области и возможности их совместной аналитической обработки.

Предлагается метод концептуального OLAP-моделирования на основе формального концептуального анализа показателей и измерений предметной области. Формально описан процесс построения интегральной аналитической модели в виде концептуальной решетки OLAP-кубов. Интегральная OLAP-модель позволяет оперировать всеми объектами анализа и охватывает максимальное число решаемых аналитических задач. Применение концептуальной OLAP-модели для поддержки принятия управленческих решений позволяет повысить эффективность оперативной аналитической обработки многомерных данных.

Основные понятия технологии OLAP. Технология OLAP представляет собой современную концепцию анализа данных, описанную совокупностью требований к программным продуктам, обеспечивающим оперативную аналитическую обработку и представление данных. Впервые принципы OLAP были сформулированы основоположником теории реляционных баз данных Е. Коддом [10]. OLAP обеспечивает пользователя естественной, интуитивно понятной моделью данных, организуя их в виде многомерных кубов.

OLAP-куб можно рассматривать как гиперкуб $G = \langle D, F\rangle$ – модель логического многомерного представления данных, характеризующую двумя наборами параметров: показателями и измерениями (рис. 1).

$F = \langle f_1, f_2, \ldots, f_n\rangle$ – показатели (меры) гиперкуба: каждый показатель имеет множество значений, количественно характеризующих анализируемый процесс.

$D = \langle d_1, d_2, \ldots, d_m\rangle$ – измерения гиперкуба: каждое измерение представляет собой упорядоченное множество значений определенного типа. Измерения могут быть организованы в виде упорядоченной иерархической структуры. Множество измерений образует оси гиперкуба:

$$d_1 = d_1^1, d_1^2, \ldots, d_1^{k_1},$$
$$d_2 = d_2^1, d_2^2, \ldots, d_2^{k_2},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$d_n = d_n^1, d_n^2, \ldots, d_n^{k_n}.$$

Одно из основных требований технологии OLAP – «прозрачность»: готовый многомерный куб должен быть представлен конечному пользователю в удобном для него виде, инструменты манипулирования кубом должны быть интуитивно понятны, наименования объектов анализа должны соответствовать терминологии предметной области.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 02.740.11.0621) и гранта ККФПН и НТД (доп. соглашение № 01/10 от 17 мая 2010 г.).

Процесс OLAP-анализа представляется совокупностью операций с многомерными данными – детализации, консолидации (группировки), формирования среза и поворота. Операции консолидации определяют переход от детального представления данных к агрегированному, а в случае детализации осуществляется обратный переход. Формирование среза куба заключается в фиксации значения (значений) определенного измерения, при этом сокращается размерность куба. Срез представляет собой подкуб, в который входят все остальные измерения. Операция поворота заключается в изменении положения осей куба – измерений. В результате вращения меняется «точка зрения» на данные.

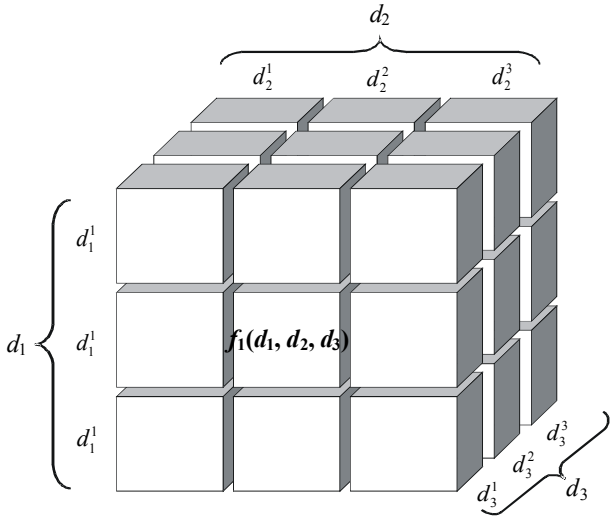


Рис. 1. OLAP-куб

Для конечного пользователя применение OLAP обеспечивает высокую гибкость получаемых решений за счет возможности изменения отображения результата. Аналитик получает не жестко регламентированный отчет, а инструментарий для творческого исследования задачи. Возможность свободной манипуляции данными упрощает получение необходимых наборов данных. Важным преимуществом OLAP является предоставление пользователю возможности оперировать знакомыми терминами из предметной области [11].

OLAP-куб можно рассматривать как абстрактное представление выбранного подмножества реляционной базы данных [12]. Процесс формирования OLAP-куба включает выбор необходимых таблиц, расстановку связей между ними, выбор полей данных и сопоставление их с терминами предметной области, что требует специальных знаний о предметной области и структуре исходных данных.

Построение OLAP-куба для каждой частной аналитической задачи ведет к формированию фрагментарной аналитической модели предметной области. Для повышения эффективности оперативной аналитической обработки данных необходима интегральная OLAP-модель, построенная на основе всех объектов анализа предметной области. Возможность манипулирования всеми объектами анализа предметной области одновременно сопряжена с необходимостью использования экспертных знаний об объектах анализа и о возможности их совместной аналитической обработки.

Построение интегральной OLAP-модели предметной области на основе формального концептуального анализа. С целью построения интегральной OLAP-модели предметной области на основе всех объектов анализа необходимо выделить группы объектов, имеющих общие структурные признаки, исходя из отношения сопоставимости и возможности их совместной аналитической обработки. Для этого целесообразно использовать методы бинарной объектно-признаковой кластеризации, в которых сходство объединяемых в один кластер объектов выражается через общие элементы описания всех объектов из данного кластера [13]. К таким методам относятся методы, основанные на формальных концептах и решетках формальных концептов [14].

Формальный концептуальный анализ (Formal Concept Analysis) впервые был предложен Р. Вилле (R. Wille) в 1981 г. [15] и активно развивается сегодня. Метод заключается в следующем.

Формальным контекстом называется тройка $K = (G, M, I)$, где G – множество объектов, M – множество атрибутов, $I \subseteq G \times M$ – отношение такое, что gIm, где $g \in G$, $m \in M$ означает, что объект g обладает атрибутом m. Формальный контекст может быть представлен в виде бинарной матрицы, строки которой помечены именами объектов, а столбцы – значениями атрибутов. Для произвольных $A \subseteq G$ и $B \subseteq M$ определяются A' и B':

$$A' = \{m \in M \mid gIm \text{ для всех } g \in A\},$$

$$B' = \{g \in G \mid gIm \text{ для всех } m \in B\}.$$

Пара множеств (A, B) таких, что $A \subseteq G, B \subseteq M, A' = B$ и $B' = A$, называется формальным концептом контекста K. Множество объектов A представляет объем формального концепта, а множество атрибутов B – содержание формального концепта. Таким образом, формальный концепт – это множество объектов предметной области, каждый из которых обладает всеми атрибутами из некоторого подмножества атрибутов, присущих всем этим объектам.

Применение формального концептуального анализа к объектам оперативной аналитической обработки многомерных данных позволяет построить интегральную OLAP- модель на основе экспертных знаний об объектах анализа предметной области и возможности их совместной аналитической обработки. На основе интеграции технологии OLAP и формального концептуального анализа разработан метод построения концептуальной модели предметной области в виде формальной решетки многомерных кубов [16]. Контекстная диаграмма IDEF0 процесса построения интегральной OLAP-модели представлена на рис. 2.

Предлагаемый метод включает следующие основные этапы.

1. Формирование множества объектов анализа предметной области.

2. Построение формального контекста.

3. Определение формальных кубов-концептов.

4. Построение формальной концептуальной решетки OLAP-кубов.

На первом этапе путем интервьюирования конечного пользователя и изучения отчетных форм эксперт определяет аналитические задачи предметной области, фор-

мирует множество аналитических запросов. Сформулированные запросы позволяют определить множество терминов предметной области – объектов анализа, которые используются для построения OLAP-кубов концептуальной аналитической модели. Объекты концептуального анализа, в соответствии с моделью многомерного представления данных, делятся на множество измерений $D = \{d_1, d_2, \ldots, d_n\}$ и множество показателей $F = \{f_1, f_2, \ldots, f_m\}$. Термины, определяющие аспекты анализа предметной области, образуют множество измерений, а термины, представляющие количественные характеристики анализируемого процесса, образуют множество показателей. Затем на основе структуры хранилища данных выполняется сопоставление объектов анализа с полями таблиц, тем самым определяется физическая составляющая измерений и показателей. Объекты анализа могут быть связаны с полями таблиц хранилища данных напрямую или рассчитываться на основе нескольких полей по заданному алгоритму расчета.

На втором этапе построения интегральной OLAP-модели экспертом структурируется множество объектов анализа, сформированное на предыдущем этапе. На основе экспертных знаний об аналитических особенностях информационных объектов и функциональных зависимостей хранилища данных определяется сопоставимость показателей и измерений – возможность их совместной аналитической обработки.

Отношение сопоставимости между элементами множеств F и D обозначим R. $R \subseteq F \times D$, $(f_i, d_j) \in R$, если показатель f_i может быть проанализирован по измерению d_j. Тройка (F, D, R), в соответствии с теорией формального концептуального анализа, представляет собой формальный контекст K. Формальный контекст отражает знания эксперта об объектах анализа предметной области и о возможности их совместной аналитической обработки. Формальный контекст может быть представлен в виде бинарной матрицы, строки которой соответствуют показателям, а столбцы – измерениям.

На третьем этапе на основе сформированного формального контекста определяется множество кубов-концептов по признаку сопоставимости объектов анализа.

Теория формального концептуального анализа позволяет объединять характеристики анализируемого процесса по признаку общности аспектов анализа в кластеры – концепты. Множество показателей одинаковой размерности A, которые могут быть проанализированы по всем измерениям из B, образуют куб-концепт (A, B). Множество показателей A представляет объем формального куба-концепта, а множество измерений B – содержание формального куба-концепта.

В соответствии с моделью многомерного представления данных, формальный куб-концепт – это аналитический многомерный куб, полный относительно добавления показателей той же размерности и состава измерений. Это означает, что невозможно включить в такой OLAP-куб дополнительный показатель без уменьшения числа измерений, т. е. в рамках построенного формального контекста не существует других показателей, сопоставимых с тем же набором измерений.

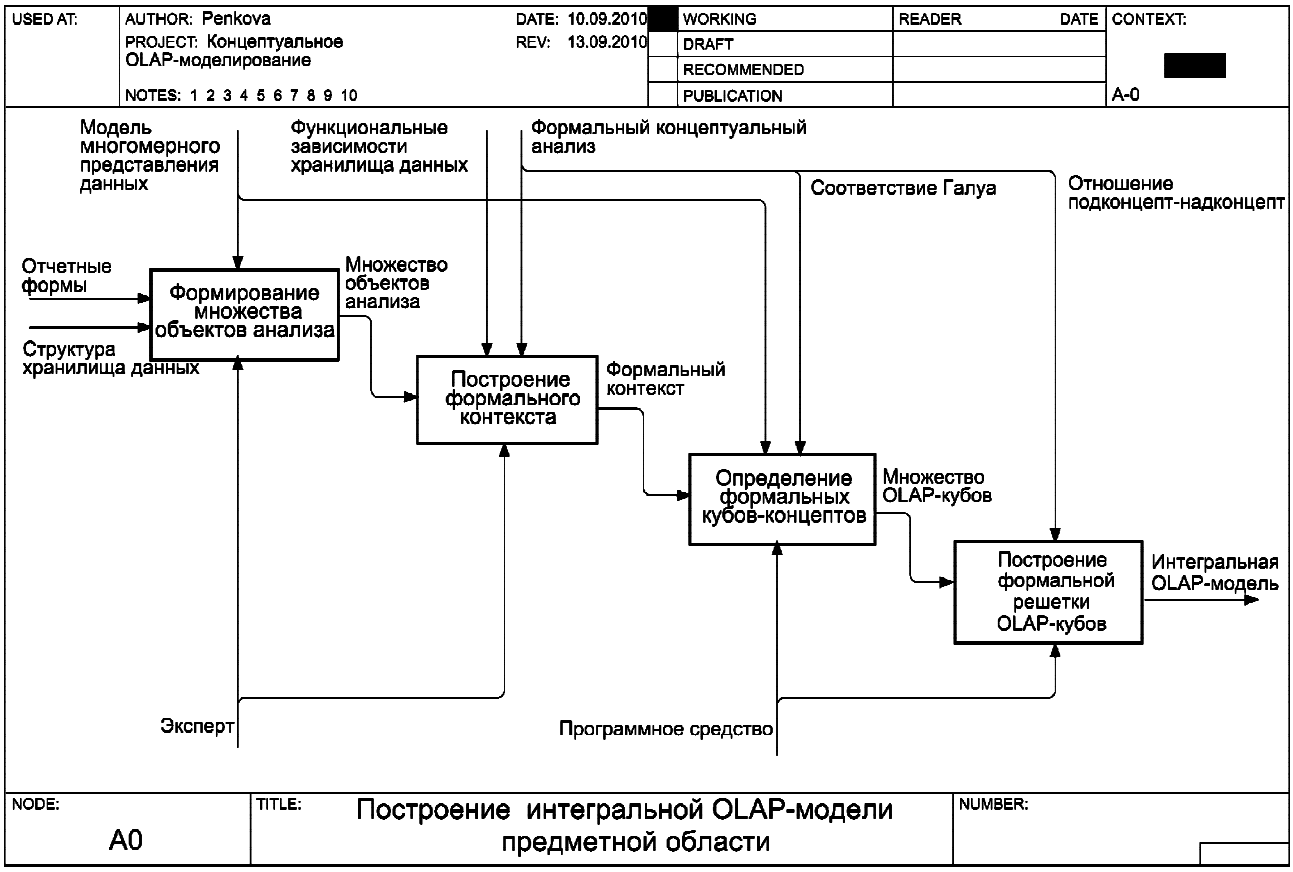


Рис. 2. Построение интегральной OLAP-модели предметной области

На заключительном этапе строится решетка кубов-концептов, которая позволяет оперировать всеми объектами анализа и охватывает максимально возможное число решаемых аналитических задач рассматриваемой предметной области.

Согласно методу формального концептуального анализа, множество всех концептов частично упорядочено отношением подконцепт–надконцепт: $(A_1, B_1) \leq (A_2, B_2)$ если $A_1 \subseteq A_2$ (что эквивалентно $B_2 \subseteq B_1$). В этом случае (A_1, B_1) называют подконцептом (A_2, B_2), а (A_2, B_2) – надконцептом (A_1, B_1). Упорядоченное множество всех концептов контекста образует полную решетку – решетку концептов [17].

Для концептуальной OLAP-модели отношение подконцепт–надконцепт определяется как подкуб–надкуб: множество показателей родительского куба включает множество показателей дочернего куба, а, в свою очередь, множество измерений дочернего куба включает множество измерений родительского куба. Решетка кубов-концептов представляет собой визуализацию интегральной OLAP-модели предметной области.

Построение формальной концептуальной решетки OLAP-кубов научной деятельности организации. Рассмотрим применение метода концептуального OLAP-моделирования для построения интегральной OLAP-модели научной деятельности организации в виде формальной концептуальной решетки многомерных кубов.

Научная деятельность – одна из основных форм функционирования научно-образовательных центров, научных и образовательных учреждений. Научная деятельность – это интеллектуальная деятельность, направленная на получение и применение новых знаний для решения технологических, инженерных, экономических, социальных, гуманитарных и иных проблем, обеспечения функционирования науки, техники и производства как единой системы.

Анализ эффективности научной деятельности организации связан с решением таких аналитических задач, как:

– оценка результативности научных исследований;

– оценка результативности аспирантуры и докторантуры;

– оценка публикационной активности сотрудников;

– мониторинг показателей интеграции науки и образования;

– оценка кадрового обеспечения организации и др.

Решение аналитических задач, в свою очередь, связано с выполнением следующих запросов:

– количество публикаций, подготовленных сотрудниками;

– количество публикаций в российской и зарубежной печати за год;

– количество патентов, полученных подразделениями организации за год;

– количество учебных пособий, подготовленных сотрудниками организации;

– количество российских и зарубежных грантов;

– количество объектов интеллектуальной собственности;

– количество сотрудников, ведущих преподавательскую деятельность;

– количество сотрудников, осуществляющих научное руководство;

– количество научных мероприятий, проведенных подразделениями организации и др.

Анализ запросов позволяет выделить множество терминов предметной области и на их основе определить множество объектов анализа научной деятельности. В том числе определяются:

– показатели: число публикаций; число патентов; число статей; число учебных пособий; число грантов; число проведенных конференций; количество сотрудников и т. д.

– измерения: год; подразделение; тип пособия; город; название журнала; тип публикации; тип патента; статус конференции; автор и т. д.

С учетом сопоставимости показателей и измерений (совместной аналитической обработки) строится формальный контекст. Фрагмент формального контекста научной деятельности организации представлен на рис. 3.

		d_1 Год	d_2 Подразделение	d_3 Тип пособия	d_4 Город	d_5 Название журнала	d_6 Тип публикации	d_7 Тип патента	d_8 Статус конференции	d_9 Автор
f_1	Число публикаций	×	×				×			×
f_2	Число проведенных конференций	×	×		×				×	
f_3	Число патентов	×	×					×		×
f_4	Число статей	×	×		×	×	×			×
f_5	Число учебных пособий	×	×	×	×		×			×

Рис. 3. Фрагмент формального контекста научной деятельности организации

Определены следующие элементы множества F = {число публикаций, число проведенных конференций, число патентов, число статей, число учебных пособий} и элементы множества D = {год, подразделение, тип пособия, город, название журнала, тип публикации, тип патента, статус конференции, автор}. Используя сокращенные обозначения, получим соответственно: $F = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5\}$ и $D = \{d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9\}$. Отношение R записывается следующим образом: $R = \{(f_1, d_1), (f_1, d_2), (f_1, d_6), (f_1, d_9), \ldots, (f_5, d_9)\}$.

В рамках рассматриваемого формального контекста строится концептуальная решетка OLAP-кубов представляющая интегральную OLAP-модель научной деятельности организации (рис. 4).

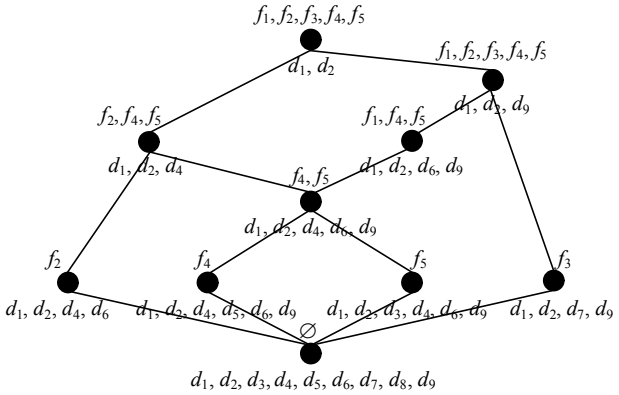


Рис. 4. Решетка кубов-концептов научной деятельности организации

В рамках рассматриваемого примера, показатели $A = \{f_2, f_4, f_5\}$ одновременно сопоставимы только с измерениями из $B = \{d_1, d_2, d_4\}$. Пара (A, B) образует формальный концепт – полный аналитический куб. Множество всех кубов-концептов, упорядоченное отношением подкуб–надкуб, образует решетку многомерных кубов.

Таким образом, предложенный метод концептуального OLAP-моделирования позволяет строить интегральную модель предметной области в виде решетки OLAP-кубов на основе экспертных знаний об объектах анализа и возможности их совместной аналитической обработки. Интегральная модель дает возможность оперировать всеми объектами анализа одновременно и охватывает максимальное число решаемых аналитических задач. Применение концептуальной OLAP-модели для поддержки принятия управленческих решений позволит повысить эффективность оперативной аналитической обработки многомерных данных. Практическим результатом работы стало построение интегральной OLAP-модели научной деятельности организации.

Дальнейшее развитие метода концептуального OLAP-моделирования сопряжено с необходимостью разработки алгоритмов обнаружения дополнительных показателей и измерений, исходя из свойств концептуальной решетки и начальных условий решаемой аналитической задачи. Планируется разработка метода формирования базы знаний на основе формальной концептуальной решетки OLAP-кубов и создание программных средств поддержки адаптивного манипулирования объектами анализа при оперативной аналитической обработке многомерных данных.

Библиографические ссылки

1. Горелов Б. А., Горелов Б. Б. Разработка модели данных для целей оперативной аналитической обработки финансовой информации университета // Унив. управление. 2002. № 4(23). С. 33–46.

2. Ноженкова Л. Ф., Шайдуров В. В. OLAP-технологии оперативной информационно-аналитической поддержки организационного управления // Информ. технологии и вычислит. системы. 2010. № 2. С. 15–27.

3. Palaniappan S., Ling C. Clinical Decision Support Using OLAP With Data Mining // Intern. J. of Computer Science and Network Security. 2008. Vol. 8. № 9. P. 290–296.

4. Javed A., Shaikh M., Bhatti B. Conceptual Model for Decision Support System Based Business Intelligence OLAP Tool for Universities in Context of E-Learning // Proc. World Congress on Engineering and Computer Science. San Francisco, 2008.

5. Vasilecas O., Smaizys A. Business rule based data analysis for decision support and automation // Proc. Intern. Conf. on Computer Systems and Technologies. Vol. II, 2006.

6. Inmon W. Building the Data Warehouse. N. Y. : Willey John & Sons, 1992.

7. Sperley E. Enterprise data warehouse: planning, building and implementation. Vol. 1. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall PTR, 2001.

8. Бадмаева К. В. Методика адаптивного проектирования специализированных хранилищ данных // Тр. XIV Байкал. конф. Ч. III. Иркутск, 2009. С. 214–221.

9. Боярский Н. А., Шовкун А. В. Построение аналитической части корпоративной информационно-аналитической системы средствами Oracle OLAP Option и BI Beans [Электронный ресурс] // Oracle Magazine RE, апрель–май, 2004. URL: http://www.interface.ru/home.asp?artId = 9604 (дата обращения: 23.11.2010).

10. Codd E. F. Providing OLAP to user-analysts: An IT mandate : technical report. San Jose : Codd and Date, 1993.

11. Korobko A., Penkova T. OLAP-modeling of municipal procurement automation support problem // Proc. Intern. Conf. on Conceptual Structures (ICCS′09). 2009. P. 87–91.

12. Data Cube: A Relational Aggregation Operator Generalizing Group-By, Cross-Tab, and Sub-Totals / J. Gray, A. Bosworth, A. Layman, H. Priahesh // Proc. of the 12th Intern. Conf. on Data Engineering. IEEE, 1995. P. 152–159.

13. Kedrov S., Kuznetsov S. Study of Groups of Web Users with Methods Based on Formal Concept Analysis and Data Mining // Business-informatics. 2007. № 1. P. 45–51.

14. Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis: mathematical Foundations. Berlin : Heidelberg : N. Y. : Springer-Verlag, 1999.

15. Wille R. Restructuring Lattice Theory: an approach based on hierarchies of concept. Dordrecht-Boston : Reidel, 1982. P. 445–470.

16. Korobko A., Penkova T. On-line analytical processing based on Formal concept analysis // Procedia Computer Science. 2010. Vol. 1. Iss. 1. P. 2305–2311.

17. Биркгоф Г. Теория решеток. М. : Наука. 1984.

A. V. Korobko, T. G. Penkova

METHOD OF CONCEPTUAL OLAP-MODELLING BASED ON FORMAL CONCEPTUAL ANALYSIS

A method of domain conceptual OLAP-modeling is suggested. The way of constructing the integral analytical model as a formal conceptual OLAP-cubes lattice is formally described. Advantages of on-line analytical processing based on conceptual OLAP-model are presented. Suggested method is implemented for integral analytical model constructing for scientific activities of the organization.

Keywords: conceptual OLAP-modeling, on-line analytical processing, formal conceptual analysis, decision support.

© Коробко А. В., Пенькова Т. Г., 2010

УДК 004.04:004.421

А. И. Ноженков

ПОСТРОЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ OLAP-МОДЕЛЕЙ*

Представлены средства метаописания комплексов OLAP-моделей для решения сложных аналитических задач. Описаны алгоритмы управления расчетами. Полученные результаты применены в задачах территориального планирования медицинской помощи.

Ключевые слова: OLAP-модель, комплекс OLAP-моделей, управление, многомерные данные, гибридная модель знаний, алгоритмы управления расчетами.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество программных продуктов, реализующих функции OLAP-анализа. Такие крупные компании, как Hyperion Solutions Corp., IBM, Oracle, Microsoft, Sybase, Panorama Software, Cognos Inc. и другие ведут разработки в этой области, их решения охватывают практически все существующие задачи. Однако традиционные OLAP-решения малоэффективны в прикладных областях организационного управления, где необходим комплексный анализ данных, связанный с реализацией сложных аналитических алгоритмов. Методы расчета аналитических показателей для решения задач оперативного управления и планирования в здравоохранении, образовании, в сфере социальной защиты населения и множестве других прикладных областей представляют собой сложные многошаговые процессы анализа многомерных данных. Потребовался новый подход в OLAP-технологии, ориентированный на решение сложных аналитических задач, использующих связные многошаговые расчеты с множеством информационных объектов.

В статье представлены результаты работ по развитию функциональности OLAP-продуктов в рамках нового подхода, названного комплексным OLAP-моделированием [1; 2]. Описаны средства автоматизации разработки OLAP-приложений для сложных аналитических задач на основе построения управляемых комплексов OLAP-моделей.

Метаописание комплекса OLAP-моделей для сложных задач. Идея технологии OLAP хорошо описана [3–5]. В основе OLAP лежит многомерная логическая модель данных [6]. OLAP-модель (далее – модель) представляет собой описание процессов расчета некоторой аналитической задачи. Структурно аналитическая модель состоит из исходных данных (витрины данных), информационного куба и операций над ним, а также способов представления результатов вычисления.

Для решения сложных аналитических задач обычно строится не одна модель, а целый комплекс OLAP-моделей, каждая из которых решает отдельную подзадачу. Например, чтобы применить эту технологию к задаче планирования медицинской помощи, требуется построить модели анализа и прогноза демографической ситуации в регионе, анализа заболеваемости, анализа соответствия необходимых объемов медицинской помощи возможностям существующих медицинских учреждений и т. п. Каждая из перечисленных подзадач имеет самостоятельное значение, однако чтобы осуществить ежегодное планирование медицинской помощи в регионе, необходимо выполнить целенаправленный связный расчет с применением всего комплекса моделей. Для этого помимо средств сохранения результатов расчетов каждой модели необходимо обеспечить управление расчетами в зависимости от состояния задачи.

Построение управляемых комплексов OLAP-моделей для сложных аналитических задач предлагается осуще-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 02.740.11.0621) и гранта ККФПН и НТД (доп. соглашение № 01/10 от 17 мая 2010 г.).

ствлять на основе метаописания, которое включает в себя описание каждой модели, множество отношений между моделями, условия применения и коррекции моделей, условия альтернативного выбора модели. Метаописание комплекса OLAP-моделей осуществляется с применением специальной гибридной модели знаний декларативно-процедурного типа:

$$U=<W, R, U>,$$

где $W = \{M_1, M_2, \ldots, M_n\}$ – описание множества моделей; R – отношения между моделями; U – условия применения и коррекции моделей.

Каждая OLAP-модель $M \in W$ представляется в виде $M = <X, G, Q(G), S(G)>$.

Используются следующие обозначения:

X – дискретное множество входных данных модели (витрина данных);

$G = <Z, F>$ – гиперкуб – модель логического многомерного представления данных, характеризующаяся двумя наборами параметров: показателями $Z = <z_1, z_2, \ldots, z_m>$ и измерениями $F = <f_1, f_2, \ldots, f_n>$. Каждый показатель представляет собой множество значений, количественно характеризующих анализируемый процесс. Каждое измерение представляет собой упорядоченное множество значений определенного типа. Множество измерений образует оси гиперкуба. Измерения могут быть организованы в виде упорядоченной иерархической структуры;

$Q(G)$ – функции, или процедуры, описывающие построение элементов гиперкуба G: показателей Z и измерений F, исходя из множества входных данных X, а также операции над гиперкубом: агрегирование гиперкуба по иерархии атрибутов выбранного измерения, срез гиперкуба G по одному или нескольким заданным измерениям, операции поворота гиперкуба, изменяющие порядок измерений в гиперкубе;

$S(G)$ – описание результатов вычисления OLAP-модели, обычно сохраняемых в виде таблиц агрегатов. Особенностью технологии OLAP является возможность наглядной визуализации результатов обработки в виде таблиц, кросс-таблиц, диаграмм, а также динамических картограмм [2].

Для описания моделей в работе [7] предложен специальный язык и разработаны программные средства генерации в этом языке скрипта OLAP-модели, который генерируется в результате ее интерактивного формирования в программной системе. Однако работать со скриптовым представлением оказалось довольно сложно, поскольку комплекс может содержать большое число моделей. К примеру, для задачи ежегодного планирования медицинской помощи комплекс включает более сорока OLAP-моделей.

Для повышения обозримости комплекса нами введено краткое метаописание OLAP-модели M в виде кортежа:

M: *<витрина данных>*; *<назначение модели>*; *<результат>*.

Метаописание каждой модели M в базе знаний формируется автоматически, с помощью специально разработанного программного обеспечения на основе скрипта.

Для реализации управляемых расчетов, помимо описания отдельных моделей, необходимо описать их взаимосвязи. Это осуществляется путем описания отношений между моделями и условий их применения.

Основной вид отношений между моделями – отношение информационной зависимости моделей $M_1 \rightarrow M_2$, которое определяет необходимость предварительного расчета модели M_1 для последующего расчета модели M_2. Обычно это отношение имеет место, если результаты вычисления M_1 используются как исходные данные для M_2. Отношение информационной зависимости применяется для построения упорядоченных цепочек расчета OLAP-моделей. Можно также использовать отношение альтернативного выбора модели для случая, когда разные модели решают одну и ту же задачу разными методами.

Условия применения моделей описываются с помощью правил следующего вида:

R_1: ЕСЛИ $P(x_1, x_2, \ldots, x_n)$
ТО ВЫПОЛНИТЬ M / ИЗМЕНИТЬ M,

где R_1 – уникальное в базе знаний имя правила; $x_1, x_2, \ldots, x_n$ – показатели, заданные как результаты расчета какой-либо модели, либо заданные в витрине как исходные данные. Каждый показатель представляет собой многомерный куб, описанный в витрине данных соответствующей OLAP-модели. Предикат P задается в виде логико-лингвистического выражения. Операция ВЫПОЛНИТЬ М в правой части правила R_1 интерпретируется как выполнение расчета OLAP-модели M. Если в процессе логического вывода правило R_1 применяется, то это приводит к расчету показателей – результатов модели M. Как следствие, должны быть пересчитаны все информационно зависимые OLAP-модели. Операция ИЗМЕНИТЬ М в правой части правила интерпретируется как переход к интерактивному процессу коррекции модели M. Пример правил такого типа приведен ниже.

Алгоритмы управления аналитическим расчетом. Метаописание комплекса OLAP-моделей используется в управляемых расчетах следующим образом. Генерация цепочек OLAP-моделей выполняется на основе их метаописания как процедура логического вывода на гибридной базе знаний. Процедура вывода представляет собой интерактивный процесс, позволяющий производить многовариантный расчет сложных многоэтапных задач.

Управление процессом расчета осуществляется на основе применения правил выполнения и выбора OLAP-моделей, а также с учетом действий пользователя. Пользователь может интерактивно изменить или заменить любую модель, вследствие чего изменяется ее системное представление. Также пользователь может изменить условия применения, изменив метаописание в базе знаний. Процедура логического вывода учитывает оба варианта. При этом автоматически исследуются возможные изменения расчета и строятся новые цепочки моделей. Кроме того, продукционные правила позволяют не только указывать условия применения моделей, но и в явном виде задавать в базе знаний такие важные элементы, как критерии согласованности показателей.

Рассмотрим алгоритм логического вывода, позволяющий выполнять управляемый многовариантный расчет на примере расчета Территориальной программы

государственных гарантий оказания населению бесплатной медицинской помощи (далее – ТПГГ) с применением метаописания комплекса OLAP-моделей [8].

Чтобы выполнить процесс генерации цепочек OLAP-моделей, позволяющих рассчитать показатели объемов медицинской помощи и нормативы требуемого финансирования, а также выполнить согласование этих показателей, применяется построенное метаописание комплекса моделей. Генерация цепочек OLAP-моделей для расчета ТПГГ выполняется как интерактивный процесс логического вывода, позволяющий производить многовариантный расчет ТПГГ либо в целом, либо отдельных ее фрагментов. Управление процессом расчета выполняется на основе применения правил выполнения и выбора OLAP-моделей, а также с учетом действий пользователя.

Рассмотрим алгоритм расчета с применением обратной цепочки вывода на базе знаний, представляющей метаописание комплекса моделей (рис. 1). Алгоритм условно можно разделить на три этапа: формирование цепочек OLAP-моделей, генерация скрипта цепочек и сам процесс расчета.

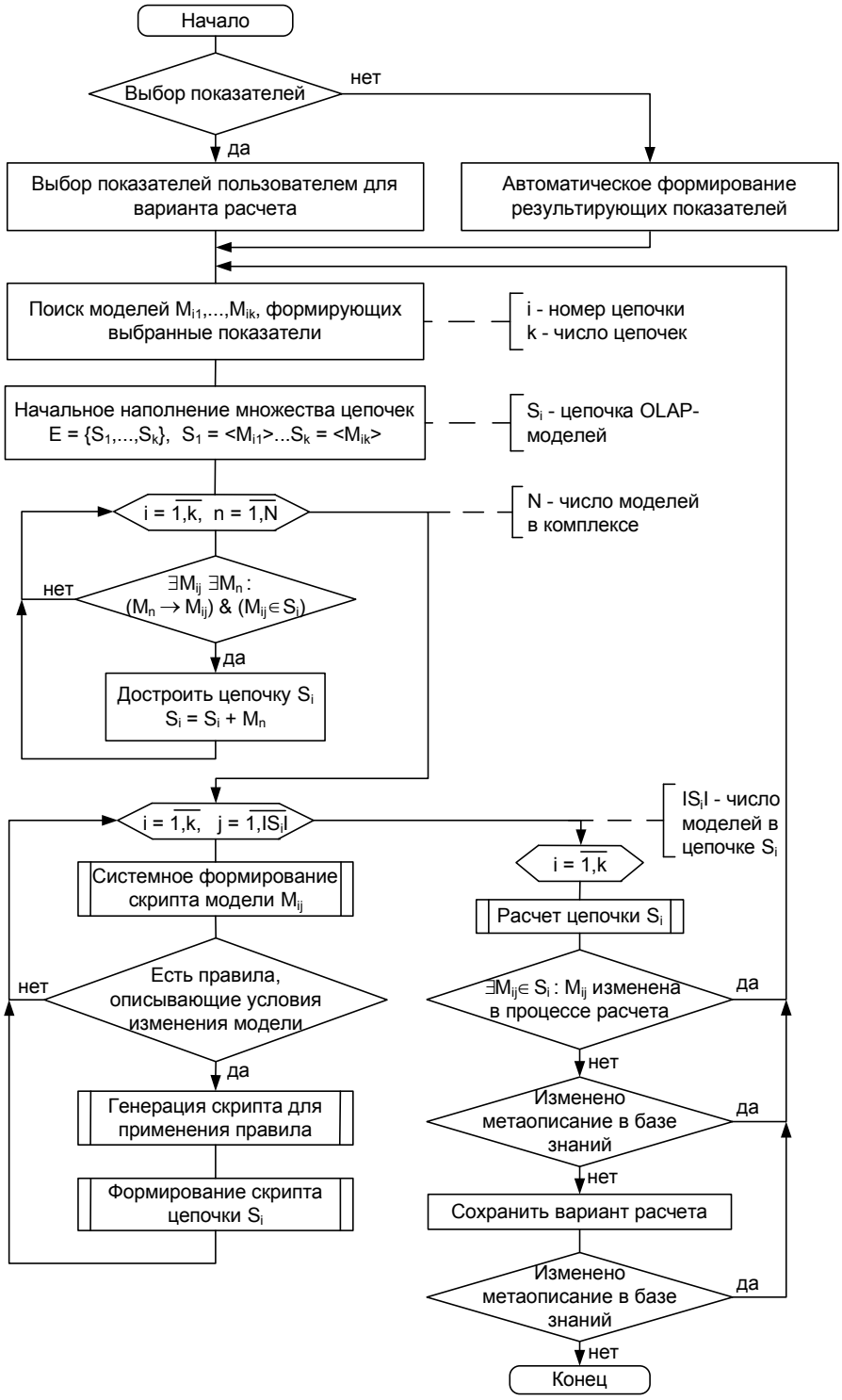


Рис. 1. Алгоритм расчета выбранных показателей

Построение цепочек предполагает определение зависимых моделей. Задаются показатели, которые необходимо рассчитать. Автоматически определяются необходимые для этого модели и порядок расчета. По описанию в базе знаний находятся модели такие, от которых информационно зависит какая-либо модель из числа помещенных в цепочки. Соответствующие цепочки дополняются.

Результирующие цепочки должны удовлетворять следующему требованию: любая зависимая модель должна располагаться в цепочке не раньше любой модели, от которой она информационно зависит; для каждой пары моделей в цепочке, если имеет место отношение $M_1 \rightarrow M_2$, то M_1 должна предшествовать M_2 в цепочке. Это требование обеспечивает корректность расчетов.

Затем формируется скрипт построенных цепочек моделей (рис. 2). Для этой цели используется системное описание моделей и правила выполнения и выбора моделей, представленные в базе знаний. В зависимости от вида правил формируются и вставляются в скрипт цепочек управляющие элементы.

Полученный вариант расчета ТПГГ можно сохранить, затем изменить методику расчета, изменив модели или условия выполнения моделей, и вновь выполнить расчет. Таким образом, можно получить несколько вариантов расчета ТПГГ и выбрать из них наиболее рациональный.

Многовариантный расчет можно выполнить также для того, чтобы применить разные модели балансировки показателей ТПГГ. Уточнение и балансировка показателей необходимы для согласования требуемых объемов медицинской помощи и выделенного финансирования. Можно изменить порядок расчета моделей балансировки, изменив в базе знаний приоритеты правил применения этих моделей.

В случае если в результате интерпретации правила R_i, описывающего в базе знаний условия выполнения, или изменения OLAP-модели, или отдельного показателя, оказалось, что левая часть правила – условие – оказалось выполнено, то в скрипт расчетной цепочки, куда помещена модель в результате выполнения предыдущего алгоритма, добавляется скрипт, позволяющий инициировать соответствующее действие. При этом, если в результате интерактивного взаимодействия с пользователем модель изменяется, то по алгоритму (см. рис. 1), это приводит к возврату к построению последовательности расчета заново.

Рассмотрим алгоритм проверки условия правила, содержащего многомерные показатели (рис. 3). Алгоритм записывается следующим образом:

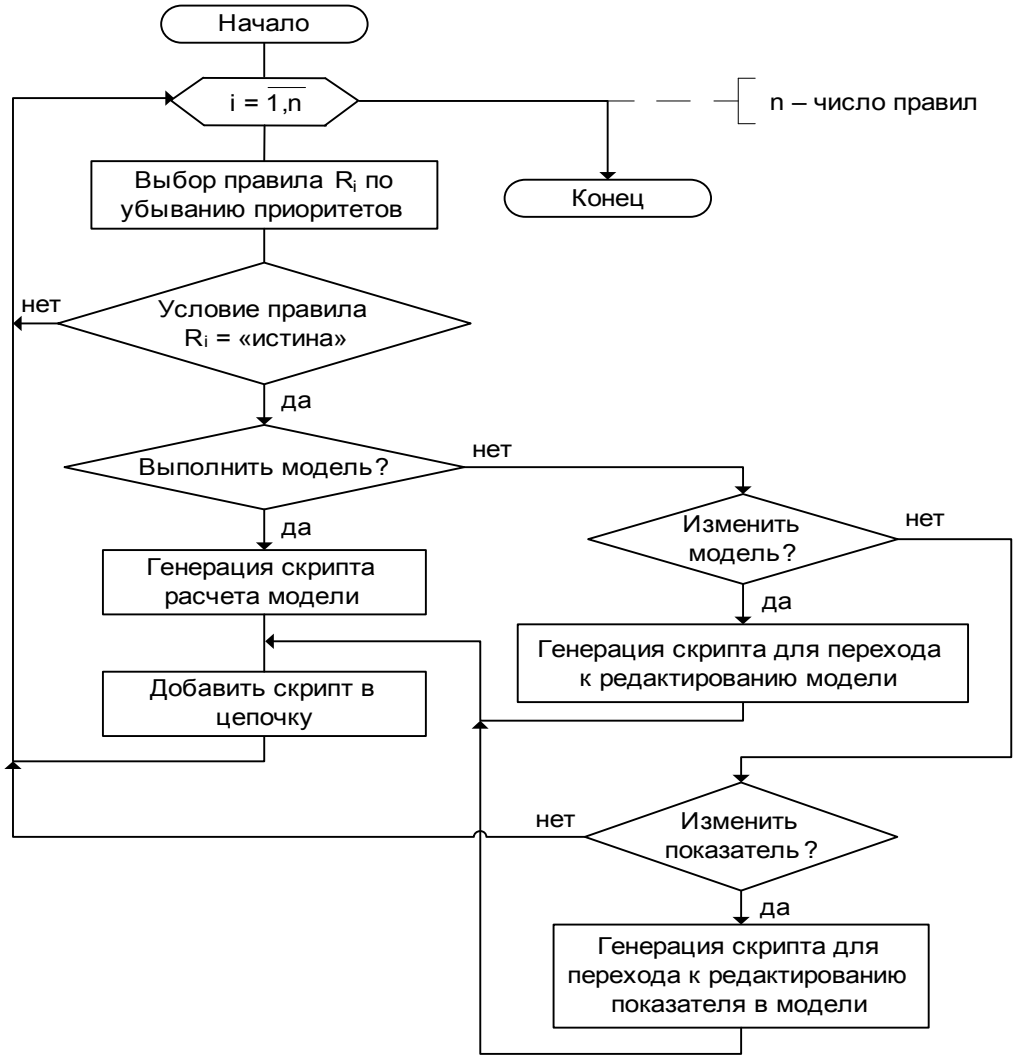


Рис. 2. Алгоритм формирования управляющих элементов в цепочке моделей

R_1: ЕСЛИ $(x_1 \sim a_1)$ И $(x_2 \sim a_2)$
И … И $(x_n \sim a_n)$ ТО ВЫПОЛНИТЬ M.

Суть алгоритма состоит в том, чтобы сравниваемые многомерные показатели привести к одинаковой размерности. Для этого по несовпадающим измерениям производятся срезы. Затем значения показателей, имеющие одинаковое положение в построенном кубе, попарно сравниваются, если отношение выполняется для всех пар, то условие правила истинно, в противном случае – условие ложно. Если показатели не имеют общих измерений, условие ложно.

Таким образом, рассмотренные алгоритмы позволяют выполнять расчет показателей путем реализации обратной стратегии логического вывода на знаниях, представляющих метаописание комплекса моделей.

Пример сводного расчета объемов медицинской помощи по круглосуточным стационарам представлен на рис. 4.

Таким образом, предложенный способ метаописания связных комплексов OLAP-моделей, основанный на декларативно-процедурной модели знаний, позволяет осуществлять управление многовариантными аналитическими расчетами путем построения упорядоченных цепочек OLAP-моделей. Особенностью является возможность применения многомерных условий в правилах, описывающих порядок вычисления моделей. Представленные алгоритмы управления аналитическим расчетом в комплексе применены для расчета показателей территориальной программы бесплатной медицинской помощи. Выполнена программная реализация полученных результатов. Программное обеспечение внедрено в агентстве здравоохранения Красноярского края.

Библиографические ссылки

1. Ноженкова Л. Ф., Шайдуров В. В. OLAP-технологии оперативной информационно-аналитической поддержки организационного управления // Информ. технологии и вычислит. системы. 2010. № 2. С. 15–27.

2. Ноженкова Л. Ф., Евсюков А. А., Ноженков А. И. Методы управления и геоинформационного моделирования в технологии OLAP // J. of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2009. № 2(1). С. 49–58.

3. Арсеньев С. Б., Бритков В. Б., Маленкова Н. А. Использование технологии анализа данных в интеллектуальных информационных системах // Управление информ. потоками : сб. тр. Ин-та системного анализа РАН. М. : Эдиториал УРСС, 2002. С. 47–68.

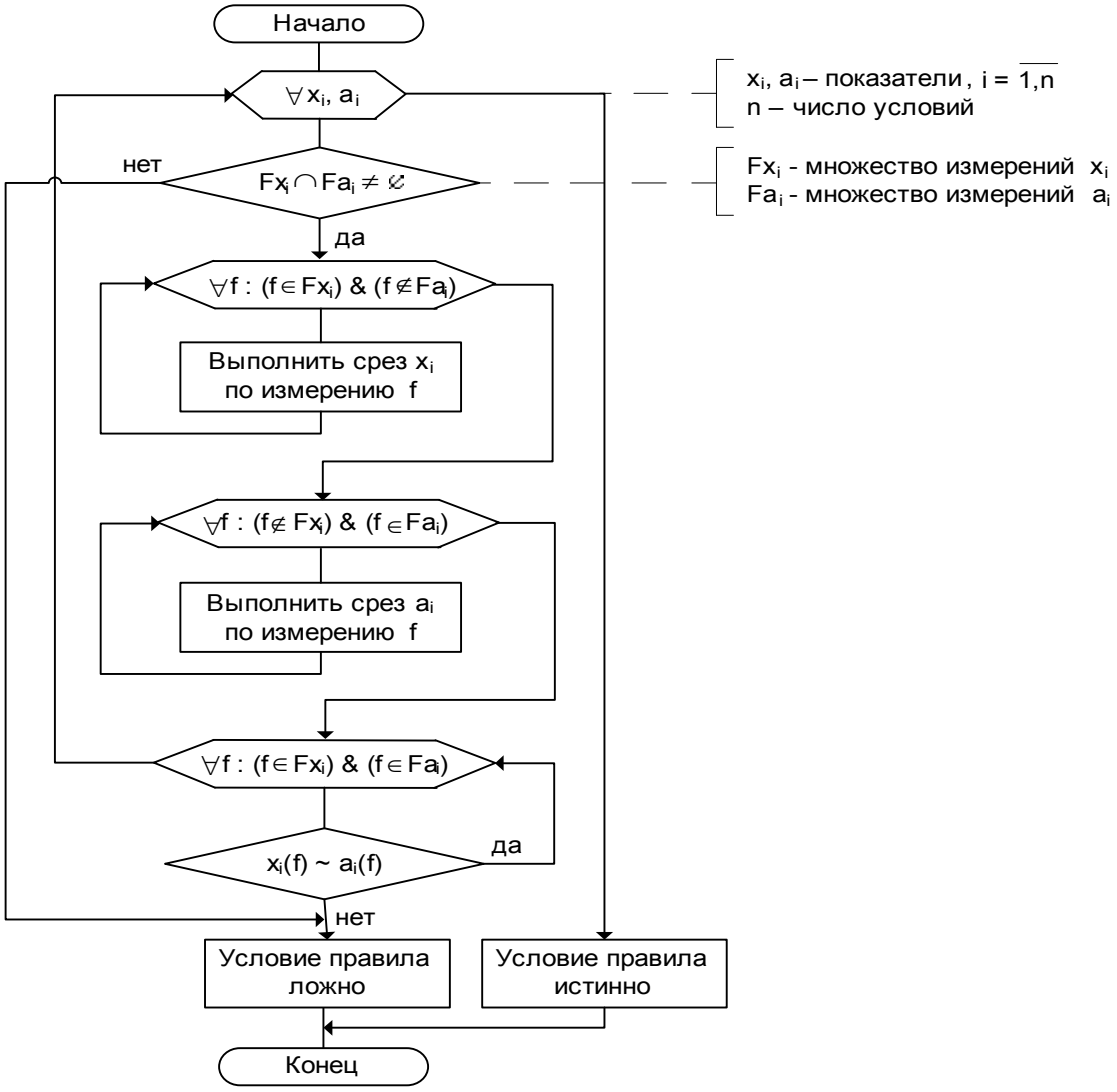


Рис. 3. Алгоритм проверки многомерного условия правила

4. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб. : БХВ-Петербург, 2004.

5. Манди Д. К вопросу об OLAP [Электронный ресурс] / под ред. Р. Кимбалла // Intelligent Enterprise. 2003. № 18. URL: http://iemag.ru/?ID=473963 (дата обращения: 23.11.2010).

6. Висков А. В., Фомин М. Б. Средства описания многомерных моделей данных // Вестник РУДН. Сер. Прикл. и компьютер. математика. 2003. Т. 2. № 1. С. 128–139.

7. Ишенин П. П. Инструментальные средства построения комплексов моделей и аналитических приложений в OLAP-технологии : автореф. дис. … канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

8. Ноженков А. И. Интеллектуальные средства OLAP-моделирования в задачах планирования медицинской помощи // Открытое образование (Приложение). Красноярск : Экспресс-Офсет, 2006. С. 156–160.

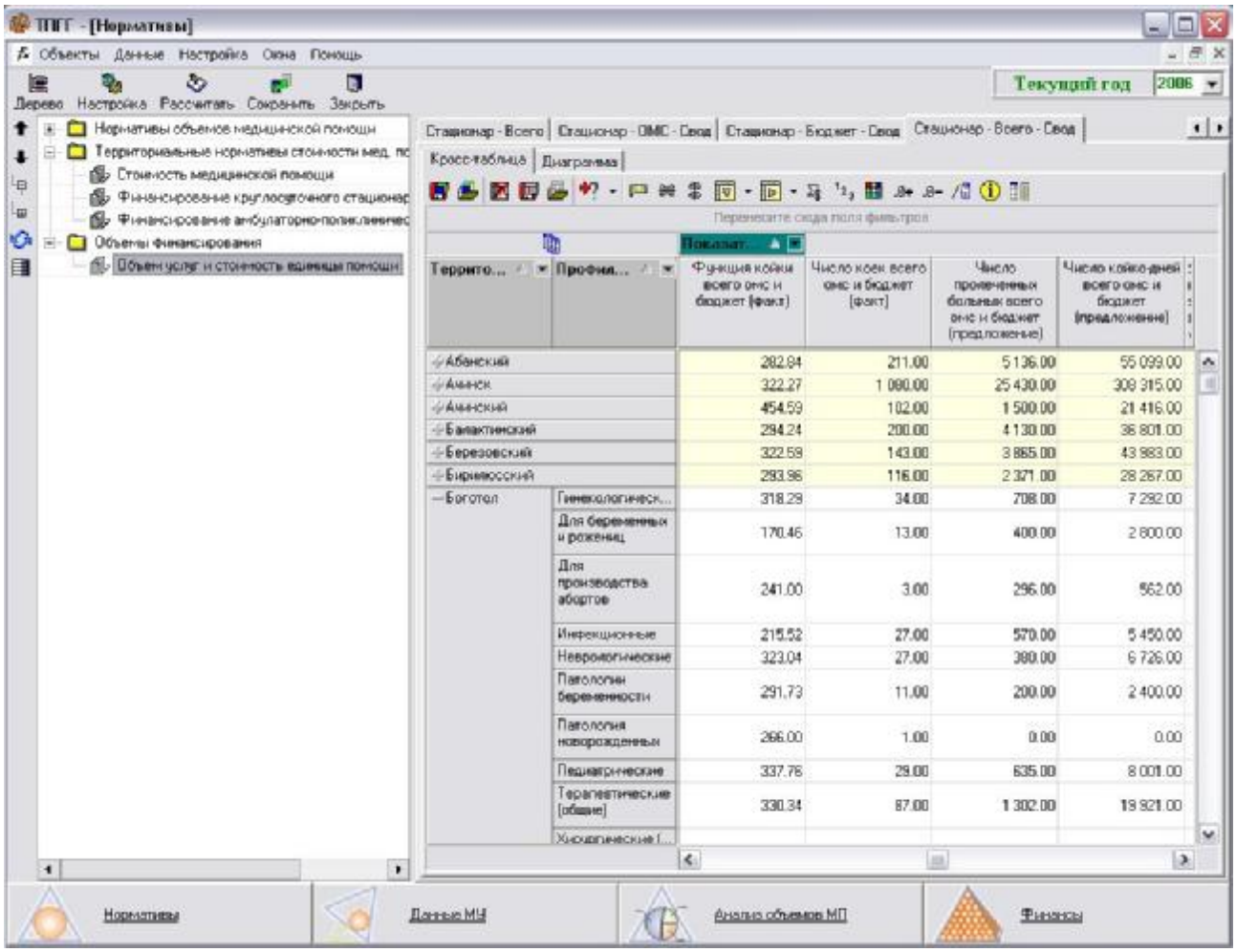


Рис. 4. Сводный расчет объемов медицинской помощи по круглосуточным стационарам

A. I. Nozhenkov

OLAP-MODELS CONTROLLED COMPLEX CONSTRUCTION

OLAP-models complex meta-description means for solving complicated analytical problems are presented. Control calculation algorithms are described. The results were applied for territorial planning of medical assistance.

Keywords: OLAP-model, OLAP-model complex, control, multidimensional data, hybrid knowledge model, control calculation algorithms.

© Ноженков А. И., 2010

УДК 004.421.4

К. В. Бадмаева

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ХРАНИЛИЩ ДАННЫХ*

Предложена методика адаптивного управления процессом проектирования и развития хранилищ данных, обеспечивающая оригинальную формализацию процессов проектирования и развития модели данных, учитывая условия эксплуатации и специализированную информацию о предметной области, что позволяет повысить производительность хранилищ данных. Выполнено описание логики процесса проектирования и развития специализированного хранилища данных с использованием управляющей модели в нотации eEPC ARIS-методологии.

Ключевые слова: специализированное хранилище данных, адаптивное управление, проектирование, материализация представлений.

Адаптивное управление разработкой хранилища данных (ХД) подразумевает итерационные действия, направленные на достижение приемлемой производительности систем поддержки принятия решений. В качестве критерия оптимальности, относительно которого принимается решение, для модели адаптивного управления используется минимизация стоимости обслуживания и времени отклика, а в качестве управляемых переменных – характеристики хранилища в виде совокупности ограничений (максимальное время ожидания ответа, доступное дисковое пространство). Параметры объектов управления не могут быть однозначно определены и меняются в ходе реализации процессов проектирования и эксплуатации, происходящих в современных условиях развития.

Для повышения производительности систем поддержки принятия решений необходимо включать в модель хранилища данных итоговые агрегатные таблицы. Из-за ограничений дискового пространства и объема трудозатрат, связанных с необходимостью поддержания агрегатов в актуальном состоянии, нельзя вычислить и сохранить все возможные представления. Поэтому материализуются только избранные комбинации агрегатов, которые затем используются для более эффективного вычисления других агрегатов. Задача выбора агрегатов для материализации NP – трудная [1], число агрегатов экспоненциально зависит от количества измерений. При эксплуатации хранилища выбор представлений для материализации может основываться на информации о частоте и времени выполнения запросов. Такая информация автоматически накапливается СУБД в виде статистики по полям таблиц хранилища данных и отсутствует на этапе проектирования. При проектировании хранилища требуется разработать способы определения релевантных элементов в пространстве представлений кандидатов на материализацию, используя доступную информацию о предметной области.

Методика адаптивного управления процессом проектирования и развития специализированных хранилищ данных. Специализированное хранилище данных ориентировано на решение определенного класса аналитических задач. Решение задач обеспечивается наличием четких описаний совокупностей методов расчета показателей предметной области. Предлагается определять релевантные элементы для включения в модель данных хранилища на основе анализа методик предметной области, переходя от содержательного описания к количественным оценкам. Такой подход позволит повысить производительность первоначального проекта специализированного хранилища, используя информацию о предметной области в отсутствии статистической. Развитие модели хранилища данных для повышения скорости доступа к информации должно соответствовать требованиям пользователей. Учет потребностей пользователей предлагается выполнять за счет включения семантических оценок методик предметной области в расчет релевантных элементов.

Предлагаемая методика построении специализированных хранилищ данных реализуется в три основных этапа.

Этап 1. Исследование предметной области: выделение измерений, показателей и методик расчета. Определение источников данных, частоты их обновления. Изучение структуры исходных данных для последующей разработки методов унификации и верификации данных. Определение релевантных данных с помощью методик расчета показателей предметной области.

Этап 2. Формирование модели хранилища данных: создание таблиц фактов и таблиц измерений. Включение в модель хранилища данных дополнительных структур, используя алгоритм выбора релевантных представлений. Формирование репозитория метаданных.

Этап 3. Эксплуатация хранилища данных и накопление статистики для последующего его развития с использованием алгоритма выбора релевантных представлений и рекомендаций автоматических средств системы управления базами данных (СУБД).

Проектирование и развитие хранилища данных может производиться с помощью инструментария одного производителя или нескольких, при этом возможные проблемы интеграции различных компонентов в работе не рассматриваются. Инструментарий хранилища обеспе-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № 02.740.11.0621) и гранта ККФПН и НТД (Доп. сог. № 01/10 от 17 мая 2010 г.).

чивает загрузку, верификацию и актуализацию данных и использует определенный сервер СУБД. Применение принципа адаптации предполагает, что часть функций по получению, обработке и анализу недостающей информации о работе системы осуществляется автоматическими средствами СУБД в процессе нормальной эксплуатации хранилища данных, а не проектировщиком на предварительной стадии разработки.

Различные оптимизаторы запросов СУБД обладают специфическими свойствами, которые накладывают дополнительные требования на результат. Конкретный физический проект зависит от свойств выбранного оптимизатора. Необходимо, чтобы разрабатываемая методика проектирования и развития хранилищ данных не предполагала детального изучения работы и особенностей оптимизатора СУБД. Предлагается обеспечение методикой построения первоначальной модели хранилища данных, которая в процессе эксплуатации будет корректироваться автоматическими средствами СУБД в соответствии с внутренней реализацией конкретного сервера.

Методика адаптивного управления процессом проектирования и развития специализированных хранилищ данных основана на использовании алгоритма выбора релевантных представлений (алгоритм релевантности). Предложенный алгоритм включает определение релевантных элементов множества представлений и выбор представлений для материализации [2; 3]. Для описания логики процесса проектирования и развития специализированных хранилищ данных используется управляющая модель в нотации eEPC ARIS-методологии [4] (рис. 1). Нотация ARIS eEPC (extended Event Driven Process Chain) – расширенная нотация описания цепочки процесса, управляемого событиями, являющаяся расширением нотации IDEF3.

Управляющая модель объединяет организационную и функциональную модели, включая этапы проектирования и эффективного использования хранилища данных с возможностью его адаптивного развития. Модель отражает роли, которые играют автоматические средства оптимизации, инструментарий ХД, проектировщик и эксперт предметной области в процессе настройки и поддержки хранилища данных в актуальном и работоспособном состоянии. «Проектировщик» объединяет роли программиста и администратора хранилища данных и специалиста, проводящего исследование предметной области. «Эксперт» выступает в роли специалиста предметной области и(или) пользователя хранилища данных.

В процессе эксплуатации хранилища данных автоматическими средствами СУБД по полям таблиц хранилища собираются и обрабатываются статистические сведения, на основе которых формируются рекомендации по внесению изменений в модель данных. При поступлении новой информации предметной области или дополнительного дискового пространства, в случае отсутствия рекомендаций СУБД, решение об изменении модели хранилища данных принимается на основе выполнения алгоритма релевантности.

Действия по повышению производительности ХД выполняются до тех пор, пока структура хранилища данных не достигнет состояния, когда внесение в нее изменений невозможно или не требуется (события управляющей модели «ХД работает удовлетворительно» или «ХД работает неудовлетворительно»). Такое состояние поддерживается, пока не инициализируется одно из событий, приводящее цепочку последовательного выполнения функций в действие, например, поступление дополнительного дискового пространства или появление новых требований пользователя.

Наиболее эффективная структура хранилища данных обеспечивается интеграцией автоматических средств оптимизации, действий проектировщика и пользователя в настройке и поддержке хранилища в актуальном работоспособном состоянии с учетом имеющейся информации на конкретный момент времени. Отличие от существующих подходов к проектированию хранилищ данных заключается в том, что особое внимание уделено проблеме организации данных при отсутствии статистики о работе хранилища данных.

Особенность предложенной методики отражена блоками управляющей модели, определяющими проектирование, развитие и изменение модели ХД на основе алгоритма релевантности [2; 3].

Состав и описание модели проектирования. Модель процесса проектирования и развития специализированного хранилища содержит следующие функциональные блоки.

1. Проектирование модели ХД (алгоритм релевантности).
2. Разработка методов автоматизированной загрузки.
3. Изменение модели ХД (алгоритм релевантности).
4. Получение и обработка дополнительной информации.
5. Проверка работы ХД.
6. Анализ причин неудачи.
7. Изменение настроек сбора статистики.
8. Сбор статистики.
9. Обработка статистики.

Каждый блок включает набор алгоритмов и методов для достижения целевого назначения.

Проектирование модели хранилища данных происходит общесистемными методами [5–7] и др., включая последовательное выполнение концептуального и логического этапов проектирования. Концептуальное и логическое проектирование может быть выполнено с использованием различных моделей данных [8–11], которые поддерживают реляционные структуры данных и обеспечивают простоту трансляции концептуальной модели данных в логическую [12] и др.

Предложенный в работе алгоритм релевантности, используемый для проектирования модели хранилища данных, состоит из алгоритма определения релевантности [2] и алгоритма выбора представлений для последующей материализации в информационном хранилище [1; 3; 13–15].

Выполнение функции «Разработка методов автоматизированной загрузки», вызванное наступлением события «Физическая модель данных реализована», производится разово. Последующий вызов функции не происходит до тех пор, пока не появится событие «Новые данные поступили». Иными словами, новые методы загрузки информации не требуются до тех пор, пока не поступят неучтенные ранее данные предметной области.

Хранилище данных является развивающейся средой, поэтому требуется изменение и развитие модели хранения в нем информации. Изменения, как правило, вызываются следующими событиями: первичным наполнением хранилища, периодическим поступлением новых данных, появлением новых расчетных методик предметной области, поступлением рекомендаций от автоматических средств СУБД, изменением дискового пространства для области агрегатов. После реализации модели хранилища данных и разработки средств автоматизированной загрузки выполняется наполнение хранилища. Дальнейшее развитие хранилища влечет за собой периоди-

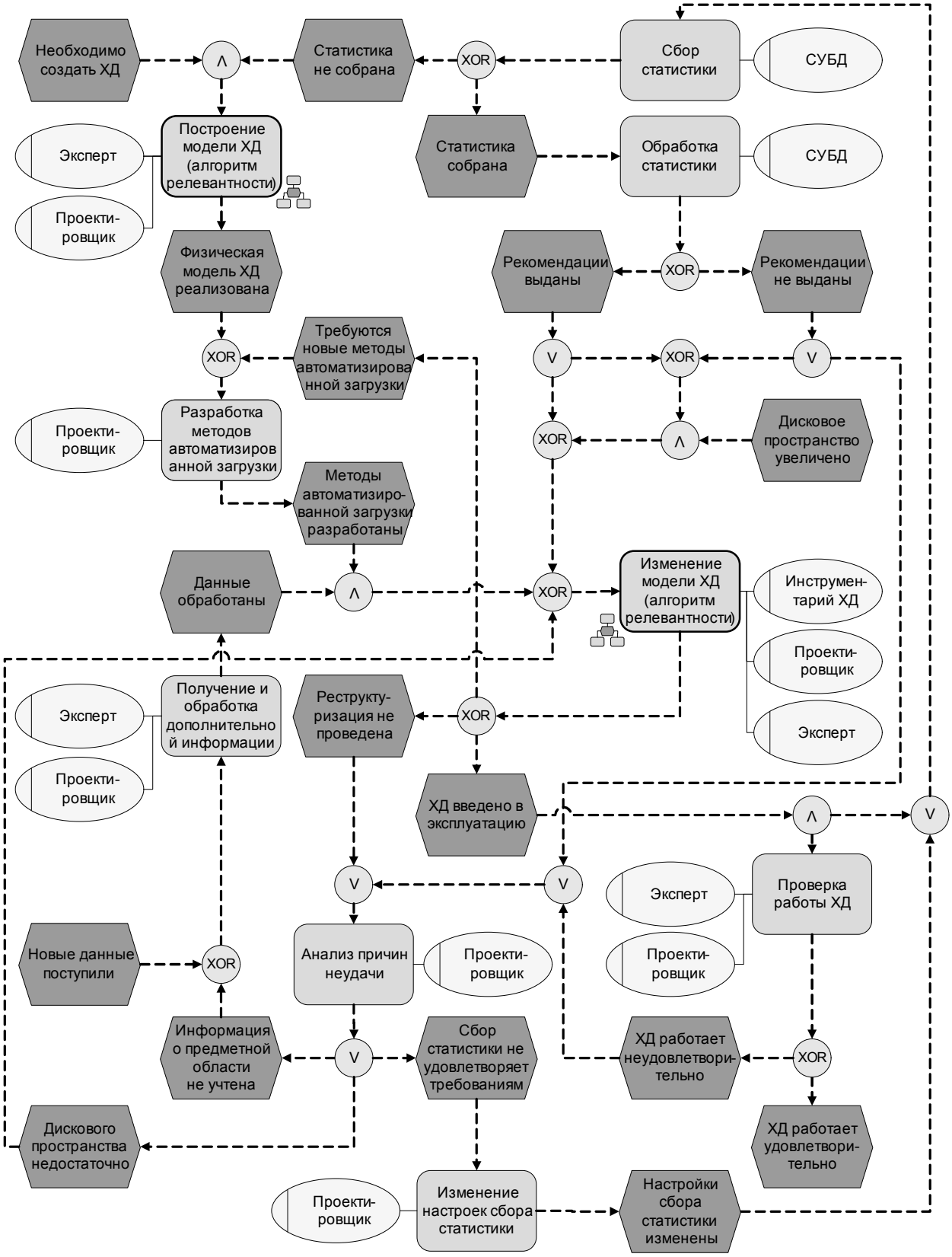


Рис. 1. Модель процесса проектирования и развития специализированного хранилища данных

ческое пополнение данными и развитие модели хранилища данных.

Периодическое пополнение данными происходит в автоматическом или полуавтоматическом режиме за счет заранее разработанных методов загрузки. При поступлении новых данных, для которых планируется периодическое пополнение, разрабатываются соответствующие средства автоматической актуализации и унификации.

Эксплуатация системы позволяет автоматическим средствам СУБД собрать необходимую статистическую информацию о работе хранилища данных и провести ее анализ, выдав пакет рекомендаций для изменения модели хранилища данных. Если рекомендации не выданы и получено дополнительное дисковое пространство, то используются результаты алгоритма [2; 3], позволяющие выбрать дополнительные материализованные представ-

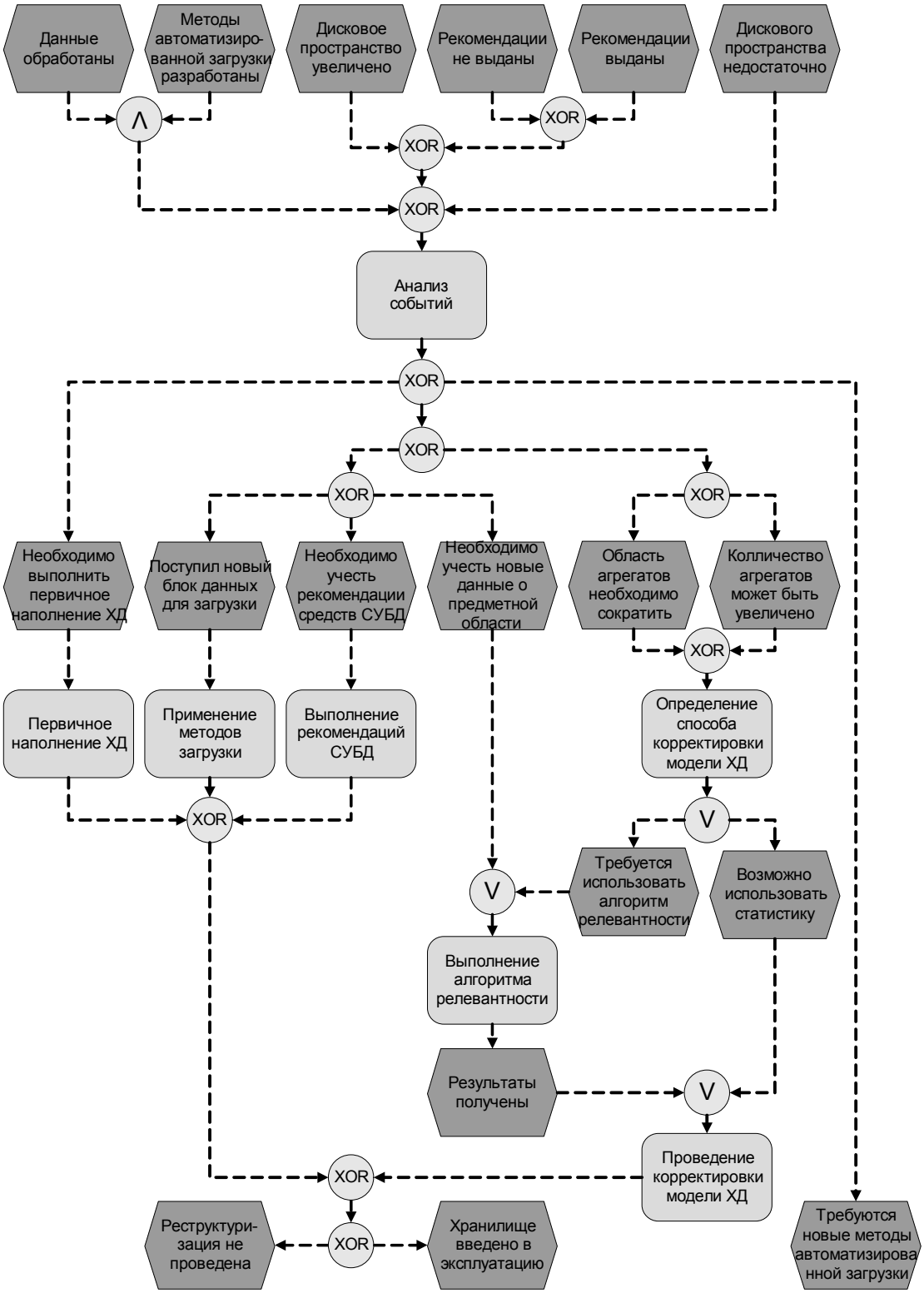


Рис. 2. Функциональный поток процесса «Изменение модели ХД (алгоритм релевантности)»

ления для добавления в хранилище. Необходимо учитывать, что периодически объемы хранилища данных увеличиваются. Если для проведения актуализации данных недостаточно дискового пространства, то необходимо удалить часть таблиц с агрегатами, руководствуясь при этом статистической информацией или, при ее отсутствии, – алгоритмом релевантности [2; 3].

Декомпозиция функции «Изменение модели ХД (алгоритм релевантности)» модели проектирования и развития специализированных хранилищ данных показана на рис. 2. В случае успешного применения действий, вызванных событиями, требующими развития модели хранилища данных, результатом является измененная модель хранилища данных, готовая к дальнейшей эксплуатации. После внесения корректировок в модель хранилища данных выполняется проверка его работы.

Запланированная реструктуризация модели хранилища данных может быть не проведена по причине нехватки дискового пространства, которого недостаточно даже при удалении агрегированных данных из хранилища. В этом случае требуется дополнительное исследование ситуации, решение которой зависит от возможности поступления дискового пространства.

По результатам проверки работоспособности инициализируется функция анализа возможных причин неудачи или хранилище данных переходит в стационарное состояние удовлетворительной работы, сопровождаемое только сбором статистики. В стационарном состоянии хранилище находится до тех пор, пока не инициализируется одно из событий, требующих изменения модели или объемов данных.

Методика адаптивного управления процессом проектирования и развития специализированных хранилищ данных предполагает регулярный сбор статистики. Сбор и обработка статистики выполняются автоматически СУБД. Результаты сбора статистики используются для изменения модели хранилища данных и для изменения настроек автоматических средств анализа и сбора статистики.

Работа большого числа утилит по проведению анализа, настройки и сбору информации о базе данных автоматическими средствами СУБД может сильно понизить производительность системы, в этом случае следует уменьшить их количество или изменить способы их работы. Изменение настроек статистики может быть вызвано недостатком информации о частоте выполнения запросов. При наличии свободных системных ресурсов может быть выполнено изменение способов работы мастера настройки индексов или подключение и использование дополнительных утилит СУБД.

Существуют различные сочетания причин, в связи с которыми становится невозможным проведение изменения модели хранилища данных и обеспечивается неудовлетворительная работа. Функция «Анализ причин неудачи» выполняется проектировщиком, принимая во внимание общую картину функционирования хранилища данных. После проведения анализа разрабатываются способы устранения причин неудачи реструктуризации или неудовлетворительного функционирования ХД.

В процессе эксплуатации хранилища данных меняются требования пользователей к составу информации и расчетным методикам, на основе которых выполнено проектирование и оптимизация модели данных. Кроме этого, могут быть выявлены особенности предметной области, не учтенные на первоначальном этапе разработки хранилища данных. Предложенная методика адаптивного управления предполагает выполнение обработки дополнительной информации о предметной области для корректировки модели хранилища данных. К множеству новых данных и расчетных методик применяется специально разработанный алгоритм, учитывающий поступление новой информации предметной области. При наличии соответствующей статистики о работе хранилища модель данных корректируется с учетом рекомендаций СУБД. Для новых данных и материализованных представлений разрабатываются средства автоматической актуализации.

Выполнено описание процесса проектирования и развития специализированных хранилищ данных на основе методики адаптивного управления процессом проектирования и развития специализированных хранилищ данных. Для описания логики процесса проектирования и развития специализированного хранилища данных используется управляющая модель в нотации eEPC ARIS-методологии. Функциональные блоки модели, определяющие проектирование и развитие модели хранилища данных на основе алгоритма выбора релевантных представлений для материализации, отражают особенность предложенной методики. Описаны функции и связи между элементами, представленные в модели. Модель обеспечивает наглядное представление процесса функционирования специализированного хранилища данных в рамках методики адаптивного управления, начиная с принятия решения о необходимости проектирования. Методика адаптивного управления процессом проектирования и развития позволяет повысить производительность специализированного хранилища за счет материализованных представлений, выбранных с использованием информации о предметной области в отсутствии статистики о работе хранилища данных. Предложенная методика не предполагает детального изучения работы и особенностей оптимизатора СУБД, обеспечивая построение первоначальной модели хранилища данных, которая в процессе эксплуатации корректируется автоматическими средствами в соответствии с внутренней реализацией конкретного сервера баз данных.

Библиографические ссылки

1. Gupta H., Afrati F. N., Kolaitis P. G. Selection of views to materialize in a data warehouse // Proc. of the 6th Intern. Conf. on Database theory // Eds. Lecture Notes In Computer Science. London : Springer-Verlag, 1997. P. 98–112.

2. Бадмаева К. В. Алгоритм оценки релевантности представлений для материализации в специализированном хранилище данных // Вестник СибГАУ. 2009. Вып. 1(22). В 2 ч. Ч. 2. С. 60–64.

3. Badmaeva K. The performance of specialized data warehouses increasing // Proc. of the IASTED Intern. Conf. on Automaton, Control and Information Technology. Novosibirsk, 2010. P. 206–210.

4. Моделирование бизнеса. Методология ARIS / М. Каменова, А. Громов, М. Ферапонтов, А. Шматалюк. М. : Метатехнология, 2001.

5. Спирли Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка, реализация. М. : Вильямс, 2001.

6. Kimball R., Ross M. The data warehouse toolkit: the complete guide to dimensional modeling. N. Y. : John Wiley & Sons, Inc., 2002.

7. Inmon W. H. Building the data warehouse. N. Y. : John Willey & Sons, 1992.

8. Buzydlowski J. W., Song I., Hassell L. A framework for object-oriented on-line analytic processing // Proc. of the 1st ACM Intern. Workshop on Data Warehousing and OLAP. N. Y. 1998. P. 10–15.

9. Golfarelli M., Rizzi S. A methodological framework for data warehouse design // Proc. of the 1st Intern. Workshop on Data Warehousing and OLAP. Maryland, 1998. P. 3–9.

10. Extending the E/R model for the multidimensional paradigm / C. Sapia, M. Blaschka, G. Hëofling, B. Dinter // Proc. ER Workshop on Data Warehousing and Data Mining. Singapore, 1998. P. 105–116.

11. Tryfona N., Busborg F., Christiansen J. StarER: A conceptual model for data warehouse design // Proc. of the ACM 2nd Intern. Workshop on Data Warehousing and OLAP/ Kansas City. 1999. P. 3–8.

12. Kamble A. S. A conceptual model for multidimensional data // Proc. of the Fifth on Asia-Pacific Conf. on Conceptual Modelling ; Australian Computer Society, Darlinghurst, Australia, 2008. Vol. 79. P. 29–38.

13. Baralis E., Paraboschi S., Teniente E. Materialized views selection in a multidimensional database // Proc. of the 23rd Intern. Conf. on Very Large Data Bases, Eds. Very Large Data Bases. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 1997. P. 156–165.

14. Harinarayan V., Rajaraman A., Ullman J. D. Implementing data cubes efficiently // Proc. of the 1996 ACM SIGMOD Intern. Conf. on Management of Data. Quebec, 1996. P. 205–216.

15. Efficient approaches for materialized views selection in a data warehouse / M. Hung, M. Huang, D. Yang, N. Hsueh // Information Sciences. 2007. № 177. P. 1333–1348.

K. V. Badmaeva

THE TECHNIQUE OF ADAPTIVE CONTROL IN DESIGN AND DEVELOPMENT PROCESS OF SPECIALIZED DATA WAREHOUSE

The technique of adaptive control in process of designing and developing data warehouses is proposed. The technique provides original formalization of the design and development of the data warehouse model and it takes into account the operating conditions and specific information about data domain. The description of the design and development of specialized data warehouse using the management model in the notation eEPC ARIS-methodology is executed.

Keywords: specialized data warehouse, adaptive control, designing, materialization of views.

© Бадмаева К. В., 2010

УДК 65.012.123

S. N. Masaev, M. G. Dorrer

COMPANY MANAGEMENT SYSTEM ESTIMATION ON THE BASIS OF ADAPTIVE CORRELATION TO THE ENVIRONMENT

The method of the structure and indicators analysis of company business processes based on the calculation of simple correlation between historic series of expenses is offered.

Keywords: correlation, adaptation, process, system analysis, management.

After the global crisis outbreak companies have changed a lot: stronger integration of companies, lead to numerous consolidations, acquisitions and mergers.

The Russian companies are not an exception. Holdings (hereinafter referred as to production systems) will be a general moving force, which diversified scope of the activity and the work was in hand inside. It is a gathering moment, but the other process has not completed yet – creating the model of decision-making system. If it is, Russian companies can be considered well-functioning systems and not just a collection of heterodeneous assets [1].

A holding company manager will find the following difficulties, when managing the holding companies the decision-making system of holding (further production system):

– intercommunication between the companies is inaccurate measurement, subjectivity;

– intercommunication between accounting system and decision-making system;

– a lot of complex methods of decision-making system;

– holding companies have different development vectors and conflicting purposes.

One original way is correlative adaptation which was described for physiology of group's humans in hard living conditions (far North city, polar expedition, or a hospital, for example) in 1985 by A. N. Gorban, E. V. Smirnova.

The crucial question is: what is the resource of adaptation? This question arose for the first time when Selye published the concept of adaptation energy and experimental evidence supporting this idea [1; 2].

In modern "Encyclopedia of Stress" it is written: "As for adaptation energy, Selye was never able to measure it..." [3].

After that their work (A. N. Gorban, E. V. Smirnova, T. A. Tyukina) was published in May 2009, they have been studing ensembles of similar systems under load of environmental factors. The phenomenon of adaptation has similar properties for systems of different nature. Typically, when the load increases above some threshold, the adapting systems become more different (variance increases), but the correlation increases too. If the stress continues to increase the second threshold appears: the correlation achieves maximal value, and starts to decrease, but the variance continues to increase. In many cases this second threshold is a signal of fatal outcome approaching.

This effect is proved by many experiments and observations of groups of humans, mice, trees, grassy plants, and on financial time series. A general approach to explanation of the effect through the dynamics of adaptation is developed. H. Selye introduced the term "adaptation energy" for explanation of adaptation phenomena. They formalized this approach in factors – resource models and developed models hierarchy of adaptation. Different organization of interaction among factors (Liebig's versus synergistic systems) leads to different adaptation dynamics. This gives an explanation to qualitatively different dynamics of correlation under different types of load and to some deviation from the typical reaction to stress.

In addition to the "quasistatic" optimization factor – resource models, dynamical models of adaptation were developed, and a simple model (three variables) for adaptation to one factor load was formulated explicitly.

In economics, we use the published results of data analysis for equity markets of seven major countries over the period 1960–1990 and for the twelve largest European equity markets after the 1987 international equity market crash. Some of the results obtained in econophysics [4] also support our hypothesis.

We study micro economic systems (hereinafter referred as to production systems-companies). In our research work we have considered data of economic systems (special case is development sector) since 2004. In April 2008 we applied the program of decision-taking system estimation in economic system (SM. city) [2].

For it we completed the following problems:

– made mathematical formulation the discrete- multivariate system for economic system (hereinafter referred as to production systems-companies);

– made calculations and analyzed plan/fact of sample estimation correlation matrixes, correlation graph *G*;

– made resources allocation (special case is cash) among functions of economic system.

Making mathematical formulation the discrete-multivariate system for economic system (hereinafter regarded for as production systems-companies). Follow the systems theory (R. Kalman and other, 1971) representable system *S* consider

$$S = \{T, X, V, h, \varphi\}. \quad (1)$$

The notation:

$T = \{t / t = 0, 1, 2, ...\}$ – discrete set of time (window of time).

X – phase space of system, $x(t) = [x^1(t), x^2(t), ..., x^n(t)]^T \in X$ – n – variable phase vector, state vector, and $x^*(t) = [x^{*1}(t), x^{*2}(t), ..., x^{*n}(t)]^T \in X$ – n – variable phase vector, suboptimal estimation by R. Bellman.

The variable phase vector of economic system is $x^i(t)$ – financial expenditure for the functions (describe all action, business process) of economic system. There are unification accounts, functions in special program. Study table 1 as an example. For the research 417 functions (the variable phase vector of economic system) were used.

V – space analytic estimates of system, $V(t) = [v^1(t), v^2(t), ..., v^s(t)]^T \in V$ – s – vector analytic estimates.

$\varphi : T \times X \to X$ – transition functions of system, is:

$$x(t+1) = \varphi(x_0, x(t)), \quad (2)$$

where $x_0 = x(0)$.

$h : T \times X \to V$ – function analyzes the space of points (observation function), is:

$$v(t) = \xi(x(t-1), x(t-2), ..., x(t-k)). \quad (3)$$

Use the variable phase vector $x(t)$ for prior periods. The parameter k is depth horizon (in our special case k = 6 months). Matrix is defined

Table 1

The accounts, functions

Name of project	Activity category	Item of income/expenses	Subclause of income/expenses	Functions of *S* (variable phase vector) (x^i)	Plan $x^{*n}(t)$	Fact $x^i(t)$
Project 1	Investments Capital outlays	Development planning	Development planning	The water-system design x^1	$x^{*1}(t)$	$x^1(t)$
Day-to-day operation,	Finances	Disposition of profits	Profit-and-loss last years	Inventory x^2	$x^{*2}(t)$	$x^2(t)$
Day-to-day operation, Principal activity	Operating activities	Services of other company	Other services of other company	Other x^3	$x^{*3}(t)$	$x^3(t)$

$$X_k(t)=\begin{bmatrix} x^T(t-1) \\ x^T(t-2) \\ \dots \\ x^T(t-k) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x^1(t-1) & x^2(t-1) & \dots & x^n(t-1) \\ x^1(t-2) & x^2(t-2) & \dots & x^n(t-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x^1(t-k) & x^2(t-k) & \dots & x^n(t-k) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Execute centering and normalization components of matrix $X_k(t)$.

Then

$$\overset{\circ}{X}_k(t)=\begin{bmatrix} \overset{\circ}{x}^T(t-1) \\ \overset{\circ}{x}^T(t-2) \\ \dots \\ \overset{\circ}{x}^T(t-k) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \overset{\circ}{x}^1(t-1) & \overset{\circ}{x}^2(t-1) & \dots & \overset{\circ}{x}^n(t-1) \\ \overset{\circ}{x}^1(t-2) & \overset{\circ}{x}^2(t-2) & \dots & \overset{\circ}{x}^n(t-2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overset{\circ}{x}^1(t-k) & \overset{\circ}{x}^2(t-k) & \dots & \overset{\circ}{x}^n(t-k) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\overset{\circ}{X}{}_k^T(t)=\begin{bmatrix} \overset{\circ}{x}(t-1) & \overset{\circ}{x}(t-2) & \dots & \overset{\circ}{x}(t-k) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} \overset{\circ}{x}^1(t-1) & \overset{\circ}{x}^1(t-2) & \dots & \overset{\circ}{x}^1(t-k) \\ \overset{\circ}{x}^2(t-1) & \overset{\circ}{x}^2(t-2) & \dots & \overset{\circ}{x}^2(t-k) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \overset{\circ}{x}^n(t-1) & \overset{\circ}{x}^n(t-2) & \dots & \overset{\circ}{x}^n(t-k) \end{bmatrix} \quad (6)$$

and calculate $R_k(t)=\dfrac{1}{k-1}\overset{\circ}{X}_k(t)\overset{\circ}{X}{}_k^T(t)=\left\|r_{ij}(t)\right\|$

$$i, j=1, \dots, n, \quad (7)$$

where $r_{ij}(t)=\dfrac{1}{k-1}\sum_{l=1}^{k}\overset{\circ}{x}^i(t-l)\overset{\circ}{x}^j(t-l).$ (8)

Value $r_{ij}(t)$ is a sample correlation coefficient (Pearson coefficient) between variables $x^i(t)$ and $x^j(t)$ of window time t and $R_k(t)$ – sample correlation matrix between the variable phase variable of window time t for depth horizon k.

Thereby (4, 5) diagonal matrix R_k is $r_{ij}(t)=1$ for all $i, j=1, \dots, n.$ and all t, and other coefficient from –1 to +1 ($-1 \le r_{ij} \le 1$).

On the basis of sample correlation matrixes (7) we create correlation graph of the system $G_i(t)$. Show relationship among the functions of the system figure 2 and figure 3.

The sample correlation matrix $R_k(t)$ for observation function is:

$$v(x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-k))=R_k(t). \quad (9)$$

The observation function is integral representation action of the system. We have opportunity to the analyze the behavior of multivariate system, so we find and control change evolved from the company operation as well as caused by management and exopathic.

Then we single out correlation indicators. Indicators is graphs $G_i^{\text{sum_total}}(t)$ – absolutely summable of sample correlation coefficients i's function this other, $G_i^{\text{sum_neg}}(t)$ – sum negative of sample correlation coefficients and $G_i^{\text{sum_plus}}(t)$ – sum of sample correlation coefficients is more than 0, $G_i^{\text{difference}}(t)$ – sum of sample correlation coefficients. Change for window time the G shown figure 1.

$$G_i^{\text{sum_total}}(t)=\sum_{j=1}^{n}\left|r_{ij}(t)\right| : \left(\left|r_{ij}(t)\right| \ge r_{\text{sign}}\right), \quad (10)$$

$$G_i^{\text{sum_plus}}(t)=\sum_{j=1}^{n} r_{ij}(t) : \left(\left|r_{ij}(t)\right| \ge r_{\text{sign}}\right) \cap \left(r_{ij}(t)>0\right), \quad (11)$$

$$G_i^{\text{sum_neg}}(t)=\sum_{j=1}^{n} r_{ij}(t) : \left(\left|r_{ij}(t)\right| \ge r_{\text{sign}}\right) \cap \left(r_{ij}(t)<0\right), \quad (12)$$

$$G_i^{\text{difference}}(t)=G_i^{\text{sum_plus}}(t)+G_i^{\text{sum_neg}}(t), \quad (13)$$

where r_{sign} – significance of sample correlation coefficient for data of sample correlation matrix with parameter k which is depth horizon.

All graphs $G_i(t)$ account for window time T including the relationship between functions of the system figure 2, figure 3.

Made calculations and analyzed plan/fact of sample correlation matrixes, correlation graph *G*. Figure 1 shows the important events in economic system.

1. *Drawing up/making up an estimate* – the budget of construction.

2. *Getting a permit for construction* – the document authorizing the start of project construction and favorable for obtaining a bank loan.

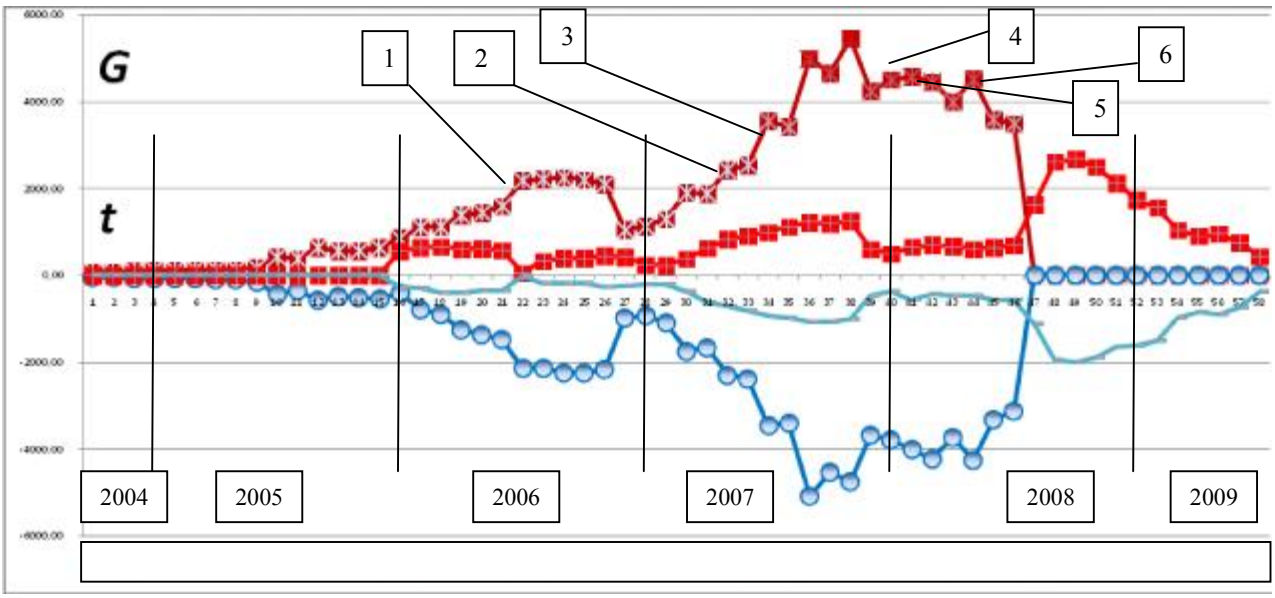


Fig. 1. The diagram variable phase vector of economic system in dynamics

3. *Creating the TQM* – creating regulations and standards for the company.

4. *Getting finance* – getting a loan from the Savings bank («Sberbank»)

5. *Starting the project construction* – starting the construction of residential property.

6. *Creating similar/identical/analogous hereinafter production system-companies*.

The larger the value of $G_i^{\text{sum_total}}(t)$ is, the larger crisis our system experiences.

The functions involved in the economic activity of the production system are interrelated (figure 2).

Within the reported/determined period you can analyze separate functions and determine their influence on the system (figure 3). After that you can find principal functions for allocating money in the company (table 2) [5].

Resources allocation (special case is cash) between functions of the economic system. Functions that have high correlation get more money. The method of R. Bellman is used for financial allocation among corporate objectives, strategies and functional systems (table 2).

The article described the method to get control of heterogeneous assets.

You can use it – to determine and fix the period of stress in economic system (hereinafter reffered to as production systems-companies); to optimize the process of management; to allocate resources (special case is cash) between functions of economic system.

References

1. The denial of stress / ed. S. Breznitz. N. Y. : Intern. Universities Press, Inc., 1983.

2. Bomze I. M. Regularity vs. degeneracy in dynamics, games, and optimization: a unified approach to different aspects // SIAM Review. № 44 (2002). P. 394–414.

3. Impact of health on the ecological stress dynamics : preprint 185B / G. V. Bulygin, A. S. Mansurov, T. P. Mansurova et al ; Institute of Biophysics, Russian Academy of Sciences. Krasnoyarsk, 1992.

4. Cade B. S., Terrell J. W., Schroeder R. L. Estimating effects of limiting factors with regression quantiles // Ecology. 1999. № 80. P. 311–323.

5. Dynamics of parameters of human metabolic system during the short-term adaptation : preprint 180B / G. V. Bulygin, A. S. Mansurov, T. P. Mansurova et al ; Institute of Biophysics, Russian Academy of Sciences. Krasnoyarsk, 1992.

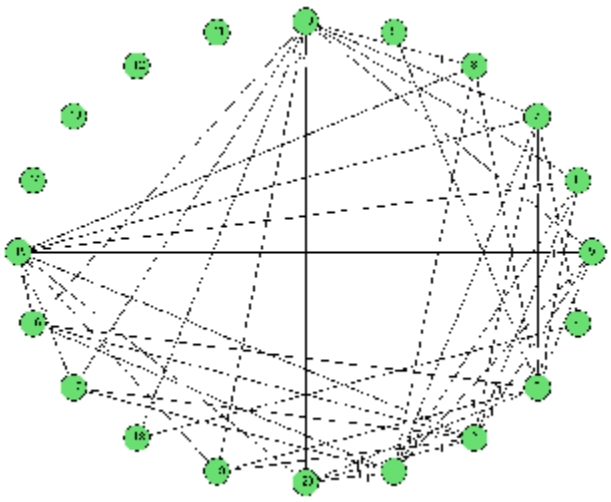


Fig. 2. Correlation graph the profits of hereinafter production system-companies $G_{20}^{\text{difference}}(38)$

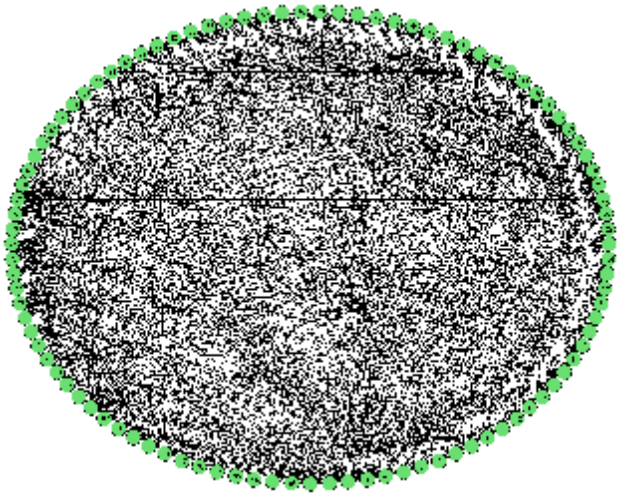


Fig. 3. Correlation graph $G_{417}^{\text{difference}}(38)$ the principal functions of profits and costs in hereinafter production systems-companies

Table 2

Allocation of money (in US dollars)

		The corporate objective					Result of operations
		Increase in assets 30 %					
		The competitive strategy	The strategy of active influence	The development strategy	The strategy of scientific manpower	The strategy of project elaboration	
Project	The function systems	Allocation					
X	HR	146 328	24 388		78 042	341 432	590 190
	IT	189 536	13 538	270 765	67 691	81 230	622 760
	TQM	378 140	113 442	378 140		756 279	1 626 000
	Economics		166 367	1 164 566		1 996 398	3 327 330
	Production		246 647	493 295	147 988	2 959 769	3 847 700
Result of operations		714 003	564 382	2 306 765	293 721	6 135 108	10 013 980

С. Н. Масаев, М. Г. Доррер

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИЕЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОРРЕЛЯЦИОННОЙ АДАПТОМЕТРИИ

Рассмотрен структурированный метод анализа интегральных показателей выполнения бизнес-процессов компании, основанных на вычислении корреляции между временными рядами ее расходов.

Ключевые слова: корреляция, адаптация, процесс, системный анализ, управление.

© Masaev S. N., Dorrer M. G., 2010

УДК 519.2+004.02+336.7

Л. И. Покидышева, Е. В. Покидышева

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАЦИИ ПОДСИСТЕМ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ*

Освещены методы анализа кризисных ситуаций на примере финансовых данных. Приведены результаты оценки интеграции компонент денежно-кредитной и банковской системы в период экономического кризиса 2008 г. Представлена методика выявления подсистемы, выполняющей доминирующую роль в адаптационном ответе на кризисные ситуации.

Ключевые слова: кризис, адаптация, интеграция подсистем, денежно-кредитная политика, банковская политика.

Одним из критериев успешной модернизации российской экономики является полномасштабное финансовое участие в ней российской банковской системы.

Разразившийся мировой финансовый кризис повлек за собой изменения в российской экономике и акцентировал внимание многих ученых-экономистов на исследовании причин его возникновения и предотвращения в будущем. В связи с этим становится актуальным изучение состояния денежно-кредитной и банковской системы в период мирового финансового кризиса.

В работах [1; 2] авторами построена система моделей адаптационного ответа на кризисные ситуации, основанная на концепции «адаптационной энергии» [3; 4]. Для применения этих моделей к реальным системам с целью управления их необходимо сделать более реалистичными путем декомпозиции. Ресурс не просто направляется на нейтрализацию различных факторов, но поступает в распоряжение различных подсистем, которые, в свою очередь, нейтрализуют действующие факторы.

В данной работе мы представляем разработанную в [5] методику декомпозиции фактор-ресурсных моделей адаптации, на модели подсистем рассматриваемой системы. Анализ взаимодействия факторов и системы сведен к взаимодействию факторов и подсистем.

Для изучения интеграции подсистем в эксперименте мы использовали метод главных компонент и находили, параметры каких подсистем дают значительный вклад в первую главную компоненту. Этот подход дает возможность исследовать изменение конфигурации подсистем при увеличении давления внешних факторов [6; 7].

Выдвинута гипотеза о том, что степень интеграции подсистем зависит от величины внешних воздействий [6]. Известно, что в первую подсистему входят показатели с номерами $j = 1, \ldots, n_1$, во вторую подсистему – с номерами $j = n_1 + 1, \ldots, n_2$, в k-ю подсистему входят признаки с номерами $j = n_{k-1} + 1, \ldots, n_k$, причем $n_k = m$, где m – количество исследуемых подсистем.

Если первая главная компонента коррелирует с k исследуемыми показателями m различных подсистем, то для i-го периода имеет место соотношение

$$y_i = a_{i1}z_1 + a_{i2}z_2 + \ldots + a_{in_1}z_{n_1} + a_{in_1+1}z_{n_1+1} + \ldots + a_{in_2}z_{n_2} + \ldots + a_{in_k}z_{n_k},$$

где $i = 1 \ldots K1$, $K1$ – количество исследуемых периодов, $n_k = m$.

Иначе можно записать

$$y_i = \sum_{j=1}^{n_1}(a_{ij}z_j) + \sum_{j=n_1+1}^{n_2}(a_{ij}z_j) + \ldots + \sum_{j=n_{k-1}+1}^{n_k}(a_{ij}z_j).$$

Делим сумму модулей коэффициентов корреляции a_{ij} для каждой подсистемы на количество $n_1, n_2, \ldots, n_k$ показателей соответственно.

Получаем совокупность значений $\{u_{ip}\}$, где i – номер исследуемого периода; p – номер подсистемы, $p = 1 \ldots m$:

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки (проект № 02.740.11.5086).

$$u_{ip} = \left(\sum_{j=n_{p-1}+1}^{n_p} \left| a_{ij} \right| \right) / \left(n_p - n_{p-1} \right).$$

Определяем значение степени интеграции каждой подсистемы для каждого периода. Завершающим этапом является нахождение максимального значения $\{u_{ip}\}$.

В качестве иллюстрации предложенной методики нами была проведена оценка интеграции компонент денежно-кредитной и банковской системы в период экономического кризиса 2008 г. В нашем исследовании денежно-кредитная и банковская система с позиции регулирования представлена двумя подсистемами: подсистема денежно-кредитной политики и подсистема банковской политики.

Набор показателей (параметров системы), который в дальнейшем будет использован для анализа интеграции подсистем денежно-кредитной и банковской политик, поделен на две группы, каждая из которых описывает свою подсистему. Были взяты балансовые показатели всех коммерческих банков: Сводная статистическая отчетность по крупнейшим банкам – агрегированный балансовый отчет по всем действующим кредитным организациям, балансовые показатели Банка России, показатели, характеризующие инструменты денежно-кредитной политики. Данные взяты с официального сайта Банка России (URL: http://www.cbr.ru/analitics/) за период с 01.12.2002 по 01.08.2010 г. В результате была получена таблица данных (генеральная совокупность), состоящая из 75 показателей, описывающих денежно-кредитную и банковскую политику за 7,75 лет (93 месяца). В рамках данной статьи представлены результаты исследования показателей 2007–2008 гг.

Проведена комплексная оценка сопряженности денежно-кредитной и банковской политик, основанная на методе корреляционной адаптометрии и методе оценки степени интеграции подсистем [6].

Следует отметить, что метод корреляционной адаптометрии позволяет нам охарактеризовать общее напряжение банковской и денежно-кредитной системы в динамике. Более подробно о результатах анализа финансовых данных методом корреляционной адаптомерии было изложено в работах [7; 8].

Степень напряжения зависит от работы подсистем, входящих в данную систему, от значимости интегрированного показателя подсистем. Поэтому далее была произведена оценка степени интеграции показателей подсистем, для оценки роли и значимости каждой подсистемы, выявления показателей, оказывающих наибольшее влияние на свою подсистему и денежно-кредитную и банковскую систему в целом, и для оценки эффективности проводимой политики.

Был произведен расчет точек интеграции *U* для подсистем банковской и денежно-кредитной политик. Полученные максимальные значения показателей интеграции подсистем позволяют выделить уровни воздействий, наиболее сильно влияющие на сопряженность исследуемой денежно-кредитной и банковской системы.

Следует отметить, что в каждом исследуемом периоде первая главная компонента имеет самые большие значения корреляций с показателями банковской политики.

Для дальнейшего анализа назовем коэффициенты корреляций первой главной компоненты со значением выше 0,5 и ниже –0,5 значимыми коэффициентами, сильными корреляционными связями.

Обращает на себя внимание тот факт, что сильные корреляционные связи с максимальным количеством рассматриваемых параметров всей системы имеются в период с июля по сентябрь 2007 г., в августе 2008 г. и мае 2009 г.

Это говорит о том, что в данные периоды почти 77 % показателей оказывали значительное влияние на состояние денежно-кредитной и банковской системы. Однако эти периоды не соответствуют максимальным точкам интеграции *U* обеих подсистем (рис. 1) и в то же время совпадают с периодами «пиков» кризиса (рис. 2).

Данный факт говорит о том, что в период кризиса, когда «ресурсы» наиболее влияющих на систему в точ-

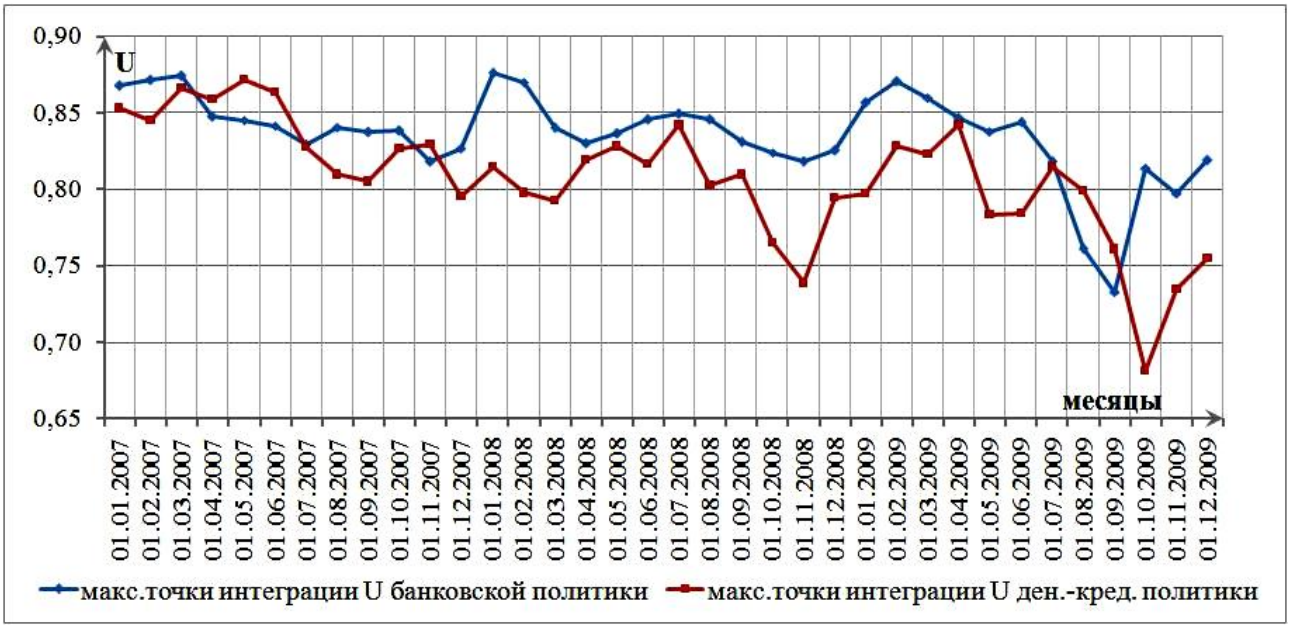


Рис. 1. График динамики значений точек интеграции *U* подсистем банковской и денежно-кредитной политик (01.01.2007–01.12.2009)

ках максимальной интеграции *U* показателей исчерпывается, система начинает активно задействовать «резервные ресурсы» – максимальное число показателей, для преодоления кризиса.

Анализируя рис. 1, видим, что в большинстве рассматриваемых периодов (месяцы) подсистема банковской политики играет ключевую роль в работе денежно-кредитной и банковской системы. Лишь в некоторые периоды подсистема денежно-кредитной политики имеет величину интеграции выше банковской: апрель–июнь 2007 г., ноябрь 2007 г., август–сентябрь 2009 г.

При рассмотрении параметров подсистемы банковской политики выявлено, что высокие значения корреляции первой главной компоненты с параметрами этой подсистемы достигается в следующие периоды: январь–март 2007 г., январь–февраль 2007 г., июнь–август 2008 г., январь–март 2009 г. Максимум интеграции приходится на январь 2008 г. и февраль 2009 г.

При рассмотрении параметров подсистемы денежно-кредитной политики выявлено, что высокие значения корреляции первой главной компоненты с параметрами этой подсистемы достигается в периоды: март–июнь 2007 г., октябрь–ноябрь 2007 г., январь 2008 г., апрель–май 2008, июль 2008 г., февраль и апрель 2009 г. Максимум интеграции приходится на май 2007 г., июль 2008 г. и апрель 2009 г.

Проанализируем динамику значений точек интеграции *U* подсистем банковской и денежно-кредитной политик относительно друг друга.

Для этого сопоставим полученные данные по интеграции подсистем с графиком динамики веса корреляционного графа *G* и дисперсии *D*, полученными нами ранее (рис. 2).

Первое, что следует отметить: для подсистемы денежно-кредитной политики характерна более «скачкообразная» динамика значения интеграции. Это объясняется постоянным проведением мероприятий денежно-кредитного регулирования, часто (в условиях кризиса) – резкой сменой направленности денежно-кредитной политики, и, как следствие, использование инструментов денежно-кредитной политики в разных объемах. Поскольку банковская политика во многом является ответной реакцией на действия денежно-кредитной политики, результаты денежно-кредитной политики отражаются в показателях банковской системы с определенным временным лагом.

В период кризиса 2008 г. («разрушение системы», август–ноябрь 2008 г.) величина интеграции обеих подсистем снижается (см. рис. 2). При этом величина интеграции подсистемы денежно-кредитной политики снижается быстрее. Это говорит о том, что во время кризиса в сентябре 2008 г. именно подсистема банковской политики «приняла на себя основной удар» и испытывала большее напряжение, чем подсистема денежно-кредитной политики.

В создавшейся ситуации были проведены следующие мероприятия денежно-кредитной политики:

– снижены нормативы обязательных резервов (с 5 до 0,5 %);

– увеличены объемы предоставляемой кредитным организациям рублевой ликвидности;

– система инструментов Банка России дополнена кредитами без обеспечения;

– в IV квартале 2008 г. сроки рефинансирования по отдельным операциям увеличены и доступ к ним расширен за счет снижения требований к контрагентам и принимаемому обеспечению;

– понижены процентные ставки по отдельным инструментам рефинансирования, произведено структурирование их по типу и срочности.

В этот же период, начиная с сентября 2008 г., Правительство РФ активно размещает денежные средства бюджета на депозитах в коммерческих банках.

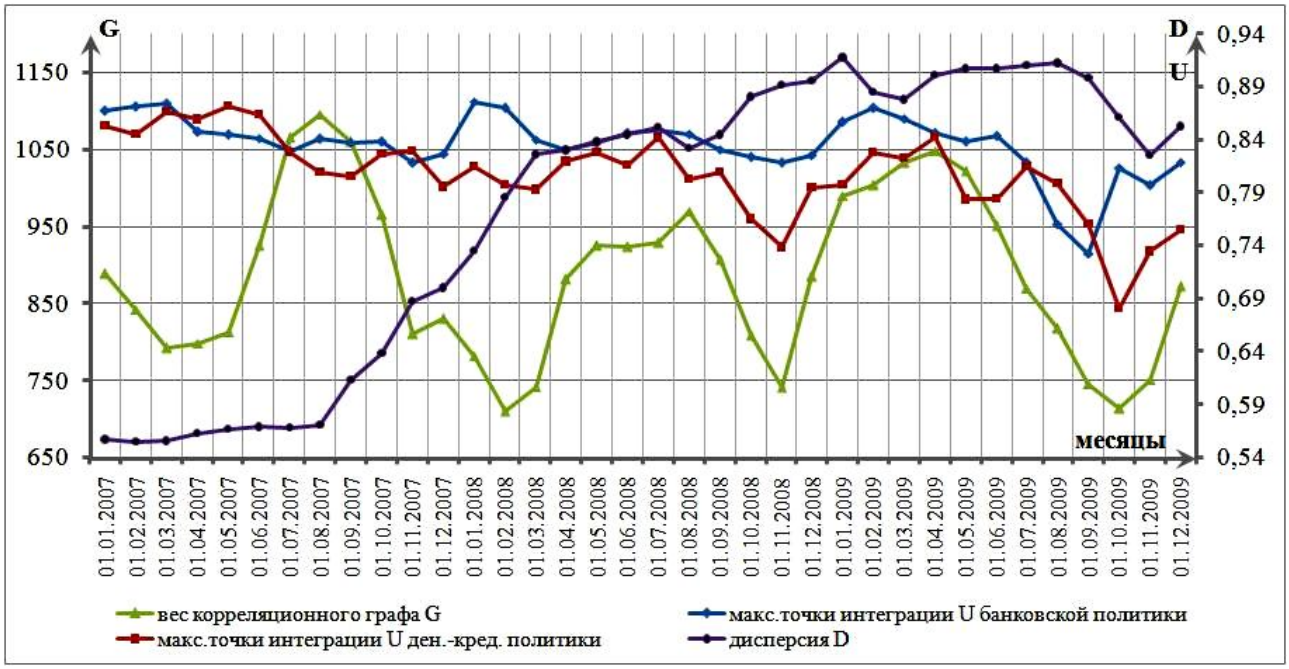


Рис. 2. График динамики значений точек интеграции *U* подсистем банковской и денежно-кредитной политик, веса корреляционного графа *G* и дисперсии *D* показателей банковской и денежно-кредитной политик (01.01.2007–01.12.2009)

Рассмотрим действительный вклад использованных инструментов в интеграцию подсистемы денежно-кредитной политики на графике динамики значений корреляций первых главных компонент обеих подсистем (рис. 3 и 4). Показатели подсистем на рисунках пронумерованы последовательно: точки 1–38 – показатели подсистемы банковской политики, точки 39–75 – показатели подсистемы денежно-кредитной политики).

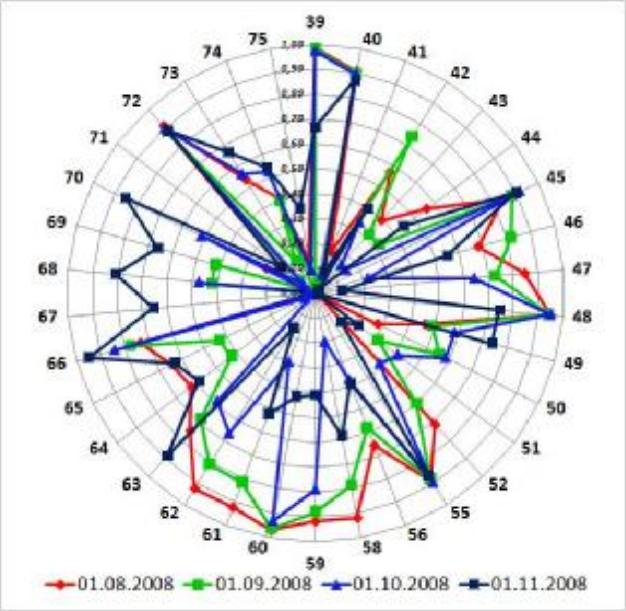


Рис. 3. Динамика значений корреляций первых главных компонент с параметрами подсистемы денежно-кредитной политики (01.08.08–01.11.08)

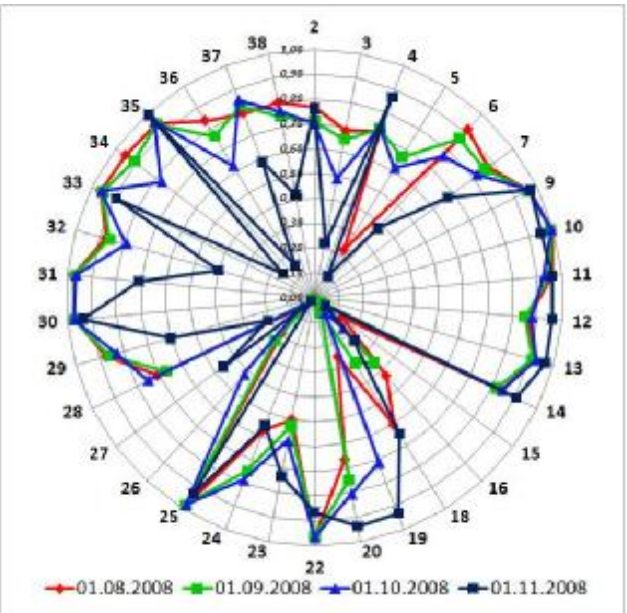


Рис. 4. Динамика значений корреляций первых главных компонент с параметрами подсистемы банковской политики (01.08.08–01.11.08)

Можно увидеть следующие изменения значений корреляций первой главной компоненты (см. рис. 3):

– рост влияния показателей: кредиты и депозиты (49); средняя ставка РЕПО (66); кредиты ЦБ без обеспечения (67); валютные интервенции, нетто-покупка млрд долл. США (68); валютные интервенции, нетто-покупка, млрд евро (69); задолженность по ломбардным кредитам на начало месяца (70); объем сделок валютный СВОП, долл. США (73);

– снижение влияния показателей: денежная масса (39); облигации Банка России у кредитных организаций (44); средства, размещенные у нерезидентов, и ценные бумаги, выпущенные нерезидентами (48); прочие активы (основные средства и аванс по налогу на прибыль и т. д.) (52); средства на счетах в Банке России кредитных организаций-резидентов (56); прочие пассивы (58); капитал (59); международные золотовалютные резервы, млрд. долл. США (60); среднемесячный курс доллара США (61); среднемесячный курс евро (62).

Также важно отметить показатели, по которым наблюдалось сначала снижение значения корреляций первой главной компоненты (сентябрь, октябрь 2008 г.), а затем сильный рост в ноябре 2008 г.:

– размещение бюджетных средств на депозитах в коммерческих банках (63);

– операции Банка России по предоставлению и абсорбированию ликвидности (64). Значение корреляций данного показателя в сентябре упало практически до нуля;

– объем прямого РЕПО (65). Значение корреляций данного показателя в сентябре упало практически до нуля.

Значение корреляций первой главной компоненты показателей обязательных резервов и ставки обязательных резервов (42 и 46) демонстрирует следующую динамику: рост в августе 2008 г, падение в сентябре 2008 г. и снова рост в октябре 2008 г.

Полагаем, что полученные результаты подтверждают эффективность проводимой денежно-кредитной и банковской политики.

Но основное напряжение в ноябре 2008 г. пришлось на подсистему банковской политики. Именно за счет влияния банковской политики денежно-кредитная система находила ресурсы для преодоления кризиса.

При этом наблюдается снижение величины интеграции подсистемы банковской политики. Это происходит прежде всего за счет ослабления влияния таких показателей, как (см. рис. 4): счета в Банке России (3); долговые обязательства Российской Федерации (6); акции (7); средства предприятий и организаций на расчетных, текущих и прочих счетах (28); фонды и прибыль банков – всего (22); средства клиентов в расчетах (29); вклады физических лиц (31); средства клиентов по факторинговым операциям (32); векселя и банковские акцепты (34), средства в расчетах (36); кредиторы (37); доходы будущих периодов (38).

В то же время наблюдается рост влияния таких показателей, как корреспондентские счета в банках – всего (4); средства в расчетах (19); дебиторы (20); кредиты, депозиты и иные привлеченные средства, полученные кредитными организациями от Банка России (23).

Особое внимание следует обратить на показатели (см. рис. 4), которые оказывали наибольшее влияние на денежно-кредитную и банковскую систему в данный период времени. Это показатели:

– прочее участие коммерческих банков в уставных капиталах (9);

– кредиты и прочие размещенные средства, предоставленные нефинансовым организациям (10);

– просроченная задолженность по кредитам нефинансовым организациям (11);

– кредиты, предоставленные физическим лицам (12);

– просроченная задолженность по кредитам физическим лицам (13);

– кредиты, депозиты и прочие размещенные средства, предоставленные кредитным организациям (14);

– кредиты, депозиты и иные средства, полученные от других банков – всего (25);

– депозиты юридических лиц (30);

– облигации (33);

– резервы (35).

Анализируя показатели банковской системы, которые оказывали наибольшее влияние на денежно-кредитную и банковскую систему в период с августа по ноябрь 2008 г., приходим к выводу о конкретных мерах денежно-кредитной политики, необходимых для данного периода времени.

Таким образом, в отличие от ранее осуществленных исследований по оценке состояния денежно-кредитной и банковской систем, впервые применен метод корреляционной адаптометрии и метод оценки степени интеграции подсистем, которые позволяют:

– выявить силу взаимосвязи между показателями банковской и денежно-кредитной системы, и, что особенно важно, скрытые внутренние закономерности системы;

– выявить показатели денежно-кредитной и банковской политики, оказывающие наибольшее влияние на всю денежно-кредитную и банковскую систему в исследуемый период времени, оценить целесообразность внесения корректировок в проводимые политики для эффективного регулирования денежно-кредитной и банковской системы;

– определить тенденции развития и потенциальные угрозы для системы в результате проводимых политик;

– диагностировать возможность возникновения экономического кризиса.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в том, что выявлен скрытый системный кризис в 2007 г. Об этом свидетельствует резкий сильный рост значения дисперсии исследуемых показателей (почти в два раза) [8]. Между тем последствия данного скрытого системного кризиса проявились в банковской и денежно-кредитной системе в 2008 г. Применение разработанных моделей и методов в экономических системах позволит выявлять предкризисные ситуации, что может быть использовано для принятия управленческих решений.

Считаем, что полученные результаты доказывают применимость методов корреляционной адаптометрии и оценки степени интеграции подсистем к изучению денежно-кредитной и банковской системы могут быть использованы при решении задач обнаружения и анализа критических ситуаций при мониторинге экономической ситуации в стране или регионе.

Библиографические ссылки

1. Gorban A. N., Smirnova E. V., Tyukina T. A. General Laws of Adaptation to Environmental Factors: From Ecological Stress to Financial Crisis // Math. Model. Nat. Phenom. 2009. Vol. 4. № 6. P. 1–53.

2. Gorban A. N., Smirnova E. V., Tyukina T. A. Correlations, risk and crisis: From physiology to finance // Physica A. 2010. Vol. 389. Iss. 16. P. 3193–3217.

3. Selye H. Adaptation energy // Nature. 1938. № 141 (3577). P. 926.

4. Selye H. Experimental evidence supporting the conception of “adaptation energy” // Am. J. Physiol. 1938. № 123. P. 758–765.

5. Law of the Minimum Paradoxes [Electronic resource] / A. N. Gorban, L. I. Pokidysheva, E. V. Smirnova, T. A. Tyukina // Bull. of Math. Biology. 13 Jul. 2010. URL: http://arxiv.org/abs/0907.1965v3 (дата обращения: 23.09.2010).

6. Горбань А. Н., Покидышеа Л. И., Смирнова Е. В. Метод главных компонент для анализа интеграции исполнительных подсистем организма в ходе адаптации // Системный анализ и управление в биомед. системах. 2010. Т. 9. № 3. С. 516–522.

7. Покидышева Е. В. Оценка сопряженности денежно-кредитной и банковской политик в период кризиса // Финансы и кредит. 2010. № 42(426). С. 72–78.

8. Покидышева Е. В., Покидышева Л. И., Янкина И. А. Метод корреляционной адаптометрии в оценке сопряженности денежно-кредитной и банковской политик в период кризиса // Интеграл. 2010. № 3(53). С.44–47.

L. I. Pokidysheva, E. V. Pokidysheva

STRUCTURAL ANALYSIS OF THE INTEGRATION OF SUBSYSTEMS USING THE METHOD OF PRINCIPAL COMPONENTS

Article is devoted to methods of analysis of crisis situations on the example of financial data. The results of evaluation of the integration of the components of the monetary and banking system during the economic crisis of 2008 are given. A method for identifying the subsystem that performs a dominant role in the adaptative response to crisis situations is described.

Keywords: crisis, adaptation, integration of subsystems, monetary policy, banking policy.

© Покидышева Л. И., Покидышева Е. В., 2010

УДК 629.76/78.001.63

И. А. Максимов

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И ФАКТОРОВ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА

Приведены результаты статистического анализа корреляции случаев аномального функционирования космических аппаратов (КА) с повышенными уровнями геомагнитной активности. Представлены основные результаты проведенного в ОАО «ИСС» комплекса работ по исследованию негативного влияния космической среды на КА, разработки методов и средств защиты.

Ключевые слова: космический аппарат, функционирование КА, факторы космического пространства, факторы техногенного характера, методы и средства защиты.

Основной эксплуатационной характеристикой любой спутниковой системы является ее долговечность, т. е. способность выполнять поставленные целевые задачи в течение требуемого срока активного существования (САС) всеми входящими в ее состав космическими аппаратами (КА).

В состав современного КА входят сотни радиоэлектронных блоков, оптических устройств и рабочих поверхностей, тысячи элементов конструкции и кабельных сборок. Весь этот технический комплекс должен функционировать в течение длительного САС (до 15 лет) в условиях негативного воздействия космической среды.

В процессе натурной эксплуатации КА подвергаются воздействию широкого спектра факторов космического пространства (ФКП) и факторов техногенного характера (ФТХ). Анализ результатов эксплуатации КА отечественного и зарубежного производства показывает наличие значительной степени корреляции случаев аномальной работы КА с вариациями солнечной активности, геомагнитной возмущенностью космической среды, а также техногенными условиями эксплуатации КА.

Так, по заключению Федерального космического агентства и Космических войск «…Одним из главных факторов, влияющих на стабильность характеристик и надежность бортовой радиоэлектронной аппаратуры, является ионизирующее излучение космического пространства.

По имеющимся данным, на долю данных эффектов приходится до 30…50 % отказов бортовой радиоэлектронной аппаратуры [1], а обеспечение требуемой стойкости является одной из важнейших задач создания КА с длительными САС 10–15 лет, предусмотренных Федеральной космической программой России» [2].

Исследования, проведенные NASA и ВВС США, также показали, что до 1/3 сбоев и отказов при функционировании зарубежных КА имеют эксплуатационный характер и обусловлены геофизическими факторами.

В ходе исследований была выявлена четкая зависимость между уровнем геомагнитной активности и частотой отказов КА различного целевого назначения.

Определено, что по мере возрастания солнечной активности число отказов бортовой аппаратуры КА возрастает в несколько раз [3].

Анализ данных по аномалиям в функционировании отечественных КА, проведенный специалистами 4 ЦНИИ МО РФ, показал, что общее количество неисправностей в бортовых системах КА и нарушений обмена управляющей и целевой информацией в периоды высокой гелиогеофизической активности возрастает в 2–2,5 раза, что, в свою очередь, резко сокращает среднее время их активного функционирования. Более 50 % (а по отдельным системам – до 90 %) из них происходят по причине внешних воздействий среды на бортовую аппаратуру КА. Более 80 % таких сбоев и отказов в той или иной степени влияют на выполнение целевых задач [3].

Данные проблемы становятся особо актуальными в связи с переходом на негерметичное исполнение КА. Переход на данное проектно-компоновочное исполнение КА обусловлен необходимостью повышения САС до 15 лет и увеличением энерговооруженности вновь разрабатываемых КА. Однако при этом появляются новые механизмы влияния космической окружающей среды на бортовые системы КА, которые в свою очередь без соответствующей очень тщательной проработки и принятия необходимых мер защиты могут привести к катастрофическим отказам в работе бортовых систем современных отечественных КА.

Существенное влияние на работоспособность КА могут оказывать и техногенные факторы. Так во время функционирования стационарных плазменных двигателей (СПД) был зафиксирован ряд аномалий в работе бортовых систем. Прежде всего, это связано с интенсивным взаимодействием струи СПД с поверхностью, собственной внешней атмосферой и высоковольтным оборудованием КА. Кроме того, работа СПД может создавать оптические помехи, влиять на прием и передачу радиосигналов, вызывать помехи в цепях питания и управления, оказывать тепловое, силовое, загрязняющее, эрозийное воздействие на элементы КА, влиять на интенсивность и амплитуду зарядо-разрядных процессов на элементах конструкции КА и помеховую обстановку на борту КА.

Как видно, спектр дестабилизирующих факторов, воздействующих на КА в процессе его орбитальной эксплуатации, чрезвычайно широк. Поэтому одной из основных проблем в области прикладной космофизики при создании и обеспечении надежного функционирования КА является проблема обеспечения его стойкости к воз-

действию факторов космического пространства и факторов техногенного характера.

С целью решение этой проблемы в ОАО«ИСС» был проведен комплекс работ по исследованию уровней и механизмов воздействия ФКП и ФТХ на бортовые системы КА, созданию моделей воздействия, последующей разработке и отработке методов и средств защиты, а также созданию системы диагностики и контроля стойкости КА, используемой в процессе наземных испытаний и натурной эксплуатации КА.

К настоящему времени в этом направлении были получены следующие основные результаты:

1. Выявлены следующие ранее неучитываемые при создании и натурной эксплуатации механизмы воздействия ФКП и ФТХ на КА:

– квазистатическая разность потенциалов, наводимая между шинами питания и корпусом КА;

– развитие разрядных процессов в результате воздействия плазмы СПД на высоковольтное оборудование КА.

2. Созданы модели воздействия указанных механизмов на КА и на этой основе разработаны необходимые методы и средства защиты, позволяющие обеспечить надежное функционирование современных отечественных КА.

3. В стендовых условиях отработана эффективность фильтров, разработанных для защиты от наведения квазистатической разности потенциалов между шинами питания и корпусом КА.

4. Проведен комплекс экспериментальных исследований по определению критериев возникновения и развития разрядных процессов в высоковольтном оборудовании в условиях воздействия плазмы СПД.

5. Подготовлены и проведены натурные эксперименты, позволившие:

– оценить степень влияния на зарядку конструкции КА искусственных плазменных образований;

– подтвердить эффективность разработанных средств защиты от наведения между шинами питания и корпусом КА квазистатической разности потенциалов, возникающей в результате дифференциальной зарядки элементов конструкции КА;

– определить параметры плазмы штатного СПД в местах размещения бортовой аппаратуры, а также оценить степень влияния плазмы СПД на зарядку конструкции КА.

Библиографические ссылки

1. Решение совместного заседания секции № 4 НТС Федерального космического агентства и Космических войск «Проблемные вопросы создания перспективных космических комплексов, обеспечения надежности и длительности цикла их функционирования и развития соответствующих технологий» от 18 октября 2007. М., 2007. С. 2–3.

2. Решение проблемного совета № 3-РК Научно-технического совета Российского авиационно-космического агентства № 27-2002 от 20 октября 2002. М., 2002. С. 4.

3. Разработка технического обоснования установки на КА «Глонасс-М» и КА «Глонасс-К» аппаратуры контроля внешней среды, НТО на составную часть ОКР «Глонасс-МК» (шифр «ДИЭРА-ВТО») / В. С. Крымов, С. В. Карлов [и др.]. М., 2005. С. 19–20.

I. A. Maximov

PROBLEMS OF SUPPORT OF RELIABLE OPERATION OF MODERN SC UNDER FACTORS OF SPACE AND TECHNOGENEOUS CHARACTER DESTABILISING INFLUENCE

Results of statistic analyses of abnormal functioning of SC with increased levels of geomagnetic activity, along with the main results of work package of research of negative influence of space environment on SC, carried out in "ISS" JSC, and the main results of development of means and methods of protection are described in the article.

Keywords: space craft, SC (space craft) operation, space factors, technogeneous factors and protective means.

© Максимов И. А., 2010

УДК 629.783.525

Ю. М. Ермошкин, В. А. Раевский, В. М. Урусов

ПРОВЕДЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ И КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА: СХЕМА С УСТАНОВКОЙ ДВИГАТЕЛЕЙ КОРРЕКЦИИ НА ПРИВОДАХ

Рассматриваются вопросы расширения сферы применения высокоэкономичных электрореактивных двигателей коррекции орбиты геостационарных спутников, а именно: для создания управляющих моментов в интересах системы ориентации и стабилизации космических аппаратов одновременно с проведением коррекций орбиты. Анализируется схема с закреплением двигателей на приводах, обеспечивающих изменение положения двигателей относительно корпуса космического аппарата. Приводится возможная методика проведения сеансов коррекции с учетом выполнения задач по созданию управляющих моментов. Анализируются преимущества и недостатки данного и других подходов к решению задач коррекции и ориентации.

Ключевые слова: космический аппарат, двигатель, двигательная установка, топливо, привод.

Введение. Известно, что характеристики двигательных подсистем вследствие большой массы заправленных двигательных установок оказывают существенное влияние на параметры платформы космического аппарата (КА). Двигательные подсистемы на борту КА решают две принципиально разные задачи:

– управление положением центра масс (задача коррекции орбиты);

– управление угловым положением (задача ориентации).

Как правило, для решения этих задач применяются отдельные независимые двигательные установки (ДУ коррекции и ДУ ориентации). При этом линии действия тяги двигателей коррекции проходят через центр масс КА, а двигатели ориентации установлены на определенных плечах для создания управляющих моментов. Однако иногда рассматриваются и другие варианты решения этих задач, например, использование двигательной установки коррекции не только по своему прямому назначению, но и для создания управляющих моментов. Потенциально такое расширение функций двигательной установки коррекции может дать определенное преимущество за счет экономии массы топлива ДУ ориентации или полного отказа от ее использования, так как управляющие моменты в интересах системы ориентации в этом случае можно будет создавать попутно в сеансах коррекции. Кроме того, в качестве двигателей коррекции на геостационарных КА, как правило, используются электрореактивные (плазменные или ионные) двигатели, которые обладают существенно большей экономичностью по сравнению жидкостными микродвигателями, обычно используемыми в ДУ ориентации. Однако такое совмещение функций может обладать и определенными недостатками, поэтому при создании КА перед проектантами возникает задача выбора варианта построения двигательных подсистем для решения задач ориентации и коррекции орбиты. «Цена» данного вопроса достаточно высока, так как выбор той или иной концепции влечет за собой последствия, связанные с разработкой сложных и дорогостоящих устройств. Поэтому выбор концепции должен иметь достаточное обоснование. Настоящая работа посвящена анализу преимуществ и недостатков концепции совмещения функций коррекции орбиты и создания управляющих моментов в единой (электрореактивной) двигательной установке коррекции орбиты геостационарного КА. Поскольку создание управляющих моментов возможно только при отклонении линии действия тяги двигателей от положения центра масс, то можно в принципе представить две возможные схемы проведения коррекций с одновременным созданием управляющих моментов: при неподвижном закреплении двигателей коррекции на корпусе КА на определенных, заранее выбранных плечах относительно центра масс; при установке двигателей коррекции на приводах, которые обеспечивают поворот двигателей коррекции на некоторый требуемый угол относительно номинального положения.

Первая схема рассмотрена в работе [1], поэтому данная работа посвящена рассмотрению схемы с приводами. В качестве базы для сравнения принята исходная схема, т. е. две независимые двигательные установки – для коррекции и ориентации. По итогам рассмотрения целесообразно сравнить все три схемы организации коррекций и ориентации между собой, для того чтобы выявить преимущества и недостатки каждой, а также очертить для них области рационального применения. При анализе возможности выполнения функциональных задач для каждой схемы необходимо учитывать основной принцип надежности (отказ одного элемента не должен приводить к отказу системы, т. е. к невозможности выполнения функциональной задачи), который приводит к необходимости резервирования двигателей.

Исходные данные. Так же, как и в работе [1], примем в качестве типовой конструкции негерметичного корпуса КА куб со стороной размером 2 м. Восемь двигателей коррекции расположим попарно по диагоналям квадрата, образованного сечением корпуса плоскостью *YOZ* (см. рисунок). В номинальном (исходном) положении линии действия тяги каждого двигателя проходят через центр масс. Каждую пару двигателей установим на двухстепенном приводе с углами прокачки до 3–5° по двум осям. Примем, что первая ось вращения привода параллельна оси *X* и совпадает с ребром корпуса, а вторая – перпендикулярна соответствующей диагонали квадрата, образованного сечением корпуса плоскостью *YOZ*.

Методика создания управляющих воздействий. При отсутствии необходимости создания управляющих моментов линия действия тяги каждого двигателя проходит

через номинальное положение центра масс. Возможна работа как одиночных двигателей, так и парами. При выбранном количестве двигателей резервирование обеспечивается с запасом. В случае необходимости создания управляющих моментов в процессе проведения коррекции платформа привода с установленными на ней двумя двигателями поворачивается на заданный угол.

Коррекция наклонения. Коррекция наклонения проводится парами двигателей Д1 + Д3 или Д2 + Д4 или Д7 + +Д5 или Д8 + Д6. Работа одиночных двигателей возможна, но нежелательна, так как при этом имеется значительная составляющая на ось *Y*.

Управление по рысканию. Для создания момента по каналу рыскания (M_x) во время проведения коррекции или заранее осуществляется поворот платформы привода (одного или двух сразу) относительно оси, совпадающей с ребром корпуса. Знак управляющего момента определяется направлением поворота.

Управление по крену. Для создания момента по каналу крена (M_y) при работе пар двигателей заранее осуществляется поворот платформы привода вокруг осей, перпендикулярных диагоналям. Знак момента также определяется направлением поворота.

Управление по тангажу. Управляющий момент по тангажу (M_z) может создаваться при работе одиночного двигателя и повороте платформы привода относительно оси, перпендикулярной диагонали. При этом создается момент сразу по двум осям *Y* и *Z*. Если необходим только момент по тангажу, то момент по крену должен компенсироваться электромеханическими исполнительными органами системы ориентации в пределах своих возможностей.

Коррекция долготы. В основном коррекции долготы могут осуществляться за счет разности времен работы двигателей в парах при проведении коррекций наклонения, так как составляющая тяги на ось *Y* в выбранной компоновке имеет такую же величину, что и на ось *Z*. Вместе с тем, могут осуществляться и специальные коррекции в направлении запад–восток парами Д3 + Д5, Д4+ + Д6, Д1 + Д7, Д8 + Д2 или одиночными двигателями.

Управление по тангажу. Управляющий момент по тангажу создается при повороте одновременно двух платформ, на которых установлены двигатели выбранной пары, относительно осей, перпендикулярных диагоналям. Отметим, что специальные коррекции в направлении запад–восток парами двигателей, вероятно, будут весьма редкими, так как в основном, коррекция долготы будет осуществляться попутно, при проведении коррекций наклонения. Поэтому для проведения разгрузок маховика управляющие моменты по тангажу кроме указанных выше способов могут быть созданы специальными короткими включениями долготных пар двигателей.

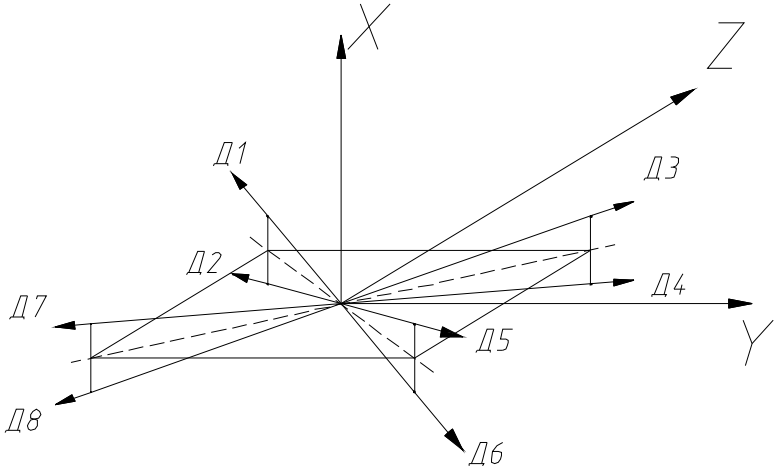
Управление по рысканию. Управляющий момент по рысканию создается при повороте платформ с двигателями относительно осей, совпадающими с ребрами.

Управление по крену. Управляющий момент по крену при коррекции долготы создается при «перекрестном» включении двигателей в паре, например Д3 + Д6, Д4 + Д5, и отклонении платформ с двигателями относительно осей, перпендикулярных диагоналям, в разные стороны, например, блока с Д3 в сторону +*X*, а блока с Д6 – в сторону – *X*.

Таким образом, в выбранной схеме размещения двигателей коррекции на приводах обеспечивается как проведение коррекций по наклонению и долготе (с резервированием), так и создание управляющих моментов обоих знаков по трем осям при проведении штатных коррекций или специальных включений двигателей.

Отметим, что планирование сеансов коррекции по сравнению с вариантом неподвижного закрепления двигателей на корпусе КА значительно упрощено, так как задача создания моментов привязана к сеансам коррекции фактически только по времени, но не методически: не требуется разбиение сеансов на участки и обеспечение временных интервалов работы двигателей. Необходим только поворот платформ приводов на соответствующий угол до или при работе пар двигателей и возврат в исходное положение после завершения разгрузки маховиков. Преимуществом данной концепции также является возможность компенсации возмущающих моментов и ухода центра масс в течение срока службы КА.

Оценка массовых затрат. Оценим затраты массы для схемы с установкой двигателей коррекции на приводах. Так, например, масса двухстепенного привода, разрабо-



Исходная схема размещения двигателей и номинальные направления выдачи тяги

танного для европейской платформы Eurostar-3000, составляет 10,35 кг [2]. На нем можно разместить 2 двигателя. Массу блока электроники для управления данным приводом можно оценить в 2 кг. Массу рабочего тела, необходимого для создания управляющих моментов, не учитываем, так как полагаем, что моменты создаются «попутно», малыми отклонениями при проведении коррекций орбиты. Таким образом, общие затраты массы для управления 4-мя парами двигателей составят 49,4 кг. Однако, как было показано в работе [1], для создания управляющих моментов в начальных режимах и режимах обеспечения живучести все равно необходима вспомогательная, например, газореактивная система. Примем, что она работает на холодном ксеноне, так же как и в варианте с неподвижным закреплением двигателей коррекции. Для КА массой 1–1,5 т масса такой газореактивной системы по оценкам составит около 17 кг [1]. Таким образом, общие затраты массы для данного варианта составят соответственно 66,4 кг.

Масса монотопливной ДУ ориентации (базовый вариант) составляет около 60 кг [1]. Таким образом, при установке двигателей коррекции на приводы масса двигательной подсистемы в целом по сравнению с базовым вариантом отдельной монотопливной ДУ может увеличиться на несколько килограммов (приблизительно на 6 кг для выбранных исходных данных).

При сравнении с вариантом неподвижного закрепления двигателей коррекции на корпусе КА и обеспечением управляющих моментов проигрыш будет соответствовать суммарной массе приводов вместе с блоками электроники, т. е. около 50 кг для выбранных исходных данных.

Рассматривая совместно три схемы организации ориентации и коррекции, можно сделать следующие выводы.

1. Базовая схема, т. е. применение отдельной независимой монотопливной двигательной установки для ориентации и разгрузки маховиков и отдельной ДУ коррекции орбиты обеспечивает наибольшую простоту управления и эксплуатации КА, надежное управление ориентацией КА в начальных режимах и режимах обеспечения живучести. Режимы живучести могут проводиться неограниченное количество раз в пределах располагаемого запаса топлива. Имеется возможность функционального резервирования, т. е. использование двигателей ориентации в качестве вспомогательных двигателей коррекции. Независимость ДУ ориентации и коррекции позволяет автоматизировать процесс проведения коррекций орбиты с помощью БЦВМ, обеспечивая автономность КА.

2. Схема с неподвижным закреплением двигателей коррекции, создающих управляющие моменты, и вспомогательной газореактивной системой позволяет получить для КА среднего класса выигрыш по массе 30–40 кг по сравнению с базовой схемой. Однако существенно усложняется эксплуатация КА. Вследствие того, что коррекции будут совмещаться с разгрузкой маховиков, ежесуточные коррекции (до двух раз в сутки) будет необходимо на протяжении всего САС планировать индивидуально с участием специалистов по системе ориентации и специалистов по управлению движением. Автоматическое проведение коррекций в данном случае будет существенно затруднено.

3. Схема с установкой двигателей коррекции на приводах упрощает планирование коррекций по сравнению с вариантом неподвижного закрепления и позволяет автоматизировать процесс проведения коррекций. Однако за счет введения приводов с их блоками управления масса возрастает по сравнению с вариантом независимых ДУ ориентации и коррекции на несколько килограммов, а по сравнению с вариантом неподвижного закрепления двигателей коррекции, создающих управляющие моменты, – примерно на 50 кг. Кроме того, привода с блоками электроники представляют собой достаточно сложные электромеханические устройства и вносят элемент ненадежности. В случае их отказа (например, заклинивания в определенном положении) эксплуатация КА существенно усложнится.

На основе полученных результатов анализа рассмотренных схем можно сделать вывод о том, что если к КА предъявляются требования автономности, то, по совокупности качеств, целесообразно использование схемы с независимыми ДУ ориентации и коррекции. Если остро стоит вопрос о массе КА, а требования по автономности не предъявляются (например, осуществляется непрерывное управление с НКУ), то возможно использование схемы с неподвижным закреплением двигателей коррекции, создающими управляющие моменты. Это позволит сэкономить массу, порядка 30–40 кг, но существенно усложнит эксплуатацию КА. Применение схемы проведения коррекций с двигателями на приводах возможно, однако увеличивает массу платформы, приводит к усложнению схем управления, снижению надежности платформы, повышению затрат на разработку и изготовление КА.

В целом, расширение сферы применения двигательной установки коррекции, т. е. использование двигателей коррекции не только по прямому назначению, но и для создания управляющих моментов возможно, однако, как показывает проведенный анализ, не всегда оправдано. Выбору того или иного решения должен предшествовать анализ условий функционирования КА и общих проектных требований.

Библиографические ссылки

1. Проведение ориентации и коррекции орбиты геостационарного КА: схема с неподвижным закреплением двигателей коррекции / Ю. М. Ермошкин, В. А. Раевский, В. М. Урусов // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2009. Вып. 4(25). С. 99.

2. Electric propulsion thruster pointing mechanism (TPM) for Eurostar 3000: design and development test results / M. Falkner [et al.] // The 29th Int. electric propulsion conference (Princeton University, Okt. 31, Nov. 4, 2005). IEPC-2005-001.

3. Lubberstedt H., Miesner Th., Winkler A. Solely EP based Orbit Control System on Small GEO Satellite // The 30th International Electric Propulsion Conference (Florence, Sept. 17–20, 2007). IEPC-2007-274.

Yu. M. Yermoshkin, V. A. Raevsky, V. M. Urusov

GEOSTATIONARY SPACECRAFT ORBIT SLAVING AND MANEUVER: THRUSTERS ON DRIVES INSTALLATION SCHEME

In this article we consider increase of application of geostationary SC orbit slaving and maneuver thrusters, particularly for creation of control moments for slaving and maneuver system of SC simultaneously with orbit correction procedures. We analyze thrusters on drives installation scheme, which provides for alteration of engine position against spacecraft (pointing mechanism). We also present possible method for orbit slaving procedures with the account of control moments creation decision. And we analyze merits and demerits of the given and the other slaving and maneuver approaches.

Keywords: spacecraft, thruster, propulsion, fuel, drive.

© Ермошкин Ю. М., Раевский В. А., Урусов В. М., 2010

УДК 621.45.04.4

М. В. Кубриков, В. Ю. Журавлев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИАФРАГМ-РАЗДЕЛИТЕЛЕЙ УДЛИНЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ БАКОВ

Представлен процесс проектирования выворачивающихся металлических разделителей двигательных установок удлиненных топливных баков космических аппаратов на основе использования энергетического принципа.

Ключевые слова: тонкостенный диафрагма-разделитель, топливный бак, выворачивание, оболочка.

Для большинства использующихся жидкостных ракетных двигателей, многократно запускаемых в условиях невесомости, применяются топливные баки с выворачивающейся диафрагмой-разделителем.

Важнейшим условием нормальной работы агрегатов космического летательного аппарата является непрерывность подачи компонентов топлива. Непрерывность подачи компонентов может быть нарушена при наличии газовых пузырей в топливоподающих магистралях, например, при запуске в условиях невесомости или вследствие временного оголения заборного устройства, при маневре летательного аппарата.

Выворачивающаяся диафрагма-разделитель наиболее полно удовлетворяет всем основным требования, предъявляемым к разделителям, и гарантированно обеспечивает разграничение жидкой и газовой фаз в топливном баке.

Разделитель при небольших энергозатратах на вытеснение позволяет практически полностью вытеснить компонент из бака. Наиболее отработанной моделью разделителя, является сферическая приплюснутая форма разделителя.

В настоящее время для решения большинства космических задач возникает необходимость увеличения запаса компонентов топлива на космическом аппарате. Это обосновано увеличением срока эксплуатации космических аппаратов.

Увеличения объема топливного бака можно достичь двумя способами:

– увеличением общего диаметра бака;

– увеличением длины бака при неизменном диаметре.

В большинстве случаев конструкция космического аппарата не позволяет увеличить диаметр топливного бака, в то время как увеличение длины бака конструктивно возможно. Увеличение длины топливного бака позволяет проектировать более компактные баки с увеличенным объемом компонента топлива.

Основной задачей исследования является разработка научно обоснованных методов и критериев пластического течения материала для конструкций топливных баков с выворачивающимися диафрагмами-разделителями при малых углах наклона образующей на основании энергетического принципа с использованием принципа кинематически возможных скоростей. На основе разработанной модели пластического течения материала диафрагмы-разделителя решена задача проектирования диафрагм-разделителей в составе топливных баков с участком цилиндрической образующей при необходимости гарантированного разделения жидкой и газообразной фаз.

При разработке математической модели процесса выворачивания при малых углах наклона образующей, сформулированы физические и геометрические допущения по процессу выворачивания диафрагмы-разделителя.

Выворачивание разделителя осуществляется перемещением диафрагмы-разделителя за счет пластического деформирования материала ее стенки. В процессе выворачивания разделитель претерпевает большие пластичес-

кие деформации, близкие к предельно допустимым для используемых материалов.

Процесс выворачивания разделителя начинается в районе технологически сформированной периферийной торовой поверхности, примыкающей к центральной недеформированной части. Вытеснение жидкой фазы над диафрагмой-разделителем происходит за счет разности давления между газовой и жидкой фазами при перемещении центральной части разделителя, не прошедшей деформирование. Форма зоны пластической деформации считается частью торовой поверхности и перемещается вдоль меридианов по центральной зоне от периферии к центру. Радиус торовой поверхности зоны перекатывания формируется в зависимости от ряда параметров образующей и от толщины разделителя [1].

Процесс выворачивания центральной части происходит симметрично или с небольшой асимметрией. В процессе выворачивания нормаль к плоскости перекатывания (с выпуклой стороны зоны перекатывания) несколько отклоняется от оси симметрии разделителя. Это отклонение хаотично и направлено в сторону увеличения толщины материала в данном месте.

Радиус зоны перекатывания, как и нормаль к поверхности этой зоны не остается постоянным. Он имеет максимальные и минимальные значения. Поэтому форма торовой поверхности перекатывания не всегда симметрична.

К основным параметрам процесса выворачивания металлического разделителя топливного бака следует отнести давление выворачивания, мгновенную форму разделителя и вытесненный к этому времени объем. Эти параметры определяются значением радиуса перекатывания и деформациями по главным направлениям. Давление выворачивания и радиус зоны перекатывания зависит от мгновенной формы невывернутой части разделителя, т. е. от положения зоны перекатывания на невывернутой части разделителя.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что деформирование разделителя на всем протяжении процесса выворачивания носит четко выраженный характер и сосредоточено в торовой зоне перекатывания. Под действием перепада давления на разделителе в результате деформации зоны перекатывания недеформированная часть перемещается относительно прошедшей деформирование. Для материалов, используемых при изготовлении металлических диафрагм-разделителей, значения напряжений предела текучести и предела прочности близки, что позволяет заменить реальную диаграмму растяжения материала идеально-пластической диаграммой. Это обстоятельство не приводит к существенным погрешностям в расчете величин давления выворачивания (рис. 1).

Для идеально-пластического тела пластическое течение определяется конечной комбинацией нагрузок, путь нагружения, начальные напряжения и деформации при этом не учитываются [2]. Поэтому используется энергетический принцип механики деформируемого твердого тела.

Для определения параметров процесса выворачивания используется экстремальный принцип для идеально-пластического тела и уравнение, характеризующее минимальные свойства действительного поля скоростей:

$$\int_F X_{ni} V_{ni} dF \le \tau \int_V H' dV ,$$

где X_{ni} – поверхностная нагрузка; V_{ni} – скорость перемещения поверхности; F – движущаяся в результате деформации поверхность; τ_s – предел текучести при сдвиге; H' – кинематически возможная интенсивность скоростей деформации; V – объем пластической зоны.

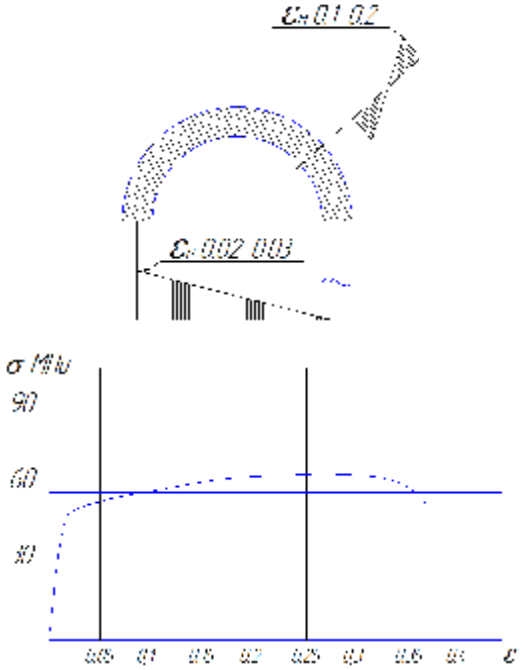


Рис. 1. Механические характеристики материала АД1

По результатам экспериментов удлиненных разделителей были выявлены осложнения, связанные с потерей устойчивости разделителя. Наиболее опасной является зона, определенная конической и цилиндрической частями.

Были рассмотрены некоторые варианты решения повышения устойчивости удлиненного разделителя (рис. 2).

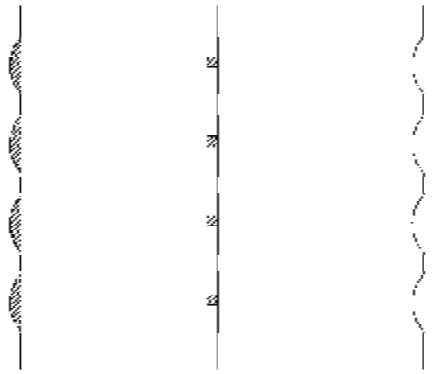


Рис. 2. Варианты решений повышения устойчивости цилиндрического участка удлиненных разделителей

Применение данных вариантов исполнения цилиндрических участков удлиненных разделителей приводит к существенному возрастанию деформаций и повышению давления выворачивания, что нежелательно.

Использование современного программного обеспечения позволило провести анализ нагружения разделителя, сравнительный анализ удлиненной диафрагмы и диафрагмы с ребрами жесткости (рис. 3). Из диаграмм видно, что с применением ребер жесткости устойчивость разделителя значительно возрастает. По результатам проведенного сравнительного анализа была спроектирована диафрагма-разделитель с применением ребер жесткости.

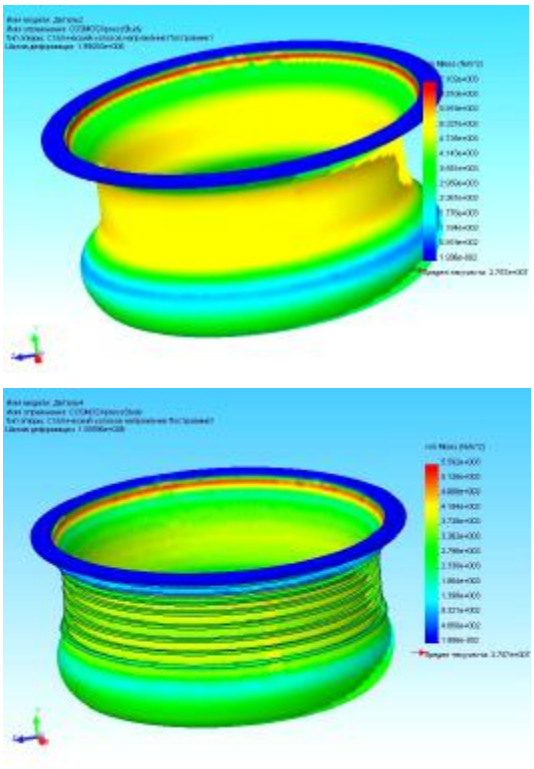


Рис. 3. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния удлиненного разделителя и разделителя с применением ребер жесткости

В результате проектирования и расчета удлиненного разделителя для конкретной конфигурации цилиндрического бака должна быть определена его начальная и конечная формы, место закрепления в баке, характеристика перепада давления в процессе выворачивания.

Расчет процесса выворачивания начинается с подбора путем задания вариантов начальной формы разделителя как поверхности вращения, образующая которой в общем случае может состоять из сферических, торовых, конических и цилиндрических участков. Каждый участок разбивается на некоторое количество расчетных точек в соответствии с выбранным шагом изменения длины меридиана срединной поверхности. На участках определяются основные геометрические параметры серединой поверхности разделителя.

Решение уравнения энергетического принципа позволило найти зависимости для радиуса зоны перекатывания и давления выворачивания от параметров мгновенного положения удлиненного разделителя. Это же решение дает возможность определить пластические деформации разделителя на всем протяжении меридиана по основным направлениям. Радиус зоны перекатывания находится по формуле

$$r = \frac{1-0{,}15\pi}{2}\sqrt{x_c S}\,.$$

Давление выворачивания имеет вид

$$P = \frac{4\tau S}{x_c^2}\sqrt{x_c S}\,.$$

В результате экспериментов многие исследуемые диафрагмы-разделители теряли устойчивость, образовывались вмятины, заломы и закусы.

Получены значения ориентировочных величин критического давления, при котором происходит потеря устойчивости диафрагм-разделителей выполненных идеально. Величина критического давления потери устойчивости определяется по формуле

$$P_{\text{кр}} = \frac{kES^{5/2}}{lR^{3/2}},$$

где k – коэффициент, определенный расчетной схемой; E – модуль упругости; S – толщина; R – радиус цилиндрической оболочки; l – длина цилиндрической оболочки.

Изменение длины цилиндра чрезвычайно сильно сказывается на уменьшении величины критического давления потери устойчивости.

Замена в расчетах потери устойчивости конического участка диафрагмы-разделителя цилиндрически не вносит существенной погрешности и дает большую наглядность в определении влияния основных геометрических параметров.

По результатам исследования разработано программное обеспечение для расчета и проектирования выворачивающихся металлических диафрагм-разделителей на основе использования энергетического принципа.

Реализация математической модели в программном обеспечении позволяет осуществить большинство расчетов, связанных с процессом выворачивания удлиненного разделителя, и получить ряд другой важной информации в виде графиков, таблиц и мгновенного положения разделителя.

Наглядность полученных данных способствует возможности наилучшим способом определить геометрические размеры проектируемых разделителей и получить исчерпывающую информацию протекания процесса выворачивания диафрагмы-разделителя в составе удлиненного топливного бака.

Библиографические ссылки

1. Ефремов В. Н., Журавлев В. Ю., Якубович О. П. Разделители топливных баков с отрицательной деформацией параллели. Красноярск, 2005.

2. Коровайцев А. В. Расчет осесимметричных форм равновесия упругой сферической оболочки // Изв. вузов. 1978. № 3. (Сер. «Машиностроение»).

M. V. Kubrikov, V. Yu. Zhuralev

SOFTWARE FOR REALISATION OF MATHEMATICAL MODEL OF REVERSING DIAPHRAGM-SEPARATORS OF FUEL TANKS

In the article we present a model of reversing metallic separators of long fuel tank engine units of space vehicles, the model is based on usage of the energy principle.

Keywords: thin-walled diaphragm-separator, fuel tank, reversing, shell.

© Кубриков М. В., Журавлев В. Ю., 2010

УДК 629.76/78.001.63

И. А. Максимов, А. Б. Надирадзе

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ, ИНИЦИИРОВАННЫХ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМОЙ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований по определению условий возникновения разрядных процессов в высоковольтном оборудовании космических аппаратов. Даны критерии для формирования системы граничных условий, реализация которых может привести к развитию разрядных процессов.

Ключевые слова: разрядный процесс, негерметичный приборный отсек, пробой, параметры плазмы, вольтамперная характеристика.

Как показывает опыт натурной эксплуатации космических аппаратов (КА), наличие плазмы в области высоковольтного оборудования (ВВО), является негативным фактором и может привести к нарушению нормального функционирования аппаратуры и КА в целом.

С точки зрения возможности возникновения электрических разрядов наибольший интерес представляют величины давления газа и параметры плазмы внутри негерметичного приборного отсека (НГПО) в области размещения высоковольтного оборудования.

Параметры плазмы, проникающей в НГПО, определяются конструкцией и площадью вентиляционных отверстий, взаимным расположением и типом используемых стационарных плазменных двигателей (СПД). По оценкам, приведенным в [1], при использовании двигателей типа СПД-100, СПД-70 концентрация плазмы внутри НГПО составляет $10^4 \ldots 10^6$ см$^{-3}$ при средней энергии ионов 10–30 эВ.

В настоящее время известно несколько физических явлений, которые потенциально могут приводить к сбоям в работе бортовой аппаратуры (БА), некоторые из них рассмотрены автором в [2; 3].

Первоначально проведем оценку величины паразитных токов, наводимых на элементах электрических схем высоковольтной БА, в случае проникновения плазмы СПД.

Механизм возникновения паразитных токов обусловлен протеканием электронных и ионных токов через поверхность проводников, контактирующих с плазмой. При этом величина тока определяется зондовой характеристикой «контакта» и параметрами окружающей плазмы.

Проведенные в [4] оценки показывают, что при давлении $p = 10^{-4} \ldots 10^{-5}$ торр. внутри НГПО, имеющего характерные размеры 1–2 м, реализуется бесстолкновительное движение частиц газа. Поэтому токи утечки можно оценивать исходя из классической теории электрического зонда в плазме.

Классическая теория электрического зонда в плазме [2] дает следующую зависимость полного тока J, текущего на зонд:

$$J = S(j_e - j_i), \qquad (1)$$

где S – площадь поверхности зонда; j_e, j_i – плотность электронного и ионного тока.

При постепенном уменьшении отрицательного потенциала зонда, т. е. при удалении по оси абсцисс вправо из области «А», происходит экспоненциальное увеличение электронного тока (участок «В» на рис. 1). На этом участке полный ток, текущий на зонд, обусловлен как электронами, так и ионами. При переходе в область положительных потенциалов – участок «С» зондовой характеристики – ионы перестают попадать на зонд. Здесь ток, текущий на ток, обусловлен только электронами.

Согласно выражению (1), при указанных выше значениях концентрации, ионная компонента тока при напряжении 100 В – 1 кВ может достигать 1–100 мкА/см^2, а электронная – 0,1–100 мА/см^2. Эти токи весьма существенны и могут оказывать заметное негативное влияние на работу БА, как в качестве помеховых сигналов, наводимых в электрических схемах, так и в качестве инициатора разрядных процессов.

Условие возникновения разряда является многопараметрической функцией, а физика разряда настолько сложна и многообразна, что, несмотря на большое количество работ по ее исследованию, единый подход к описанию исследуемых в рамках данной работы эффектов на основе только теоретических изысканий было определить весьма сложно.

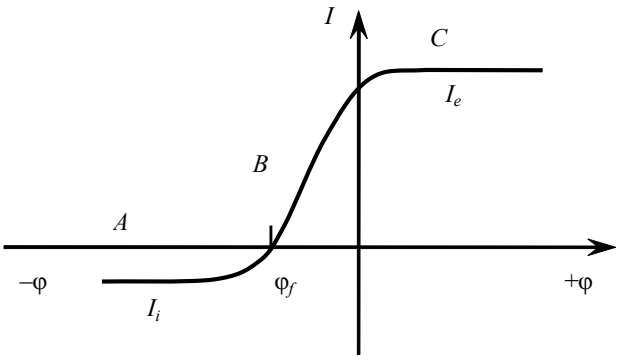


Рис. 1. Типичная вольтамперная характеристика электрического зонда в плазме

Поэтому для более точного определения условий возникновения разрядных процессов, изучения физики наблюдаемых процессов и разработки на этой основе методов и средств защиты КА было необходимо проведение комплекса экспериментальных исследований, реализованных совместно специалистами ОАО «ИСС» и ГОУ ВПО Московского авиационного института.

Первая часть экспериментов проводилась без включения источника плазмы. Измерялись вольтамперные характеристики разрядных промежутков при давлении $(1–5) \cdot 10^{-5}$ мм. рт. ст. в диапазоне напряжений 0–3 кВ. Было установлено, что во всем диапазоне напряжений между электродами, при различной комбинации электродов и полярности включения пробоев не наблюдается. Ток между электродами был ниже разрешающей способности измерительных приборов (0,1 мкА).

Вторая часть экспериментов была направлена на определение вольтамперных характеристик разрядных промежутков. По результатам предварительных измерений было установлено, что объемный пробой возникает при условии наличия плазмы при положительном (относительно корпуса разрядной камеры) напряжении на электродах [3; 4]. Причем противоэлектроды в любых комбинациях практически не влияют на форму вольтамперной характеристики и напряжение пробоя.

Согласно полученным экспериментальным данным, горение дуги происходит при напряжении на электродах от 100–150 до 700–800 В и выше. Максимальный ток разряда составил ~50 мА. Мощность, выделяемая при разряде, изменяется в пределах 1–400 Вт/см^2, что является более чем достаточным для сильного нагрева электрода и испарения диэлектрика. Анализ этих данных позволяет предположить, что механизм возникновения самостоятельного разряда – тепловой.

По мере увеличения тока через электрод происходит его нагрев (об этом свидетельствует отжиг электрода «Антенна» и наличие на его поверхности каплеподобных образований) тепло передается прилегающему к электроду диэлектрику (фторопласт), который начинает испаряться. За счет испарения диэлектрика давление вблизи электрода повышается настолько, что становится возможной ионизация частиц электронами, ускоренными полем электрода. Появление дополнительных носителей заряда приводит к лавинообразному увеличению тока, тепловыделения и, соответственно, скорости испарения. В результате этих процессов замыкается петля положительной обратной связи, что проявляется в виде падающей вольтамперной характеристики. Тепловой механизм косвенно подтверждается неустойчивым характером горения дуги и ростом давления в РК, наблюдаемым при возникновении разряда.

Механизм пробоя, по результатам предварительного анализа, заключается в следующем.

С ростом напряжения и тока происходит нагрев электрода за счет выпадающих на него электронов. Нагрев электрода сопровождается нагревом прилегающего к нему диэлектрика (фторопласт, керамика). В результате нагрева увеличивается газовыделение диэлектрика, давление вблизи анода повышается. Ускоренные электроны взаимодействуют с облаком частиц газа, выделяемого диэлектриком, в результате чего образуются дополнительные носители заряда. При достижении некоторых критических значений напряжения и тока происходит пробой, сопровождающийся резким увеличением тока и температуры анода (диэлектрика). Давление вблизи анода значительно увеличивается, о чем говорят результаты измерения давления в разрядной камере во время пробоя.

Как отмечалось выше, критическое напряжение зажигания разряда для рассматриваемых условий находится в диапазоне от 100 В и выше, а критическое значение тока является сложной функцией от таких параметров, как концентрация плазмы, электрофизические параметры прилегающего диэлектрика, геометрии, площади и материала электродов, и определяется экспериментально для каждого конкретного случая. Для разработчиков бортовой радиоэлектронной аппаратуры и КА необходимо учитывать, что если в электрических цепях прибора есть напряжение более 100 В, тогда при определенных условиях возможно развитие разрядных процессов.

Необходимо отметить, что наблюдавшиеся в экспериментах пробои, являются чрезвычайно сложными физическими явлениями, объяснение которых сопряжено с разрешением множества противоречивых данных.

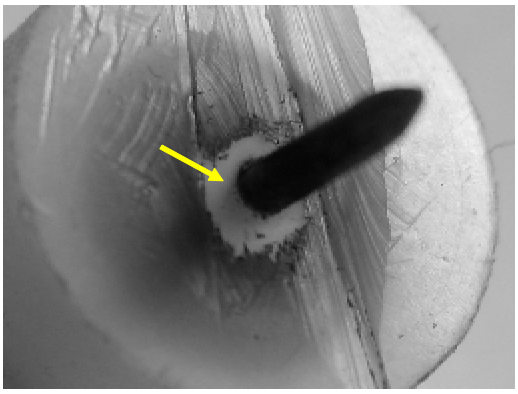
По косвенным данным, в условиях, реализованных в эксперименте, температура электродов могла достигать 550–600 °С и выше, о чем свидетельствует отожженное состояние медных электродов типа «Антенна».

Фотографии образцов, подвергшихся действию разряда, приведены на рис. 2.

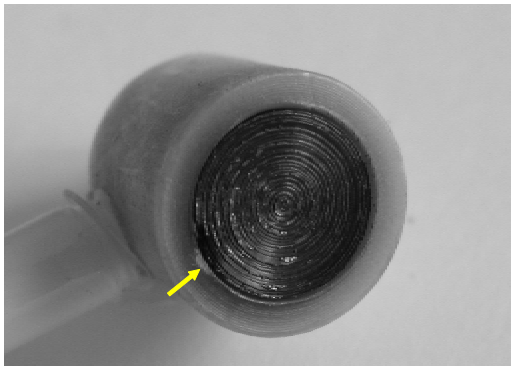
На фотографиях видно, что диэлектрик, примыкающий к электроду, носит ярко выраженные следы испарения материала. Испарение, скорее всего, происходило с мест, непосредственно примыкающих к электроду (рис. 2, *а*). Более удаленные точки получают меньше тепла и не испаряются.

Следующим шагом необходимо провести адаптацию вышеприведенных условий возникновения пробоя к ре-

альной ситуации с учетом возможных физических условий и существующих параметров электрических схем и конструкции БА.



а



б

Рис. 2. Следы испарения диэлектрика на электродах: *а* – «Острие»; *б* – «Диск-3» (места интенсивного испарения показаны стрелками)

Очевидно, что приведенные выше условия необходимо учитывать при проектировании и изготовлении КА, а также при проведении его наземной экспериментальной отработки.

Библиографические ссылки

1. Расчетная модель для оценки проникания плазмы электроракетных двигателей в приборные отсеки космического аппарата / В. В. Иванов [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 3. Красноярск, 2006. С. 49–52.

2. Механизмы воздействия плазмы электроракетных двигателей на работу бортовой аппаратуры космических аппаратов / В. В. Иванов [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 3. Красноярск, 2007. С. 87–91.

3. Максимов И. А., Иванов В. В. Разработка и экспериментальная отработка критериев стойкости высоковольтного оборудования к воздействию плазмы, формируемой стационарными плазменными двигателями : науч.-техн. отчет ОНТ250-654-08. НПО ПМ. Железногорск, 2008. С. 38, инв. № 13386.

4. Воздействие плазмы электроракетных двигателей на бортовое высоковольтное оборудование / В. В. Иванов [и др.] // Навигационные спутниковые системы, их роль и значение в жизни современного человека : материалы Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 40-летию запуска на орбиту навигационного КА «Космос-192» и 25-летию запуска первого КА «Глонасс» (10–14 октября 2007, г. Железногорск). Железногорск, 2007. С. 117–119.

I. A. Maksimov, A. B. Nadiradze

DETERMINATION OF CONDITIONS OF DISCHARGE PROCESSES OCCURANCE, INITIATED BY LOW TEMPERATURE PLASMA OF SC STATIONARY PLASMA THRUSTERS

The article dwells upon results of experimental researches on conditions determination of discharge processes occurrence in high – voltage SC equipment and presents criteria for formation of system of the boundary conditions, which can, in case of realization, lead to development of discharge processes.

Keywords: discharge process, unpressurized instrument module (UIM), breakdown, plasma parameters, voltage – current characteristic.

© Максимов И. А., Надирадзе А. Б.. 2010

УДК 621.45–181.4:629.78

Е. М. Краева, М. В. Краев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ*

Рассмотрены особенности проточной части высокооборотного центробежного насоса с полуоткрытым рабочим колесом. Получены зависимости по расчету основных параметров вихревого турбулентного потока в поле центробежных сил полуоткрытого рабочего колеса насоса.

Ключевые слова: центробежное колесо, турбулентность, вихревой поток, диаметр, ширина канала.

В центробежных РК полуоткрытого и открытого типов существует неравномерность потока и вихревое взаимодействие по радиусу основных потоков жидкости и в боковой пазухе насоса [1]. Лопатки передают энергию потоку жидкости, часть которого в боковой пазухе движется с отставанием от основного. В результате образуется течение как в канале за плохообтекаемым телом, характеризующееся возникновением возвратных токов и вихрей [2]. Этот процесс определяется отношением ширины к длине канала, толщиной пограничного слоя на стенках и относительной высотой лопатки. Взаимодействие потоков в пазухе и в каналах приводит к появлению циркуляционного течения в зоне за выступом. Схема взаимодействия между набегающим потоком боковой пазухи насоса и в каналах РК насоса приведена на рис. 1.

С целью уточнения основных особенностей гидродинамики в каналах полуоткрытого высокооборотного центробежного рабочего колеса (РК) проведен ряд экспериментов, в том числе и по визуализации течения в таких РК (рис. 1).

Фотографирование наклеенных флюгерков на стенке между корпусом и открытыми лопатками РК при испытании в широком диапазоне изменения режимных параметров центробежного насоса ($\dot{V} = 0...1,5\dot{V}_{ном}$) и изменении осевого зазора от 0,5 до 3 мм показало, что для различных радиусов соблюдается постоянство отношения радиальной составляющей скорости v_R от окружной $v_R/U = \varphi_R$. Это дает основание выразить скорость радиального течения в осевом зазоре от периферии РК к центру, с учетом коэффициента скольжения потока $\varphi_л$ в окружном направлении относительно РК, в виде

$$v_R = U\varphi_R = UK_R\varphi_л, \qquad (1)$$

где K_R – экспериментальная константа, $K_R = 0,45$; $\varphi_л$ – коэффициент закрутки потока в окружном направлении, $\varphi_л = \dfrac{U_ж}{U}$.

На основании исследований по визуализации потока данных работы [2] и измерения его параметров в зазоре между вращающимся РК с открытыми торцами лопаток и гладким корпусом можно представить модель струйно-вихревого обтекания каналов РК. Поток жидкости в межлопаточном канале такого РК подвергается непосредственному силовому воздействию лопаток. Жидкость в осевом зазоре a_1 закручивается за счет сил трения и проскальзывает относительно торцев лопаток РК. Следовательно, на одном и том же радиусе частицы жидкости в канале и осевом зазоре a_1 движутся с различной окружной скоростью, что приводит к их относительному перемещению в радиальном и осевом направлениях.

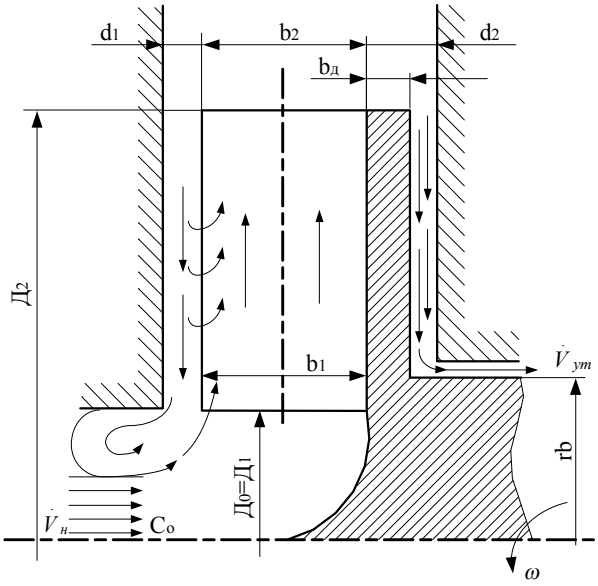


Рис. 1. Схема проточной части полуоткрытого РК высокооборотного насоса

Таким образом, как на входном участке РК с полуоткрытыми лопатками, так и по его радиусу не вся проточная часть каналов колеса заполнена потоком, движущимся от входа в рабочее колесо до выхода. Частично она заполнена потоком обратного течения. Закрученные в сторону вращения РК обратные токи перетекают в соседний канал на меньший радиус и увлекаются обратно в проточную часть. При этом образуется вихревая зона, жидкость в которой не участвует в расходном течении через насос. С увеличением подачи через насос при $\omega = \text{const}$, параметры вихревой зоны снижаются, что выражается уменьшением радиальной закрутки потока.

В окружном направлении движение потока жидкости в зазоре a_1 относительно лопаток приводит к образованию в каналах РК циркуляционной зоны вследствие обтекания потоком впадин (рис. 2). Известно, что при течении жидкости в канале за плохо обтекаемым телом (в нашем случае – лопатки) возникают отрывные течения, которые

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., ГК № П231 от 23.04.2010 г. и АВЦП РНП ВШ № 2.1.2/802.

характеризуются образованием обратных токов и вихрей. Этот процесс в большей мере определяется отношением ширины лопатки b к расстоянию между ними $d = t - \delta_л$, толщиной пограничного слоя на стенке перед каналом и относительной высотой канала. Взаимодействие между струей и жидкостью в каналах РК приводит к появлению циркуляционного течения в канале за лопаткой.

В сечении при $y = 0$ поток за счет его поджатия в осевом зазоре a_1 равномерен и вследствие автомодельности турбулентных струй параметры циркуляционной зоны не зависят от числа Re [2]. Тогда для зоны смешения *2* положение ее границы относительно оси *X* запишем в виде

$$\frac{dy}{dx} = \pm C \frac{W_U - W_H}{W_U + W_H}, \qquad (2)$$

где C – опытный коэффициент, $C = 0,22...0,27$ [1].

Значение W_U находится по формуле

$$W_U = (U - U_ж) = U(1 - \varphi_л). \qquad (3)$$

Используя основные закономерности для свободных плоских струй [2], с учетом известных опытов о деформации любого неравномерного профиля и его перехода в струйный на очень малом расстоянии от кромки лопатки, получим границы для различных зон течения при обтекании межлопаточного канала конечной длины.

Для симметричной относительно оси *X* границы зоны смешения *2*, разделяющей течение в канале от потока в зазоре a_1 положение ее можно определить по выражению [3]

$$y = \pm 0,088\,29x. \qquad (4)$$

Для исследования полей давлений было спроектировано специальное приспособление, позволившее выяснить картину течения жидкости в каналах РК и измерить распределения давления по стенкам канала. Модель течения в канале и схема замера распределения давления по стенкам канала РК представлены на рис. 3 и 4. Канал РК дренировался отверстиями Ш 0,8 мм на трех различных радиусах. На каждом радиусе выполнялось пять отверстий, соединяющих внутреннюю полость канала с полостью отбора давления *1*. Отбор давления осуществлялся через неподвижную стенку *2* на образцовый манометр p_i с ценой деления 0,0016 МПа, что позволило фиксировать незначительное изменение давления. Полость отбора давления герметизировалась контактными кольцами *3*, которые прижимались к поверхности РК пружинами *4*. Контактирующие поверхности тщательно полировались и перед каждой серией испытаний прирабатывались до полной герметичности полости отбора давления. Измерение давления p_i в каждой точке канала РК производилось последовательно. При замере в одной точке остальные четыре заглушались заливкой отверстий расплавленной канифолью. В эксперименте все условия работы выдерживались постоянными, что контролировалось по показанию манометра p_a, измеряющего давление на том же радиусе в осевом зазоре *a*.

Испытания были проведены при угловой скорости вращения РК $\omega = 310$ рад/с.

Анализ полученных данных дает основание считать, что в каналах РК имеет место интенсивный вихрь с осью в радиальном направлении, смещенный к напорной стороне лопатки. В относительном движении величина скорости, с которой жидкость обтекает каналы, может быть определена $W = (U - U_ж) = U(1 - \varphi_л)$.

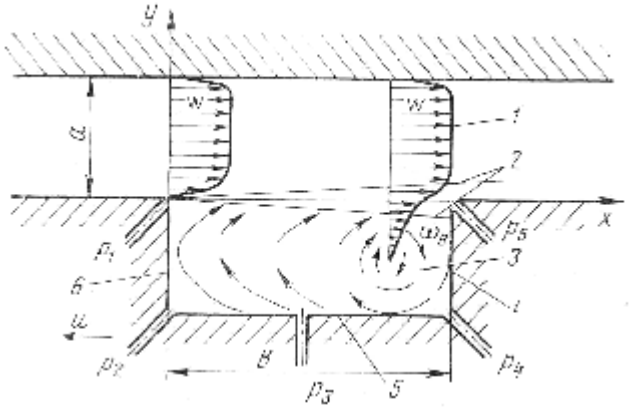


Рис. 2. Модель турбулентного обтекания и схема измерения давления по стенкам канала РК: *1* – зона 1; *2* – границы зоны смешения 2; *3* – зона 3; *4* – передняя стенка; *5* – дно; *6* – задняя стенка

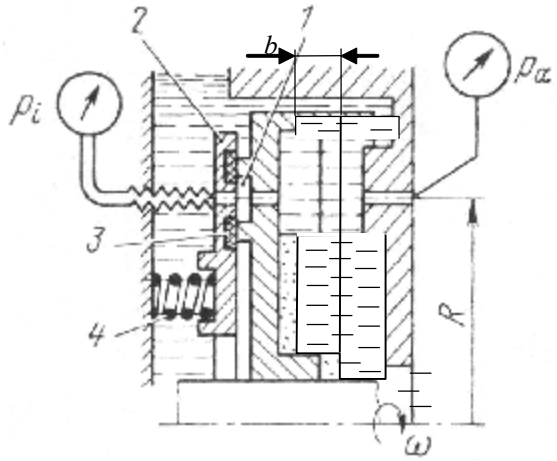


Рис. 3. Схема замера распределения давления по стенкам канала РК: *1* – полость отбора давления; *2* – стенка уплотнения; *3* – уплотнительное кольцо; *4* – пружина

На основании экспериментальных данных по распределению давлений в различных точках канала вращающегося РК был построен график распределения давления вдоль стенок канала (рис. 4). Там же нанесены экспериментальные данные для неподвижной впадины из работы [3]. Из сравнения полученных распределений давления с учетом визуализации течений в неподвижной и во вращающихся каналах можно полагать, что в каналах РК имеет место интенсивное вихревое течение с осью вихря, направленной по радиусу РК.

Циркуляционную зону в канале РК можно условно разделить на две области: интенсивного вращательного движения по окружности с радиусом $r_в$, и циркуляционного движения жидкости по траекториям эллиптического характера (см. рис. 2). На основании изложенного выше с учетом уравнения (4) величина радиуса вихревой зоны интенсивного вращательного движения определится по выражению

$$r_в = 0,519\,(b - 0,08829B). \qquad (5)$$

Одной из характеристик вихревой зоны является соотношение окружной скорости и скорости набегающего потока W_u на внешней границе зоны вихря $\bar{W}_в = \frac{W_в}{W_u} = f\left(\frac{B}{a}\right)$.

Аналитический расчет величины $\bar{W}_в$ по данным [2] для каналов РК дает $\bar{W}_в = 0{,}22$. Однако, экспериментальные данные, представленные в той же работе, говорят о существенном отличии расчетного значения $\bar{W}_в$ от опытного в сторону увеличения последнего. По мнению Г. Н. Абрамовича, это связано с влиянием пограничных слоев.

При испытании гидромуфты на воде [4] отмечались ярко выраженные вихревые структуры во впадинах вращающегося цилиндра. Расчетное значение $\bar{W}_в$ по данным работы [4] дает основание принять его для нашего исследования равным 0,3.

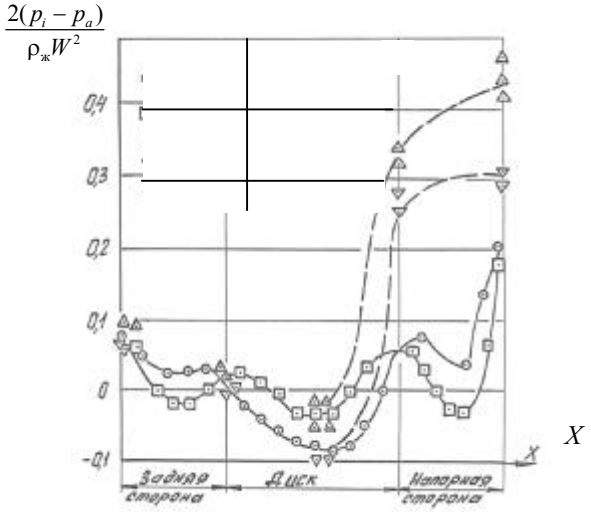


Рис. 4. Типичные картины распределения давления по каналу полуоткрытого РК:
□, ⊙ – для неподвижной впадины [3] (⊙ – $b/d = 0{,}5$; □ – $b/d = 1{,}0$); ▲, ▼ – по опытам вращающегося РК на разных радиусах (▲ – $R_i = 0{,}667$; ▼ – $R_i = 0{,}532$)

Тогда выражение для угловой скорости вращения вихря в каналах РК на радиусе R с учетом принятого значения $\bar{W}_в = 0{,}3$ и зависимости (5) запишется в виде

$$\omega_в = \frac{\bar{W}_в(1-\bar{\omega}_ж)\omega R}{r_в} = \frac{\bar{W}_в(1-\bar{\omega}_ж)\omega R}{0{,}519(b-0{,}08829B)}. \quad (6)$$

Экспериментальные данные в целом подтверждают принятую модель расчета каналов полуоткрытого РК в виде струйно-вихревого трехзонного течения, что позволяет рассчитать его геометрические параметры.

На характер течения в каналах РК определяющее влияние в основном оказывают параметры зоны смешения и вихревого течения. На основании анализа характера обтекания при течении в прямоугольных впадинах, представленных на фотографиях работы [5] следует отметить, что при обтекании квадратного канала для соотношения $b/B = 1$ имеется один устойчивый вихрь, вращающийся почти как твердое тело. При дальнейшем увеличении глубины канала до $b/d = 2$ наблюдаются две вихревые ячейки, расположенные одна над другой и имеющие противоположное направление вращения. Минимизация гидравлических потерь в каналах центробежного РК не допускает многовихревого течения, как по глубине, так и по ширине канала. Исходя из этого условия и принимая, что средние значения скорости в конце участка прямого и обратного токов циркуляционной зоны равны (см. рис. 2), тогда, согласно решению Г. Н. Абрамовича [2], для участка, в котором энергия обратного одновихревого тока достигает максимума, получим

$$B = (4{,}75...5{,}2)b. \quad (7)$$

Минимально возможная величина канала РК на основании (5) будет иметь вид

$$B_{\min} = 1{,}1423b. \quad (8)$$

Минимальную ширину лопатки на выходе из РК находим по условию сохранения ядра потока в межлопаточном канале, что одновременно будет и условием применимости теории к расчету каналов РК.

Критическое значение величины $\beta_{кр} = \frac{b}{b+a}$. При этом зона ядра потока совпадает с концом первого участка, а ширина лопатки, при которой ядро потока сохраняется и не выходит за пределы первого участка циркуляционной зоны при условии $\beta_{кр} = 0{,}635$ [2], составит

$$B \geq 1{,}74a. \quad (9)$$

По расчетной длине канала РК при известных ширине и диаметре РК число лопаток определяется по формуле

$$z = \frac{\pi D_2}{B + b_Д}. \quad (10)$$

В открытых РК картина течения жидкости даже в упрощенном виде имеет более сложную. Характер течения жидкости в насосных агрегатах с различными типами центробежных РК существенно влияет на взаимодействие потоков не только в боковой пазухе, но и на выходе из колеса. Поток на выходе из колеса взаимодействует с течением в боковых полостях между покрывным диском и корпусом, о чем свидетельствует степень закрученности потока жидкости в боковой полости. Для оценки параметров вихревого течения в этой полости проведена серия экспериментов с гладкими дисками и полуоткрытыми колесами различных диаметров ($D_2 = 44\ldots80$ мм).

Анализ полученных выражений и расчет экспериментальной величины закрученности потока по выражению

$$\varphi_{гл} = \frac{2(P_{вых} - P_i)}{\rho w^2(R_2^2 - R_i^2)} = \frac{\omega_ж}{\omega} \quad (11)$$

показал, что значения $\varphi_{гл}$ для диска и колеса насоса существенно отличаются. С учетом зависимостей [6] для гладких дисков при безрасходном и расходном течениях коэффициент закрутки потока в боковой полости насоса имеет вид

$$\varphi_{гл} = K\left[0{,}578 - 1{,}75\frac{\dot{V}_{ут}}{wR_{вых}^2 a} - 0{,}0658b_Д\right], \quad (12)$$

где $b_Д$ – ширина покрывного диска колеса; R_2 – наружный радиус колеса; K – опытный коэффициент, учитывающий закрутку жидкости за счет взаимодействия потоков; a – ширина осевого зазора.

Результат обработки опытных данных показал, что K изменяется в широких пределах и зависит от характера

течения в смежной полости. Для полуоткрытого рабочего колеса $K = 2$, а при установке бандажа на периферии (для сравнительной оценки) $K = 1{,}2$.

Высокая степень неравномерности параметров потока жидкости на выходе из РК и вихревая его структура в боковой полости высокооборотного насосного агрегата приводят к существенной потере энергии.

Библиографические ссылки

1. Краев М. В., Лукин В. А, Овсянников Б. В. Малорасходные насосы авиационных и космических систем. М. : Машиностроение, 1985.

2. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй. М. : Физматгиз,1960.

3. Хаген Р. Л., Данак А. М. Перенос импульса при турбулентном отрывном обтекании прямоугольной впадины // Тр. амер. о-ва инженеров-механиков. 1966. № 3. С. 189–195. (Серия «Прикладная механика»).

4. Левин А. А., Перельман Р. Г. Исследование цилиндрической гидромуфты // Исследование агрегатов, работающих на щелочных металлах : тр. МАИ. Вып. 193. М. : Машиностроение, 1969. С. 57–102.

5. Альбом течений жидкости и газа : пер. с англ. / сост. М. Ван-Дайк. М. : Мир, 1986.

6. Краев М. В., Овсянников Б. В., Шапиро А. С. Гидродинамические уплотнения высокооборотных валов. М. : Машиностроение. 1976.

E. M. Kraeva, M. V. Kraev

INVESTIGATION OF VORTEX TURBULENT FLOW IN THE CENTRIFUGAL FORCE FIELD

In the article we consider features of high-speed centrifugal pump flow with a semi-open impeller. Dependenices for calculation of basic parameters of vortex turbulent flow in a centrifugal force field of semi-open impeller are obtained and presented.

Keywords: impeller, turbulence, vortex flow, diameter, width of a channel.

© Краева Е. М., Краев М. В., 2010

УДК 681.5

М. Ю. Сахнов, А. Т. Лелеков, С. А. Галочкин

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГОТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ НИКЕЛЬ-ВОДОРОДНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ 40НВ-70*

Рассмотрен способ построения динамической модели никель-водородной аккумуляторной батареи. Обсуждаются особенности моделирования, связанные с совместным использованием пакетов COMSOL Multiphysics и Simulink. Представлены результаты расчета типичного режима функционирования аккумуляторной батареи в составе космического аппарата.

Ключевые слова: моделирование, аккумуляторная батарея, никель-водородный аккумулятор, космический аппарат, теплопередача, объект с распределенными параметрами, COMSOL Multiphysics, Simulink.

Для разработки, отладки и оптимизации элементов высокоэнергетических платформ космических информационных систем требуются адекватные и точные модели аккумуляторных батарей (АБ). Для повышения точности необходимо строить модель, учитывающую взаимозависимость энергетических и тепловых процессов батареи. Такие модели очень удобно строить с использованием взаимодействующих программных комплексов COMSOL Multiphysics-MATLAB-Simulink, в каждом из которых задана своя часть модели [1–3].

Используя методику, отработанную в [3], была построена модель никель-водородной (НВ) аккумуляторной батареи 40НВ-70 (рис. 1). Батареи этого типа применены на космическом аппарате (КА) «Sesat», изготовленном ОАО «ИСС» для корпорации «Alcatel Space», а также на российских КА серии «Экспресс-АМ». Батарея состоит из двух блоков, которые представляют собой плиту из магниевого сплава с 20-ю установленными аккумуляторами типа НВ-70. По длинным сторонам плиты с торца проведен контур жидкостного охлаждения.

*Работы проведены при программной поддержке Научно-образовательного центра интегрированных компьютерных технологий Информационно-аналитического департамента Сибирского федерального университета.

Описание модели. За исходную точку разработок взяты модели из [4] – электротехническая модель и [5] –теплофизическая модель.

Достоинства модели [4]:

1) предварительная идентификация математической модели идеальной НВ АБ по реальному техническому состоянию эксплуатируемых батарей;

2) возможность моделировать ситуации разбаланса аккумуляторов по емкости, разгерметизацию, обрыв внутренней электрической цепи, возникновение линейных и нелинейных шунтов, рост фонового водорода;

3) успешно пройденная экспериментальная проверка со штатными образцами (квалификация) никель-водородных батарей (КА «Sesat», «Экспресс-АМ»).

К недостаткам следует отнести отсутствие тепловой модели АБ – учет разных тепловых условий работы аккумуляторов производится в процессе идентификация по данным летной эксплуатации. Однако модель позволила разработать методику устранения разбаланса, которая успешно внедрена на практике. Модель реализована на языке высокого уровня.

Теплофизическая модель [5] отличается наличием теплофизической составляющей – расчета поля температур батареи, таким образом, учитывается неодинаковость тепловых условий работы аккумуляторов. Также учтен нагрев теплоносителя системы терморегулирования. Электрическая составляющая модели подобна [4], но использованы уравнения идеализированных зарядно-разрядных кривых НВ аккумулятора. Модель реализована на языке высокого уровня, для расчета тепловых полей применен упрощенный метод конечных элементов.

Особенности разработанной модели. Вновь разработанная модель отличается следующими возможностями:

1) солвер, геометрия и параметры модели создаются с помощью специализированных САПР. Это позволяет быстрее и качественнее строить модели, становится проще «отлов» ошибок, интеграция этапа отладки в сквозное проектирование АБ;

2) САПР Comsol и MATLAB работают совместно, используется возможности по решению задач в частных производных и имитационного моделирования САУ энергетикой АБ и процессов в смежных системах КА;

3) возможность решения задач оптимизации, как по параметрам модели (геометрия, теплофизические параметры материалов, способы теплосъема), так и по внешним воздействиям (алгоритм управления, энергобалансные задачи).

Общая модель АБ 20НВ-40 состоит из двух взаимосвязанных моделей – электротехнической и теплофизической.

Электротехническая модель. В статье [4] приведено описание применяемой электротехнической модели, которая основана на моделях из работы [8]. Блок «Электротехническая модель» реализован в Simulink, в виде *s*-функции 2-го уровня.

Входы блока:

– средняя температура по ЭБ каждого аккумулятора (векторная переменная);

– ток АБ, так как аккумуляторы соединены последовательно, то их токи равны общему току АБ (скалярная переменная).

Начальные параметры блока:

– начальная запасенная емкость каждого аккумулятора [А·ч] (векторный параметр);

– вектор идентифицирующих параметров. Каждый аккумулятор идентифицируется десятью параметрами, определяющими его внутреннее сопротивление (зависимость напряжения от тока) и саморазряд.

Начальные параметры указываются в матрице, в которой каждая строка задает параметры каждого аккумулятора

$$M = [Cnom\ CO\ \mathrm{eds}\ a\ b\ c\ d\ e\ f\ g\ h\ i\ j],$$

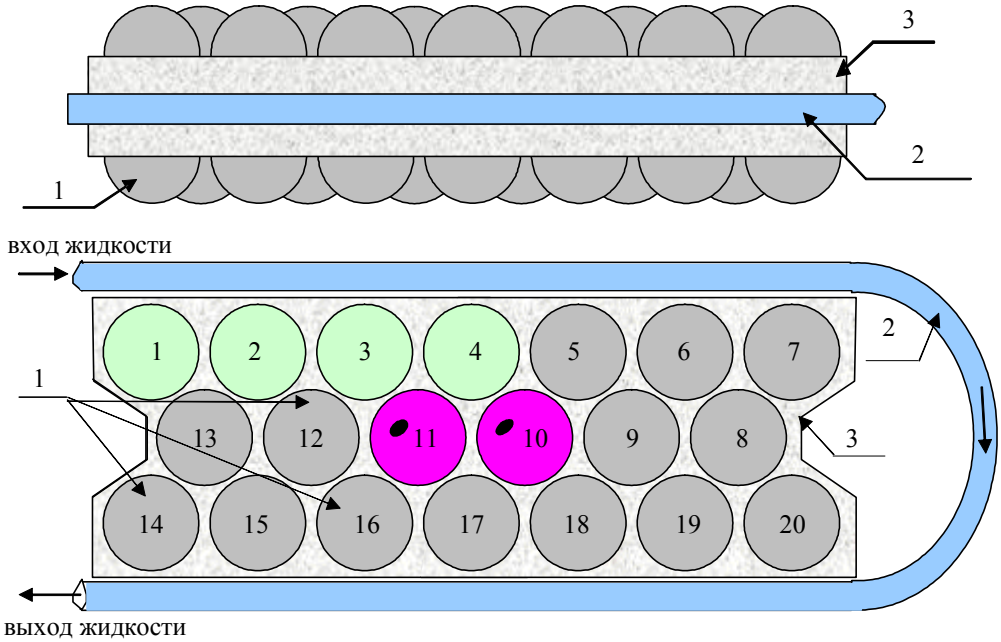


Рис. 1. Общий вид конструкции блока АБ 20НВ-70 и жидкостного контура охлаждения:
1 – аккумуляторы; *2* – жидкостной контур; *3* – плита

где *Cnom* – номинальная емкость (70 Ач); *CO* – начальная емкость; eds – напряжение разомкнутой цепи; *a–j* – идентифицирующие коэффициенты.

Выходы блока:

– напряжения (векторная переменная);

– объемная мощность тепловыделения в ЭБ (векторная переменная);

– запасенная емкость (векторная переменная).

Электротехническая модель идеального никель-водородного аккумулятора состоит из следующих частей:

1. Уравнения кривых напряжения. Во всех режимах (заряд, разряд, хранение) применяются следующие выражения:

$$U_{ак}\left(C_{тек}, C_{max}, I_{ак}\right) = \varepsilon_{ак} + 0,12\frac{C_{тек}}{C_{max}} -$$

$$-0,195\cdot\exp\left(-20\frac{C_{тек}}{C_{max}}\right) + \partial U_{ак}\left(C_{max}, I_{ак}\right);$$

$$\partial U_{ак}\left(C_{max}, I_{ак}\right) =$$

$$= \left(I_{ак}\frac{0,212}{C_{max}} - 0,0264\left(\frac{I_{ак}}{83}\right)^2\right)\frac{1+0,275\left(I_{ак}-\left|I_{ак}\right|\right)}{I_{ак}+0,0001},$$

где член $\partial U_{ак}$ отражает зависимость напряжения от тока аккумулятора.

Эти выражения реализуются функцией:

function Uak = Uakk(Ctek, I, M).

Расчет % напряжения аккумулятора:

Uak = M(:,3) + 0.12*(Ctek/83.) – 0.195*exp(–20.*Ctek/83.);

du = I*0.212/83 – 0.0264*(I/83.)^2;

Uak = Uak + du*(1 + 0.275*(I – abs(I))/(I + 0.0001)).

2. Уравнение напряжения аккумуляторной батареи – сумма напряжений аккумуляторов, соединенных в АБ последовательно.

3. Уравнения токов идеального аккумулятора. Классическое уравнение, описывающее изменение емкости аккумуляторов имеет вид

$$C_{тек} = C_0 + \int_0^t I_{АБ}(\tau) - I_{саморазр}(\tau)\,d\tau.$$

Данное уравнение реализуется стандартными средствами *s*-функций, $C_{тек}$ задается как непрерывная переменная состояния, производная для которой рассчитывается как подынтегральное выражение вышеуказанной формулы.

4. Алгоритм расчета тока саморазряда идеального аккумулятора производится как функция текущей емкости. Входные данные алгоритма – текущая емкость $C_{тек}$, средняя температура ЭБ $T_{ак}$, ток $I_{ак}$ и вектор идентифицирующих параметров $\left[a\ \ b\ \ c\ \ d\ \ e\ \ f\ \ g\ \ h\ \ i\ \ j\right]$. Порядок расчета для каждого аккумулятора следующий:

ЕСЛИ i > 0 ТОГДА,
K = *i*;
ИНАЧЕ
K = T;
Isr = d*C + f*exp(g*(C – h) + c*K);
KK = (a – b*K) * exp(j*K);
ЕСЛИ KK > 1.1 ТОГДА
KK = 1.1;
Isr = Isr + МОДУЛЬ(I) * KK.

В MATLAB этот алгоритм реализуется следующей конструкцией:

function [Isr,K] = Isd(C, T, I, M) % расчет тока саморазряда, T в град. Цельсия
K = T.*ones(size(M,1),1);
N = find(M(:,12) > 0);
K(N) = M(N,12);
Isr = (M(:,7).*C + M(:,9).*exp(M(:,10).*(C – M(:,11)) + M(:,6).*K));
KK = (M(:,4) – M(:,5).*K).*exp(M(:,13).*K);
KK(find(KK > 1.1)) = 1.1;
Isr = Isr + abs(I)*KK.

5. Уравнение зависимости давления водорода внутри аккумулятора от емкости аккумулятора, по данным [6], представляет собой линейную функцию вида

$$P(C_{тек}) = \beta_1\cdot C_{тек} + \beta_0.$$

6. Уравнение тепловыделения аккумулятора представляет собой кусочно-ломаную функцию:

– для Стек < 0,8 Сном:

$$Q_{ак} = I_{ак}\cdot\left(U_{ак} - 1,5\right) + 1,5\cdot I_{сразр};$$

– для Стек >= 0,8 Сном: эта часть выражения описывает тепловыделение при перезаряде. В момент перехода Стек = 0.8 Сном тепловыделение запоминается в переменную Q80 и используется для корректировки участка функции для перезаряда. Таким способом удается избежать скачка функции на этой границе:

$$Q_{80} = Q_{ак}\left(0,8\cdot C_{ном}\right);$$

$$Q_{ак} = Q_{80} + \left(20,615 - Q_{80}\right)\times$$

$$\times\left(1-\exp\left(-0,0385\cdot\left(0,8+0,14K\right)\right)\right)\left(C_{тек} - 0,8C_{ном}\right).$$

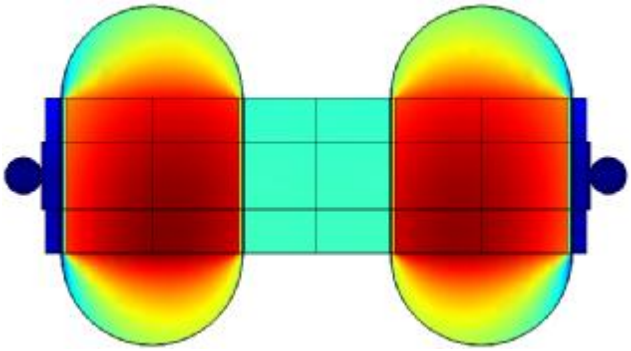
В MATLAB этот алгоритм реализуется следующим образом: в переменную состояния Q80 заносится мощность тепловыделения в блоке расчета состояния аккумуляторов, которая потом передается в основную функцию расчета мощности тепловыделения:

N = find((Q80 = 0) & (Ctek >= (M(:,1)*0.8 – 0.005)));
Q80(N) = I*(Ua(N) – 1.5) + 1.5*Isr(N); % блок расчёта состояния
function Qakk = Q(Ctek,Q80,Cnom,Isr,K,I,Uak) % расчет тепловыделения
Qakk = I*(Uak – 1.5) + 1.5*Isr;
N = find(Ctek >= Cnom*0.8);
Qakk(N) = Q80(N) + (20.615 – Q80(N)).*...
(1 – exp(–0.0385*(0.8 + 0.14*K(N)).*(Ctek(N) – Cnom(N)*0.8))).

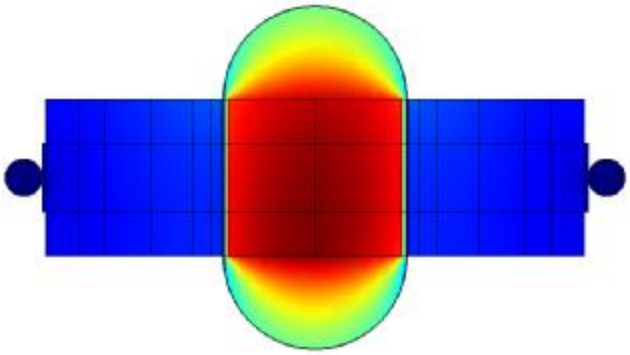
Теплофизическая модель. Общий вид АБ, представленный на рис. 1, необходимо схематизировать. Детальная трехмерная модель АБ, построенная в COMSOL Multiphysics с использованием технологии связывания геометрий, дала адекватное реальному температурное поле (рис. 2).

Однако вычислительные требования трехмерной модели были высокими – количество степеней свободы сетки составляло около 740 тыс., соответственно затраты вре-

мени даже на расчет установившегося режима были высокими. Было произведено упрощение – трехмерная батарея была представлена двумерной. Эта возможность описана в [7]. Дополнительно было проведено следующее упрощение: два слоя (стенка аккумулятора и прокладка из герметика) были заменены на один, тепловые параметры (c, ρ, λ) которого подобраны таким оьразом, что решение на двумерной модели стало таким же, как усредненное по z-координате трехмерное. Ошибка не превышала 0,1 °С (проверка проводилась для стационарного режима).



а



б

Рис. 2. Температурное поле трехмерной модели АБ*:*
а – сечения по 3-му и 16-му аккумуляторам; *б* – сечения по 11-му аккумулятору

Контур охлаждения можно описать одномерным уравнением тепломассопереноса:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}-c\rho V_{\text{жидк}}\frac{\partial T}{\partial x}+\alpha\frac{1}{d_{\text{конт}}}\left(T_{\text{пл}}\left(x\right)-T\right),$$

где c, ρ, λ – соответственно теплоемкость, плотность и теплопроводность теплоносителя; α – коэффициент теплоотдачи; $V_{\text{жидк}}$ – скорость движения теплоносителя; $d_{\text{конт}}$ – эффективный диаметр контура охлаждения; $T_{\text{пл}}$ – температура контура несущей плиты.

Коэффициенты уравнения описывают процессы накопления тепла в элементарном объеме (dx), который складывается:

– из теплопередачи вдоль контура (вклад незначителен по сравнению со вторым слагаемым);

– притока и утока тепла под действием тока теплоносителя (производная – это разница теплопритоков на элементе dx);

– теплообмена с плитой.

Связь одномерной (контур охлаждения) и двумерной (батарея) геометрий осуществляется в COMSOL Multiphysics через инструмент Extrusion Coupling Variables.

В двумерной модели аккумуляторной батареи на охлаждаемых сторонах граничные условия задавались 3-го рода с коэффициентом теплоотдачи α и внешней температурой, равной температуре теплоносителя.

Одномерное уравнение контура охлаждения задается в COMSOL следующим образом. Общий вид дифференциального уравнения имеет вид $\nabla\Gamma = F$, для которого задаются следующие коэффициенты:

1) $c=-\frac{\partial\Gamma}{\partial\nabla T}=-\frac{\partial\left(-k\cdot Tx\right)}{\partial Tx}$ – коэффициент диффузии, где $Tx=\nabla T$ (градиент температуры в терминах COMSOL);

2) $a=-\frac{\partial F}{\partial T}=-V_{\text{жидк}}\frac{\partial\left(c\rho\cdot Tx\right)}{\partial T}+\frac{\partial\left(\frac{\alpha}{d_{\text{конт}}}\left(T_{\text{пл}}\left(x\right)-T\right)\right)}{\partial T}$ – коэффициент поглощения (absorption coefficient);

3) $Y=\Gamma=-k\cdot Tx$ – conservative flux source term;

4) $\beta=-\frac{\partial F}{\partial\nabla T}=-V_{\text{жидк}}\frac{\partial\left(c\rho\cdot Tx\right)}{\partial Tx}+\frac{\partial\left(\frac{\alpha}{d_{\text{конт}}}\left(T_{\text{пл}}\left(x\right)-T\right)\right)}{\partial Tx}$ – коэффициент конвекции;

5) $\alpha=-\frac{\partial\Gamma}{\partial T}=-\frac{\partial\left(-k\cdot Tx\right)}{\partial T}$ – conservative flux convection coefficient;

6) $f=F=c\rho V_{\text{жидк}}\cdot Tx-\frac{\alpha}{d_{\text{конт}}}\left(T_{\text{пл}}\left(x\right)-T\right)$ – source term.

В формулах константы c, ρ, α, $d_{\text{конт}}$ и т. п. стоят в производных в общем виде, чтобы учесть ситуацию, если они будут зависеть от температуры или координаты.

Связь моделей. Поскольку электротехническая часть модели требует в качестве входа среднюю температуру аккумулятора, то данные температурного поля дополнительно усреднялись по площади электродного блока (ЭБ). Однако применение стандартным образом полученной в COMSOL треугольной сетки влекло за собой необходимость расчета площадей треугольников и ввода весовых коэффициентов для каждой точки. Для упрощения расчета было построено поле равномерно распределенных по ЭБ точек, расположенных на концентрических окружностях, весовые коэффициенты которых были равными. Усреднение проводилось для каждого ЭБ по своей области (рис. 3).

Для расчета использовались процедуры решения линейных уравнений в частных производных (солвер) UMFPACK. Сетка построена стандартными средствами COMSOL. Сложность сетки была оптимизирована таким образом, чтобы обеспечить достаточную точность и детальность расчета температурного поля, а также приемлемую скорость вычислений.

Теплофизические параметры модели. При построении модели теплофизические параметры объектов были приняты следующими [4–6; 7; 8] (см. таблицу).

Параметры контура охлаждения следующие:

$$\alpha = 95\,\frac{\text{Вт}}{\text{К}};\ d_{\text{конт}} = 0{,}016\ \text{м};\ V_{\text{жидк}} = 0{,}6\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Общая модель. Модель АБ была построена в Simulink по методике, описанной в [3]. Вид модели приведен на рис. 4. Электрическая и тепловая части модели замкнуты обратной связью по усредненной температуре аккумуляторов.

Блок «Memory» обеспечивает задержку информации о температурах аккумуляторов на один цикл обсчета модели, для исключения неопределенности обратной связи типа «Algebraic Loop» [9].

Результаты моделирования. Решение в стационарном состоянии адекватно и соответствует реальному распределению температуры (рис. 5).

Ниже приведены графики напряжений аккумуляторов и батареи (начальная степень заряженности различна), температур аккумуляторов и температуры теплоносителя на выходе контура охлаждения. Результаты получены при следующих условиях.

Начальные условия – аккумуляторы заряжены, температура соответствует стационарному решению. В начальный момент устанавливается ток нагрузки, равный 20 А. Разряд проводится до достижения любым аккумулятором напряжения 1,15 В.

В модели также были использованы средства динамической визуализации (рис. 6, 7), описанные в [3].

Таким образом, использование специализированных САПР при разработке позволило создать достаточно гибкую в плане модифицируемости отдельных составляющих модель. Кроме того, в САПР используются отлаженные и оптимизированные под различные вычислительные архитектуры процедуры решения (солверы), предоставляются развитые средства для представления и анализа результатов, что позволяет исследователю сконцентрироваться на достижении поставленной цели, а не решать утилитарные задачи.

Библиографические ссылки

1. Control of Systems Modeled by COMSOL Multiphysics as Distributed Parameter Systems / G. Hulko [et al.] // Proceedings of COMSOL Multiphysics User's Conference. Milan. Italy, 2009.

2. Van Schijndel A. W. M. Integrated modeling of dynamic heat, air and moisture processes in buildings and systems using SimuLink and COMSOL // Building Simulation : An International Journal. Vol. 2(2009), № 2.

3. Моделирование тепловых объектов с распределенными параметрами с использованием программных комплексов COMSOL Multiphysics-MATLAB-Simulink / А. Т. Лелеков [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 4(30).2010.

4. Сахнов М. Ю. Компьютерное моделирование никель-водородных аккумуляторных батарей (электротехническая модель) // Решетневские чтения : материалы VIII Всерос. научно-практ. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

5. Шаркова Н. В. Математическая теплофизическая модель никель-водородных батарей // Решетневские чтения : материалы VIII Всерос. научно-практ. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2004.

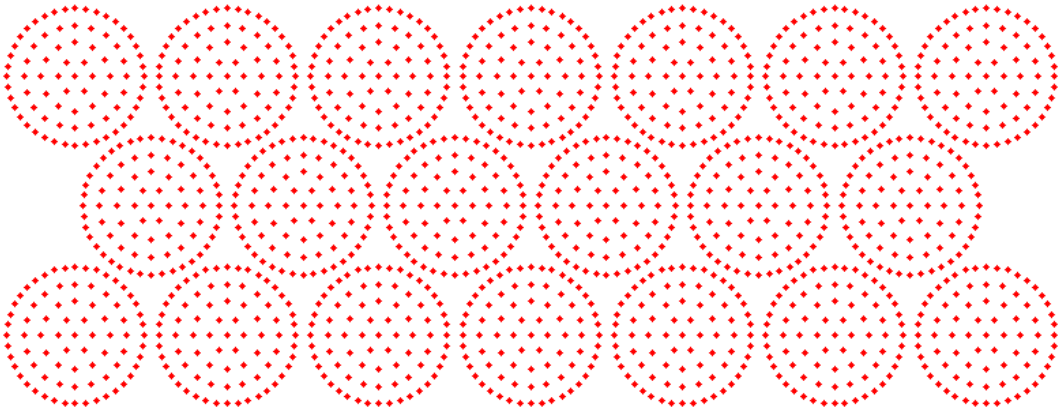


Рис. 3. Разбиение участков ЭБ

Теплофизические параметры модели

	Теплопроводность λ, $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}\right]$	Плотность ρ, $\left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right]$	Теплоемкость c $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}\right]$	Тепловыделение для установившегося режима Q, $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}\right]$
Несущая плита (сплав МА2)	67,1	1 730	980	0
Герметик (УФ-7-21)	1	1 350	1 480	0
Стенка НВА (сплав Inconel 718)	12	8400	468	0
Водород	0,183 при p = 1 МПа 0,191 при p = 100 МПа	8,988e-2	14 330 при p = 1 МПа 14 540 при p = 10 МПа	0
Электродный блок	3,5 – радиальная 0,5 – осевая	1 876	1 296	18e3
Теплоноситель	400	710	1 183	0

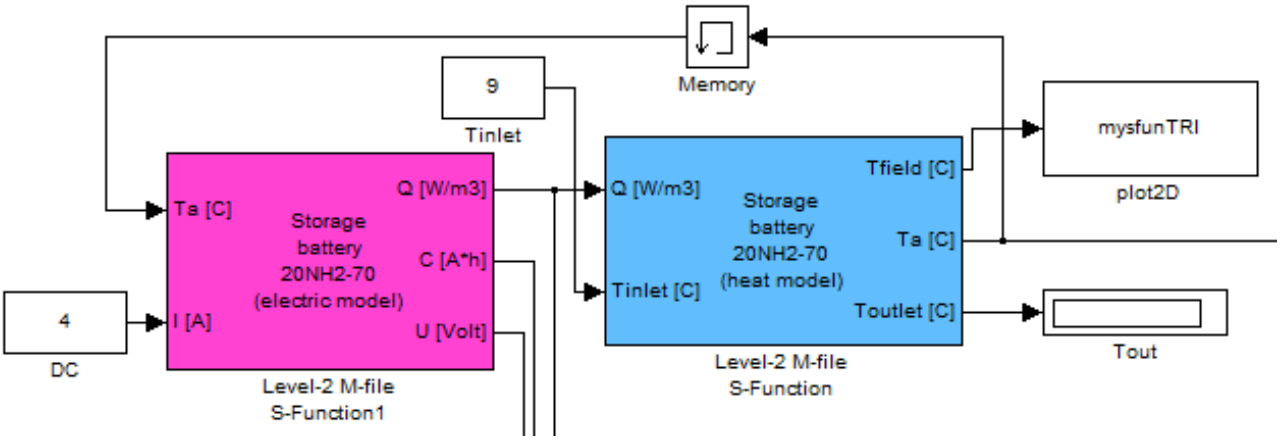


Рис. 4. Вид модели в Simulink

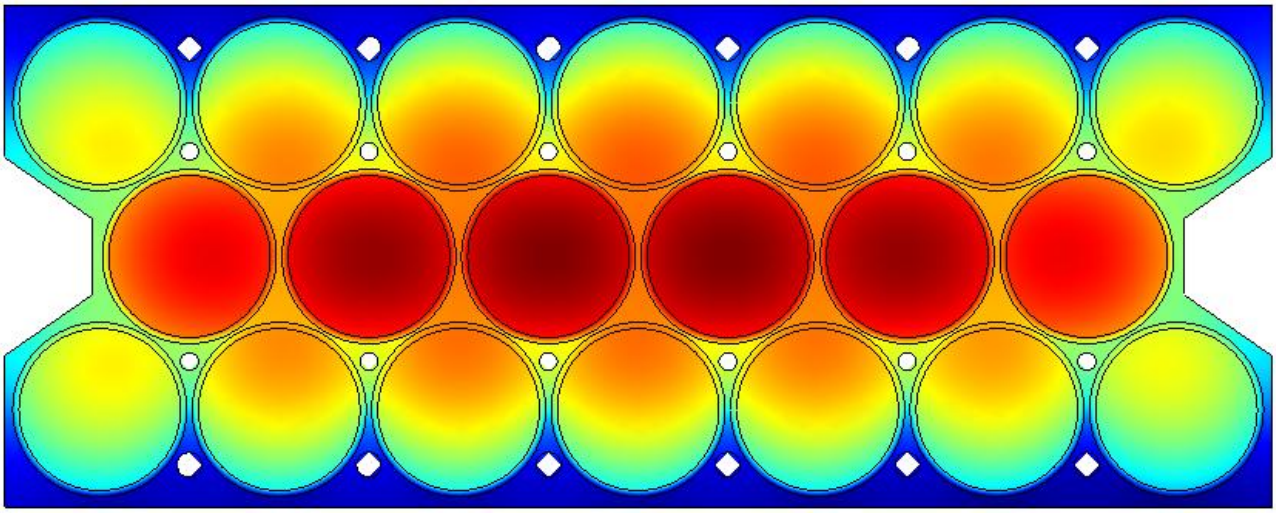
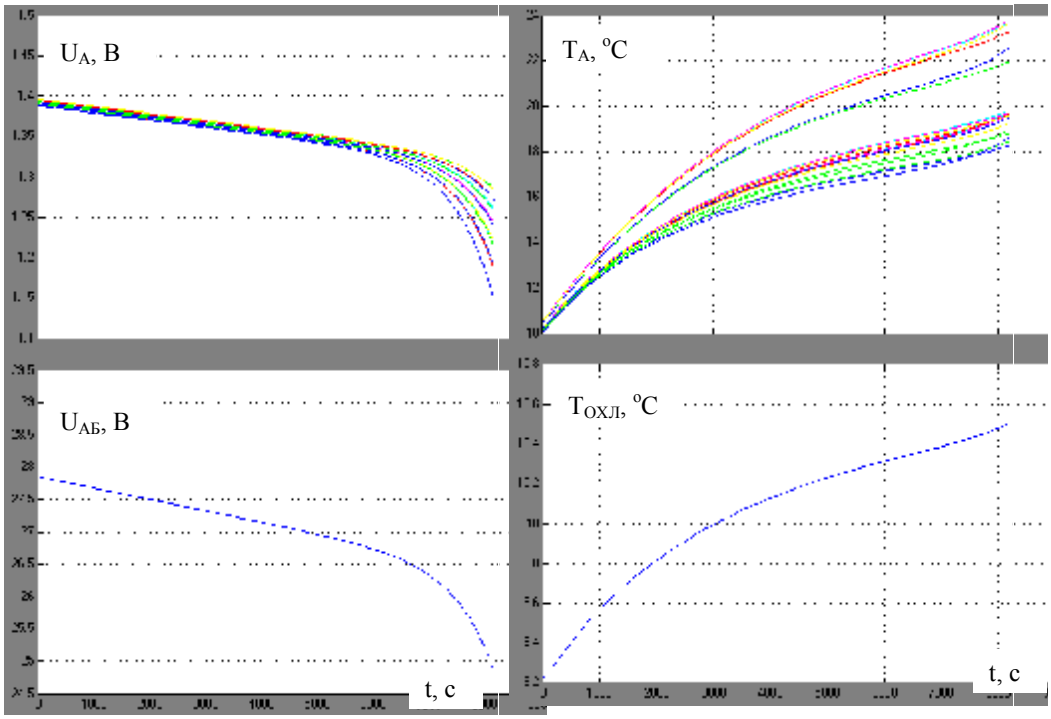


Рис. 5. Стационарное температурное поле



а *б*

Рис. 6. Результаты моделирования: *а* – кривые напряжения аккумуляторов и общего напряжения батареи; *б* – кривые температур аккумуляторов и температуры теплоносителя на выходе контура охлаждения

6. Центер Б. И., Лызлов Н. Ю. Металл-водородные электрохимические системы. Теория и практика. Л. : Химия, 1989.

7. Лелеков А. Т. Управление энергетическим состоянием никель-водородных аккумуляторных батарей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : защ. 29.12.2005 : утв. 18.09.2006. Красноярск, 2005.

8. Физические величины : справ. / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др. ; под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М. : Энергоатомиздат, 1991.

9. Simulink User's Guide. The MathWorks. Inc. 2009.

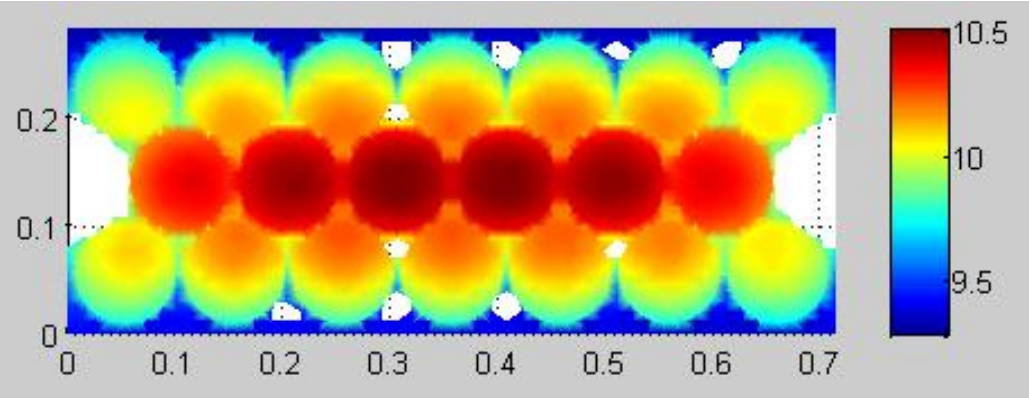


Рис. 7. Вид окна *s*-функции динамической визуализации

M. Y. Sahnov, A. T. Lelekov, S. A. Galochkin

DISTRIBUTED PARAMETERS ENERGY-HEAT MODEL OF SPACE NICKEL-HYDROGEN STORAGE BATTERY

Method of construction of dynamical models of Nickel-Hydrogen storage battery is described. Features of modeling connected with co-operative usage of COMSOL Multiphysics and Simulink packages are discussed. Results of calculation of the typical mode of operation of the battery, as a part of spacecraft design, are given.

Keywords: modeling, storage battery, nickel-hydrogen accumulator, spacecraft, heat transfer, distributed parameters objects, COMSOL Multiphysics, Simulink.

© Сахнов М. Ю., Лелеков А. Т., Галочкин С. А., 2010

УДК 532

С. В. Алексеенко, Д. А. Дектерев, С. И. Шторк

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЦЕССИРУЮЩЕГО ВИХРЕВОГО ЯДРА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ*

Работа посвящена численному и экспериментальному исследованию нестационарных режимов течения в модельной вихревой камере с формированием прецессирующего вихревого ядра (ПВЯ). Изучено влияние геометрических особенностей камеры на частотные характеристики ПВЯ и структуру вторичных вихрей, образующихся в выходной секции рабочего участка. Проведена оптимизация вихревой камеры для изучения ПВЯ в канонических условиях. Результаты данной работы создают основу для дальнейших исследований ПВЯ, которые будут направлены на проведение детальных измерений нестационарного поля течения с использованием современных оптических измерительных систем, таких как PIV и ЛДА.

Ключевые слова: вихревое ядро, прецессия, моделирование, частотные характеристики.

Актуальность исследования процессов вихреобразования связана с широким использованием закрученных потоков в технических приложениях. В промышленности используются скрубберы и циклонные сепараторы для

*Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Федерального агентства по образованию и Федерального агентства по науке и инновациям.

очистки газов, гидроциклонные сепараторы для деаэрации топлива, сушильные аппараты и т. д. [1; 2]. В горелочных устройствах при помощи закрутки потока добиваются стабилизации пламени вблизи корня факела [3; 4]. При эксплуатации практических устройств с закруткой особое внимание уделяется устойчивости течения и нестационарным явлениям [5]. Одним из наиболее опасных видов неустойчивости закрученного течения является прецессия вихревого ядра (ПВЯ). ПВЯ особенно опасно при возникновении в камерах сгорания потому, что индуцированные им пульсации потока могут многократно усиливаться за счет термоакустической неустойчивости [6]. Прецессия вихревого жгута за рабочим колесом гидротурбины может служить причиной мощных вибраций гидротурбинного оборудования [7]. ПВЯ в циклонных сепараторах снижает эффективность работы сепаратора [8]. Явление ПВЯ представляет и большой научный интерес как один из режимов, реализующийся при распаде вихря – эффекта, до конца неисследованного к настоящему времени, несмотря на полувековую историю изучения [9].

Для выяснения причин и условий появления ПВЯ, полей течения, частотных и других его характеристик на базе института теплофизики им С. С. Кутателадзе СО РАН создан экспериментальный гидродинамический стенд с модельной вихревой камерой. Камера изготовлена из прозрачного оргстекла, что позволяет эффективно визуализировать различные режимы течения с помощью стандартной аппаратуры, а также использовать современные оптические измерительные системы, такие как PIV (particle image velocimetry) и ЛДА (лазерный доплеровский анемометр). Целью работы является исследование нестационарных явлений в течении жидкости, в частности, прецессирующего вихревого ядра, образующегося в области истечения интенсивно закрученного потока из цилиндрического сопла.

Исходная геометрия камеры состояла из следующих элементов: тангенциальный вход, завихритель тангенциального типа, профилированное сопло, рабочая цилиндрическая область с увеличенным радиусом выходной части, тангенциальный выход. Геометрия такой камеры представлена на рис. 1.

Первые эксперименты показали большое влияние ориентации выхода относительно входа на структуру течения жидкости в камере. Было также обнаружено присутствие мощного вторичного вихря (рис. 2), присоединенного к задней стенке рабочей камеры, который затруднял оптический доступ к исследуемой области и, кроме того, оказывал существенное влияние на структуру

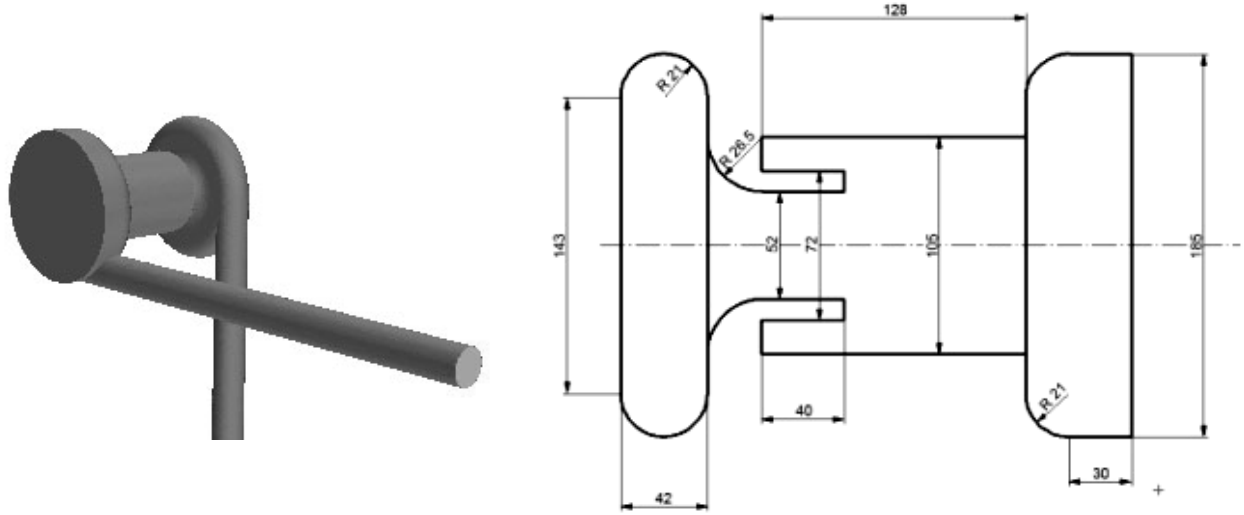


Рис. 1. Исходная геометрия камеры

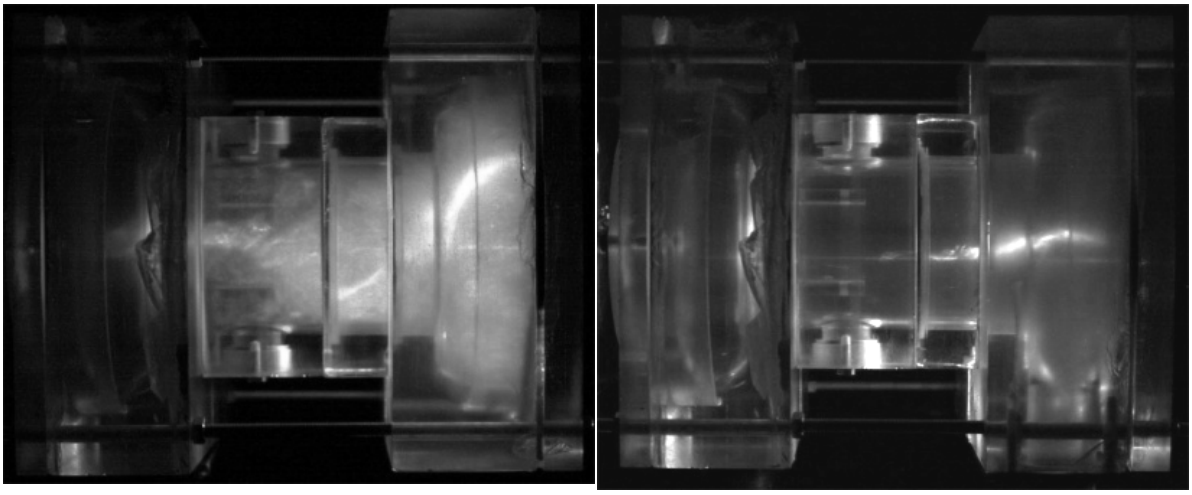


Рис. 2. Положение второстепенных вихревых жгутов в камерах с выходом, ориентированным параллельно входу (левая картинка) и перпендикулярно (правая картинка)

основного исследуемого вихря. Визуализация проводилась посредством использования лазерного ножа, скоростной камеры и пузырьков воздуха в роли трассеров.

Оптимизацию геометрии было решено проводить с предварительным численным моделированием, что позволяло сократить физические и материальные затраты. Моделирование проводилось на пакете программ STAR-CCM+. Расчеты делались на многогранной сетке с усиленной детализацией в районе наблюдения ПВЯ. Для решения стационарной задачи использована стандартная «k–e» модель турбулентности, а при решении нестационарной задачи – метод отсоединенных вихрей DES (detached eddy simulation) и модель турбулентности Spalart-Allmaras Detached Eddy. Для аппроксимации пространственных и временных дифференциальных уравнений выбраны схемы второго порядка точности. Визуализация вихревых структур производилась при помощи критерия lambda2 [10].

Результаты расчетов моделей камер с одним и двумя тангенциальными входами, четырьмя осесимметричными выходами и измененными параметрами рабочего цилиндрического объема показали, что для улучшения симметрии потока необходимо использовать камеры с двумя входами (рис. 3).

Решение нестационарной задачи выявило присутствие интенсивного центрального вторичного вихря (рис. 4). Аналогичный вихрь обнаружен и в эксперименте. Также было отмечено сильное влияние вторичного вихря на первичный. Это приводило к нестабильности основного вихря и разбиению его на пару жгутов.

Для борьбы с вторичным вихрем была реализована система лопаток, гасящих закрутку потока в районе выходных отверстий. Геометрия и расчетная сетка камеры с лопатками изображена на рис. 5.

Численные расчеты подтвердили отсутствие центрального вихря в камере с лопатками, однако пара слабовыраженных вторичных вихревых структур продолжала формироваться за краем сопла. В эксперименте наблюдалась аналогичная картина течения. Визуализация этих структур приведена на рис. 6 (расчетные данные представлены для двух различных показателей lambda-2, соответствующих различным интенсивностям вихрей).

Для выяснения причины образования вторичных вихрей, а также изучения их влияния на частоту ПВЯ были проведены следующие модификации экспериментальной рабочей камеры: добавление крестовины, полностью разделяющей поток в районе выхода на четыре сектора, увеличение длины рабочей области, изменение профиля сопла (без изменения диаметра), изменение диаметра сопла. При варьировании данных параметров, были получены частотные характеристики и данные визуализации для ряда геометрий. В результате было выявлено, что добавление крестовины не влияет на картину течения, а удлинение камеры приводит к увеличению интенсивности вторичных вихревых структур, в результате чего пара вышеупомянутых вихрей сливалась в один вихревой жгут, имеющий выраженную частоту прецессии, много меньшую частоты первичного вихря (рис. 7). Также для определения влияния входных условий на структуру течения было проведено численное моделирование камеры с четырьмя входами,

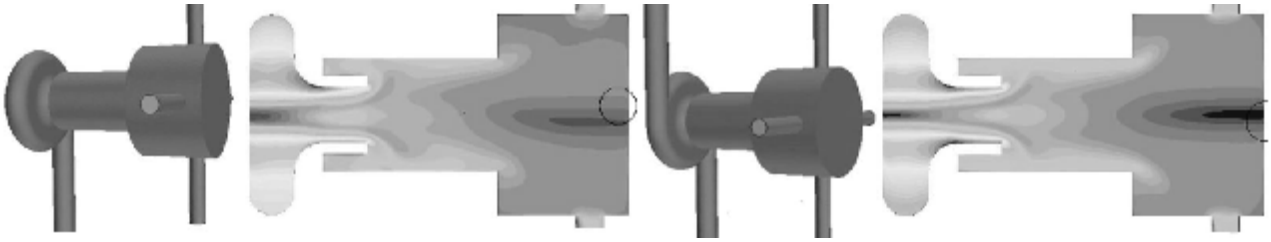


Рис. 3. Отображение магнитуд скоростей при решении стационарной задачи для соответствующих геометрий камеры

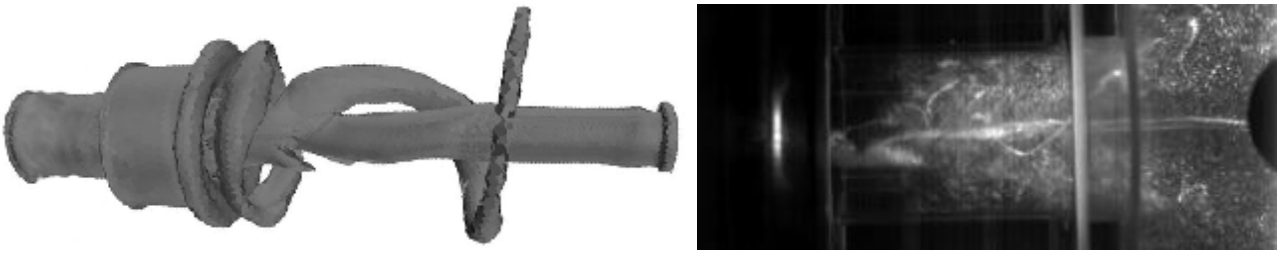


Рис. 4. Визуализация вторичного вихря (расчет и эксперимент)

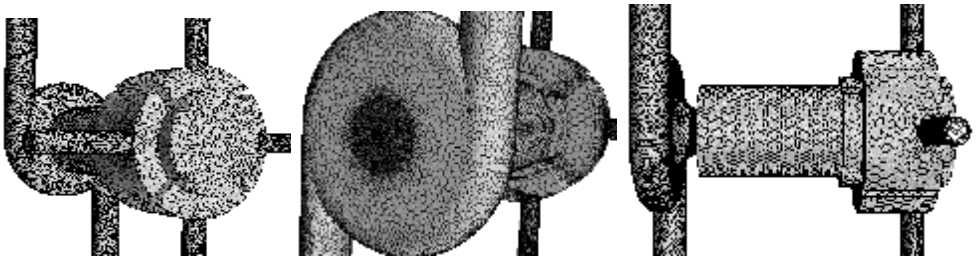


Рис. 5. Расчетная сетка и геометрия камеры с тормозящими лопатками

при этом общая площадь входов оставалась неизменной, относительно камеры с двумя входами, что приводило к сохранению параметра крутки. Результаты не дали какого-либо качественного изменения картины, поэтому экспериментально этот вариант не рассматривался.

Для различных модификаций камеры с одним диаметром сопла были построены зависимости частот ПВЯ от расхода воды. Частоты для пяти модификаций не имеют значительных отличий (рис. 8). Это говорит о том, что имеющиеся вторичные вихри не приводят к значительному изменению частотных характеристик основного ПВЯ.

Частота прецессии вихря и число Струхаля, полученные в расчете, довольно неплохо совпадают с экспериментальными данными, это видно из графиков зависимости частоты прецессии от расхода и числа Струхаля от числа Рейнольдса (рис. 9). Это говорит об адекватности моделей, выбранных для решения поставленной задачи.

Таким образом, численные расчеты и экспериментальные наблюдения были использованы для изучения влияния геометрических граничных условий на нестационарные режимы течения в модельной вихревой камере. В частности, выяснено, что тангенциальный завихритель с одним входом генерирует существенно несимметричное среднее по времени поле течения в сопле вихревой камеры. Применение двойного входа обеспечивает практически осесимметричное осредненное по времени поле скоростей. Четыре входа дают близкую картину течения той, что наблюдалась для двойного входа.

Расчеты и эксперименты показали, что прецессия основного вихревого ядра при истечении закрученного потока из сопла вихревой камеры сопровождается образованием вторичных вихревых структур в выходной части камеры. Структура вторичных вихрей существенно зависит от конструкции выходной секции камеры. При использовании развихрителя с односторонним тангенциальным выходом или секции с четырехсторонним радиальным выходом наблюдался выраженный центральный вихревой жгут. Мощный вторичный жгут удалось разрушить использованием лопаток, ориентированных радиально в выходной секции вихревой камеры. При этом происходило образование пары более слабо выраженных вторичных вихрей. Предполагается, что эти вторичные вихри оказывают достаточно слабое влияние на характеристики основного ПВЯ. Это, в частности, было подтверждено измерениями частоты прецессии ПВЯ.

В результате проведенных исследований можно с одной стороны сделать вывод об адекватности примененных методов математического моделирования для расчета пространственно сложного нестационарного течения с образованием крупномасштабных когерентных структур. Исследования также позволили провести выбор оптимальной геометрии модельной вихревой камеры, в которой созданы канонические условия для генерации ПВЯ. Дальнейшие исследования будут направлены на проведение детальных измерений нестационарного поля течения с использованием современных оптических измерительных систем, таких как PIV и ЛДА.

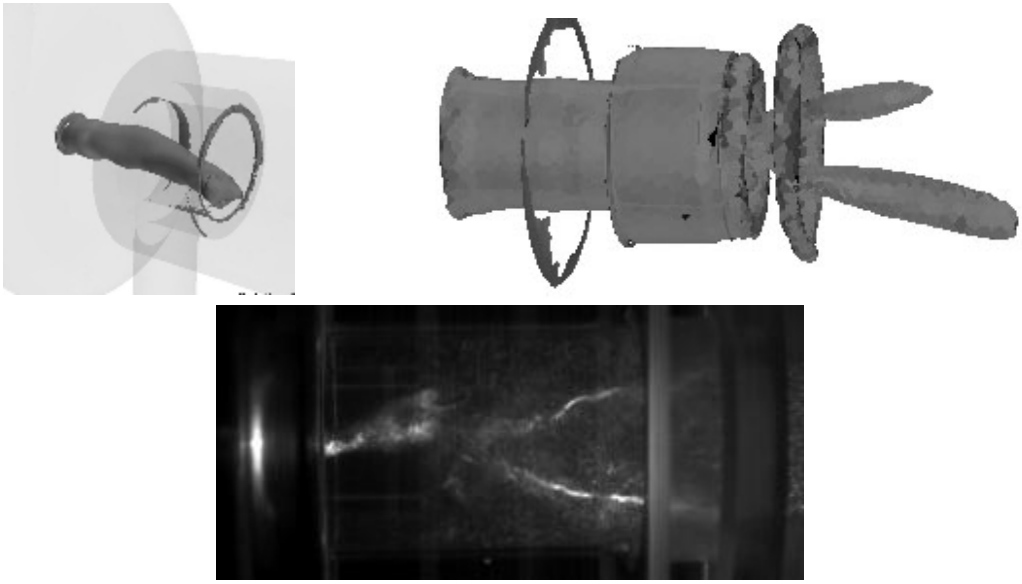


Рис. 6. Визуализация первичной и вторичных вихревых структур (расчет и эксперимент)

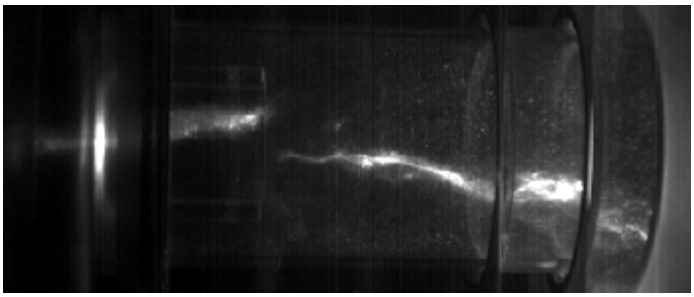


Рис. 7. Изменение структуры вторичного вихря при удлинении камеры

Библиографические ссылки

1. Гупта А., Лили Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М. : Мир, 1987.

2. Алексеенко С. В., Куйбин П. А, Окулов В. Л. Введение в теорию концентрированных вихрей : монография. М., 2003. С. 420–424.

3. Swirl flow structure and flame characteristics in a model lean premixed combustor / P. M. Anacleto [et al.] // Combust. Sc. Technol. 2003. Vol. 175. № 8. P. 1369–1388.

4. Shtork S. I., Vieira N. F., Fernandes E. C. On the identification of helical instabilities in a reacting swirling flow // Fuel. 2008. Vol. 87 (10–11). P. 2314–2321.

5. Алексеенко С. В., Окулов В. Л. Закрученные потоки в технических приложениях (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 1996. Т. 3. № 2. С. 101–138.

6. Syred N. A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems // Prog. Energy Combust. Sc. 2006. Vol. 32 (2). P. 93–161.

7. Experimental study and numerical simulation of the FLINDT draft tube rotating vortex / G. D. Ciocan [et al.] // J. Fluids Eng. 2007. Vol. 129. P. 146–158.

8. Derksen J., Van den Akker H. E. A. Simulation of vortex core precession in a reverse-flow cyclone // AIChEJ. 2000. № 46(7). P. 1317–1331.

9. Lucca-Negro O., O'Doherty T. Vortex breakdown: a review // Prog. Energy Combust. Sc. 2001. № 27. P. 431–481.

10. Jeong J., Hussain F. On the identification of a vortex // J. Fluid Mech. 1995. № 285. P. 69–94.

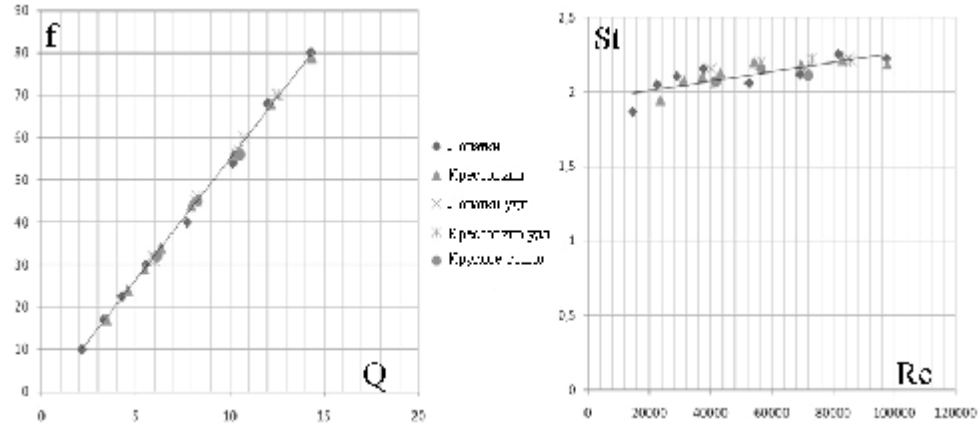


Рис. 8. Графики зависимостей частоты прецессии от расхода и числа Струхаля от числа Рейнольдса

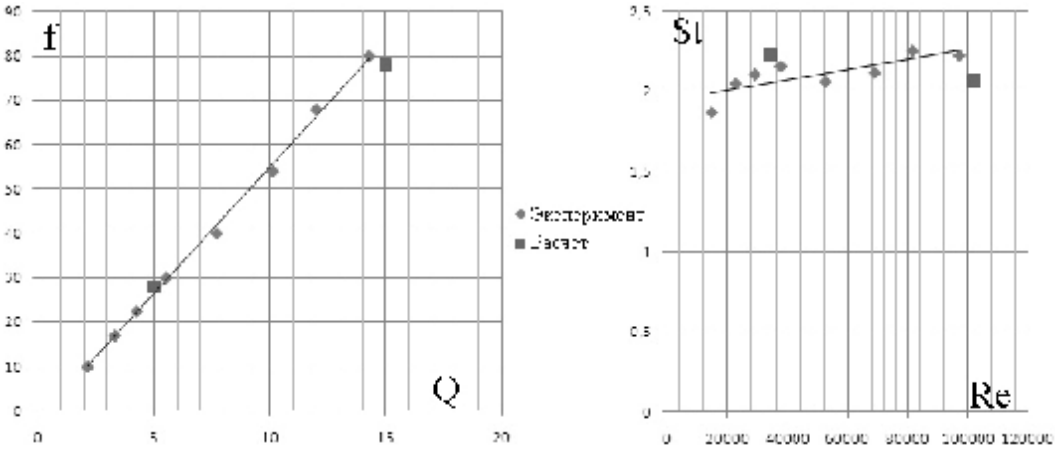


Рис. 9. Сравнение экспериментальных и численных результатов

S. V. Alekseenko, D. A. Dekterev, S. I. Shtork

STUDY OF PRECESSING VORTEX CORE IN A CYLINDRICAL CHAMBER

The work is devoted to numerical and experimental study of unsteady flow in a model vortex chamber with formation of precessing vortex core (PVC). Influence of the vortex chamber geometry on vortex precession frequency and structure of secondary vortices generated in exit section of the chamber has been revealed. Optimization of the vortex chamber geometry for the PVC study in canonical conditions has been carried out. The results obtained will be a base for further studies of PVC which will be targeted on detailed measurements of unsteady flowfield making use of modern measurement systems such as LDA and PIV.

Keywords: vortex core, precession, modeling, freguency, characteristics.

© Алексеенко С. В., Дектерев Д. А., Шторк С. И., 2010

УДК 629.7.018

С. А. Крат, В. В. Христич

ТЕПЛОВАКУУМНАЯ ОТРАБОТКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: РАЗВИТИЕ НОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

Рассмотрены вопросы имитации условий космического пространства в ходе тепловакуумной отработки космических аппаратов, дана характеристика испытательным стендам в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева» (далее – ООО «ИСС»). Приведены обоснования создания принципиально нового комплекса для тепловакуумных испытаний космических аппаратов.

Ключевые слова: тепловакуумные испытания, система терморегулирования, вакуумная камера, имитатор солнечного излучения.

Методика тепловакуумной отработки долгоресурсных космических аппаратов. Вследствие возможного значительного отклонения действительных теплофизических характеристик космического аппарата (КА) от расчетных и невозможности при проведении расчета учесть все составляющие, влияющие на тепловой режим КА и его элементов, окончательное заключение о тепловом состоянии оборудования при штатной эксплуатации может быть сделано только на основании проверки работоспособности в наземных условиях всей системы терморегулирования (СТР) КА, при достаточно точной имитации теплового взаимодействия КА с окружающей космической средой. Таким образом, тепловакуумная отработка представляет собой комплекс расчетно-методических, экспериментальных и конструкторских работ по обеспечению и уточнению заданных технических характеристик системы терморегулирования, подтверждение проектных значений параметров теплообмена и уточнение возможных условий функционирования КА.

Наземная тепловакуумная отработка проводится для всех КА на основании требований программ обеспечения надежности и комплексных программ экспериментальной отработки. При комплексных тепловакуумных испытаниях (ТВИ) испытываются тепловые макеты или штатные изделия с имитацией внешних тепловых условий окружающего пространства и внутренних тепловыделений приборов и оборудования КА. В этом случае отрабатываются тепловые режимы как внешнего, так и внутреннего оборудования, конструкции КА, системы СТР.

Тепловакуумная отработка КА и его СТР проводится в термобарокамерах, имитирующих условия реальной эксплуатации КА с применением специального испытательного оборудования, стендов и систем.

При разработке методики наземных тепловакуумных испытаний необходимо, как минимум, решить три задачи:

– определение «достаточной» точности в имитации теплового воздействия окружающей среды космического пространства на КА;

– выбор технических средств для осуществления имитации теплового воздействия окружающей космической среды на КА;

– определение минимальной продолжительности тепловакуумных испытаний для каждой фазы полета КА.

Без решения данных задач всегда имеется опасность выбора или необоснованно высокой точности имитации и большой длительности тепловакуумных испытаний, что может всю проблему испытаний, вследствие технических и экономических трудностей, завести в тупик, или слишком грубой имитации и получения ошибочных данных о тепловом состоянии КА в полете.

Задача имитации с «достаточной» точностью параметров космической среды, является самой главной. Наиболее важными теплофизическими характеристиками окружающей космической среды являются:

– интенсивность солнечного излучения So (Вт/м^2), спектральный состав и угловое распределение;

– интенсивность Sк, Eк (Вт/м^2) и спектральный состав отраженного от поверхности Земли солнечного излучения и собственное излучение Земли (для низколетящих КА);

– оптические коэффициенты As и E космического пространства;

– температура и давление космического пространства.

Точная имитация указанных теплофизических характеристик окружающей среды и коэффициентов облученности поверхности КА с этой средой в наземных условиях из-за технических и экономических затруднений нередко оказывается невозможной, а в ряде случаев – просто ненужной. Необходимо обеспечить достаточно точную имитацию, под которой понимается имитация с «допустимой» погрешностью, не вызывающей существенного отличия температуры элементов КА при испытаниях от их температуры в полете.

Расчеты и экспериментальные данные показывают, что тепловакуумные испытания могут с достаточной точностью проводиться при следующих условиях:

– давление в термобарокамере не более $5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.;

– температура окружающего пространства не выше минус 180 ^{o}C;

– коэффициенты стенок термобарокамеры $As \geq 0{,}9$ и $E \geq 0{,}9$;

– интенсивность имитации солнечного потока не менее 1 440 Вт/м^2, с неоднородностью до ±15 %, непараллельностью до 4° и спектром, близким к Солнечному ($\lambda \geq 0{,}2$ мкм);

– инфракрасное излучение от имитаторов тепловых потоков до 1,8 кВт/м^2.

Следующий шаг в разработке методики тепловакуумных испытаний заключается в выборе необходимых технических средств для имитации параметров окружающей среды.

Проведение ТВИ возможно только в термобарокамере, имеющей в своем составе:

– систему вакуумирования;

– имитатор «черного», «холодного» космоса;

– имитатор солнечного излучения (ИСИ);

– источники инфракрасного излучения (ИКИ);

– систему обеспечения ориентации отрабатываемого КА (специальные стенды, поворотные устройства и т. п.);

– систему регистрации температурных параметров;

– систему управления тепловыми имитаторами, электрообогревателями и оборудованием КА.

Система вакуумирования предназначена для вывода камеры на рабочий режим по давлению и поддержания этого режима в течение длительного времени при наличии газоотделения от объекта испытаний и периодических газовых выбросов.

Имитатор «черного», «холодного» космоса включает в себя криогенные экраны, охлаждаемые жидким азотом, и систему подачи жидкого азота. Зачерненные со стороны объекта испытаний криогенные экраны, представляющие собой оребренные трубки в виде шевронных профилей, обеспечивают имитацию «черного», «холодного» космоса при прокачке по ним жидкого азота.

Имитатор солнечного излучения предназначен для имитации прямого солнечного излучения, действующего на спутник. Принимается, что поток солнечного излучения является параллельным. Имитируются обычно следующие характеристики излучения: средняя интенсивность, равномерность облучения, параллельность лучей, спектральный состав по длине волн. ИСИ состоят из оптических систем (зеркал, линз), источников излучения (дуговых или высокочастотных ксеноновых ламп) и систем управления, замера параметров.

Общий вид испытательного стенда для проведения ТВИ с имитатором солнечного излучения показан на рисунке.

Имитатор инфракрасного излучения должен обеспечивать необходимую интенсивность и равномерность имитируемых тепловых потоков. При этом имитатор должен обеспечивать минимальное затенение его конструкцией криогенных экранов от объекта испытаний, а также достаточно малые фоновые потоки от выключенных источников излучения.

Изменение ориентации КА при проведении тепловакуумных испытаний геостационарных спутников может осуществляться несколькими путями: вращением самого КА относительно двух или трех взаимно перпендикулярных осей, вращением ИСИ относительно одной оси с одновременным вращением КА относительно другой, имитацией вращения КА при помощи разложения лучистого потока на две составляющие. Иногда имитировать изменение ориентации КА невозможно в условиях ТБК, при этом допускается проведение стационарных режимов для «горячих» и «холодных» случаев (термобалансные испытания, круговые и эллиптические орбиты).

Системы измерения и управления обеспечивают управление КА, контроль и управление имитаторами, сбор и обработку результатов тепловакуумных испытаний.

Последний шаг в разработке методики тепловакуумных испытаний – это определение продолжительности режимов испытаний для каждой фазы полета КА:

– режима участка выведения КА;

– режимов начальной ориентации и раскрытия мехсистем;

– режима коррекции приведения;

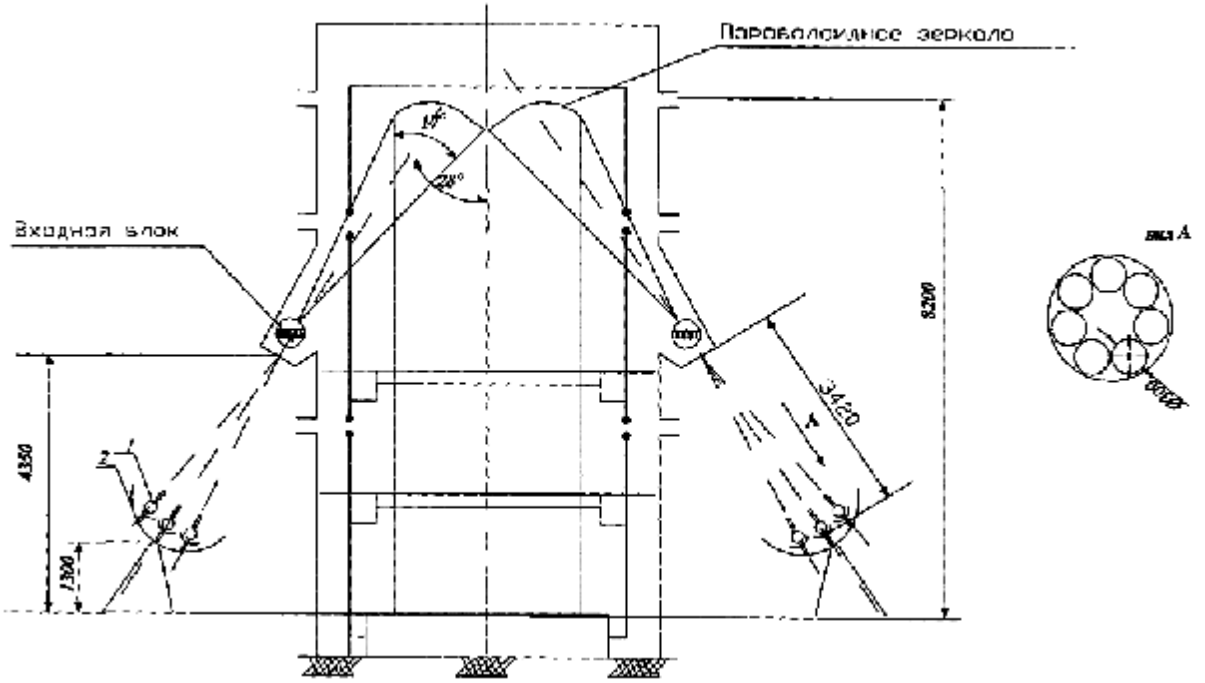
– режима сеанса связи (основной режим эксплуатации);

–дежурного режима;

– аварийного режима.

За максимальное время режима испытаний должно приниматься время, в течение которого температуры элементов КА принимают установившееся значение.

Условия, создаваемые в термобарокамерах при проведении тепловакуумной отработки, и ее методические



Испытательная установка для проведения ТВИ с имитатором солнечного излучения

особенности определяются задачами, которые должны решаться при тепловакуумной отработке. Эти задачи могут быть разбиты на две группы (задачи ТВИ и задачи ТБИ (термобалансные испытания)):

– определение предельных температур конструкции и оборудования КА, которые могут реализовываться в процессе эксплуатации, и способности подсистемы терморегулирования обеспечить тепловой режим в заданном диапазоне изменений внешних и внутренних нагрузок (подтверждение заданных температурных диапазонов);

– определение теплофизических характеристик КА и его отдельных элементов в условиях испытаний и сравнение их с величинами, полученными расчетным путем (расчетный прогноз) в условиях эксперимента. К подобным характеристикам можно, например, отнести хладопроизводительность радиационных поверхностей, тепловые потери, время соблюдения заданного теплового режима при отказе отдельных элементов СТР.

Объект испытаний для тепловакуумной отработки – это полноразмерный тепловой макет КА в целом или функциональной его части, укомплектованный системами измерения и управления, имитаторами влияния отсутствующих блоков (при поблочных испытаниях), тепловыми имитаторами приборов и оборудования КА, а также технологическими системами и испытательной оснасткой, предназначенными для установки и перемещений (при необходимости) объекта испытаний в термовакуумной камере и стыковки его с системами испытательного комплекса.

Объект испытаний (или его фрагменты), предназначенные для тепловакуммной отработки, должны соответствовать следующим эксплуатационным характеристикам:

– конструкции корпуса, пневмогидросхемам, бортовой кабельной сети;

– конструкции и комплектации активных и пассивных средств обеспечения теплового режима и их функциональным параметрам;

– размерам, массе и теплоемкости сборочных узлов;

– материалам, покрытиям, их теплофизическим, оптическим и радиационным свойствам;

– внутреннему и наружному монтажу и конфигурации;

– герметичности;

– метрологическим характеристикам аналогов измерения и управления.

Тепловые имитаторы бортовой аппаратуры, систем, элементов конструкции, технических средств и рабочих жидкостей, входящих в состав объекта испытаний, должны соответствовать эксплуатационному изделию:

– по габаритным характеристикам;

– массе и теплофизическим характеристикам;

– величине и распределению тепловыделений;

– оптическим и радиационным характеристикам и обработке наружных и внутренних поверхностей;

– конструкции посадочных мест и величине термических сопротивлений в местах крепления;

– гидравлическому сопротивлению магистралей теплоносителя;

– эффективным значениям теплофизических характеристик тепловой изоляции.

Тепловакуумная отработка космических аппаратов на ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Тепловакуумная отработка космических аппаратов на ОАО «ИСС» проводится на специальном отработочном изделии 07ТВИ или его блоках, в отдельных случаях на штатных образцах летных КА. Перечень всех требований к объекту испытаний и испытательной оснастке определяется в технических заданиях на разработку изделия для тепловакуммных испытаний.

Необходимо также обеспечивать минимальное тепловое влияние элементов испытательной оснастки на объект испытаний, что обеспечивается конструктивным исполнением оснастки, наличием дополнительных криогенных панелей, введением теплоизолирующих прокладок. Эти мероприятия практически исключают утечки тепла с элементов конструкции объекта испытаний и их затенение элементами оснастки.

Целью тепловакуумных испытаний является экспериментальная отработка теплового режима и тепловых схем элементов изделия.

При тепловакуумных испытаниях изделия или его фрагментов (для активных систем терморегулирования) решаются следующие задачи:

– проверка соответствия температур элементов конструкции изделия и его бортовой аппаратуры требованиям технического задания (ТЗ) на СТР, а также требованиям ТЗ, ТУ (технических условий) и ИД (исходных данных) на бортовую аппаратуру при имитации предельных значений внешних тепловых потоков и тепловыделений;

– определение температурных полей по внешним элементам конструкции изделия;

– исследование теплового режима элементов изделия в предполагаемых нештатных режимах;

– определение необходимости и разработка рекомендаций по корректировке технической документации на тепловые схемы внешних элементов и приборов КА;

– верификация математической тепловой модели СТР КА;

– проверка соответствия фактических значений параметров СТР требованиям ТЗ на СТР;

– определение динамических характеристик и устойчивости процессов терморегулирования в жидкостном контуре СТР в различных режимах функционирования;

– проверка расходонапорных характеристик жидкостного контура СТР;

– отработка методики заправки гидротракта СТР;

– определение резервов хладопроизводительности СТР КА.

Применительно к термобалансным испытаниям, целью испытаний является экспериментальная проверка теплового баланса жидкостного контура системы терморегулирования КА (либо проверка алгоритмов управления СТР при пассивных системах терморегулирования) при имитации штатных условий функционирования.

Основные задачи, решаемые при термобалансных испытаниях, следующие:

– проверка соответствия температурных параметров жидкостного контура системы СТР КА требованиям технического задания на систему терморегулировани при имитации предельных значений внешних и внутренних

тепловых нагрузок, характерных для штатного функционирования;

– верификация и корреляция (при необходимости) математической модели жидкостного контура СТР КА;

– проверка теплофизических параметров жидкостного контура СТР КА.

За последние годы на ОАО «ИСС» была проведена тепловакуумная отработка ряда долгоресурсных КА социально-экономического и научного назначения со сроком активного существования 7...12 лет.

Обоснование новых требований к испытательным средствам тепловакуумных испытаний. До недавнего времени в ОАО «ИСС» разрабатывались КА, имеющие жидкостную систему СТР с применением трубопроводов, насосов и теплообменниеков. Тепловакуумные испытания этих КА проводились на существующих наземных комплексах КВУ-400 и ТБК-120. При этом ориентация КА в термобарокамере не оказывала влияния на качественные показатели испытаний.

В настоящее время ввиду возросших требований к создаваемым ОАО «ИСС» космическим аппаратам (срок активного существования, надежность и безотказность работы) вводятся новые технические решения при проектировании и изготовлении КА.

Так, спутник «Глонасс К» имеет бесконтейнерный вариант с пассивной СТР на тепловых трубах, что повышает характеристики надежности и защищенности (микрометеоритной).

Космический аппарат «Глонасс К» является источником навигационного сигнала, который формируется с использованием высокостабильных антенных стандартов частоты (АСЧ). Гарантированное обеспечение стабильной работы стандартов частоты осуществляется с использованием высокоточной системы термостабилизации, выполненной на основе тепловых труб и специальных термоплит с управляемым электрообогревом.

Применение такой схемы построения КА требует, в свою очередь, нового подхода к тепловакуумным испытаниям.

Для имитации штатной работы высокоточной системы термостабилизации в наземных условиях необходимо строгое горизонтирование встроенных в сотовые панели тепловых труб, что позволяет свести к минимуму влияние земной гравитации на искажение тепловых и гидравлических параметров тепловых труб. Результаты испытаний должны позволять проводить строгий физико-математический анализ, достоверно, с высокой точностью, прогнозирующий работоспособности высокоточной системы термостабилизации в условиях космического пространства.

Таким образом, вследствие влияния земного тяготения на теплофизические процессы в тепловых трубах, испытательный стенд должен позволять строго горизонтальное размещение КА и для проведения данных работ необходимо создание нового рабочего места тепловакуумных испытаний на базе горизонтальной термовакуумной камеры с высокоэффективной системой автоматизированного контроля и управления, современным криогенно-вакуумным оборудованием.

Выше была подчеркнута главная особенность новых требований к ТВИ – требование горизонтального расположения термовакуумной камеры и космического аппарата в ней.

Эта особенность выдвигает, в свою очередь, новые конструктивные задачи создания основного компонента рабочего места ТВИ – имитатора солнечного излучения:

– подбор и расчет необходимого количества источников излучения для создания горизонтально параллельного светового потока требуемой мощности внутри камеры;

– расчет схемы суммирования световых потоков от заданного количества источников излучения для горизонтально расположенной излучательной системы;

– расчет элементов оптического ввода светового потока в камеру;

– расчет элементов перемешивания светового потока внутри камеры;

– расчет элементов внутрикамерных зеркальных конструкций, направляющих световой поток на изделия;

– разработка конструкций схем суммирования, оптического ввода и зеркальных систем.

Наличие указанного рабочего места позволит качественно на новом уровне подтвердить работоспособность всех систем космического аппарата «Глонасс К» (так же, как и последующих изделий разработки ОАО «ИСС») в реальных условиях космического пространства и количественно подтвердить жесткие требования стабильности работы бортового оборудования.

S. A. Krat, V. V. Hristich

SPACECRAFT THERMAL VACUUM OPTIMIZATION: DEVELOPMENT OF NEW TENDENCIES

The article dwells upon questions of space conditions imitations in a course of thermal vacuum optimization of SC, test beds characteristic is given and reasons for creation of conceptually new complex for SC thermal vacuum tests are formulated.

Keywords: thermal vacuum tests, thermoregulation system, vacuum chamber, sunlight simulator.

© Крат С. А., Христич В. В., 2010

УДК 629.78.002.3

А. Е. Михеев, А. В. Гирн, Е. В. Вахтеев, А. А. Михеев, И. В. Евкин

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ АНТИЭРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Проведено нанесение защитного покрытия микродуговым оксидированием на алюминиевую фольгу марки АД, отработаны режимы получения защитного покрытия из оксида алюминия. Выполнены тестовые испытания образцов покрытия на воздействие факторов эксплуатации.

Ключевые слова: антиэрозионные покрытия, микродуговое оксидирование, тестовые испытания.

Обеспечение конкурентоспособности современных высокоорбитальных космических аппаратов (КА) связи на мировом рынке требует снижения их стоимости и повышения надежности при длительной эксплуатации.

Одним из факторов, влияющих на надежность КА, является эрозионное воздействие плазмы стационарных плазменных двигателей (СПД) на элементы конструкции. Предварительная оценка эрозионно-загрязняющего воздействия плазмы, генерируемой стационарными плазменными двигателями, на поверхности платформы «Экспресс-1000Н», показала, что данное воздействие может оказать существенное дестабилизирующее воздействие на функционирование платформы [1].

Для минимизации дестабилизирующего воздействия плазмы СПД на элементы конструкций КА необходимо на их внешних поверхностях применять материалы с высокой стойкостью к воздействию направленного потока ионов ксенона.

В данной работе предлагается защищать элементы конструкции КА, попадающие под действие плазмы СПД тонкой (до 100 мкм) алюминиевой фольгой с антиэрозионным покрытием, что приемлемо и по весовым характеристикам. К веществам, обладающим наибольшей стойкостью к воздействию струи плазмы инертных газов (аргона, ксенона), относятся оксиды, в частности Al_2O_3, для нанесения которого предлагается использовать метод микродугового оксидирования (МДО) [2; 3].

По предварительным оценкам для обеспечения работоспособности КА свыше 15 лет необходимо обеспечить толщину покрытия не менее 30 мкм.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы защитного покрытия МДО. Исследования проводились на установке МДО-3, источник питания которой позволяет осуществлять независимую регулировку анодной и катодной составляющих тока и одновременно стабилизировать средние величины этих токов, что существенно упрощает проведение процесса МДО и ведет к улучшению качества получаемых покрытий. Диапазон регулируемых напряжений источника до 1 000 В; диапазон регулируемых плотностей токов до 50 А/дм^2; погрешность стабилизации тока до 5 %.

В качестве подложки использовались образцы фольги АД размерами 160 Ч 130 мм и толщиной 100 мкм. Микродуговое оксидирование образцов проводили в слабощелочных водных электролитах следующих составов:

№ 1 – NaOH (5 г/л) + Na_2SiO_3 (10 г/л),

№ 2 – KOH (5 г/л) + Na_2SiO_3 (10 г/л).

Покрытия формировали при различных соотношении $I_к/I_a$ от 0,6 до 1,4, плотностях тока в диапазоне от 10 до 40 А/дм^2, в течение 10…60 мин. Толщину покрытий контролировали толщиномером ТТ260 и на поперечных шлифах при помощи оптического микроскопа. Микроструктуру защитного покрытия, нанесенного МДО, изучали с использованием металлографического исследовательского комплекса SIAM на базе оптического микроскопа ЛабоМет И2.

Металлографический анализ показал, что покрытие состоит из двух слоев:

– внешнего пористого слоя, состоящего из смеси оксидов $Al_2O_3 + SiO_2$;

– твердого слоя, примыкающего к металлу и содержащего, преимущественно оксид алюминия двух модификаций г-Al_2O_3 и б-Al_2O_3.

Зависимость толщины плотного слоя покрытия ($h_{пл}$) от плотности тока представлена на рис. 1.

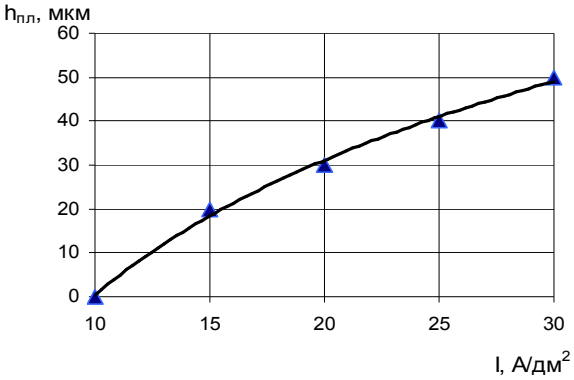


Рис. 1. Зависимость толщины плотного слоя покрытия из фольги АД от плотности тока при соотношении $I_k / I_a = 1{,}3$

Общая толщина покрытия складывается из толщины твердого (внутреннего) и наружного слоев, причем при высоких значениях плотности тока закономерно соотношение: $h_т / h_{общ} = (0{,}5…0{,}6)$.

С ростом плотности тока наблюдается увеличение твердости оксидного слоя защитных покрытий. Увеличение твердости покрытий с ростом плотности тока происходит за счет повышения содержания модификации б-Al_2O_3 в покрытии, что подтверждает график изменения количественного соотношения фазовых составляющих покрытия (рис. 2).

Это говорит о том, что катодная составляющая тока приводит к повышению температуры в канале пробоя. При уменьшении соотношения I_k / I_a до 1 и более, микротвердость покрытия снижается.

Выявлено, что оптимальными режимами получения защитных покрытий являются режимы обработки в электролите № 1, при высоких плотностях тока (более 20 А/дм^2), и соотношении анодной и катодной составляющей тока менее 1. Оптимальное время обработки от 30 до 45 мин. Результаты исследований по оптимизации технологических параметров приведены на рис. 3, 4.

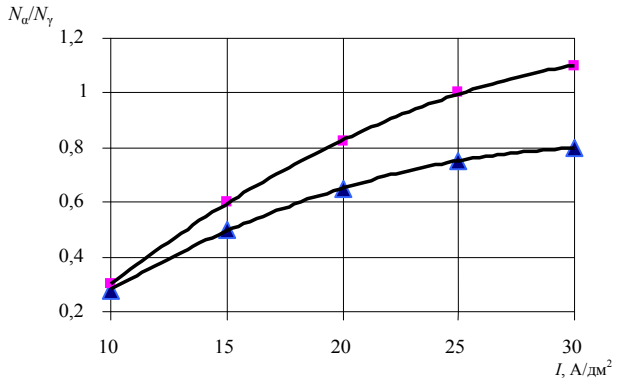


Рис. 2. Зависимость количественного соотношения N_α и N_γ фазовых составляющих Al_2O_3 покрытия от плотности тока: ▲ – I_k/I_a = 1,0; ■ – I_k/I_a = 1,3

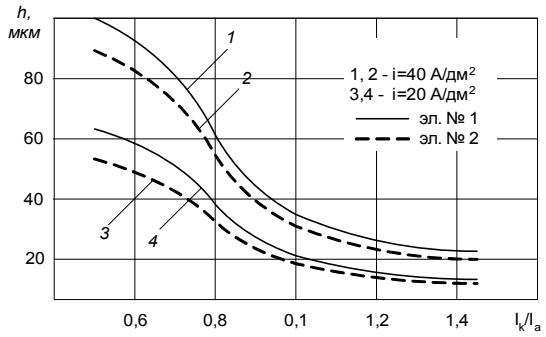


Рис. 3. Изменение толщины МДО-покрытия в зависимости от соотношения катодной и анодной составляющей токов (время обработки t = 30 мин)

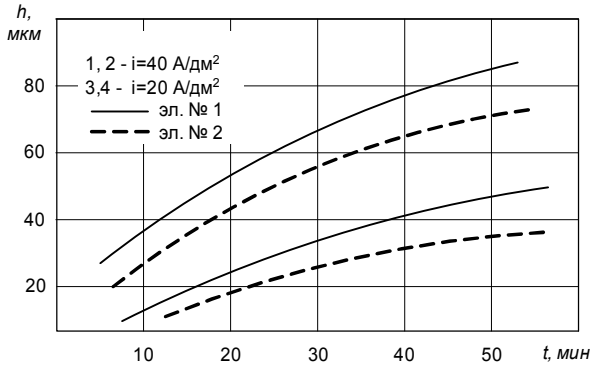


Рис. 4. Изменение толщины МДО-покрытия в зависимости от времени обработки при I_k/I_a = 0,8

Исследование микроструктуры защитного покрытия показало, что соотношение катодной и анодной составляющих тока оказывает существенное влияние на структуру защитного покрытия. При соотношении катодной и анодной составляющей тока более 1 ($I_k/I_a > 1$) покрытие имеет монолитную структуру (рис. 5).

Для проведения испытаний защитных покрытий на воздействие факторов хранения и эксплуатации были изготовлены образцы защитного покрытия из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–97 с МДО поверхности размером не менее 100 × 100 мм.

Защитные покрытия подверглись следующим видам испытаний:

– цикличному сгибанию на диаметре 20 мм;
– ускоренным климатическим испытаниям (УКИ);
– радиационному воздействию;
– термоциклированию.

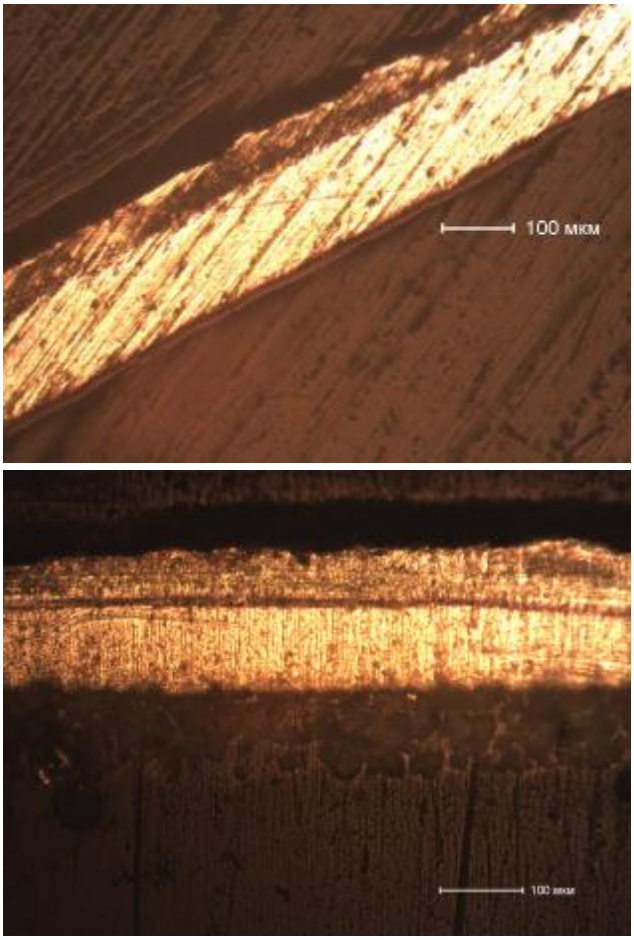


Рис. 5. Поперечные шлифы фольги АД с МДО-покрытием

Перед УКИ образцы защитных покрытий были подвергнуты циклическому сгибанию по боковой поверхности цилиндра, диаметром 20 мм и последующему разгибанию в плоскость. Количество циклов 50. Внешний вид покрытий после воздействия не изменился.

Измерение терморадиационных коэффициентов поглощения солнечной радиации As и степени черноты En проводилось в соответствии с ОСТ92-0909-69. Измерение коэффициента As проводилось фотометром ФМ-59М, коэффициента En – терморадиометором ТРМ-И. В качестве образца сравнения при измерении коэффициента As защитного покрытия с МДО использовали образец АД с анодным оксидированием, As = 0,47.

Измерение поверхностного сопротивления проводилось на тераомметре Е6-13А с использованием электрода из резины, обернутого оловянной фольгой. Толщина фольги 0,02 мм. Площадь электрода 20 × 20 мм. Давление на образец при измерении 0,01 МПа, напряжение 100 В. Погрешность измерения не более 5 %.

Осмотр внешнего вида образцов проводился визуально. При визуальном осмотре контролировалось наличие трещин, отслоений покрытия, сохранение цвета.

Результаты измерения характеристик образцов показали, что As образцов с покрытием составляет 0,53…0,36 и зависит от режимов обработки, En – составляет от 0,8…0,33.

Значение коэффициентов As и En образцов защитных покрытий после испытаний изменились незначительно. Изменения коэффициентов находятся в пределах погрешности измерений прибора ТРМ-И. Отношение As/En составляет более 0,5, что соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для КА.

Сопротивление поверхности составляет $7{,}1\cdot10^{7}$… $8{,}6\cdot10^{7}$ Ом/м. Величина поверхностного электрического сопротивления после испытаний незначительно увеличилась на отдельных образцах. Внешний вид образцов после испытаний не изменился.

Испытания на радиационное воздействие проводились на электронном ускорителе ЭЛУ-4 в НИИ интроскопии. Образцы облучались электронами в среде азота до поглощенной дозы $6\cdot10^{8}$ рад. Средняя энергия электронов в плоскости размещения образцов – 4 МэВ, средняя плотность потока электронов $4{,}2\cdot10^{10}$ см$^{-2}$с$^{-1}$.

Испытание на воздействие термоциклов проводилось в вакуумной камере УКГ-1000, при остаточном давлении не более $5\cdot10^{-6}$ мм рт. ст. Образцы располагались на термостоле, сверху закрывались ЭВТИ. Нагрев и охлаждение осуществлялись за счет теплового контакта и радиационного излучения с поверхности термостола. Нагрев термостола осуществлялся лампами типа КГ-127-1000, а охлаждение – жидким азотом. Скорость нагрева-охлаждения составляла от 5 до 10° в минуту. Излучение от ламп на поверхность образцов не попадало. Температура контролировалась с помощью датчиков температуры типа «термометры платиновые ТП 018-03». Выдержка при крайних температурах в течение 10 мин. Термоциклирование проводилось в диапазоне температур от –150 °С до + 170 °С в количестве 100 циклов.

Образцы защитных покрытий из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–97 с оксидным слоем, нанесенным МДО, выдержали испытания на воздействие радиации дозой $6\cdot10^{8}$ рад и последующего воздействия 100 термоциклов в вакууме в диапазоне температур от –150 до 170 °С.

Также были проведены испытания защитных покрытий на стойкость к воздействию плазмы. Для обеспечения равного воздействия плазмы на испытываемые образцы, из каждого из образцов 100 × 100 мм вырезались по три образца размером 30 × 30 мм и укладывались в зоне облучения в шахматном порядке. После воздействия плазмы у образцов алюминиевой фольги с микродуговым оксидированием поверхности внешний вид остался без изменений. Измерение толщины защитных покрытий производили контактным способом с использованием многооборотного индикатора.

При визуальном осмотре у образцов алюминиевой фольги с микродуговым оксидированием поверхности внешний вид не изменился. Также в процессе проведения испытаний контролировали толщину подложки из алюминиевой фольги АД, в исходном состоянии имеющей толщину 100 мкм. В процессе воздействия плазмы толщина алюминиевой фольги АД уменьшилась на 3 мкм.

Таким образом, изменение оптических коэффициентов As и En образцов алюминиевой фольги с МДО поверхности после воздействия плазмы изменились незначительно, величина изменения коэффициентов находится в пределах погрешности измерений приборов ФМ-59 и ТРМ-И. Отношение As/En составляет более 0,5, что соответствует необходимым требованиям.

Приведенные результаты испытания защитных покрытий из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–97 с оксидным слоем, нанесенным МДО на воздействие плазмы, имитирующей плазму СПД, в вакуумной камере установки АРМ НТП-2, позволяют сделать следующие выводы:

1. Измерение коэффициентов As и En образцов алюминиевых фольг с микродуговым оксидированием поверхности до и после воздействии плазмы показало незначительное изменение коэффициентов, величина изменения коэффициентов находится в пределах погрешности измерительных приборов. Отношение As/En составляет более 0,5, что соответствует необходимым требованиям.

2. В ходе облучения процентное уменьшение массы образцов составило 0,32…0,25 %.

3. Изменение толщины образцов составило 1…3 мкм.

Таким образом, образцы из алюминиевой фольги с оксидным покрытием, нанесенным МДО, являются стойкими к воздействию плазмы, изготовленные по технологическому процессу с выбранными оптимальными технологическими режимами.

На основании полученных результатов по воздействию плазмы, выбран состав защитного покрытия из алюминиевой фольги АД по ГОСТ 4784–97 с оксидным слоем, нанесенным МДО.

Библиографические ссылки

1. Исследование загрязняющего воздействия собственной внешней атмосферы и плазмы стационарных плазменных двигателей на космическом аппарате «Экспресс-АМ» / В. А. Смирнов [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып 2(10). 2006. С. 46–50.

2. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И. В. Суминов [и др.] М. : ЭКОМЕТ, 2005.

3. Технологические возможности микродугового оксидирования алюминиевых сплавов / А. Е. Михеев [и др.] // Вестник машиностроения. 2003. № 2. С. 56–63.

A. E. Mikheev, A. V. Girn, E. V. Vakhteev, A. A. Mikheev, I. V. Evkin

TECHNOLOGY OF OVERCOATING OF DESIGN ELEMENTS OF SPACE VEHICLES WITH ANTIEROSIVE COATING

In the article we describe overcoating of alluminium foil of AD mark with antierosive coating by microarc oxydation, along with modes of production of protective coating from aluminum oxide. Final tests of samples of covering under he influence of factors of operation are performed.

Keywords: antierosive coverings, microarc oxydation, final tests.

© Михеев А. Е., Гирн А. В., Вахтеев Е. В., Михеев А. А., Евкин И. В., 2010

УДК 62-837

А. А. Фадеев, И. Я. Шестаков, О. Е. Артюкова

КОНСТРУИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Представлены особенности конструирования исследовательской установки для электрообработки на основе линейного электродинамического привода. Рассмотрены особенности конструкции установки и основные технические характеристики, приведены примеры использования установки для отработки режимов различных технологических процессов.

Ключевые слова: исследовательская установка, электродинамический привод, электрообработка, привод подачи инструмента.

Для проведения различных технологических процессов обработки деталей в машиностроительном и приборостроительном производствах используют различные электрохимические и электрофизические методы обработки. Приводы подач большинства современных металлообрабатывающих станков с ЧПУ, в том числе и электроэрозионных (ЭЭ), строятся по традиционной схеме (перемещения рабочего органа РО осуществляется от двигателя постоянного тока через ременную передачу на ходовой винт). Недостатки указанных видов приводов достаточно известны и очевидны: большое количество промежуточных элементов, громадная инерционность этих элементов, трение во множестве сопрягаемых деталей и др.

Одним из вариантов устранения этих недостатков является использование в качестве приводов подач станков линейного электродинамического двигателя.

Практическое использование линейных электродинамических двигателей началось с его традиционных областей применения: быстродействующие технологические устройства – привод электрода-инструмента в установках импульсной электрохимической и электроконтактной обработки. Линейный электродинамический привод наилучшим образом подходил для перемещения электрода-инструмента на каждый импульс технологического тока, следующего с частотой до 800 Гц.

Совмещение рабочего органа стационарных машин и ротора электродвигателя позволяет уменьшить массу и размеры машины (привода), исключить из электропривода преобразователь движения в виде редуктора или другого передаточного механизма, улучшить условия теплоотдачи, охлаждения и вентиляции [1].

Сотрудниками СибГАУ была предложена конструкция привода подачи электрода-инструмента на основе линейного электродинамического вибропривода (рис. 1) [2; 3].

Разработка конструкции установки осуществлялась в несколько этапов. Расчет привода строился исходя из определения электромагнитной силы, необходимой для проведения процессов обработки.

Электромагнитная сила электродинамического привода, возникающая в результате взаимодействия тока подвижной катушки с магнитным полем электромагнита, определяется по известной формуле:

$$F = IBl\,, \qquad (1)$$

где F – электромагнитная сила; I – ток в подвижной катушке; B – магнитная индукция электромагнита в рабочем зазоре, где расположена подвижная катушка; L – длина проводника подвижной катушки.

Для предложенного устройства электромагнитная сила определяется следующим образом:

$$F = IBk\,, \qquad (2)$$

где k – конструктивный параметр привода, рассчитывается по выражению

$$k = \frac{\pi d N t}{L}\,,$$

где d – средний диаметр подвижной катушки; N – число витков подвижной катушки; t – ширина рабочего зазора,

в котором расположена подвижная катушка; L – длина подвижной катушки.

Из формулы (2) следует, что при постоянной индукции в зазоре, электромагнитную силу можно мерить путем регулирования тока в подвижной катушке. Причем быстродействие привода определяется скоростью изменения тока в подвижной катушке. При отсутствии магнитопровода в подвижной части привода, на рабочих частотах (100…200 Гц) активное сопротивление подвижной катушки значительно больше реактивного.

Наибольшее распространение получил в технике переменный синусоидальный ток. При подаче на подвижную катушку синусоидального напряжения ток будет изменяться по закону

$$i = I_m \sin(\omega\tau),$$

где i – мгновенное значение тока в катушке; I_m – амплитудное значение тока в катушке; ω – угловая частота, которая определяется следующим выражением:

$$\omega = 2\pi f,$$

где f – частота переменного тока.

Уменьшением тока при разгоне, вследствие наводимой в подвижной катушке ЭДС самоиндукции, пренебрегаем, так как для предложенного устройства скорость идеального холостого хода на порядок и более превосходит реальные скорости перемещения.

При этом электромагнитная сила определяется по уравнению

$$F = I_m \sin(\omega\tau) Bk, \quad (4)$$

подвижная часть привода согласно этой силе будет перемещаться в соответствии с уравнением

$$mx'' + \beta x' = F, \quad (5)$$

где m – масса подвижной части привода; β – коэффициент трения, зависящий от скорости; x' – скорость подвижной части привода (первая производная от перемещения по времени); xI – ускорение подвижной части привода (вторая производная от перемещения по времени).

Силой тяжести пренебрегаем, так как при исключении магнитопровода из подвижной части привода, электромагнитная сила на порядок и более превосходит силу тяжести подвижной части.

При синусоидальном изменении электромагнитной силы перемещение ползуна будет проходить по закону

$$x = A \sin(\omega\tau), \quad (6)$$

где A – амплитуда перемещения ползуна. Из выражения (6) определится скорость $x\ddot{y}$:

$$x' = A\omega \cos(\omega\tau) \quad (7)$$

и ускорение xI:

$$x'' = -A\omega^2 \sin(\omega\tau). \quad (8)$$

Подставив (7), (8) в уравнение (5) получим

$$-mA\omega^2 \sin(\omega\tau) + \beta A\omega\cos(\omega\tau) = I_m \sin(\omega\tau) Bk. \quad (9)$$

Проанализируем полученное уравнение. Развиваемое приводом усилие расходуется на преодоление сил трения $\beta A\omega\cos(\omega\tau)$ и ускорение подвижной системы – $mA\omega^2\sin(\omega\tau)$. Учитывая, что рабочие частоты привода лежат в пределах от 20 до 400 Гц, делаем вывод: амплитуда ускорения силы на два порядка и более превосходит амплитуду сил трения:

$$mA\omega^2 >> \beta A\omega. \quad (10)$$

Последнее условие позволяет упростить выражение (9) следующим образом:

$$-mA\omega^2 \sin(\omega\tau) \approx I_m \sin(\omega\tau) Bk. \quad (11)$$

Для практической оценки динамических характеристик привода достаточно знать зависимость рабочих характеристик (массы подвижной системы, амплитуды и частоты перемещения) от электрических и геометрических параметров электрической машины.

Для этого перепишем уравнение (11) для амплитудного значения перемещения:

$$mA\omega^2 \approx I_m Bk. \quad (12)$$

Из уравнения (12) следует, что в предложенном конструктивном решении привода амплитуда механических колебаний прямо пропорциональна амплитуде тока в подвижной катушке и обратно пропорциональна квадрату частоты, причем электрические и геометрические параметры привода, в диапазоне частот от 20 до 400 Гц, связаны с его динамическими характеристиками следующим соотношением:

$$LmAf^2 = 0,08 I_m BdNt. \quad (13)$$

Из выражения (13) получаем формулу для определения ширины рабочего зазора:

$$t = \frac{LmAf^2}{0,08 I_m BdN}, \quad (14)$$

где t – ширина рабочего зазора; L – длина подвижной катушки; m – масса ползуна, подвижной катушки и инструмента; A – амплитуда перемещения ползуна; I_m – амплитудное значение тока в подвижной катушке; B – магнитная индукция в рабочем зазоре; d – средний диаметр подвижной катушки; N – число витков подвижной катушки.

Выражение (14) подтверждено экспериментально при испытании опытной партии разработанных авторами линейных электродинамических приводов.

На основе вышеприведенных вычислений разработана конструкция электродинамического привода (рис. 1) подачи инструмента, которая состоит из катушки *1*, установленной в полости магнитопровода *2*, осевого выступа *3*. Между выступом *3* и катушкой *1* образуется зазор *4*. Между магнитопроводом *2* и выступом *3* образован рабочий зазор *5*, величиной δ и шириной t. Полый ползун *6*, установленный коаксиально выступу *3*, имеет возможность перемещаться вдоль выступа *3* в зазорах *4* и *5*. На наружной поверхности ползуна расположена катушка *7* и дополнительная катушка обратной связи *8*, которые соединены с блоком управления приводом *9*. Длина подвижной катушки *7* – L, ее средний диаметр d. Ползун *6* жестко соединен с инструментом *10*. Вылет выступа *3* относительно торцевой поверхности магнитопровода *2* – Δ.

Электродинамический привод подачи инструмента работает следующим образом. Неподвижная катушка *1* электромагнита через блок управления *9* подключается к источнику постоянного тока. Из блока *9* подаётся электрическое напряжение заданной величины и направления на подвижную катушку *7*. На витки катушки, находящиеся в рабочем зазоре *5*, действует электромагнитная сила,

вследствие чего ползун *6* движется по выступу *3*. Электрический сигнал с катушки обратной связи *8* подается в блок управления приводом. Направление и скорость движения ползуна *3*, соответственно, и инструмента *10* зависит от величины и направления тока в подвижной катушке *7*, массы ползуна, инструмента, подвижной катушки, магнитной индукции в рабочем зазоре *5*, среднего диаметра подвижной катушки *7*, ее длины и числа витков этой катушки.

Экспериментально установлено, что в электродинамическом приводе вылет выступа относительно торцевой поверхности магнитопровода должен составлять 1,5…2 величины рабочего зазора. При соотношении менее 1,5 происходит уменьшение электромагнитной силы, действующей на ползун из-за рассеивания магнитных силовых линий. Если вылет выступа составляет более двух величин рабочего зазора, то электромагнитная сила практически не увеличивается, а масса и габариты привода возрастают.

На основе электродинамического вибропривода спроектирована исследовательская установка (рис. 2), которая представляет собой станину *1*, на которую крепятся следующие основные элементы: линейный электропривод *2* со штоком *3*, на который крепиться электрод-инструмент *4*, ванна с рабочей жидкостью (электролитом) *5*, в которой производится обработка детали, блок питания *6*, блок управления *7* установки. Питание установки осуществляется от сети переменного напряжения через блок питания обмоток привода и блока управления. Блок управления позволяет плавно регулировать частоту и амплитуду колебаний электрода-инструмента. Величину амплитуды также можно регулировать с помощью пружины *8*. Подача рабочего напряжения осуществляется на шины питания *9* и *10* и на электрод-инструмент *4*.

Краткие технические характеристики установки:

– напряжение питания – 220 В;

– мощность – 2,5 кВт;

– диапазон частот колебания электрода-инструмента – 0…600 Гц;

– амплитуда колебания электрода-инструмента – 1,5…2,0 мм;

– габаритные размеры (высота/длина/ширина) – 670/410/450 мм;

– масса – 65 кг.

Исследовательская установка позволяет исследовать процессы электроэрозионной и электрохимической обработки в водных растворах нейтральных солей.

При электрохимической полировке деталей (стали 12Х18Н10Т, 12Х13, латунь Л62, титановый сплав ОТ-4) в водном растворе с концентрацией нейтральных солей 150 г/л на данной установке было достигнуто снижение шероховатости с *Ra* 3,2 до *Ra* 0,2 на внутренних и наружных поверхностях деталей по биполярной схеме подключения электродов. Частота вибрации электрода инструмента составила от 10…100 Гц, амплитуда – до 1,5 мм [4; 5].

Установка позволяет проводить копировально-прошивочные операции на стальных заготовках с глубиной получаемых полостей до 10 мм с любым профилем отверстий (в экспериментах – стали ХВГ и 9ХС) на частотах вибрации от 0 до 50 Гц и амплитуде до 1,5 мм. Поверхность детали, находящаяся вблизи электрода-инструмента, во время обработки не подвергается электрохимическому растравливанию. При прошивке детали в режиме электромеханического сглаживания возможно получение шероховатости поверхности *Ra* 0,1. При обработке в воде с добавлением 2,5 г/л азотнокислого натрия наблюдается минимальное отклонение формы полостей от размеров электрода-инструмента ±0,025 мм [6].

Для более эффективного перемешивания электролита (помимо вибрации электрода-инструмента) возможно использование традиционных методов (вращения детали, принудительной циркуляции электролита).

Дальнейшим этапом совершенствования конструкции исследовательской установки является создание системы

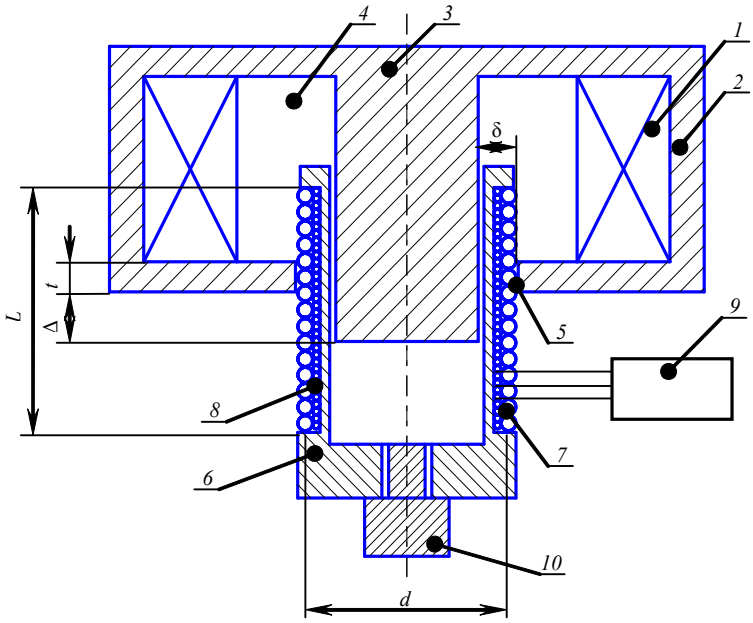


Рис. 1. Электродинамический привод

автоматизированного управления процессами электрообработки деталей.

Целями автоматизации является исследование процессов обработки и стабилизация технологических режимов. Главными требованиями, которым должна отвечать установка, являются:

– автоматизация управления и регулирования режимов работы линейного электродинамического привода и параметров обработки деталей в зависимости от требуемого качества поверхностей и точности обработки;

– регистрация технологических параметров обработки деталей и параметров работы привода установки.

Систему управления (рис. 3) можно разбить на два канала:

1. Канал управления режимами работы линейного привода. Включает в себя АЦП и ЦАП, которые обеспечивают передачу необходимых параметров работы привода (частоту, скважность, форму импульса, амплитуду и т. д.) на исполнительные устройства (усилитель – У) и обратную связь.

2. Канал управления технологическими параметрами обработки детали. Также включает АЦП и ЦАП, которые обеспечивают передачу и обратную связь параметров и режимов обработки детали (напряжение, технологический ток, частоту технологического тока) через регулятор мощности (РМ).

Преобразование и обработка информации производится в контроллере и выводится на панель индикации либо через интерфейсные модули – на персональный компьютер (ПК).

Приведенная система управления обеспечивает контроль технологических параметров обработки, а также режимов работы линейного электродинамического привода, позволяет оценивать его техническое состояние. Помимо этого она обладает возможностью свободного наращивания функциональных возможностей при модернизации системы управления в зависимости от решаемых задач.

Таким образом, предлагаемый электродинамический привод имеет улучшенные массогабаритные характеристики, уменьшенные энергетические и материальные затраты, а также упрощенную конструкцию. Результаты показывают, что при заданной частоте и амплитуде перемещений инструмента предложенное техническое решение позволяет уменьшить массу привода на 20…22 %, снизить энергетические затраты на 15…18 % по сравнению с типовым электромагнитным линейным приводом.

Использование предлагаемой исследовательской установки на основе линейного электродинамического привода для решения задач электрообработки деталей показало определенные преимущества: высокую точность и качество обработки, низкое энергопотребление, простоту конструкции привода установки и реализации схемы обработки. Дальнейшая модернизация исследовательской установки позволит автоматизировать процесс управления установки и обработки деталей, что, в свою очередь, позволит повысить качество обработки деталей, расширить функциональные возможности установки, поднять исследования процессов электрической обработки на новый уровень и как итог – после соответствующей доработки – внедрение на производстве.

Библиографические ссылки

1. Хромов Е. В. Линейный асинхронный двигатель в приводах стационарных машин с колебательным движе-

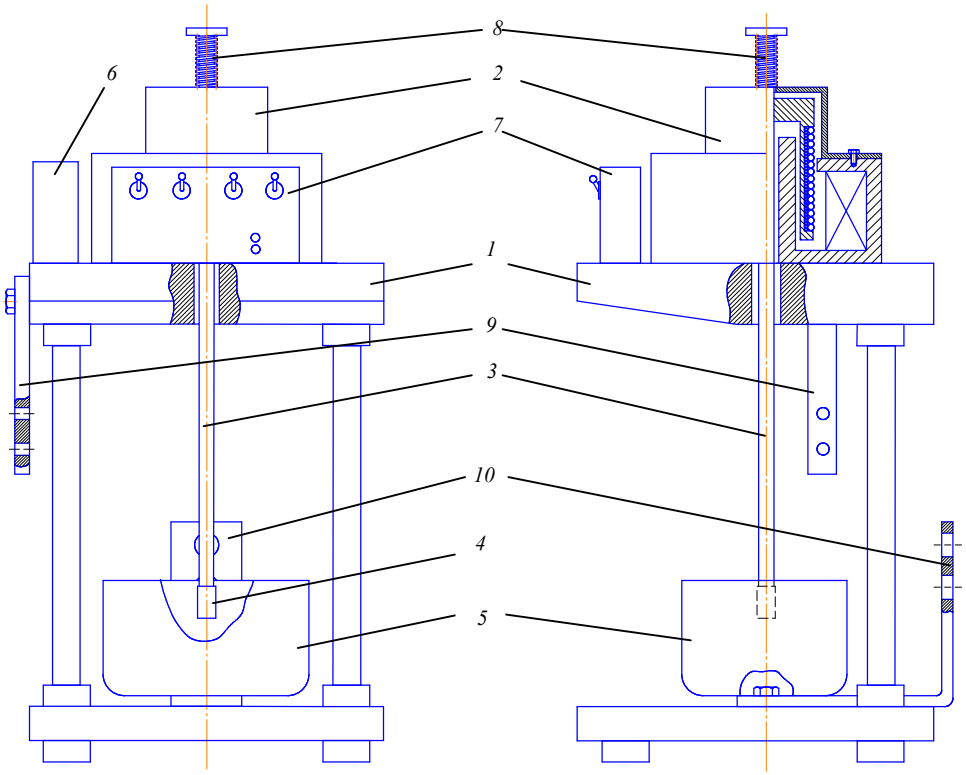


Рис. 2. Исследовательская установка

нием рабочих органов // Наука и современность – 2010 : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. Ч. 2 / под общ. ред. С. С. Чернова. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. С. 222–225

2. Пат. 2274525 РФ МПК B23H 7/30 Электродинамический привод подачи инструмента / Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Фадеев А. А. № 2004128716/02 ; заяв. 27.09.04 ; опубл. 20.04.06, Бюл. № 11.

3. Стрюк А. И., Шестаков И. Я. Установка электрообработки с линейным электродинамическим двигателем // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2006. Вып. 3(10). С. 65–67.

4. Бабкина Л. А. Обеспечение параметров обработки деталей летательных аппаратов биполярным электрохимическим полированием : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.02.08. Красноярск. 2010.

5. Пат. № 2229543, РФ МПК C25F 3/16. Способ электрохимического полирования / Шестаков И. Я., Бабкина Л. А. ; заяв. 15.07.02 ; опубл. 27.05.04, Бюл. № 15.

6. Стрюк А. И., Шестаков И. Я., Цуканов А. В. Импульсная электрообработка вибрирующим электродом-инструментом // Вестник СибГАУ. Красноярск, 2004. Вып. 5. С. 72–76.

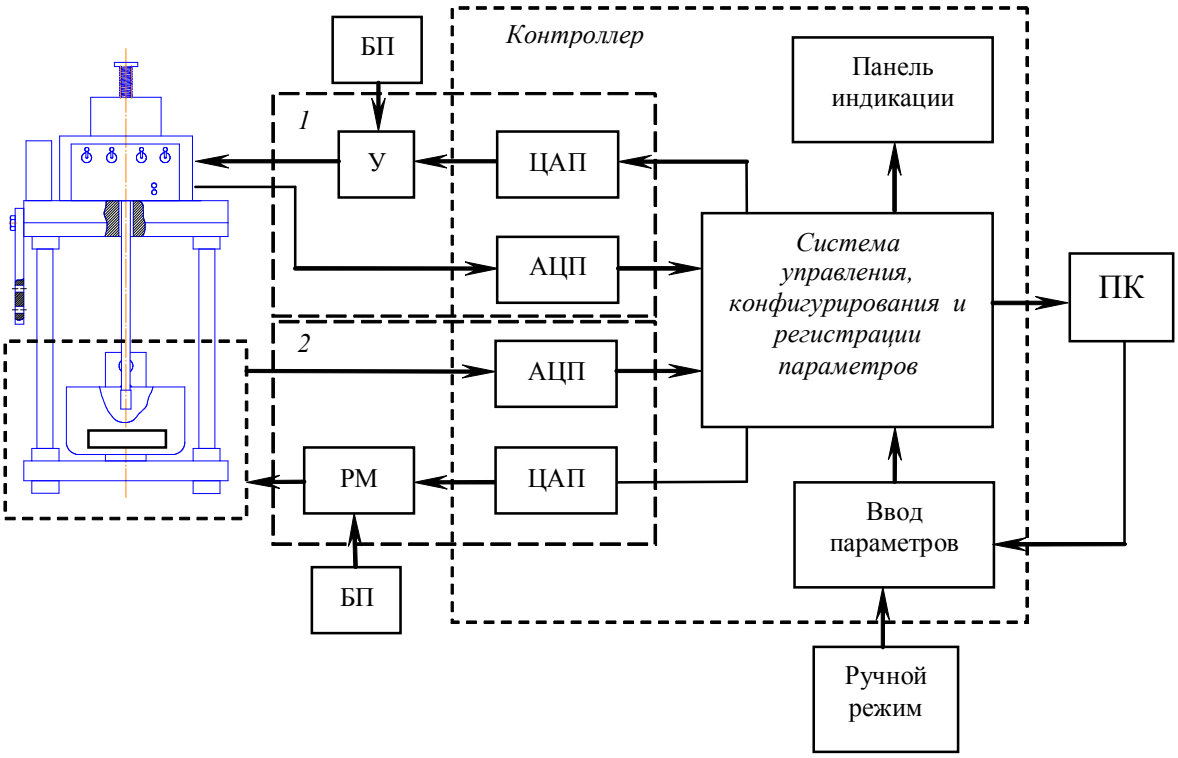


Рис. 3. Блок-схема системы управления электродинамического привода подачи инструмента:
У – усилитель; РМ – регулятор мощности; ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь; БП – блок питания; ПК – персональный компьютер

A. A. Fadejev, I. Ya. Chestakov, O. E. Artukova

DESIGNING OF RESEARCH INSTALLATION FOR ELECTROPROCESSING ON THE BASIS OF ELECTRODYNAMIC DRIVE

The work presents features of designing of research installation for electroprocessing on the basis of a linear electrodynamic drive. Features of design of installation and the basic technical characteristics are considered and examples of use of the installation for development of modes of various technological processes are given.

Keywords: research installation, electrodynamic drive, electroprocessing, tool advance drive.

© Фадеев А. А., Шестаков И. Я., Артюкова О. Е., 2010

УДК 621.787

Л. И. Оборина, В. С. Биронт, И. В. Блохин, И. В. Трифанов, Б. Н. Исмаылов

О ВЛИЯНИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ СПЛАВА 32 НКД НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ТРУБ ВОЛНОВОДОВ*

Представлены исследования влияния структурного состояния сплава 32 НКД на температурный коэффициент линейного расширения волноводов КВЧ-диапазона.

Ключевые слова: волновод, температурный коэффициент линейного расширения, степень деформации, отжиг, термическая обработка.

Сплавы с низкими значениями температурного коэффициента линейного расширения имеют большое значение для создания конструкций и приборов в точной механике, радиотехнике и др. [1]. В основе получения таких сплавов лежит «инварный эффект», обусловленный особенностями электронного строения атомов в сплавах и влиянием его на изменение межатомных связей в кристаллическом строении в регламентированном интервале температур.

Известно, что влияние пластической деформации на коэффициент температурного расширения сплава 32НКД при изготовлении волноводов методом многостороннего деформирования описывается выражением

$$\beta = \beta_0 \left(1 + A \cdot \varepsilon\right), \qquad (1)$$

где β_0 – коэффициент температурного расширения недеформированного металла; ε – степень деформации; A – коэффициент, учитывающий физические свойства деформируемого металла:

$$A = \chi_T E \gamma / 3, \qquad (2)$$

где χ_T – коэффициент изотермической сжимаемости; E – модуль упругости; γ – параметр Грюнайзера:

$$\gamma = \frac{\partial \ln \theta}{\partial \ln V}, \qquad (3)$$

где θ – температура Дебая; V – объем.

Значение A для сплава 32НКД находится в пределах 1,3…2,5.

В связи с этим можно сделать вывод, что деформация при деформирующем протягивании способна изменить коэффициент термического расширения сплава 32НКД в большую сторону, что недопустимо при изготовлении полосно-пропускающих фильтров на прямоугольном волноводе (ППФ).

Естественным было ожидать, что в кристаллическом веществе, например, в монокристалле, значение коэффициента термического расширения может зависеть от кристаллографического направления, в котором измеряется расширение в заданном интервале температур. Следствием этого может явиться предположение о том, что при возникновении единонаправленного расположения кристаллографических плоскостей и направлений в объеме анализируемого материала (возникновении полной или частичной текстуры) относительно направления измерения теплового расширения, должно изменяться значение температурного коэффициента линейного расширения.

При изготовлении трубчатых деталей волноводов прямоугольного сечения методами обработки: резанием (сверлением по внутреннему диаметру заготовки) и последующей обработкой давлением (дорнового волочения) исходной заготовки из поликристаллического сплава 32 НКД, было обнаружено (рис. 1) увеличение значения коэффициента термического расширения от $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ 1/(мм·К) до $3{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/(мм·К).

Коэффициент термического расширения образцов определяли на дилатометре DIL 402 C в среде технического аргона. Измерения проводили в интервале температур от 25 до 125 °С.

В качестве образцов использовали отрезки трубок волноводов сечением 5,2 × 2,6 мм, 3,6 × 1,8 мм, изготовленных по принятой технологии, длиной 25 мм, соответствующей оптимальной для дилатометрических измерений.

Для изучения причин столь сильного изменения коэффициента линейного расширения исследовали изменение структуры образцов, выполненное с применением метода оптической микроскопии на микроскопе AxioObserver D1m с цифровой записью изображения.

Структура образцов трубок волноводов, свидетельствующая о том, что в процессе их получения методами холодной пластической деформации сформирована волокнистая структура, ориентированная в направлении волочения представлена на рис. 2. Расчет степени деформации выполнен по изменению толщины стенки трубки, от механически обработанной цилиндрической заготовки, до прямоугольной трубки конечных размеров. Расчеты показали, что трубка сечением 5,2 × 2,6 мм получена в результате холодной пластической деформации со степенью 30 %. Изготовление трубки сечением 3,6 × 1,8 потребовала более высоких значений пластической деформации – 37,5 %. Это приводит к более существенным изменениям структуры деформированного металла и более высокой устойчивости такой структуры при последующих нагревах.

Термическую обработку для устранения последствий пластической деформации выполняли только на трубке волновода сечением 3,6 × 1,8 мм. Было осуществлено два цикла термической обработки: первый при температуре 600 °С, в расчете на рекристаллизационные последствия

*Проект выполнен в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.2/3172.

такой термической обработки, второй цикл – при температуре 900 °С – с целью гарантированного получения изотропного поликристаллического состояния сплава.

Однако оба цикла термической обработки не привели к положительному изменению структуры и, соответственно, свойств сплава 32 НКД в желаемом направлении.

Как следует из приведенных иллюстраций, при степени деформации, не превышающей 30 % (трубы сечением 5,2 × 2,6 мм) проявляется лишь слабое влияние ориентации формирующейся структуры. Это не вызывает текстурирования, а следовательно, и изменения температурного коэффициента линейного расширения. Более существенные деформации приводят к текстурированию

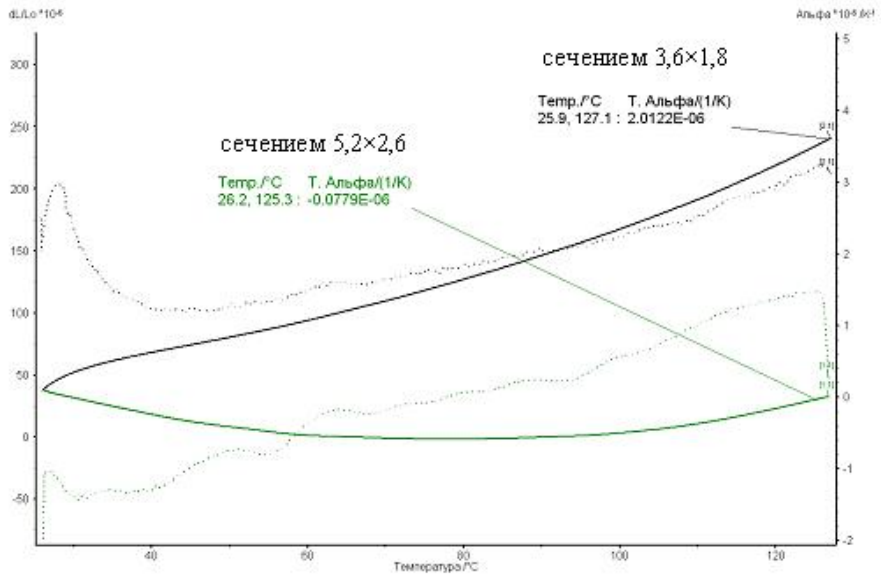


Рис. 1. Зависимость температурного коэффициента линейного расширения и температурного удлинения волноводов, изготовляемых из сплава 32 НКД: V = 1 к/мин, аргон (пунктир-к. л. р.) + средние значения к. л. р.

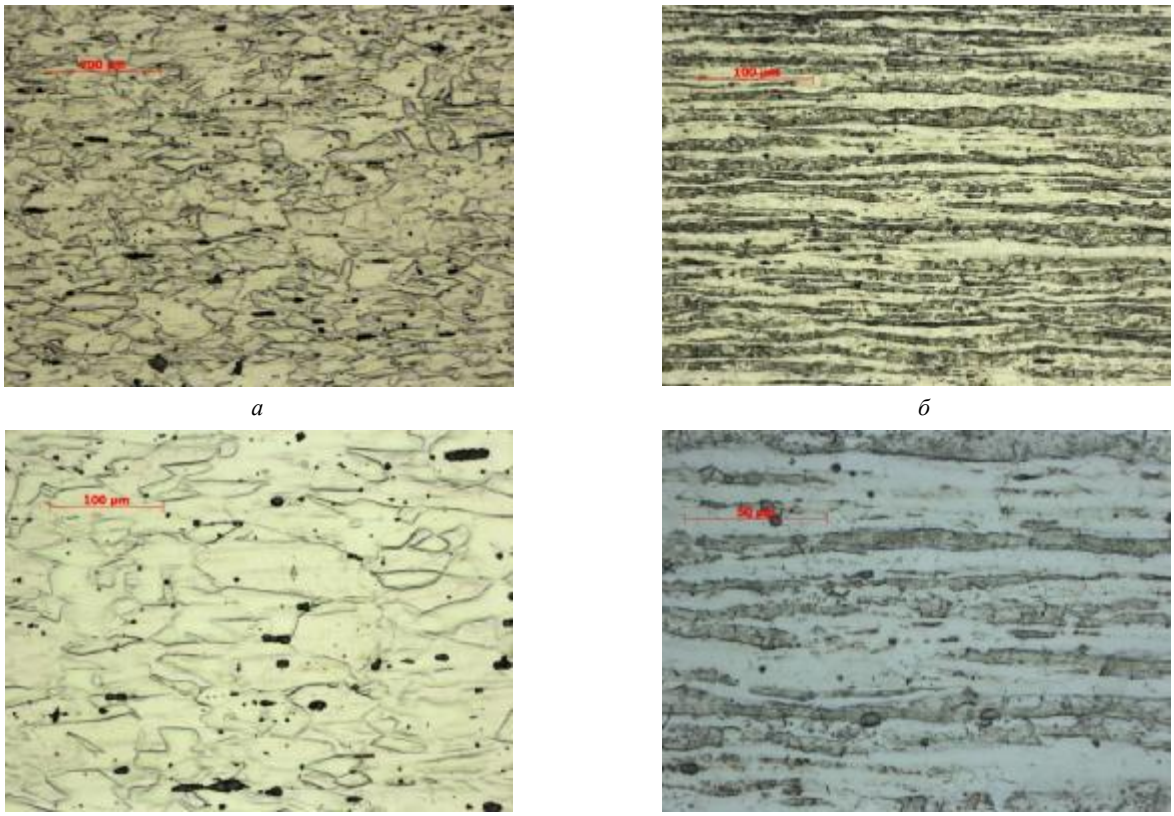


Рис. 2. Микроструктура волноводных трубок после деформации: *а* – трубка сечением 5,2 × 2,6, состояние после деформации, × 160; *б* – трубка сечением 5,2 × 2,6, состояние после деформации, × 320; *в* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после первого цикла термической обработки, × 320; *г* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после первого цикла термической обработки, × 800

структуры, которая при неполной завершенности рекристаллизационных процессов при температуре 600 °С формирует ярко выраженную волокнистость. Таким образом, отжиг, не обеспечивающий полного завершения рекристаллизационных процессов, не изменяет и температурного коэффициента линейного расширения. Дилатометрические измерения после отжига на 600 °С повторили результаты, приведенные на рис. 1.

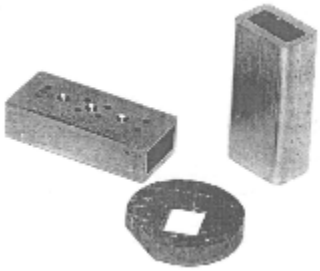
Отжиг при температуре 900 °С, выполненный на том же образце, на котором уже сформировалась волокнистая структура, привел лишь к завершению рекристаллизационных процессов, дальнейшему росту зерен и к получению более совершенной структуры (рис. 3), в результате чего стала более совершенной ранее образовавшаяся кристаллографическая направленность металла в макрообъеме изделия, что только закрепило достигнутый ранее эффект анизотропии температурного коэффициента линейного расширения.

Повторные дилатометрические измерения и после второго цикла термической обработки не выявили уменьшения коэффициента линейного расширения.

Таким образом, проведенными экспериментами было показано, что формирование устойчивых структур, характеризующихся анизотропией структурного и текстурного состояния может только увеличивать температурный коэффициент линейного расширения. Это происходит за счет формирования преимущественной кристаллографической направленности в одном или нескольких кристаллографических направлениях (совершенной или смешанной текстуры), вместо статистически разориентированной структуры, свойственной мелкозернистому поликристаллическому металлу с произвольной ориентировкой каждого из зерен.

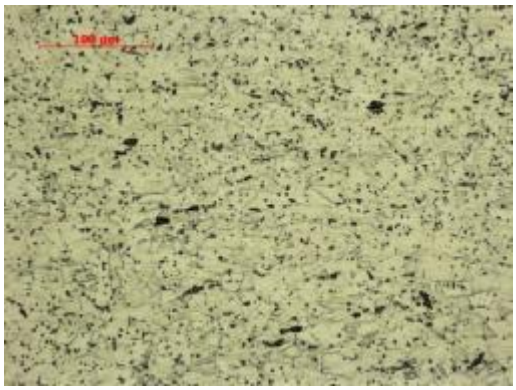
На основании результатов выполненных исследований разработана технология изготовления труб волноводов (рис. 4) методом многостороннего деформирования

а

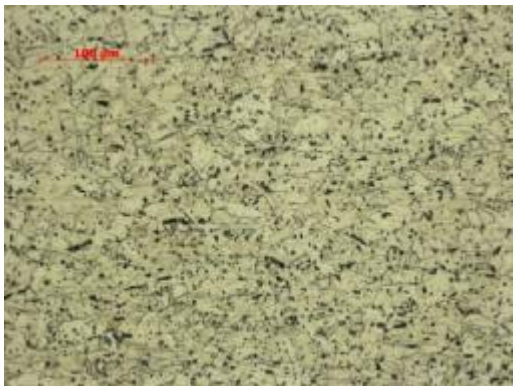


б

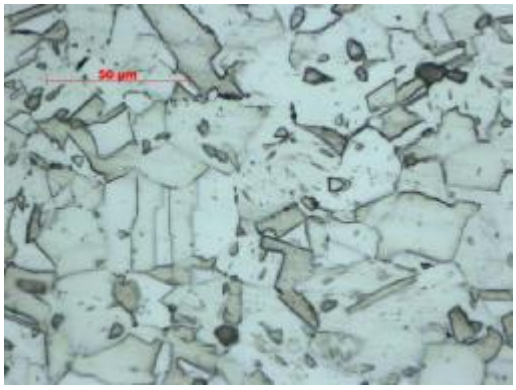
Рис. 4. Волноводные элементы, изготовленные методом многостороннего деформирования: *а* – волноводная труба; *б* – элементы полосно-пропускающего фильтра



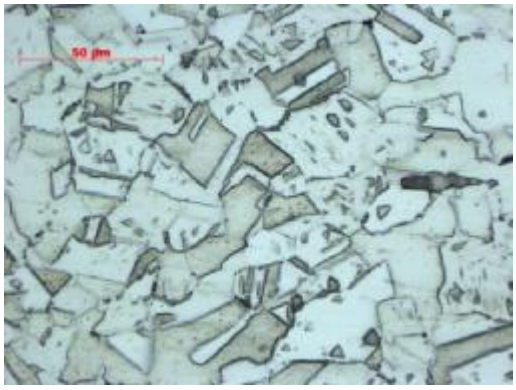
а



б



в



г

Рис. 3. Микроструктура трубки волновода сечением 3,6 × 1,8 мм после второго цикла термической обработки: *а* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после второго цикла термической обработки, × 320; *б* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после второго цикла термической обработки, × 320; *в* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после второго цикла термической обработки,Ч 800; *г* – трубка сечением 3,6 × 1,8 мм, состояние после второго цикла термической обработки, × 800

со стороны деформации, не превышающей 30 % за 10 переходов с промежуточным отжигом при температуре 800 °С в среде аргона после каждых трех циклов.

Таким образом, проведены исследования влияния структурного состояния на температурный коэффициент линейного расширения труб волноводов, изготавливаемых из сплава 32 НКД. Выбраны технологические режимы изготовления труб волноводов КВЧ-диапазона, обеспечивающие степень деформации не более 30 % и промежуточный отжиг 800 °С.

Библиографическая ссылка

1. Достижения в освоении миллиметровых и субмиллиметровых волн / Р. П. Быстров [и др.] // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 52–63.

L. I. Oborina, V. S. Bironf, I. V. Blokhin, I. V. Trifanov, B. N. Ismaylov

ABOUT INFLUENCE OF THE STRUCTURAL CONDITION OF 32 NKD ON TEMPERATURE FACTOR OF LINEAR EXPANSION OF PIPES OF WAVE GUIDES

The article dwells on researches of influence of a structural condition of 32 NKD alloy on temperature factor of linear expansion of wave guides of EHF range.

Keywords: a wave guide, temperature factor of linear expansion, deformation degree, anneal, thermal processing/

© Оборина Л. И., Биронт В. С., Блохин И. В., Трифанов И. В., Исмаылов Б. Н., 2010

УДК 621.9.048

Т. А. Веретнова, А. А. Ковалева, И. Я. Шестаков, С. М. Тинькова, А. А. Пьяных

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛОВ

Предложена математическая модель теплового состояния заготовки при электроконтакной резке. Разработан способ усовершенствования электроконтактной резки с целью улучшения технологических показателей процесса за счет регулирования температуры в зоне реза при соблюдении рассчитанных режимов обработки.

Ключевые слова: электроконтактная резка, регулирование температуры, режимы обработки.

Электроконтактная обработка основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом-инструментом и удалении размягченного или расплавленного металла из зоны обработки механическим способом: относительным движением заготовки или инструмента.

Отличительным признаком электроконтактной обработки является механический способ генерирования импульсов путем прерывистого контактирования вращающегося дискового электрода-инструмента с обрабатываемой деталью (http://elib.ispu.ru/library/lessons/tretyakova/index.html).

Предметом исследования являются процессы теплообмена, происходящие в зоне контакта обрабатываемой детали и дискового электрода-инструмента, осуществляющего резку с определенной скоростью вращения и подачей.

Для расчета процесса нагрева и охлаждения металла при электроконтактной резке необходимо выбрать подходящую расчетную схему, выделяющую основные особенности рассматриваемого процесса и пренебрегающую второстепенными. Рациональный выбор расчетной схемы упрощает расчет и позволяет более четко выявить влияние основных параметров процесса.

В зависимости от формы и размеров изделия и от длительности процесса распространения тепла выбирается схема нагреваемого тела. Исходя из условий процесса электроконтактной резки, выбираем пластину малой толщины, поток тепла в пластине плоский. При расчетах обязательно учитываем теплообмен пластины с окружающей средой. Ввиду малой толщины пластины пренебрегаем неравномерностью распределения температуры, считаем ее осредненной по толщине. Источник тепла в соответствии со схемой нагреваемого тела в нашем случае может быть точечным или линейным, перемещающимся с постоянной скоростью [1].

Зона резания представляет собой систему тепловыделения и теплоотвода. Тепловыделение в этой зоне происходит из-за повышенного электрического сопротивления зоны контакта и трения между инструментом и заготовкой, теплоотвод – в основном за счет теплопроводности.

Задача проводимых исследований заключается в моделировании теплообменных процессов электроконтактной резки металла быстровращающимся диском, экспериментальном подтверждении результатов решения задачи на математической модели и установлении анали-

тической зависимости между подачей электрода-инструмента, режимами резки (электрическими параметрами) и теплофизическими свойствами материала исследуемых образцов.

Решение задачи моделирования теплообменных процессов связано с определением поля температур. Для установления зависимости между величинами, характеризующими явление теплопроводности, воспользуемся методом математической физики. В настоящее время для решения задач математической физики наибольшее распространение получил метод конечных элементов.

При этом методе исходная область определения функции разбивается с помощью сетки, в нашем случае неравномерной, на отдельные подобласти – конечные элементы. В качестве примера на рис. 1 представлена конечно-элементная сетка математической модели для цилиндрического полого образца.

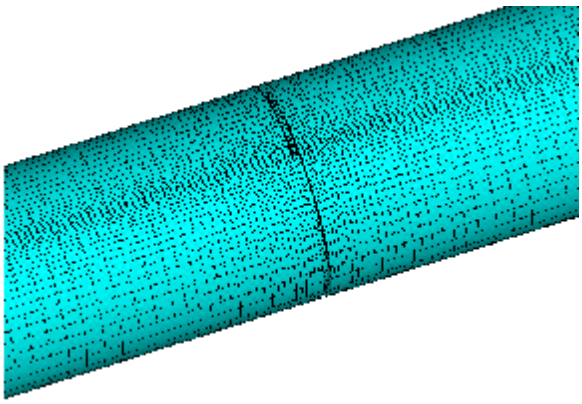


Рис. 1. Конечно-элементная сетка математической модели исследуемого образца

На рисунке видно, что сетка имеет специальное сгущение в месте контакта диска инструмента с обрабатываемой деталью, это обеспечивает более точное решение задачи.

Искомая непрерывная функция аппроксимируется кусочно-непрерывной, определенной на множестве конечных элементов. Аппроксимация может задаваться произвольным образом, но чаще всего для этих целей используются полиномы, которые подбираются так, чтобы обеспечить непрерывность искомой функции в узлах на границах элементов, такая методика расчета используется в программе Ansys.

Моделирование тепловых процессов при электроконтактной резке проводилось для следующих образцов: стального прутка, алюминиевой трубы, стальной трубы, медной трубы, титановой пластины.

При разработке математической модели принято, что распределение температуры по объему обрабатываемой детали описывается трехмерным стационарным уравнением теплопроводности, представленном в виде

$$\operatorname{div}\left(\lambda\left(T\right)\operatorname{grad}\left(T\right)\right)=0\,,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); T – температура, К.

Теплофизические свойства материала обрабатываемых образцов использовались как функции от температуры. На наружных поверхностях было задано граничное условие третьего рода:

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial n}=\alpha_{\Sigma}\left(T-T_{\text{ос}}\right)\,,$$

где T – температура металла, К; $T_{\text{ос}}$ – температура окружающей среды, К; α_{Σ} – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^2·К).

На торцевых поверхностях заданы граничные условия второго рода:

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial n}=0\,.$$

В зоне контакта электрода-инструмента (диска) с обрабатываемой заготовкой задан тепловой поток, определяемый электрическими параметрами (режимами) резки.

Система нелинейных алгебраических уравнений в нашей задаче решалась с помощью итерационного метода Ньютона–Рафсона (http://www-sbras.nsc.ru/rus/textbooks/akhmerov/mo/4.html). Определяемой величиной является температура, для которой составлены полиномы.

$$a_{11}t + a_{12}t + .. + a_{1n}t = 0,$$
$$a_{21}t + a_{22}t + .. + a_{2n}t = 0,$$
$$a_{31}t + a_{32}t + .. + a_{3n}t = 0,$$
$$\ldots$$
$$a_{n1}t + a_{n2}t + .. + a_{nn}t = 0,$$

где a_{ij} – коэффициенты, учитывающие теплофизические параметры материала, зависящие от температуры; t – температура в узлах сетки, °С.

Нелинейность уравнений объясняется зависимостью теплопроводности материала от температуры. Задача решена методом конечных элементов при помощи программы Ansys.

В качестве примера на рис. 2–4 приведены расчетные температурные поля алюминиевого образца (трубы), стального (прутка) и титанового образца (пластины).

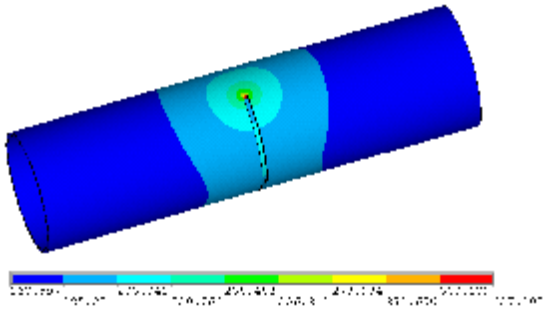


Рис. 2. Распределение температурных полей в алюминиевой трубе

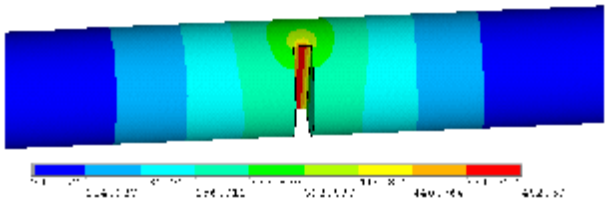


Рис. 3. Распределение температурных полей в стальном прутке

Расчет температурных полей проведен при разных режимах резки, заданных на основе опытных данных. Анализ полученных результатов говорит о том, что резка металла может осуществляться как при температуре плавления в зоне контакта режущего диска и заготовки, так и при температуре рекристаллизации.

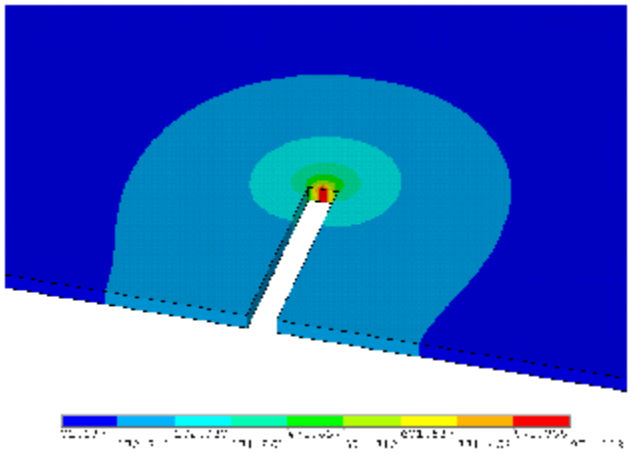


Рис. 4. Распределение температурных полей в титановой пластине

Температура рекристаллизации определяется по следующему выражению [2]:

$$T_р = 0{,}5\ldots0{,}6\,T_{пл},$$

где $T_р$ – температура рекристаллизации металла; $T_{пл}$ – температура плавления металла.

Резка при температуре рекристаллизации позволит значительно снизить удельные энергозатраты и улучшить технологические показатели процесса. Для обеспечения данной температуры в зоне контакта электрода-инструмента и обрабатываемой детали необходимо соблюдать соответствующие режимы резки: напряжение, силу тока и подачу электрода-инструмента.

Апробация математической модели проводилась путем сравнения полученных результатов с данными опытов.

Резка проведена на образцах: стальном прутке (сталь У8А), алюминиевой трубе (Д16), стальной трубе (12Х18Н10Т), медной трубе (М1) титановой пластины (ВТ1).

Геометрия образцов представлена в таблице.

Сравнение указывает на правильный характер распределения температуры, поскольку металлографический анализ исследуемых образцов подтверждает, что температура в зоне контакта электрода-инструмента и обрабатываемой детали соответствует температуре рекристаллизации.

Микроструктура исследуемых образцов представлена на рис. 5.

Микроструктура стального образца из стали марки У8 (рис. 5, *а*) является однородной, нет разграничения по зонам, отсутствует дендритная структура, что говорит о том, что оплавления в процессе резки не происходило.

При анализе алюминиевого образца (рис. 5, *б*) видно, что резка трубы из алюминиевого сплава приводит к отслоению верхнего слоя. Частички металла как бы прилипают к поверхности, образуя неровную «корочку». Оплавления при резке не происходит.

Более глубокое металлографическое исследование структуры показало, что в поперечном сечении трубы наблюдаются 3 зоны. Первая (ближе к краю) и третья (центральная) зоны мелкозернистые, образуют дисперсную «корочку» на поверхности за счет отвода тепла вглубь металла и во внешнюю среду (воздух). Это приводит к ускоренному охлаждению и, как следствие, получению мелкозернистой структуры. Такое распределение структуры связано с температурным градиентом по сечению трубы, независимо от силы тока, подаваемой при резке. Также наличие этих зон наблюдается при изучении продольного разреза трубы, т. е. в зоне контакта с режущим инструментом.

Металлографический анализ образца марки ВТ1 (рис. 5, *в*) показывает, что зона термического воздействия очень узкая, оплавления не произошло. У кромки структура мелкозернистая, зерна имеют четкую геометрическую форму, к центру происходит укрупнение зерна.

При металлографическом исследовании медных образцов видно, что за счет теплопроводности рост зерен происходит быстрее и глубина измененных слоев больше, чем у алюминиевых образцов. Поверхностные отделения размягченного слоя показаны на рис. 5, *г*. Кусочки металла как бы приклеены к поверхности трубы. Они не образуют сплошности и имеют пустые пространства.

Анализ структуры образца из стали в поперечном сечении показывает по внешнему краю столбчатые кристаллы твердого раствора, далее структуру в виде сот (рис. 5, *д*).

Это говорит об оплавлении при резке на рабочем токе 35…45 А. При уменьшении силы тока и подачи электрода-инструмента резка образцов из стали 12Х18Н10Т проходит при температуре рекристаллизации.

В результате проведенного исследования получены следующие выводы. Во-первых, расчетная схема выбрана верно, что подтверждается распределением температурных полей по толщине исследуемых образцов. Во-вторых, совпадение теоретических предпосылок с практическими результатами свидетельствует об адекватности выбранной модели. В-третьих, разработанный способ электроконтактной резки металла позволяет снизить

Геометрические параметры исследуемых образцов

Материал	Диаметр, мм		Толщина, мм
	$D_н$	$D_в$	
Алюминий (труба)	40,88	38,60	2,28
Сталь 12Х18Н10Т (труба)	16.1	13.5	1,3
Медь М1 (труба)	8,45	6,55	1,9
СтальУ8А (пруток)	12,5		–
Титан ВТ1 (пластина)	20,5		1,6

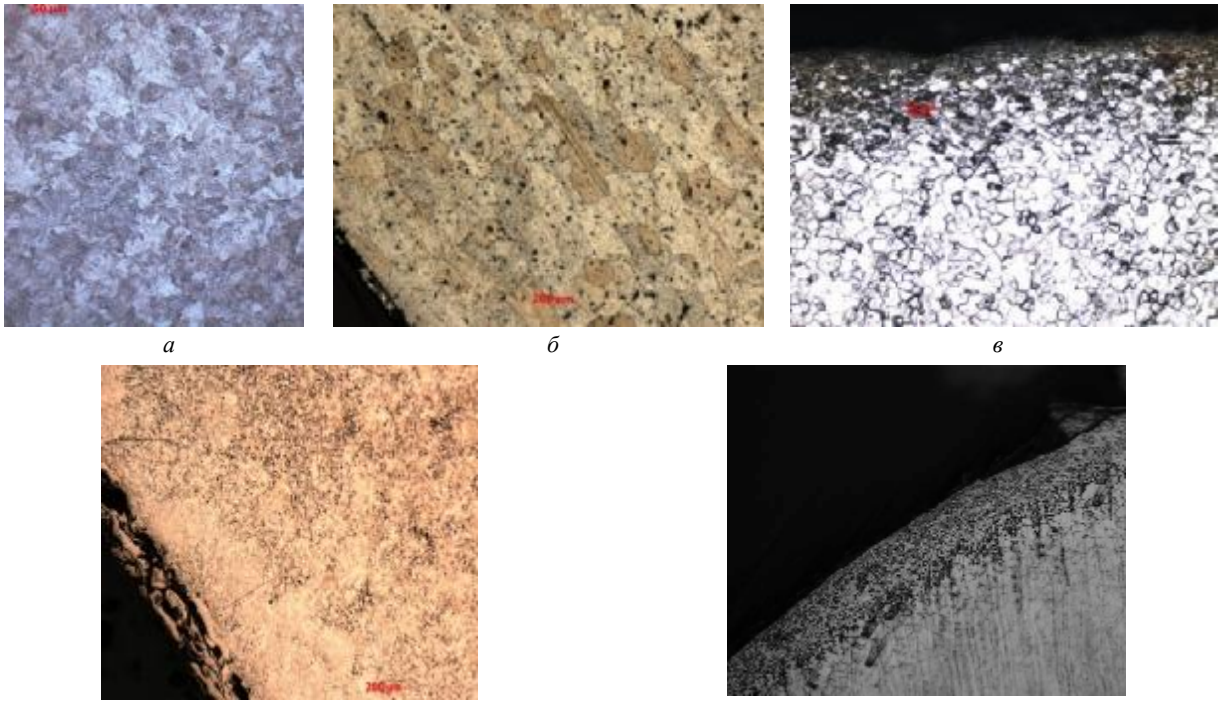
удельные энергозатраты при обработке металла и упростить реализацию метода путем подачи электрода-инструмента со скоростью, зависящей от температуры рекристаллизации, теплофизических свойств металла и толщины обрабатываемой заготовки [3].

Библиографические ссылки

1. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М. : МАШГИЗ, 1951.

2. Евстратов В. А. Теория обработки металлов и сплавов. Харьков : Вища шк. : Изд-во при Харьк. ун-те, 1981.

3. Исследование влияния теплообменных процессов на удельные энергозатраты при электроконтактной резке металла / Т. А. Веретнова [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 2(23). 2009. С. 241–246.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 5. Микроструктура образцов:
а – сталь У8А; *б* – алюминий Д16; *в* – титан ВТ1; *г* – медь М1; *д* – сталь 12Х18Н10Т

T. A. Veretnova, A. A. Kovalyova, I. Ya. Shestakov, S. M. Tinkova, A. A. Pyanikh

MODELING OF HEAT EXCHANGE PROCESSES UNDER ELECTROCONTACT CUTTING OF METALS

The article offers mathematical model of thermal condition of a work-piece during electrocontact cutting. The offered way of improvement of electrocontact cutting is developed in order to improve the technological efficiency of the process at the expense of temperature regulation in cutting zone under the calculated modes of processing.

Keywords: electrocontact cutting, temperature regulation.

© Веретнова Т. А., Ковалева А. А., Шестаков И. Я., Тинькова С. М., Пьяных А. А., 2010

УДК 621.791.971

А. А. Безруких, Р. А. Мейстер, М. А. Лубнин, С. А. Готовко

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПЛАВКИ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ ДЛЯ СВАРКИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Приведены результаты сравнительного металлографического анализа наплавок различными способами покрытыми электродами аустенитного класса для сварки нержавеющих сталей. Показаны преимущества высокоэффективного процесса наплавки независимой трехфазной дугой.

Ключевые слова: наплавка, аустенит, независимая трехфазная дуга, плавящиеся электроды.

Объекты аэрокосмической техники оснащаются, исходя из требований эксплуатации, узлами и деталями с повышенной жаростойкостью и жаропрочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью и т. д., что требует дорогостоящих материалов. В данном случае экономичным является применение высокоэффективных наплавочных процессов независимой трехфазной дугой высоколегированными стальными электродами.

Наплавка, как и сварка, связана с нагревом металлов в широком интервале температур и последующим охлаждением нагретых зон с разными скоростями. Это приводит к сложным структурным и фазовым изменениям, имеющим определяющее значение для указанных выше свойств. Наплавленный металл образуется при кристаллизации жидкого электродного и оплавленного основного металла, приобретая литое строение. Оно зависит от условий плавления и кристаллизации расплавленного металла при наплавочном цикле, от химического состава и типа диаграммы состояния данного сплава, от диффузионных процессов в жидком и твердом состоянии, от структурных и фазовых превращений при охлаждении в твердом состоянии, а также от напряжений и деформаций [1].

Характер участка сплавления валика с основой имеет большое значение для свойств и работоспособности наплавки, особенно из разнородных металлов и различных по составу и структурному классу сталей. Он определяет надежность связи наплавленного металла с основным. Основным металлом обычно является низко- или среднеуглеродистая сталь, а наплавленным – высокоуглеродистый, высоколегированный сплав. Строение и свойства участка сплавления этих двух материалов будут зависеть от степени проплавления, характера промежуточных сплавов и диффузии углерода в приграничных участках. Структурное состояние участка сплавления, а следовательно, и его свойства зависят также от диффузии углерода из наплавленного металла в основной и наоборот.

При наплавке на низкоуглеродистую сталь (0,2 % С), в зависимости от состава наплавляемого металла, в зоне сплавления могут получаться структуры с превалирующим количеством мартенсита или аустенита, в зависимости от содержания углерода (рис. 1).

Качество наплавки определяется комплексом механических и специальных свойств, являющихся, как правило, структурно чувствительными характеристиками. Оценка строения и структуры позволяет характеризовать качество и свойства материала, а также управлять структурными и фазовыми превращениями, регулируя параметры технологического процесса. Эта задача решается с помощью методов металловедения с учетом специфических особенностей, характерных для сварных соединений и наплавки. Они связаны с тем, что соответствующие структурные превращения протекают в неравновесных условиях, а температура нагрева значительно выше, чем, например, при термической обработке. Резко отличаются при этом и условия кристаллизации, определяемые характером тепловых полей и малыми объемами зоны расплавления в сравнении с литейными процессами [2].

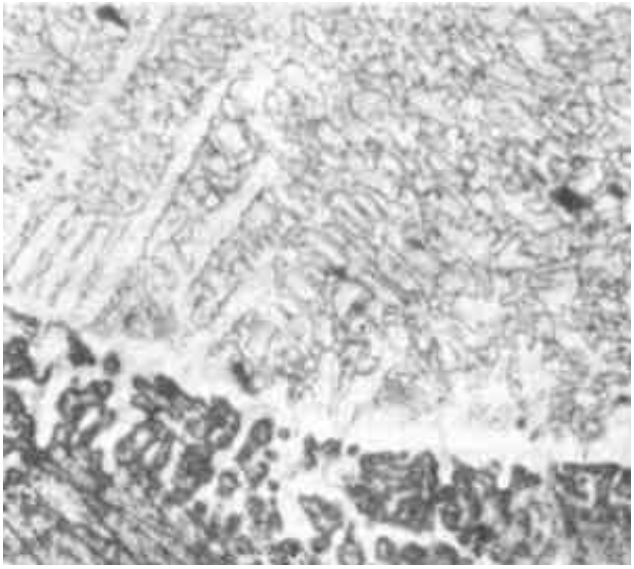


Рис. 1. Микроструктура участка сплавления основного металла стали 20 с наплавленным типа 05Х2М, ×550 [1]

Важнейшими легирующими элементами высоколегированных сталей являются хром, никель и марганец. Марганец и никель снижают температуру γ–α-превращения, вследствие чего при относительно больших их содержаниях в сталях аустенитная структура стабильна при нормальных (комнатных) температурах. Лучшие свойства имеют аустенитные стали, содержащие как хром, так и никель. Они не склонны к росту зерна, а α-фаза образуется в аустените значительно медленнее, чем в феррите из-за меньших скоростей диффузии.

В металле, наплавленном аустенитными материалами, как правило, вторичная кристаллизация не происходит из-за высокой стабильности аустенита, а в процессе дальнейшего охлаждения после затвердевания фиксируется структура первичной кристаллизации. В зависимости от содержания хрома и никеля, сталь может иметь аустенитную или аустенитно-ферритную структуру. При

недостаточном содержании никеля и хрома металл наплавки может иметь вторичную аустенитно-мартенситную структуру [3]. Фазовый состав наплавленного металла определяется с помощью диаграммы Шеффлера.

На свойства металла наплавки и на образующуюся структуру наплавленного слоя большое влияние оказывает перемешивание основного и присадочного металлов. Обычно стремятся к небольшому перемешиванию наплавленного металла с основным.

При наплавке многих высоколегированных сплавов в переходе от наплавленного металла к основному образуется бесструктурная узкая зона, называемая также белой зоной. Эта низкоуглеродистая светлая, легированная, узкая переходная зона, имеющая мелкую структуру, должна представлять собой нетравящийся мартенсит или никель-железный твердый раствор. При наплавке нержавеющих сталей на нелегированную сталь образуется резко выраженная переходная зона между наплавленным и основным металлом достаточно большой ширины.

В данной работе проведено исследование наплавки тремя способами плавящимися электродами для сварки нержавеющих и жаростойких сталей марки ОК61. 30 ∅2,5. Ниже приведена их характеристика (табл. 1), химический состав и механические свойства наплавленного материала (табл. 2) и режимы наплавки (табл. 3).

Электрод ОК61. 30 со сверхнизким содержанием углерода является универсальным для сварки нержавеющих сталей. Он легко зажигается (в том числе и повторно), дает хорошее формирование валика, шлак самоотделяется. Материал электрода обеспечивает стойкость против межкристаллитной коррозии.

Из образцов наплавки электродами ОК61. 30 / E308L-17n ∅2,5 изготовлены шлифы для выявления характера микроструктуры электротравлением в щавелевой кислоте. Металлографические исследования проводились под микроскопами МБС-10 и МЕТАМ ЛВ-31. Снимки макро- и микроструктур приведены на рис. 2.

Валик обычной наплавки одним электродом (рис. 2, *а*) характеризуется значительной степенью проплавления в основной металл, малой высотой и шириной, резко выраженной границей в переходной зоне. Микроструктура середины валика наплавки в поперечном сечении имеет монослойное аустенитное строение (рис. 2, *г*). Очевидна пористость. Линия сплавления волнистая, четкая. В сечении можно выделить переходную зону с прослойками однородного белого металла у линии сплавления (вероятно – никеля). Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, *ж*) иллюстрирует глубокое проплавление.

Валик, наплавленный расщепленным электродом (рис. 2, *б*) характеризуется пониженной степенью проплавления в основной металл, средней высотой и шириной, резко выраженной границей в переходной зоне. Микроструктура середины валика наплавки в поперечном сечении имеет слоистое аустенитное строение (рис. 2, *д*). Пористость – незначительная. Линия сплавления относительно ровная, четкая. Хорошо видна переходная зона с однородной белой прослойкой у линии сплавления. Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, *з*) иллюстрирует проплавление средней глубины.

Валик, наплавленный независимой дугой тремя электродами [4] (рис. 2, *в*), характеризуется: минимальным

Таблица 1

Характеристика электродов

Параметр	Описание
Марка электрода	ОК61. 30
Тип электрода (международное обозначение)	Э-02Х20Н10Г2 / ГОСТ 10052-75 (E308L-17n / AWS 5.4-92; E19 9LR12 / EN 1600)
Тип покрытия	рутиловый
Свариваемые стали	03Х18Н11, 12Х18Н10Т, 06Х18Н11, 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 304 и т. п.
Жаростойкость, °С	до 875
Ток	= + / ~
$U_{х.х}$, В	55
Положение	1, 2, 3, 4, 6

Таблица 2

Химический состав и механические свойства металла, наплавленного электродами ОК61. 30

Химический состав					Механические свойства				
C	Si	Mn	Cr	Ni	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость KV при +20° С, Дж	Ферритное число, FN
					МПа				
0,03	0,8	0,8	19,5	10,0	420	570	45	70	3…10

Таблица 3

Режимы наплавки образцов электродами ОК61. 30 ∅2,5

Наплавка	Ток *I*, А	Напряжение на дуге *U*, В	Напряжение холостого хода $U_{х.х}$, В
Обычная одним электродом	80	25…30	72
Расщепленным электродом	80	25…28	98
Трехфазная независимой дугой тремя электродами	66	32…35	72

проплавлением в основной металл; значительной полнотой сечения с максимальной высотой и шириной в сравнении с наплавками другими способами; углами схождения поверхностей основного и наплавленного металла, близкими к 90°; резко выраженной границей в переходной зоне; слоистостью. Микроструктура середины валика наплавки имеет слоистое аустенитное строение (рис. 2, *е*). Пористость – незначительная. Линия сплавления ровная, четкая. Переходная зона представлена однородной прослойкой у линии сплавления (вероятно – никеля) с гребнями, вдающимися в наплавленный металл. Основной металл перетравлен. Периферийная зона (рис. 2, *и*) иллюстрирует минимальную глубину проплавления. Шлаковое включение слева в угловой зоне линии сплавления является следствием образования пазухи из-за характерной формы поперечного сечения валика с углом схождения поверхностей металла <90°. Поэтому необходима тщательная зачистка таких пазух перед наплавкой соседних валиков.

Во всех случаях очевиден резкий переход между наплавленным и основным металлом вследствие разнородности химического состава, а структура наплавленного металла имеет аустенитное строение. Аустенитный характер наплавленного металла благоприятен для придания рабочим поверхностям специфических эксплуатационных свойств. Наблюдаются прослойки белого металла у линии сплавления, описанные выше. Это особенно выражено при наплавке трехфазной независимой дугой. При трехэлектродных способах наплавленный металл имеет слоистое строение. Пористость минимальна при наплавке трехфазной независимой дугой. Данный процесс дает наименьшую из всех способов глубину проплавления в основной металл. Следовательно, применение независимой трехфазной дуги обеспечивает получение наплавленного металла без смешивания с материалом основы в первом–втором слое. Полнота сечения наплавки говорит о высокой эффективности процесса [4].

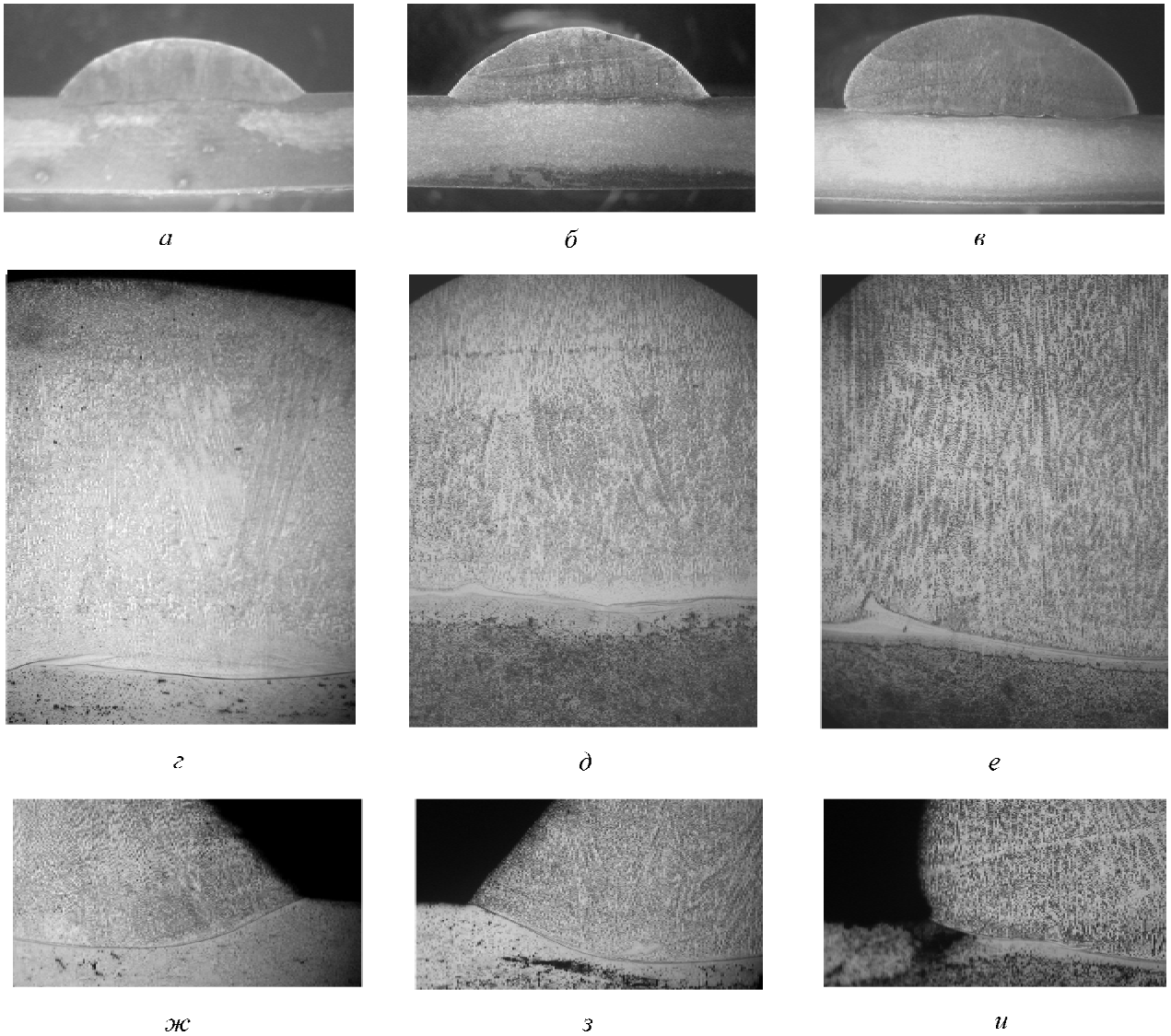


Рис. 2. Структура наплавок различными способами в поперечных сечениях валиков:
а, *г*, *ж* – одним электродом обычным способом; *б*, *д*, *з* – расщепленным электродом; *в*, *е*, *и* – трехфазная наплавка независимой дугой тремя электродами; *а*, *б*, *в* – макроснимки, ×8; микроструктура наплавки, ×50:
г, *д*, *е* – середина валика; *ж*, *з*, *и* – периферийная зона

Библиографические ссылки

1. Лившиц Л. С. Металловедение для сварщиков (сварка сталей). М. : Машиностроение, 1979.
2. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений : пер. с нем. М. : Металлургия, 1977.
3. Плазменная наплавка металлов / А. Е. Вайнерман [и др.]. Л. : Машиностроение, 1969.
4. Исследование технологических возможностей наплавки независимой трехфазной дугой плавящимися электродами / А. А. Безруких [и др.] // Вестник СибГАУ. Вып. 2 (28). 2010. С. 131–134.

A. A. Bezrukih, R. A. Meister, M. A. Lubnin, S. A. Gotovko

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT WAYS SURFACING WITH CONSUMABLE ELECTRODES FOR STAINLESS STEELS WELDING

The results of comparative metallographic analysis surfacing in different ways with coated austenitic klass electrodes for welding of stainless steels are given. The advantages of the high-deposition process by an independent three-phase arc are showen.

Keywords: surfacing, austenite, independent three-phase arc, consumable electrodes

© Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А., 2010

УДК 621.791.76

А. Б. Мишуренко, С. Н. Козловский

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ХОЛОДНОГО КОНТАКТА ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ

Рассмотрена проблема оптимизации режимов контактной точечной сварки, описана математическая модель для расчета начального сопротивления холодного контакта.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, сопротивление холодного контакта.

Практика контактной точечной сварки и многочисленные результаты опубликованных исследований однозначно подтверждают: одним из основных исходных условий получения качественных сварных соединений является оптимальность начального сопротивления контакта «деталь–деталь» $r_{КТ}$. Его величина и стабильность существенно влияет на размеры ядра, устойчивость процесса против образования выплесков и непроваров [1]. Вместе с тем до настоящего времени при разработке технологий контактной точечной сварки значение $r_{КТ}$ определяют в основном экспериментально для конкретных условий сварки, однако это весьма трудоемко.

На основе проведенных исследований было сделано заключение о том, что из всех известных и исследованных в технологии машиностроения моделей шероховатых поверхностей для свариваемых контактов наиболее приемлема стержневая [2]. Тем более, что она наиболее просто и точно описывает механику контактного взаимодействия двух шероховатых поверхностей (рис. 1).

Согласно принятой модели контакта двух шероховатых поверхностей, проводимость в контактном слое осуществляется по n_r числу единичных параллельных микропроводников диаметром d ($d \to 0$) и длиной a, образующихся деформируемыми стержнями (микровыступами). Одну составляющую полного электрического сопротивления такого микроконтакта $r_{КТ}$, которая обусловлена сопротивлением микропроводников в контактном слое, имеющих свойства, отличные от свойств основного металла, называют внутренним сопротивлением контакта $r_{КВ}$. Другую же часть, которая обусловлена искривлением линий тока j в приконтактных областях (рис. 2), где можно допустить, что свойства основного металла не изменились, называют микрогеометрическим сопротивлением контакта $r_{МГ}$. Тогда полное электрическое сопротивление контакта $r_{КТ}$ (Ом) будет равно сумме двух этих составляющих [3]:

$$r_{КТ} = r_{МГ} + r_{КВ}. \qquad (1)$$

Полное внутреннее электрическое сопротивление контакта $r_{ВН}$ (Ом) можно определить следующим образом:

$$r_{ВН} = \frac{r^*_{ВН}}{n_r} = \rho_\Delta \frac{a}{n_r \Delta S} = \rho_\Delta \frac{2R_{max}(1-\varepsilon)}{A_r}, \qquad (2)$$

где $r^*_{ВН}$ – внутреннее электрическое сопротивление единичного контакта, Ом; n_r – количество микроконтактов; ρ_Δ – удельное электрическое сопротивление металла в контактном слое, Ом·м; A_r – фактическая площадь контакта, м^2; ε – деформации в контактном слое; R_{max} – наибольшая высота неровностей профиля, м; a – текущая толщина контактного слоя, м; ΔS – средняя площадь единичного контакта, м^2.

Для принятой модели микрогеометрическое сопротивление единичного контакта $r^*_{МГ}$ (Ом) можно определить по известной зависимости, с учетом его наличия в двух деталях (рис. 2):

$$r^*_{МГ} = 2\rho\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D}\right), \qquad (3)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление свариваемого металла, Ом·м; d – диаметр цилиндрического микропроводника в контактном слое толщиной a, м; D – диаметр условного цилиндрического микропроводника вне контактного слоя, м.

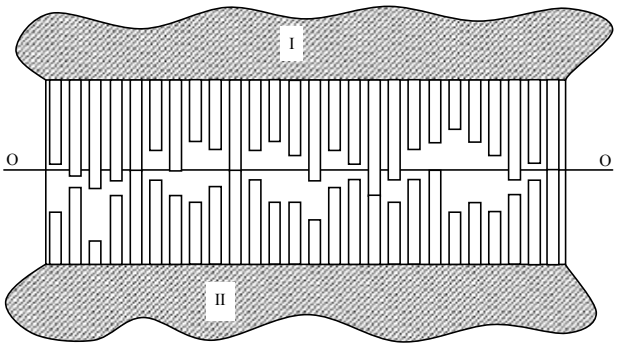


Рис. 1. Контакт двух шероховатых поверхностей. Стержневая модель

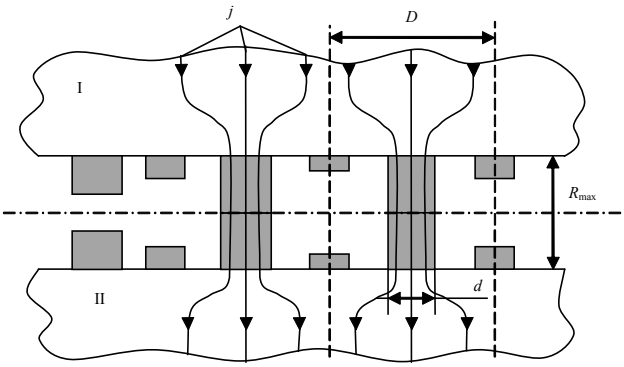


Рис. 2. Схема распределения тока по сечению свариваемых деталей для стержневой модели холодного контакта

Полное микрогеометрическое сопротивление контакта $r_{МГ}$ может быть определено по следующей зависимости [3]:

$$r_{МГ} = \frac{r^*_{МГ}}{n_r} = \frac{2\rho}{n_r}\left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D}\right). \qquad (4)$$

Для расчетов $r_{ВН}$ и $r_{МГ}$ необходимо определить механические параметры свариваемого контакта и, прежде всего, определить, какую деформацию претерпевают микровыступы, упругую или пластическую. Это можно сделать сравнением среднего давления $\sigma_{СР}$ (Па), действующего в контурной площади контакта, с критическим давлением $\sigma_К$ (Па), при котором контакт переходит в пластическое состояние.

Сравнение значений $\sigma_{СР}$ и $\sigma_К$ при усилии сжатия электродов, определенных практикой режимов контактной точечной сварки деталей толщиной 0,5…4 мм из различных сталей и сплавов, показывает, что микронеровности в свариваемых контактах всегда деформируются пластически. Например, при изменении R_{max} в пределах 37…2,4 мкм значение $\sigma_К/\sigma_{02}$ и $\sigma_{СР}/\sigma_{02}$ (в скобках) при контактной точечной сварке деталей толщиной 0,5…4 мм из сталей 08 и 12 Х 18Р10Е, а также сплава АМг6 изменяется, соответственно, в следующих пределах: $2\cdot10^{-6}$…0,03 (1,6…1,9), $1,2\cdot10^{-5}$…0,02 (1,8…2,7) и $2,5\cdot10^{-5}$…0,4 (1,8…2,9). Для пластического контакта, по сравнению с упругим, задача определения его механических параметров значительно упрощается тем, что фактическая площадь контакта зависит только от микрогеометрии поверхности, а сближение зависит лишь от распределения материала в шероховатом слое [4]. Для этих условий значение деформаций е можно определить по зависимости [2]

$$\varepsilon = \left(\frac{\sigma_{СР}}{C_\varepsilon \cdot \sigma_{02} \cdot b}\right)^{\frac{1}{v}}, \qquad (5)$$

где C_ε – коэффициент, учитывающий упрочнение металла в микронеровностях при их пластической деформации; b, v – параметры опорной кривой; σ_{02} – условный предел текучести, Па. При условии контактирования двух одинаково шероховатых поверхностей параметры опорной кривой определяются по формуле [2]

$$b = k_{v_{1,2}} \cdot 2^{v_1} \cdot b_1^2, v = 2 \cdot v_1, \qquad (6)$$

где b_1, v_1 – параметры опорных кривых; $k_{v_{1,2}}$ – коэффициент, учитывающий взаимосвязь параметров степенной аппроксимации кривой опорной поверхности.

Число микроконтактов n_r и их средний диаметр d можно определить, используя модель ситовой проводимости (рис. 3):

$$n_r = \frac{A_r}{\Delta S} = \frac{A_C \cdot \eta}{2\pi\ \Theta\varepsilon},$$

$$d = \sqrt{\frac{4\Delta A_C}{\pi}} = 2\sqrt{2\Theta\ \varepsilon}, \qquad (7)$$

где A_C – контурная площадь контакта, м^2; η – отношение фактической площади контакта к контурной площади контакта; Θ – комплекс, учитывающий влияние микрогеометрии поверхностей, м^2.

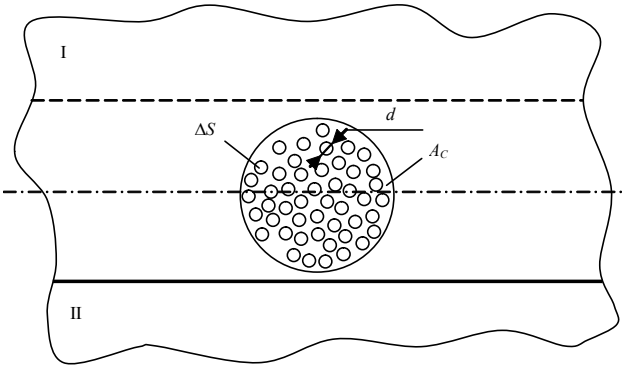


Рис. 3. Модель ситовой проводимости контакта

Среднее значение площади растекания линий тока от единичного микропроводника можно определить как площадь контактирующих микронеровностей к числу микроконтактов:

$$\Delta A_C = \frac{A_C}{n_r}, \quad (8)$$

а ее диаметр D по следующей зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{4\Delta A_C}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{2\Theta\ \varepsilon}{\eta}}. \quad (9)$$

Пользуясь результатами проведенных исследований по изучению контактного сопротивления и проведя соответствующие математические выкладки с учетом (2, 4, 7–9), была получена зависимость для расчета сопротивления свариваемого контакта:

$$r_{\text{КТ}} = \rho_\Delta \frac{2\sigma_{\text{СР}} R_{\max}\left(1-\varepsilon\right)}{F_{\text{Э}}\eta} + \rho\frac{\pi\sigma_{\text{СР}}\sqrt{2\Theta\ \varepsilon}}{2F_{\text{Э}}\eta}\left(1-\sqrt{\eta}\right). \quad (10)$$

В зависимости (10) также учитывается влияние усилия сжатия электродов сварочной машины $F_{\text{Э}}$ (Н) и среднего давления, действующего в контурной площади контакта $\sigma_{\text{СР}}$, на величину сопротивления свариваемого контакта.

Для практических расчетов $r_{\text{КТ}}$ по данной зависимости необходимо знать величину ρ_Δ. Для ее определения необходимо экспериментально измерить величину $r_{\text{КТ}}$ при любом $F_{\text{Э}}$ (наиболее рационально измерять $r_{\text{КТ}}$ при $F_{\text{Э}}$, близком к рекомендуемому, при контактной точечной сварке данных деталей), а затем рассчитать величину ρ_Δ по следующей зависимости, полученной из (10):

$$\rho_\Delta = \frac{F_{\text{Э}}\eta}{2\sigma_{\text{СР}} R_{\max}\left(1-\varepsilon\right)} \times$$

$$\times\left(r_{\text{КТ}} - \rho\frac{\pi\sigma_{\text{СР}}\sqrt{2\Theta\ \varepsilon}}{2F_{\text{Э}}\eta}\left(1-\sqrt{\eta}\right)\right). \quad (11)$$

Разработанная математическая модель позволяет по минимальному количеству экспериментальных замеров определить весь диапазон изменений контактного сопротивления холодного контакта для выбранных режимов контактной сварки. Расчеты, полученные с использованием разработанной модели, с точностью, достаточной для технологического применения, описывают поведение электрического сопротивления в контакте «деталь–деталь» $R_{\text{Д}}$ и «электрод–электрод» $R_{\text{Э}}$, о чем свидетельствуют экспериментальные и расчетные значения этих сопротивлений (рис. 4).

Применение данной модели определения контактного сопротивления позволяет повысить производительность при разработке технологических процессов контактной сварки без трудоемкого определения контактного сопротивления экспериментальным путем для конкретных условий протекания процесса сварки.

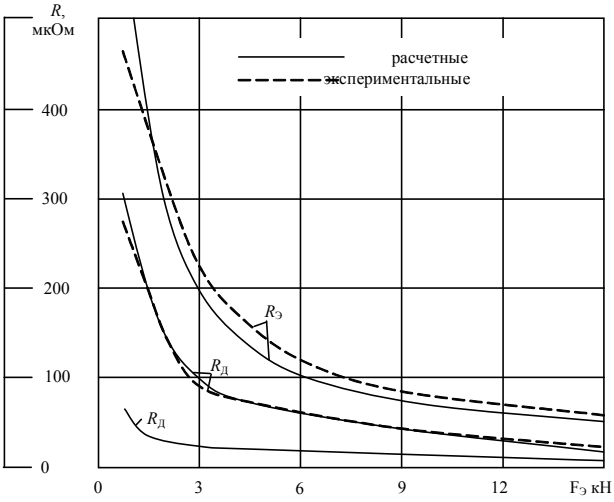


Рис. 4. Результаты экспериментальных и расчетных значений сопротивлений в контакте «деталь–деталь» $R_{\text{Д}}$ и «электрод–электрод» $R_{\text{Э}}$, в зависимости от усилия сжатия электродов сварочной машины $F_{\text{Э}}$

Библиографические ссылки

1. Козловский С. Н. Моделирование взаимодействия деталей в площади контакта при точечной сварке // Известия вузов. Машиностроение. 1990. № 9. С. 89–94.

2. Крагельский И. В., Добычин М. И., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М. : Машиностроение, 1977.

3. Кочергин К. А. Контактная сварка. Л. : Машиностроение, 1987.

4. Гаркулов Д. Н. Триботехника (Износ и безызносность). М. : Изд-во МСХА, 2001.

A. B. Mishurenko, S. N. Kozlovsky

MATHEMATICAL MODEL OF CONTACT RESISTANCE SOF COLD CONTACT AT SPOT WELDING

The paper is devoted to a problem of spot welding mode optimization and contains description of mathematical model for calculation of initial resistance of cold contact.

Keywords: spot welding, resistance of cold contact.

© Мишуренко А. Б., Козловский С. Н., 2010

УДК 528.815

Г. П. Беляков, Ю. Ю. Логинов

РАЗВИТИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ

Рассматривается актуальность и перспективы развития международной аэрокосмической системы глобального мониторинга Земли при активном участии Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева.

Ключевые слова: аэрокосмический мониторинг, околоземное космическое пространство, прогнозирование и ликвидация стихийных бедствий.

Прогноз возникновения и развития стихийных природных и техногенных явлений на Земле приобретает все большую актуальность. Прямой ежегодный ущерб от всех видов чрезвычайных явлений природы и техногенных катастроф составляет величину свыше триллиона долларов США. Данная проблема имеет ярко выраженный международный характер. При этом предупреждать стихийные явления и техногенные катастрофы на основе мониторинга их предвестников, ослаблять их последствия и быть готовыми к ним – экономически более выгодно, чем реагировать на их последствия.

В эпоху всеобщей глобализации и интеграции необходима новая стратегия освоения космоса. Ее отличие заключается в изменении парадигмы космической деятельности: переход от космической гонки для лидерства в целях экспансии и достижения господства в космосе (в XX в.) к космической деятельности, направленной на удовлетворение реальных потребностей мирового сообщества, прежде всего, в обеспечении его экологобезопасного устойчивого социоприродного развития [1].

Для решения задачи краткосрочного прогноза стихийных бедствий, в том числе землетрясений, и техногенных катастроф необходимо получение специальной, оперативной, глобальной информации о динамике изменения параметров литосферы, атмосферы и ионосферы Земли, проведение ее специализированной обработки и передачи в соответствующие органы контроля и управления, принимающие решения. Этот процесс может быть обеспечен при оптимальном построении орбитальной группировки космической системы с соответствующим составом бортовой аппаратуры в сочетании с привлекаемыми авиационными средствами и средствами наземного контроля и эффективной организации наземной инфраструктуры.

В настоящее время под эгидой Международной академии астронавтики (МАА) начата практическая реализация широкомасштабного проекта создания Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (МАКСМ) – системы, предназначенной для эффективного и адекватного прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера посредством интеграции всей имеющейся мониторинговой информации о состоянии ионосферы, атмосферы и литосферы Земли, а также околоземного космического пространства. Созданию международных космических систем мониторинга стихийных бедствий на базе многоспутниковых систем уделяется в последнее время также большое внимание.

Система МАКСМ не является альтернативой усилиям международного сообщества, направленным на ликвидацию последствий стихийных бедствий, это попытка объединить на добровольной основе наземный, авиационный и космический мониторинговый потенциал для прогнозирования опасных явлений, влекущих за собой значительный материальный ущерб.

Предложения по созданию такой системы были обсуждены и поддержаны на многих международных научных форумах 2007–2010 гг., проходивших в Днепропетровске, Украина (2007, 2009); Москве и Королеве, Россия; Тунисе; Шанхае, Китай (2008); Версале, Франция (2009); Риме, Италия; Хайфе, Израиль; Париже, Франция; Москве и Казани, Россия; Донецке и Киеве, Украина; Пекине, Китай; Бонне, Германия (2010).

На Первом специализированном Международном симпозиуме «Космос и глобальная безопасность человечества», который проходил 2–4 ноября 2009 г. в г. Лимассол (Республика Кипр), ведущие специалисты рабочей группы МАА обсудили и проанализировали возможности и перспективы данной системы. Участники кипрского симпозиума пришли к единодушному выводу, что МАКСМ будет строиться на принципах использования современных технических и технологических достижений в области мониторинга Земли, космических, авиационных и наземных средств всех стран мира. Наряду с собственными ресурсами создаваемой системы будут задействованы национальные (Китай, Франция, Индия, Италия, Россия, США, Япония) и международные (GEOSS, GMES, DMC Sentinel Asia) средства и программы, уже сегодня вносящие существенный вклад в развитие процесса обеспечения информацией о чрезвычайных ситуациях в различных регионах Земли.

Поддержка и высокая заинтересованность в проекте МАКСМ была продемонстрирована участниками из более, чем 30 стран и организаций мира во время работы Второго Международного симпозиума «Космос и глобальная безопасность человечества», прошедшего 5–9 июля 2010 г. в Риге (Латвия). Важным шагом стала инициация проекта в рамках Организации Объединенных Наций в русле программ, подобных реализуемой с 2007 г. платформе «Спайдер-ООН» (использование космической информации для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и экстренного реагирования), значимость эффективной и надежной радиосвязи для которых трудно переоценить. Принимая во внимание значительное число научных и прикладных задач, связанных с со-

зданием как самой системы, так и ее компонентов, которые могут быть решены только совместными усилиями ученых и инженеров различных стран, участники симпозиума пришли к единодушному мнению, что такой проект должен вестись и пропагандироваться Международной академией астронавтики как организацией, вобравшей мировой научный потенциал в области космической науки и техники, прежде всего, в интересах всего человечества. В феврале и июне 2010 г. в ходе недавних 47-й сессии НТК КОПУОС и 53-й сессии КОПУОС в Вене (Австрия) проект МАКСМ официально представлялся от имени МАА и Российской Федерации.

Целью создания МАКСМ является эффективное развитие и совместное использование аэрокосмического потенциала, передовых технологий мониторинга и методов обработки стран мира для обеспечения глобального оперативного и краткосрочного прогноза стихийных бедствий и техногенных катастроф в интересах снижения опасности и негативных последствий для населения и экономического потенциала мирового сообщества, на основе создания единого научно-технического и информационного пространства в области мониторинга состояния литосферы, атмосферы и ионосферы Земли.

Назначение МАКСМ – глобальный аэрокосмический мониторинг земной поверхности, атмосферы и околоземного пространства с передачей данных наблюдений в наземные центры управления в кризисных ситуациях в квазиреальном масштабе времени в интересах решения задач прогнозирования и предупреждения о стихийных бедствиях и техногенных катастрофах. Кроме того, система позволит производить высокоточное определение координат местоположения объектов, в том числе в интересах повышения эффективности эвакуационных мероприятий, перевозок пассажиров и грузов, а также обеспечить дистанционное обучение специалистов как по мониторингу, так и по любым другим направлениям человеческой деятельности. Объединение в этом масштабном проекте космического потенциала мирового сообщества для решения современных экологических и гуманитарных проблем планетарного масштаба становится реальной альтернативой продолжающейся в течение полувека тенденции превращения космического пространства в арену военного, экономического и информационного противоборства.

Космический сегмент МАКСМ включает орбитальную группировку, состоящую из космических аппаратов (КА), расположенных на разных орбитах – низких и геостационарных. При достижении необходимых международных договоренностей, участниками проекта МАКСМ будет использоваться дополнительная информация, получаемая с КА международных систем мониторинга стихийных бедствий, таких как GEOSS, GMES, DMC, Международная хартия «Космос и крупные катастрофы», «Дозорные Азии».

Наземный сегмент МАКСМ включает наземные комплексы выведения и управления КА (ракетно-космические комплексы, наземный комплекс управления КА), наземный специальный комплекс. Используемые для запуска КА МАКСМ комплексы средств выведения должны предусматривать возможность одиночного, попутного и пакетного выведения микро- и малых КА с использованием ракетно-космических комплексов, развернутых на российских и зарубежных космодромах.

В реализации проекта МАКСМ наряду с международными организациями участвуют ведущие предприятия космической отрасли России, Белоруссии, Украины и Казахстана, а также ГОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева» и базовое предприятие вуза – ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева».

Геополитические особенности Красноярского края (протяженная территория с разнообразным рельефом и климатом, высокая доля слабо освоенных и труднодоступных зон, большие запасы природных ресурсов и другие факторы) объективно приводят к необходимости использования таких преимуществ космических систем, как глобальность и непрерывность связи, управления и передачи данных, навигационного, гидрометеорологического, картографического и других видов обеспечения. В этих условиях эффективное использование результатов космической деятельности и их интеграция с реальными процессами обеспечения жизнедеятельности органов государственной власти и населения приобретает значение стратегического фактора для дальнейшего ускорения социально-экономического развития региона, предотвращения стихийных бедствий и катастроф. Исходя из этого, а также в целях эффективной организации научно-исследовательской, технологической и образовательной деятельности в области использования результатов космической деятельности, оказания услуг потребителям, на базе СибГАУ, ОАО «ИСС» и КНЦ СО РАН в 2010 г. создан Региональный научно-технологический центр космических услуг [2], задачи которого хорошо согласуются с задачами МАКСМ.

Для координации работ по проекту МАКСМ, в целях его продвижения и поддержки на национальном и международном уровнях, создан Международный общественный комитет по реализации проекта МАКСМ, включающий в себя пять профильных подкомитетов: научно-технический; политико-правовой; организационный; финансово-экономический; гуманитарный (см. рисунок).

Председателем комитета является глава Роскосмоса А. Н. Перминов, сопредседателем – президент Международной академии астронавтики J. M. Contant. В состав комитета от ОАО «ИСС» и СибГАУ входят генеральный конструктор и генеральный директор Н. А. Тестоедов и проректор СибГАУ Ю. Ю. Логинов соответственно.

Основными задачами комитета являются следующие:

– системное управление проектом;

– политическая и международно-правовая поддержка проекта;

– налаживание сотрудничества и координация взаимодействия государств-участников;

– организация НИР и ОКР в межгосударственной кооперации;

– научно-техническое, финансово-экономическое и организационное сопровождение проекта МАКСМ на всех этапах «жизненного цикла» системы.

Научно-технический подкомитет осуществляет научно-техническое сопровождение процесса создания

МАКСМ на всех этапах, включая сбор, обобщение, систематизацию и оценку аппаратной реализуемости методов, методик и технологий прогнозирования стихийных бедствий и техногенных катастроф; поиск новой научной информации о предвестниках стихийных бедствий в ионосфере, атмосфере и литосфере Земли, способах и методах их эффективного выявления и регистрации; систематизацию данных о существующей инфраструктуре предупреждения об астероидной опасности; разработку и создание КА, микроспутников и их бортовой аппаратуры прогнозного мониторинга в международной кооперации (включая НИР, ОКР, производство и закупки); развертывание и управление группировкой собственного орбитального сегмента МАКСМ.

Политико-правовой подкомитет осуществляет комплексное решение политических и правовых вопросов, возникающих в процессе создания МАКСМ на всех его этапах, проводит анализ международно-правовых аспектов осуществления проекта и проблем национального права, возникающих в связи с международной кооперацией.

Организационный подкомитет координирует усилия участников проекта на международном уровне, устанавливает и поддерживает сотрудничество с институтами ООН, с профильными международными и национальными общественными организациями, осуществляет системную увязку элементов проекта в широкой международной кооперации на всех этапах реализации МАКСМ.

Финансово-экономический подкомитет решает вопросы поиска финансирования проекта, привлечения государственных, межгосударственных и частных инвестиций, анализа технико-экономических оценок в рамках реализации проекта, маркетинга международного рынка услуг по мониторингу стихийных бедствий и техногенных катастроф, оценки возможностей продажи информации, получаемой с использованием собственного космического потенциала МАКСМ.

Гуманитарный подкомитет отвечает за вопросы использования информационно-навигационных и телекоммуникационных ресурсов МАСКСМ в интересах медицины катастроф и проведения мероприятий в чрезвычайных ситуациях; развития дистанционного обучения и подготовки специалистов в различных областях; развития телематической функции МАКСМ в интересах создания системы транспортных коридоров, оптимизации перемещения людей и грузов; использования ресурсов МАКСМ в интересах осуществления гуманитарных операций, ликвидации неграмотности, сохранения и распространения культурных ценностей.

Официальное формирование Международного общественного комитета по реализации проекта МАКСМ было осуществлено в ходе Второго Международного специализированного симпозиума «Космос и глобальная безопасность человечества» в Риге (Латвия) в июле 2010 г. Устав комитета и план его работы на 2011 г. были утверждены на заседании комитета в Праге в сентябре 2010 г.

Таким образом, предложенная российскими учеными и поддержанная их зарубежными коллегами концепция создания Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга, на которую предлагается

Структура Международного общественного комитета
по реализации проекта МАКСМ

возложить комплексное решение широчайшего спектра прогнозных, телекоммуникационных и природоохранных задач, может стать той ключевой идеей, которая, в случае ее практической реализации, способна обозначить начало новой, единой стратегии освоения космоса, направленной на обеспечение экологически безопасного и социально устойчивого развития всего мирового сообщества с опорой на общие, непреходящие ценности сохранения жизни на планете.

Участие СибГАУ совместно с базовым предприятием ОАО «ИСС» в качестве полноправных членов в реализации этого проекта и работе Международного общественного комитета по реализации проекта МАКСМ является крайне актуальным и свидетельствует о признании вуза на международном уровне. Своевременное создание Регионального научно-технологического центра космических услуг при СибГАУ с участием КНЦ СО РАН и ОАО «ИСС» является стратегическим решением и вписывается в общую концепцию МАКСМ.

Библиографические ссылки

1. Perminov A. N., Menshikov V. A. Space and Security of Humanity // Space and Global Security of Humanity : Proc. of First Spec. Int. Symp. M. : NIIKS, 2009. P. 10.

2. Beliakov G. P., Veysov Y. A., Loginov Yu. Yu. Applying results of space activity in the social-economical development of the Krasnoyarsk region // Space and Global Security of Humanity : Proc. of the 2nd Int. Symp. (5–9 July, Riga). Riga : Transp. Telecom. Instit. 2010. P. 9–10.

G. P. Belyakov, Yu. Yu. Loginov

DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL AEROSPACE SYSTEM FOR GLOBAL EARTH MONITORING

The relevance and prospects for the development of international aerospace system for global Earth monitoring with the active participation of the Siberian State Aerospace University named after M. F. Reshetnev are discussed.

Keywords: aerospace monitoring, near-Earth space, forecasting and disaster management.

© Беляков Г. П., Логинов Ю. Ю., 2010

УДК 338.3.001.76

A. A. Lukyanova, I. V. Ryabishchuk, I. S. Ushanova

INNOVATIVE POTENTIAL AS THE BASIS OF DEFENCE INDUSTRY COMPLEX ENTERPRISES COMPETITIVENESS

In this article the formation mechanism and development factors of innovative potential of defence industry complex enterprises are considered as bases of their competitiveness in the conditions of economy transformation.

Keywords: innovative potential, economy development, enterprises of defense industry complex.

The defence industry complex (DIC) is an integral part of the Russian economy and includes the research, design and experimental potential making the unified system for creation of not only modern kinds of armament and military technology, but also the high technology of commercial value and complex home appliances. DIC carries out more than 75 % of all scientific production made in the country. In defence industries over 50 % of all research assistants are occupied.

At a sufficient innovative susceptibility, DIC is capable to play an important role in maintenance of new quality and rates of economy development in Russia, strengthening its economic safety from external and internal threats.

Taking a leading place in maintenance of defensive power and safety of the state, DIC plays a considerable role in solving social and economic problems of the country and technical re-equipment of the major spheres of economy: transport, communication, fuel and energy complex, public health services, etc. As the most hi-tech segment of domestic mechanical engineering DIC can't develop separately from a common industrial complex, its transformations and development should correspond to the general strategy and logic of national economy development as a whole.

The defence industry complex plays the key role in realization of innovative economy development, what in its turn, requires at the present stage the strengthening of innovative state policy component in the specified sphere. Therefore, accelerated DIC development is defined among priority directions of a social and economic policy of the Government of the Russian Federation.

The DIC innovative development as a system of interconnected enterprises depends on degree of competitiveness and a level of development of the given enterprises, their interrelations. The estimation of innovative potential of DIC enterprises gets the key value as it allows to

define the necessary stock of resources and possibilities for maintenance of strategic innovative and current activity.

Necessary state control in management of strategic enterprises and organizations should be thus provided, measures on prevention of their bankruptcy, and also an effective utilization of state ownership and increase of management level and quality should be realized.

The innovative potential of the enterprise actually provides possibility for its further development. But it is important not only to possess this factor, but also to be able to effectively implement it.

The analysis of the economic literature allows to allocate some approaches to «innovative potential» concept definition.

L. F. Shaybakova and Y. A. Lebedev characterize it as the readiness and ability of this or that enterprise (organization) to carry out for the first time «or to reproduce an innovation».

A. A. Trifilova, B. Lisin, B. Fridlyanov consider that the innovative potential of the enterprise is a set of scientific, technical, technological, infrastructural, financial, legal, socio-cultural and other possibilities to provide perception and realization of innovations, i. e. reception of the innovations forming the unified system of occurrence and development of ideas and providing competitiveness of end production or services according to the purpose and strategy of the enterprise.

V. N. Gunin, V. P. Barancheyev, V. A. Ustinov, S. Y. Lyapina consider innovative potential as «the readiness measure» for the enterprises to carry out the strategy aimed at implementation of new products. At the same time, the innovative potential includes, along with technological progress, the institutional forms interfaced to mechanisms of scientific and technical development, innovative culture of the society, its susceptibility to innovations.

A number of researchers, namely: K. A. Bagrinovsky, M. A. Bendikov, V. V. Mylnik, E. Y. Khrustalyov consider that the innovative potential is everything (abilities and possibilities) that can carry out and intensify innovative activity.

Thus, in view of distinctive features of DIC enterprises development, we will consider that the innovative potential of the enterprises adheres to the following formulation of the concept: it is a set of significant indicators for DIC enterprises, combining scientific and technical, technological, personnel, financial, legal, marketing, resource and organizational administrative possibilities, the efficient management of which is directed at process of creation and realization of innovations influencing the competitiveness of end production or services according to strategy of the enterprise.

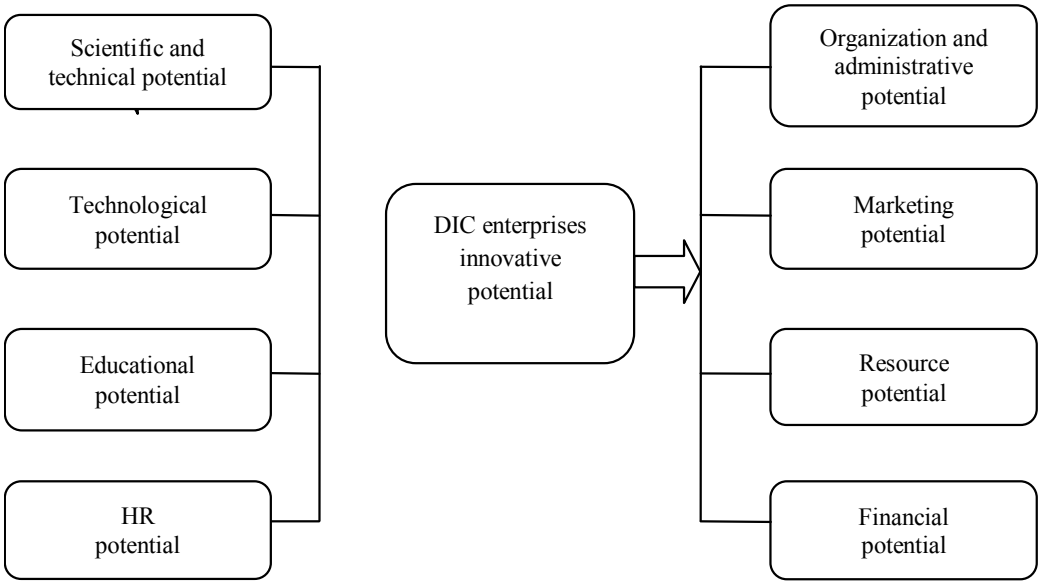
Visually the definition of the DIC enterprises innovative potential concept is presented in figure.

The interconnected components of innovative potential of DIC enterprises make the basis of its structure, each of which defines possibilities for development of the enterprise and its innovative activity.

It should be taken into account that innovative activity includes four basic components: manufacture (generation) of knowledge (science), working out of technical and economic projects (engineering), manufacture of products or services (manufacture) and achievement of economic benefit (commerce).

The DIC traditionally stimulates innovative activity in civil sectors of economy, promotes development of allied industries and diversification of economy structure as a whole, increases its competitiveness.

Certainly, integration of science, education and industry gives a considerable effect, without demanding huge capital investments as it is based on system-organizational principle instead of financial principle. However, importance of the problem is in the fact that training of more than 90 % of scientific personnel in postgraduate study and doctoral studies of the higher school of the Russian Federation gets budgetary financing not more than 10 %. In Russia there are 5 times more scientists per one thousand population, than in China, and 2,5 times higher the number of graduates in engineering specialities. And at the same time in the world market of high technology production the share of China



Innovative potential of the DIC enterprises

has reached 6 %, and Russia – less than 0,5 % [1; 2]. For elimination of the present situation it is necessary to define and solve the problems corresponding to priority directions of DIC development in interests of branches of economy, that is: aircraft engineering development and shipbuilding, the space-rocket industry, which keep competitive advantages, also at the foreign market; development of the radio-electronic complex keeping potential of import replacement, and providing state information security and solving communication problems; development and manufacture of the competitive equipment for thermal power industry to position Russia as a powerful country; development of high technology medical equipment for public health services in the country; development and manufacture of cars and the machinery for the agrarian and industrial complex (agrarian and industrial complex), domestic industry of road and housing construction and transport communications.

At level of research schools and universities it is necessary to carry out research works stimulating creation and development of innovations. In its turn, innovative potential of the enterprise is necessary for realization of innovative activity.

Estimating innovative potential of the enterprise, the management defines possibilities to develop innovative activity, implement innovations. The following stages of the organization of innovative activity at the enterprise can be defined [3]:

1. Estimation of innovative potential of the enterprise and definition of the adequate innovative aims.
2. Establishment of partnership with the research or design organizations or creation of the own innovative division.
3. Development of scientific and technical decisions to achieve innovative purposes.
4. Working out of innovative projects.
5. Integration of the innovative project into the innovative program.
6. Carrying out of organizational-structural changes.
7. Working out of a new corporate strategy on the basis of the innovative approach.

It is necessary to notice that organization of innovative activity is not limited to the above-stated stages. Such aspects, as: innovation feasibility reports, resource maintenance, estimation of investment appeal of the innovative project, risk factors estimation which can prevent successful realization of projects, are the key components for realization of innovative programs.

Dynamics of DIC development essentially depends on personnel maintenance that is the component of innovative potential. In «Bases of policy of the Russian Federation in the field of defence industry complex development» three priority personnel problems are defined: creation of the unified system of training (retraining) and employee retention; perfection of state planning and economic incentives for training (retraining) of experts; use of industrial, scientific and methodical base of DIC organizations for the educational purposes.

Last years in the DIC certain measures on retention and development of personnel potential were implemented, including those within the federal target programs «National technological base» for 2006–2010 and «Development of a defence industry complex (2006–2011)». The complex specialized program for improvement of professional skills of DIC managers, taking into account features of the integrated structures, was developed. The issues connected with organization and realization of target programs of continuous education for scientific and technical personnel in leading technical universities, were developed, but no cardinal change of the situation has occurred. To a considerable degree this discrepancy of declared aims to the received outcomes testifies a system character of this problem. A variety and scale of the problems facing DIC, dictate necessity to form the personnel basis on a wide spectrum of specialities in applied areas of science, techniques and technology. DIC prospects and success are connected with development of the system to train highly skilled experts of the new generation, capable to solve difficult technical and technological problems, get adapted quickly to dynamically changing conditions. The responsible ministry should give particular attention to technical and technological directions of personnel training and retraining and together with the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, authority structures in subjects of the Russian Federation, local governments and other interested organizations to participate in formation of quantitative and qualitative parameters of DIC requirement in corresponding experts. Experts should receive knowledge and expertise, allowing them to work, taking into account features and requirements shown at all stages of modern innovative process. Obligatory participation in federal and industry scientific-educational projects will allow to influence the content of the programs for training and retraining of personnel for DIC [4].

Analyzing realization of innovative model of the Russian economy development and in particular at the DIC enterprises now, it is necessary to note some restrictions, namely:

1. Unavailability owing to the various reasons of real sector of economy to apprehend results of the newest domestic scientific research works and developments.
2. Depreciation of the productive facilities and its out-of-date technological structure. A lack of own means for investment in development.
3. Low solvent demand for new products, a lack of qualified personnel, information and commodity markets, insufficient activity of the enterprises at high technology markets.

Considering the specified circumstances the following basic issues should be solved:

– reduction in time of the process of transferring from sphere of «knowledge generation» to the sphere of production to get economic benefit in economy branches, maintenance of thorough planning and management of processes from the development cycle to the stage of their commercial use;

– updating of industrial-technological base and organization of hi-tech manufactures, capable to apprehend an innovation;

– formation of demand for new products, creation of new ones and use of existing innovative, educational, financial infrastructures;

– strengthening of business activity and the initiative of the enterprises and organizations, increase of level and quality of management;

– consolidation of resources at the expense of various sources, creation and use of institutes and functioning of development mechanisms.

In view of new tendencies and directions of technological development in the world, the decision of the specified problems is planned in complex within the limits of the new federal target programs developed and confirmed by the Government of Russian Federation, including:

1. «The National technological base» for 2007–2011 (NTV) is aimed at working out and development of the newest critical base technologies necessary for creation and manufacture of competitive high technology civilian production.

2. «Development of a defence industry complex of the Russian Federation for 2007–2010 and for the period till 2015» provides working out and development of a significant amount of the industrial technologies focused on creation and manufacture of modern kinds of technology, and also aerospace materials. This program is urged to play a key role in updating of the DIC industrial-technological base (about 70 % from total amount of expenses under the given program make the investments directed at modernization of scientific-technological base and capacities of the organizations of the defence industry – developers and manufacturers of the major samples of military armed forces defining image of perspective system of armament).

3. «Development of civil aviation technologies in Russia for 2002–2010 and for the period till 2015» (new edition), providing formation of a scientific reserve and working out of new technological decisions in interests of creation of perspective samples of aviation technologies.

Basic changes of a competitive position in the world and internal markets, maintenance of sustainable DIC development is planned to be carried out within the close interaction of the state and business, interested in development of the domestic industry, and inclusion of Russian DIC into the international cooperation without damage to interests of national safety.

Use of a set of innovative factors in development of the enterprise activity makes the basis for its transfer to the qualitatively new stage of its development, allowing to get economic stability in the market environment and competitiveness.

Bibliography

1. Vinogradova E. B. Scientific personnel – an important resource for Russian innovative development. SPb. : Publishing house, Politechnical University. 2008.

2. Primakov E. M. Shine and poverty of the Russian economy // The Russian newspaper. 2008. 28 March.

3. Ulitsky T. R. Strategic planning tools for innovative development conversion manufactures of the space-rocket enterprises : the author's abstract of the dissertation of cand. econ. sci. : 08.00.05 / Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev. Krasnoyarsk, 2008.

4. Menshchikov V. V., Kozlov G. V., Kutuzov I. V. Modeling analysis of personnel structure age dynamics at the defence industry complex enterprises // The Industrial policy. 2008. № 6.

А. А. Лукьянова, И. В. Рябищук, И. С. Ушанова

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАК ОСНОВА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Рассматривается механизм формирования и факторы развития инновационного потенциала предприятий ОПК как основы их конкурентоспособности в условиях трансформации экономики.

Ключевые слова: инновационный потенциал, экономическое развитие, предприятия оборонно-промышленного комплекса.

© Lukyanova A. A., Ryabishchuk I. V., Ushanova I. S., 2010

УДК 332.14

Г. Я. Белякова, А. И. Фролова

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ЕНИСЕЙСКОМУ РАЙОНУ

Представлен прогноз социально-экономических показателей Енисейского района на 2009–2012 гг. Основной предпосылкой прогноза является сохранение в будущем существующей линейной тенденции развития основных социально-экономических показателей при неизменности внешних факторов, в результате чего наблюдается по-ложительная динамика роста инвестиций в основной капитал, что обусловлено реализацией крупных инвестиционных проектов.

Ключевые слова: прогноз, социально-экономические показатели, временной ряд, доверительный интервал, экспоненциальная кривая, инвестиции.

В настоящее время для вхождения в мировую хозяйственную систему каждому региону необходимо разрабатывать и формировать такие стратегии социально-экономического развития, которые позволяли бы найти формы и пути реализации имеющихся региональных преимуществ с целью повышения уровня жизни населения, а также проникновения на рынки товаров, услуг, труда и капитала из других регионов. Для этого необходимо выявлять устойчивые тенденции и закономерности социально-экономических процессов, а также факторов и причин, влияющих на них, с целью прогнозирования их воздействия на состояние и развитие региональной экономики и наоборот.

Прогнозирование социально-экономического развития является отправной точкой работы по управлению региональной экономикой. Целью социально-экономического прогнозирования развития регионов является уточнение программных мероприятий и приоритетов в развитии регионально-хозяйственного комплекса [1–3].

Енисейский район является муниципальным округом Красноярского края, расположенным в среднем течении реки Енисей. Численность населения здесь с 1998 г. снизилась на 7 017 чел. и составляет 26 324. Средний возраст населения – 42,4 года. С одной стороны, это наиболее активный трудоспособный возраст. Работники в этом возрасте достигают пика своего уровня квалификации. С другой стороны, через 5–10 лет производительность их труда начнет снижаться, и на смену им в перспективе должны прийти молодые работники, имеющаяся численность которых не обеспечивает простого замещения.

За основу региональных прогнозов в данном исследовании были взяты социально-экономические показатели Енисейского района в 2000–2008 гг. (табл. 1).

В течение 2000–2008 гг. наблюдается колебание численности зарегистрированных безработных: с 1 295 чел. в 2001 г. и до высокого уровня 2 286 чел. в 2004 г. Также был проведен анализ данных по количеству организаций в Енисейском районе. За исследуемый период наблюдается сокращение численности предприятий в среднем на 18 %, что негативно сказывается на экономике района, при этом происходит увеличение инвестиций в основной капитал с каждым периодом в среднем на 8,5 % [4]. Далее по имеющимся данным был составлен прогноз исследуемых показателей на 2009–2012 гг. с помощью анализа основных тенденций в рядах динамики.

Основной предпосылкой прогноза является сохранение в будущем существующей линейной тенденции развития основных социально-экономических показателей при неизменности внешних факторов [5].

Прогнозирование на 2009–2011 гг. численности зарегистрированных безработных определялось по уравнению

$$y = -40{,}16t^2 + 474{,}7t + 688{,}7,$$

где y – численность зарегистрированных безработных, чел.; t – период; R^2 – индекс детерминации, в данном прогнозе он равен 0,901, что свидетельствует о высокой точности трендовой модели.

Прогноз численности зарегистрированных безработных до 2011 г. в Енисейском районе представлен на рис. 1.

Фактическое число безработных на 2008 г. составило 1 667 чел., а прогнозируемое число безработных на 2009 г. составило 1 815 чел.

Аналогичным образом проведен прогноз на 2010 и 2011 гг.

Определяем доверительные интервалы данного прогноза для экспоненциальной кривой роста [5].

Доверительные интервалы прогноза рассчитывались по формуле

Таблица 1

Динамика развития основных показателей Енисейского района в 2000–2008 гг.

Показатель	Период, год								
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Численность зарегистрированных безработных, чел.	1313	1295	1507	1993	2286	2208	2030	1667	1815
Число организаций, ед.	402	370	382	460	347	366	372	379	281
Инвестиции в основной капитал, млн руб.	26,4	6,7	5,4	5	8,2	13,5	4,4	7,1	9,4

$$U_y = \hat{y}_{n+L} \pm t_\alpha S_{\hat{y}} \times$$
$$\times \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{t_L^2}{\sum t^2} + \frac{\sum t^4 - 2t_L^2 \sum t^2 + nt_l^4}{n\sum t^4 - \left(\sum t^2\right)^2}}, \qquad (1)$$

где $\hat{y}_{n+L}$ – точечный прогноз по модели на $(n+L)$-й момент времени; t_α – табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы $n-2$; n – количество наблюдений во временном ряде; $S_{\hat{y}}$ – средняя квадратическая ошибка оценки прогнозируемого показателя; t – порядковый номер уровня ряда; t_L – время, для которого делается прогноз; L – период упреждения.

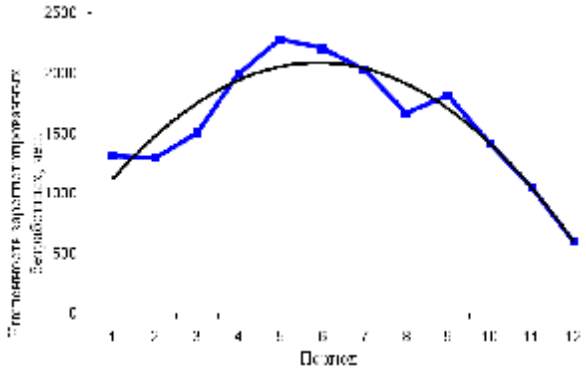


Рис. 1. Прогноз численности зарегистрированных безработных в Енисейском районе до 2011 г.

Результаты представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных, приведенных в табл. 2 (доверительный интервал), показал, что модель, на основе которой осуществлялся прогноз, признана адекватной, с доверительной вероятностью 95 %. Можно утверждать, что при сохранении сложившихся закономерностей развития прогнозируемая величина попадает в интервал, образованный нижней и верхней границами.

Так же составлен прогноз количества коммерческих организаций в Енисейском районе за исследуемый период. При этом полученный прогнозируемый показатель добавлялся в фактические данные, что позволило увеличить точность полученного прогноза.

Прогнозирование числа организаций в Енисейском районе на 2009 г. проводилось по уравнению

$$y = -2{,}864\,t^2 - 19{,}12t + 368{,}2,$$

где y – число организации, ед.; t – период; R^2 – индекс детерминации, в данном прогнозе он равен 0,855, что свидетельствует о высокой точности трендовой модели.

Данные прогноза количества организаций до 2011 г. в Енисейском районе представлены на рис. 2.

Фактически число коммерческих организаций в Енисейском районе на конец 2008 г. составило 281 ед. Прогнозируемый показатель на 2009 г. составил 273 ед. (темп роста снизился на 3 %), на 2010 г. – 232 ед. (темп роста 85 %) и в 2011 г. – 185 ед. (темп роста 80 %).

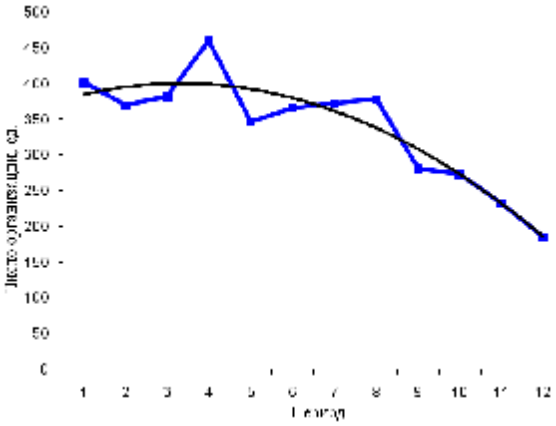


Рис. 2. Прогноз количества организаций в Енисейском районе до 2011 г.

Аналогично прогнозу численности зарегистрированной безработицы определяем доверительные интервалы прогноза количества организаций в Енисейском районе для экспоненциальной кривой роста по формуле (1). Результаты представлены в табл. 3.

Полученные данные (табл. 3) показывают, что модель, на основе которой осуществлялся прогноз, признана адекватной, с доверительной вероятностью 95 %. Следовательно, при сохранении сложившихся закономерностей развития прогнозируемая величина попадает в интервал, образованный нижней и верхней границами.

Аналогично составлен прогноз инвестиций в основной капитал за исследуемый период.

Прогнозирование инвестиций в основной капитал на 2009 г. проводилось по уравнению:

$$y = 0{,}584\,t^2 - 6{,}855t + 25{,}32,$$

где y – сумма инвестиций в основной капитал, ед.; t – период; R^2 – индекс детерминации, в данном прогнозе он равен 0,715, что свидетельствует о приемлемой точности трендовой модели.

Данные прогноза инвестиций в основной капитал до 2011 г. в Енисейском районе представлены на рис. 3.

Фактически сумма инвестиций в основной капитал в Енисейском районе в 2008 г. составила 9,4 млн руб. Прогнозируемый показатель на 2009 г. составил 15 млн руб., на 2010 г. – 20,67 млн руб. и в 2011 г. – 27,27 млн руб.

Определяем доверительные интервалы прогноза инвестиций в основной каптал в Енисейском районе до

Таблица 2

Доверительные интервалы прогноза численности зарегистрированных безработных Енисейского района

Время (t)	Шаг (L)	Точечный прогноз	Доверительный интервал прогноза 95 %	
			Верхняя граница	Нижняя граница
9	1	1 420	2 082	758
10	2	1 051	1 713	389
11	3	601	1 264	–60

2011 г. для экспоненциальной кривой роста по формуле (1). Результаты представлены в табл. 4.

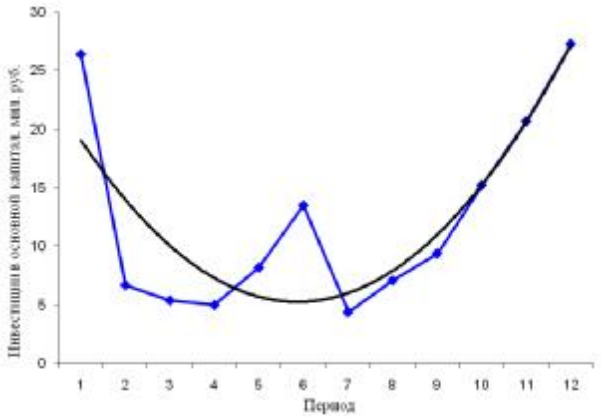


Рис. 3. Прогноз инвестиций в основной каптал в Енисейском районе до 2011 г.

Полученные данные (табл. 4) показывают, что модель признана адекватной, с доверительной вероятностью 95 %.

В полученном прогнозе наблюдается по-ложительная динамика роста такого показателя, как инвестиции в основной капитал. Это обусловлено реализацией крупных инвестиционных проектов. Социальная эффективность проекта состоит в увеличении занятости населения на всех этапах его реализации, включая увеличение рабочих мест на предприятиях в районе. Наблюдается снижение безработицы в прогнозируемых периодах, что будет свидетельствовать о результатах реализации комплекса мероприятий, предусмотренных ведомственной целевой программой «Содействие занятости населения Красноярского края».

Полученные прогнозные данные социально-экономических показателей могут быть использованы в практической деятельности администрации муниципального образования.

Библиографические ссылки

1. Мищенко В. В., Кукарская Л. И. Проблемы прогнозирования социально-экономического развития в региональной политике Российской Федерации // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 23.

2. Федосеев В. В., Гермаш А. Н. Экономико-математические методы и прикладные модели : учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ, 2000.

3. Швецов А. Систематизация инструментов перспективного планирования территориального развития: настоятельная необходимость и конкретные предложения (продолжение) // Российский экономический журнал. 2009. № 3, 4.

4. Социально-экономическое положение муниципальных районов Красноярского края // Статистика. Красноярск, 2009. № 1–19.

5. Ванчикова, Е. Н., Налетов А. Ю. Краткосрочное прогнозирование налоговых доходов бюджета региона с предварительной обработкой исходных данных методом главных компонентов // Вопросы статистики. 2009. № 2.

Таблица 3

Доверительные интервалы прогноза количества организаций в Енисейском районе

Время (t)	Шаг (L)	Точечный прогноз	Доверительный интервал прогноза 95 %	
			Верхняя граница	Нижняя граница
9	1	273	399	147
10	2	232	358	106
11	3	185	311	60

Таблица 4

Доверительные интервалы прогноза инвестиций в основной капитал в Енисейском районе

Время (t)	Шаг (L)	Точечный прогноз	Доверительный интервал прогноза 95 %	
			Верхняя граница	Нижняя граница
9	1	15,23	33,92	–3,4
10	2	20,66	39,35	1,98
11	3	27,27	45,95	8,58

G. Ya. Belyakova, A. I. Frolova

FORECASTING OF TNE LEADING SOCIAL-ECONOMIC INDEXES FOR ENISEYSK REGION

In this article we present a forecast of social-economic indexes for Eniseysk region for 2009–2012. The main factor of the forecast is stability of the existing linear trend of development of the main social-economic factors, if the external factors do not alter. As a result, we observe positive track record of growing and investments in fixed capital that is stipulated by realization of large investment projects.

Keywords: forecast, social-economic factors, time series, confidence interval, exponential curve, investments.

© Белякова Г. Я., Фролова А. И., 2010

УДК 65.11.8

Г. П. Беляков, Л. В. Ерыгина

КОНЦЕПЦИЯ РЕАКТИВНОГО ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассмотрены особенности инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности (РКП). Исследованы различные типы развития и доказано, что для предприятий РКП характерен реактивный тип развития, основанный на маржинальной доктрине. В рамках исследования была разработана концепция реактивного инновационного развития.

Ключевые слова: предприятия ракетно-космической промышленности, инновация, инновационное развитие, реактивное инновационное развитие, маржинализм, концепция реактивного инновационного развития.

Инновационное развитие является важнейшим фактором в обеспечении не только экономического роста, но и экономической безопасности государства. Оборонно-промышленный комплекс играет особую роль в экономике России. С одной стороны, он реализует задачу обеспечения обороноспособности страны, с другой – представляет собой сферу концентрации высоких технологий. В России оборонно-промышленный комплекс (ОПК) является одним из крупнейших экспортеров высокотехнологичной продукции. Входящие в него предприятия (в том числе и РКП) обладают реальным инновационным потенциалом.

В России начало 1990-х гг. ознаменовалось рядом негативных тенденций в развитии предприятий РКП и оборонно-промышленного комплекса в целом. В период кризиса 1990-х гг. наблюдался значительный спад производства и наметилось определенное отставание от заданных темпов развития. Это было вызвано тем, что финансирование предприятий комплекса осуществлялось только за счет государственного оборонного заказа, объемы которого сокращались. Государство не раз предпринимало попытки изменить ситуацию в основном с помощью программ конверсии. Однако они оказывались безуспешными не только из-за недостаточности финансирования, но и в силу абсолютно нерыночной организации предприятий. Только экономический кризис, последовавший за началом реформ, заставил приступить к кардинальному решению проблем коммерциализации деятельности РКП, ее реструктуризации, повышению эффективности за счет диверсификации и диффузии инноваций. В результате реализации указанных мероприятий доля продукции конверсионного назначения в интересах различных сфер экономики России при общем росте объемов производства РКП должна существенно возрасти (до 60 %), а ее структура качественно измениться за счет инновационной составляющей. В условиях проходящего в настоящее время международного финансового кризиса эта задача становится еще более актуальной. В связи с этим структурные изменения, происходящие в отрасли, и акционирование предприятий являются целенаправленными действиями, обеспечивающими вхождение этих предприятий в рыночную экономику.

Исследование особенностей решения рассмотренных задач на предприятиях РКП позволило сделать вывод о том, что эффективность их развития в значительной степени определяется эффективностью использования накопленного в отрасли инновационного потенциала. Отличительной особенностью такого развития является то, что коммерциализация инновационного потенциала в рамках конверсионного производства, а также осуществление диффузии инноваций создают дополнительные возможности по обеспечению устойчивости и повышению эффективности развития не только РКП, но и экономики в целом. Указанная специфика данного типа развития и рост его роли не только в обеспечении устойчивости предприятий РКП, но и в формировании инновационного потенциала основного производства требуют проведения дополнительных исследований с целью выделения отличительных признаков такого развития и определения его характеристик.

Имеющаяся в литературе характеристика признаков развития, их взаимосвязи и взаимообусловленности дает представление об основных закономерностях развития, связывающих воедино причины и следствия хозяйственного развития, проявляющиеся вследствие изменения качества функционирования экономической системы [1].

Наиболее общим признаком развития является изменение закономерностей функционирования экономической системы (табл. 1). С точки зрения степени его существенности, изменение закономерностей может быть существенным и несущественным. Представляется, что данный признак отражает сущность экономического развития, которая заключается в изменении качества функционирования экономической системы. Остальные же признаки характеризуют формы проявления этой сущности, находясь в определенной причинно-следственной связи как по отношению к данному признаку, так и по отношению друг к другу. Выявление указанных причинно-следственных связей позволяет установить наиболее важные закономерности экономического развития. Так, существенные изменения качества функционирования экономической системы приводят к значительным изменениям структуры и формы взаимосвязей ее элементов. Причем в силу масштабности этих изменений, они носят, как правило, необратимый характер. Следует также отметить, что источником наиболее существенных качественных изменений функционирования системы выступают внутренние (эндогенные) факторы [1].

Эндогенное развитие – это автономное (внутреннее) экономическое развитие, воздействующее на среду. Здесь реализуется процесс создания, выработки оригинальных решений (созидание, новаторство). Предприятие в силу

новизны или неизвестности подобных решений (технологий, товаров и т. д.) получает превосходство и делает наибольший рывок. В этом случае развитие есть реакция на появляющиеся внутренние возможности. Такое развитие связано преимущественно с созданием нового производственного потенциала предприятия. Это, безусловно, приводит к возрастанию уровня неопределенности и стихийности хозяйственных и экономических процессов.

Стихийный характер изменения закономерностей функционирования хозяйственной системы зачастую не позволяет конкретизировать цели развития, т. е. осуществить их структуризацию и дать количественное выражение. Масштабность, а также дискретность изменений, обусловленная в том числе их стихийностью, приводят к революционным изменениям практически во всех сферах деятельности предприятия: маркетинге, производстве, материально-техническом снабжении, финансах и др. [1].

При несущественных изменениях качества функционирования экономической системы происходят в основном незначительные изменения структуры и формы взаимосвязей ее элементов. Это позволяет предполагать, что данные изменения не носят необратимого характера. Источником изменений в этом случае преимущественно выступают внешние (экзогенные) факторы. При экзогенном источнике развития промышленное предприятие проводит адаптацию к изменениям возмущающих факторов экономической, социальной, технологической среды. В этом случае предприятие, чтобы выжить, активно следует за основными изменениями внешней среды, т. е. использует известные методы (способы, опыт и т. д.). В этом случае деятельность предприятия направлена на повышение эффективности использования уже созданного инновационного потенциала. Такие изменения не связаны с высоким уровнем неопределенности и являются прогнозируемыми и закономерными. Это позволяет достаточно детально структурировать основные цели развития предприятия и дать количественные оценки их достижениям. Все вышеперечисленное дает возможность предполагать эволюционный тип изменений при данном типе развития, касающихся одной или нескольких сфер деятельности предприятия. Согласно существующей типизации такое развитие называется *реактивным*.

При этом эффективность инновационной деятельности, стабильность будущих доходов напрямую зависят от объема затрат на инновацию. Это особенно важно для конверсионных инновационных программ развития предприятий РКП, поскольку используется уже произведенная инновация в области военно-технических разработок. В данном случае речь идет об инновации, которая не нуждается в стадии фундаментальных исследований, и, возможно, отсутствует стадия опытно-конструкторских разработок. Тем самым сокращается затратная составляющая инновации. В свою очередь, это делает инновацию конкурентоспособной и создает возможность привлечения дополнительного капитала для развития, в том числе и на финансовых рынках. Особо следует отметить, что коммерциализация инноваций в сфере конверсионного производства создает условия для привлечения авансированного капитала на основе платности и возвратности. Это дает дополнительные возможности для осуществления инноваций в рамках конверсии. Значительная роль авансируемого капитала в обеспечении инновационного развития предприятий РКП, а также необходимость определения его максимально возможной величины требуют оценки предельных величин затрат и продукта, от которых зависит эффективность осуществляемых инновационных проектов, т. е. их предельная эффективность.

Однако именно коммерциализация накопленного инновационного потенциала становится фактором, объясняющим обесценивание имеющихся возможностей предприятия (например, в результате утраты интеллектуального капитала или опережения конкурентами). Зависимость прироста потенциала от предельных величин затрат и продукта позволяет говорить о возможности и необходимости использования теории маржинализма для исследования инновационных процессов на предприятиях РКП.

Маржинализм (от франц. *marginal* – предельный, англ. *marginalism*) – школа экономической мысли, которая исследовала предельные величины и изучала взаимосвязь между данными целями и данными ограниченными средствами, имеющими альтернативные возможности использования. Термин «маржинальная революция» отражает *новые* методы экономического анализа, созданные школой маржинализма [2].

Таблица 1

Типология развития

Признаки развития	Типы развития	
	Креативное	Реактивное
Степень изменения закономерностей функционирования	Существенная степень изменений	Несущественная степень изменений
Источник развития	Эндогенное	Экзогенное
Степень изменения структуры и формы взаимосвязей	Существенное изменение	Несущественное изменение
Обратимость изменений	Необратимое	Обратимое
Целенаправленность	Целенаправленное эндогенное, качественно выраженные цели	Целенаправленное экзогенное, количественно выраженные цели
Непрерывность	Дискретное	Непрерывное
Характер изменений (стихийный, закономерный)	Стихийное	Закономерное
Тип изменений	Революционное	Эволюционное
Состав сфер проявления новых закономерностей	Затрагивающее все сферы	Затрагивающее одну (несколько) сфер

Суть отличительных черт маржинализма состоит в следующем:

Во-первых, маржинализм базируется на принципиально новых методах экономического анализа, позволяющих определять предельные величины для характеристики происходящих изменений в явлениях. В классической же политической экономике авторы довольствовались характеристикой сущности экономического явления, выраженной в средней или суммарной величине. Например, по классической концепции в основе определения цены лежит затратный принцип, увязывающий ее величину с затратами труда. По концепции маржиналистов формирование цены увязывается с потреблением продукта, т. е. с учетом того, насколько изменяется потребность в оцениваемом продукте при добавлении единицы этого блага.

Во-вторых, классики считали сферу производства первичной по отношению к сфере обращения, а стоимость – исходной категорией всего экономического анализа. Маржиналистами экономика рассматривалась как система взаимозависимых хозяйствующих субъектов, распоряжающихся хозяйственными благами. Поэтому благодаря маржинальной теории проблемы равновесия и устойчивого состояния стали предметом анализа.

В-третьих, в сравнении с классической теорией маржинальная теория широко применяет математические методы, в том числе дифференциальные исчисления. Причем математика необходима не только для анализа предельных экономических показателей, но и для обоснования принятия оптимальных решений при выборе наилучшего варианта из возможного числа состояний.

В-четвертых, методологический инструментарий маржинализма позволил, в конце концов, снять вопрос о первичности и вторичности экономических категорий, считавшийся столь важным у классиков. Это произошло благодаря предпочтению причинно-следственному подходу функционального, ставшего важнейшим средством анализа, превращения экономической теории в точную науку [3–5].

Возникновение маржинализма связано с работами математиков-экономистов. Они явились предшественниками математической школы в экономической науке. К ним относятся А. Курно, И. Тюнен, Г. Госсен.

При изучении понятия маржинализма будем исходить из условия неравновесности экономических систем и наличия в них свойства самоорганизации и исследования предельных экономических величин как взаимосвязанных явлений экономической системы в масштабе фирмы, отрасли, а также в масштабе всего народного хозяйства. В данном контексте современный маржинализм включает в себя и неоклассическую, и кейнсианскую экономическую концепцию и изучает взаимосвязь между целями и ограниченными средствами, имеющими альтернативные возможности использования. При этом следует иметь в виду, что альтернативная возможность предполагает использование ресурсов и затрат времени только для достижения какой-либо одной цели. Одним из инструментов эффективного использования ограниченных ресурсов является проводимая в настоящее время реструктуризация, приводящая к сокращению издержек, максимизации результата, возможности диффузии инновации в другие отрасли промышленности.

Согласно маржинальной концепции, хозяйствующие субъекты принимают решение, исходя из стремления достичь максимальной предельной полезности – максимума прибыли при данных ресурсах или минимума издержек при данных ценах, приращение полезности на дополнительную единицу затрачиваемых ресурсов и т. д.

Таким образом, принимая во внимание вышесказанное, можно сделать вывод о том, что мы имеем дело с особым типом инновационного развития предприятий РКП, который, в сущности, является реактивным.

Объективный характер инновационного развития и необходимость обеспечения коммерциализации инновационных процессов позволяют рассматривать реактивное инновационное развитие, основанное на маржинальной концепции, в качестве экономической категории, позволяющей уточнить границы исследования.

В рамках исследования была разработана концепция реактивного инновационного развития, основанного на маржинальной концепции, характеристика которой представлена в табл. 2.

Предложенная концепция, исходя из решаемых ею задач, может быть представлена двумя составляющими. Первая основана на закономерностях и целях устойчивого развития предприятий ОПК, и РКП в частности. Вторая – на маржинальном подходе к формированию и использованию потенциала инновационного развития конверсионных производств предприятий РКП. Однако работы, выполняемые в области обеспечения устойчивости инновационного развития, показывают, что только рост предельной эффективности использования инновационного потенциала позволит решить задачи первой составляющей. Реализация принципов концепции устойчивого инновационного развития, основанного на маржинальной доктрине, требует учета:

– стратегического характера инновационной деятельности;

– определяющей роли инновационного потенциала в развитии предприятий РКП;

– неоднородности структуры инновационного потенциала и предельного характера изменения его составляющих;

– влияния реструктуризации на величину инновационного потенциала предприятий РКП.

Роль инновационного развития в обеспечении обороноспособности страны и в инновационном развитии экономики в целом позволяет нам говорить о важности решения проблем разработки методологии и инструментов управления инновационным развитием предприятий РКП.

Библиографические ссылки

1. Ерыгин Ю. В., Лобков К. Ю. Устойчивое инновационное развитие предприятий ОПК: концепция, принципы и методы планирования : моногр. ; СибГАУ. Красноярск, 2004.

2. Финансово-кредитный энциклопедический словарь / под общ. ред. А. Г. Грязновой. М. : Финансы и статистика, 2002.

3. Edgeworth F. Y. Mathematical Psychics. London, 1881.
4. Jevons S. Theory of Political economy. London, 1871.
5. Walras L. Elements d'economie politique pure on theorie de la richesse sociale. 1874.

Таблица 2

Закономерности и принципы концепции реактивного инновационного развития

№ п/п	Закономерности	Принципы
1	Состояние экономической системы изменяется в широких пределах в зависимости от влияния среды. Другими словами, существует зависимость устойчивости достигнутой структуры и состояния экономической системы от подвода энергии и ресурсов	Принцип неравновесности и открытости экономических систем. Принцип поддержания устойчивости за счет подвода энергии и ресурсов
2	Нарастание негэнтропии, организованности и упорядоченности при росте неравновесности экономических процессов. Способность экономической системы переходить от состояния относительной неупорядоченности к состоянию относительного порядка	Принцип самоорганизации, достигаемой на основе интеллекта предпринимателя
3	Переход от одного неравновесного состояния в другое под влиянием внешних и внутренних противоречий (спрос – предложение, дефицит – избыток, личный и общественный интересы и др.)	Принцип неравновесности и открытости экономической системы
4	Негэнтропийный характер экономических явлений, вызванный возможностью подвода извне энергии и ресурсов, а также присутствием в экономических системах интеллекта предпринимателя	Принцип окупаемости (воспроизводства) вводимых энергии и ресурсов
5	Вероятность реализации неэффективных вариантов развития экономической системы, так как в сравнении с беспорядком порядок может быть достигнут меньшим числом способов	Принцип неопределенности
6	Рост товарной негэнтропии при возрастании организованности и упорядоченности в экономической системе, вызванных коммерциализацией инновационного потенциала в рамках конверсионного производства	Принцип реактивности
7	Зависимость потенциала инновационного развития от величины предельных затрат и выручки, определяющих масштабы экономического роста предприятия в рамках конверсионного производства	Принцип маржинальности
8	Зависимость потенциала инновационного развития конверсионных производств от форм и методов реструктуризации, определяющих величину предельной выручки и предельных затрат	Принципы эмерджентности, маржинальности, неопределенности, альтернативности
9	Энтропийный характер изменения инновационного потенциала, вызванный его обесцениванием в результате появления новаций у конкурентов	Принципы неравновесности и открытости экономических систем, неопределенности

G. P. Belyakov, L. V. Erygina

THE JET INNOVATIVE DEVELOPMENT CONCEPT OF THE SPACE-ROCKET INDUSTRY ENTERPRISES

In article features of the space-rocket industry (SPI) enterprises innovative development are considered. Various types of development are investigated and is proved that for SPI enterprises the jet type of development based on the margin doctrine is characteristic. Within the research contours the jet innovative development concept has been developed.

Keywords: the enterprises of the space-rocket industry, an innovation, innovative development, jet innovative development, marginalism, the jet innovative development concept.

© Беляков Г. П., Ерыгина Л. В., 2010

УДК 338.45

Ю. В. Ерыгин, О. С. Голощапова, А. М. Саакян

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Определена роль оборонно-промышленного комплекса в осуществлении инновационного развития экономики, необходимость государственного стимулирования инновационной деятельности. Рассмотрены федеральные целевые программы с участием отраслей оборонно-промышленного комплекса. Произведен анализ бюджетного финансирования оборонно-промышленного комплекса в рамках федеральных целевых программ. Выявлены преимущества и недостатки федеральных целевых программ оборонно-промышленного комплекса.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, инновационное развитие экономики, федеральные целевые программы, инновационная деятельность, бюджетное финансирование.

Федеральные целевые программы (ФЦП) являются одним из инструментов стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности, эффективным инструментом промышленной политики государства.

На протяжении всего времени деятельности оборонно-промышленному комплексу (ОПК) оказывается поддержка со стороны государства. По словам Президента РФ, ОПК оказался одним из немногих показавших положительную динамику в 2009 г. На заседании комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России Президент сообщил, что «Оборонно-промышленный комплекс должен стать не только активным потребителем, но и генератором инноваций. Только так мы обеспечим и конкурентоспособность в военной и технологической сферах, и модернизацию экономики, и должный уровень национальной безопасности» [1].

В соответствии с программой антикризисных мер Правительства Российской Федерации на 2009 г. предполагалось, что государственная поддержка будет оказываться организациям оборонно-промышленного комплекса. До 15 млрд руб. запланировано направить на субсидии организациям ОПК – головным исполнителям и исполнителям государственного оборонного заказа на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам. В 2009 г. на 3 млрд руб. дополнительно предполагалось увеличить субсидии стратегическим предприятиям и организациям ОПК в целях их финансового оздоровления. Значительный объем бюджетных средств направлен на проведение докапитализации ведущих системообразующих компаний ОПК. Предусмотрено предоставление государственных гарантий по кредитам, привлекаемым стратегическими организациями ОПК на осуществление основной производственной деятельности и капитальные вложения. В 2009 г. запланирован 1 млрд руб. для предоставления субсидий организациям ОПК на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам на осуществление инновационных и инвестиционных проектов по выпуску высокотехнологичной продукции.

В этих целях в 2010 г. запланировано обеспечить обновление с учетом новых условий отраслевых стратегий и программ, в частности, в авиастроении, оборонно-промышленном комплексе, электронике, транспортной системе. Запланирована разработка стратегии развития автомобильной промышленности, в том числе предполагающей широкое использование механизмов государственно-частного партнерства в решении вопросов технологического развития автопрома. Планируется усилить участие государства в реструктуризации стратегических секторов, развитии в них конкурентной среды, выводе продукции на мировые рынки. В целях повышения конкурентоспособности и технологического уровня предприятий с участием государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий», Внешэкономбанка, банков с государственным участием будут осуществляться меры по покупке зарубежных технологических активов, необходимых для модернизации ключевых секторов экономики. В 2010 г. на региональном и муниципальном уровне запланирована реализация проектов повышения энергоэффективности, задействование в соответствии с принятым законодательством экономических стимулов повышения энергоэффективности предприятий. Предложения о направлении в 2010 г. средств федерального бюджета на реализацию первоочередных антикризисных мер следующие: субсидии российским организациям автомобилестроения и транспортного машиностроения на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в 2008–2010 гг., а также в международных финансовых организациях, в которых участвует Российская Федерация, направленным на технологическое перевооружение; субсидии российским организациям – экспортерам промышленной продукции на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в российских кредитных организациях в 2005–2012 гг., для производства продукции на экспорт; оказание поддержки предприятиям и организациям в соответствии с решением Межведомственной комиссии по мониторингу за финансово-экономическим состоянием организаций, входящих в перечень системообразующих организаций, и Межведомственной комиссии по поддержке стратегических предприятий и организаций оборонно-промышленного комплекса – исполнителей государственного оборонного заказа [2].

Расширение инновационной деятельности является стратегической задачей ОПК. В настоящее время к числу инновационных можно отнести 2,5 тыс. российских промышленных предприятий, что составляет примерно 10 % крупных и средних предприятий России. Если количество организаций, выполнявших исследования и разработки,

с 1992 г. сократилось незначительно (на 20,3 %), то проектных и проектно-изыскательских организаций – в 8,5 раза. В 1992 г. федеральные ассигнования на науку составляли 2,43 % от всех расходов, в 2006 г. – 2,27 % [3]. Доля России в мировом инновационном рынке составляет 0,3 %. На долю наукоемкой продукции в развитых странах приходится от 70 до 85 % прироста ВВП. Сегодня 39 % этого рынка приходится на США, 30 % – на Японию, 16 % – на Германию (см. URL: www.isoa.ru). Такой значительный разрыв говорит об отсутствии в России механизма, существующего в развитых странах, который обеспечивает трансферт технологий из военной сферы применения в гражданскую и наоборот.

Сегодня доля оборонной продукции в промышленном производстве страны составляет 5,8 %. Экспорт высокотехнологичной продукции составляет всего 2,3 % промышленного экспорта России. В США этот показатель составляет 32,9 %, в Китае – 32,8 % [4]. В 1989 г. в СССР было 63 % предприятий, которые внедряли научно-технические разработки, а в 1998 г. количество предприятий сократилось до 3,7 %. Для сравнения в Европе инновационная активность предприятий составляет 60–70 %, в США, Японии, Германии и Франции – 70–82 %.

Россия отстает от США по расходам на НИОКР в 17 раз, от Европейского Союза – в 12 раз, от Китая – в 6,4 раза, от Индии – в 1,5 раза. На США приходится 35 % мировых расходов на НИОКР, на Европейский Союз – 24 %, на Японию и Китай примерно по 12 %. Россия в группу лидеров не входит (менее 2 % мировых расходов на НИОКР) [5].

Инновационный вклад ОПК в отечественный и мировой рынки остается низким. Доля российских высоких технологий составляет на мировом рынке менее 1 %, а доля экспорта высокотехнологичной продукции из России – менее 3 %.

Современный российский ОПК, который сейчас в силу ряда причин не в полной мере выполняет функции составной части экономики, наукоемкой высокотехнологичной промышленности, направленной как на военного, так и на гражданского потребителя, при соответствующей государственной поддержке может стать движущей силой в развитии инновационной экономики. Решение указанных задач утверждено Правительством РФ в Федеральных целевых программах.

Объемы финансирования ФЦП с участием отраслей ОПК за период 2008–2010 гг. представлены в табл. 1. Данные таблицы показывают как прирост, так и сокращение финансирования анализируемых программ к предыдущему году. В большинстве программ наблюдается недофинансирование. Максимальное значение отклонения фактического финансирования от запланированного наблюдается в Федеральной космической программе России на 2006–2015 гг. за 2008 г., минимальное – в программе «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 гг.» за 2009 г. За рассмотренный период нет отклонений лишь в следующих программах: «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.» – за 2009 г.; «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации» – за 2008–2009 гг.; Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг. – за 2009 г. Значительная часть финансирования приходится на текущие расходы («прочие нужды»).

Данные о бюджетном финансировании НИОКР ОПК в разрезе Федеральных целевых программ отраслей ОПК приведены в табл. 2.

Финансирование НИОКР в разрезе Федеральных целевых программ отраслей ОПК осуществляется в пределах от 1,25 до 95,05 %. В большинстве программ наблюдается сокращение объемов финансирования НИОКР по сравнению с предыдущим годом. Однако есть программы, в которых незначительно увеличивается доля финансирования НИОКР в общем объеме финансирования программ за определенный период (в программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» в 2008 г. по сравнению с 2007 г.; в программах «Национальная технологическая база на 2007–2011 гг.», «Мировой океан», «Глобальная навигационная система» увеличение объемов в 2007–2009 гг.).

В результате проведенного анализа были выявлены основные преимущества и недостатки программ, стимулирующих деятельность ОПК.

Преимущество целевых программ в том, что они всегда направлены на конкретные результаты, в каждой программе указаны цели и задачи, ориентированные на расширение масштабов деятельности предприятий, которая направлена на создание высокотехнологичной оборонной продукции, но не всегда ориентирована на выпуск гражданской продукции. Разрабатываются способы применения различных методов стимулирования (механизм долевого финансирования инновационных проектов со стороны государства, субсидии российским организациям на возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам, финансовая поддержка экспорта, страхование экспортных кредитов; возмещение из федерального бюджета части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в целях производства продукции на экспорт и др.).

Однако эффективность действующих программ спорна, так как наряду с преимуществами выявляются и недостатки. Основными недостатками рассматриваемых ФЦП являются следующие:

– непрозрачность расходов (в табл. 1 видно, что на долю нерасшифрованных текущих расходов на прочие нужды приходится в среднем от 44 до 70 %, причем данные расходы имеют тенденцию к росту);

– незначительная доля финансирования НИОКР в общем объеме финансирования программ (в большинстве программ – в пределах 10 %, и лишь в некоторых от 65 до 73 %, редко до 90 %);

– недофинансирование действующих программ (финансирование объемов программы на очередной финансовый год ниже утвержденных паспортами программ объемов), при сокращении финансирования общего объема происходит сокращение финансирования и каждого мероприятия, которые не ранжируются в программах по степени их важности и срочности;

– отсутствует обоснование затрат;

– не учитывается инфляционная политика, структура цен;

Таблица 1

Бюджетное финансирование ФЦП отраслей ОПК, млн руб.*

Наименование программы	Год	Объем финансирования, предусмотренный текстом ФЦП, млн руб.				Фактическое финансирование (по данным фед. казначейства), млн руб.				Отклонение общего объема финансирования, млн руб.	Темп прироста общего объема финансирования, %
		Гос. кап. вложения	Текущие расходы		Общий объем финансирования	Гос. кап. вложения	Текущие расходы		Общий объем финансирования		
			НИОКР	Прочие нужды			НИОКР	Прочие нужды			
«Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.»	2008	239,0000	9207,0000	3029,0000	12475,0000	239,0000	9207,0000	2962,9000	12408,9000	–66,1	99,47
	2009	722,0000	12963,0000	5763,0000	19448,0000	722,0000	12963,0000	5763,0000	19448,0000	0	**100,00**
	2010**	*750,0000*	*17011,0000*	*4692,0000*	*22453,0000*	*326,7856*	*8400,5384*	*1816,7500*	*10544,0740*	*–11908,926*	*46,96*
«Промышленная утилизация вооружений и военной техники (2005–2010 гг.)»	2008	780,7450	389,4860	3168,0250	4338,2560	780,7450	379,7709	3080,2866	4240,8025	–97,4535	97,75
	2009	594,2835	262,4571	4331,3949	5188,1355	594,1700	255,1800	3066,1000	3915,4500	–1272,6855	75,47
	2010**	*379,9730*	*214,9442*	*4484,0598*	*5078,9770*	*260,6567*	*129,8499*	*1976,2687*	*2366,7753*	*2712,2017*	*46,60*
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 гг.»	2008	6468,0000		2684,0000	9152,0000	6347,8228		2645,0856	8992,9084	–159,0916	98,26
	2009	2790,1020		2242,1788	5032,2808	2790,1000		2238,5100	5028,6100	**–3,6708**	99,93
	2010**	*3810,0000*		*1208,5655*	*5018,5655*	*216,3906*		*277,1576*	*493,5482*	*–4525,0173*	*9,83*
«Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»	2008	24010,5599	408,1800	8618,8101	33037,4581	24010,5599	408,1800	8618,7182	33037,4581	0	**100,00**
	2009	15012,5571	183,0104	7853,2717	23048,8392	15012,5600	183,0100	7853,0300	23048,6000	–0,2392	**100,00**
	2010**	*12729,3144*	*132,5850*	*7138,1006*	*20000,0000*	*8890,4293*	*85,2207*	*5079,2134*	*14054,8634*	*–5945,1366*	*70,27*
«Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.»	2008	1392,7000	3980,0000		5372,7000	1392,5233	3980,0000		5372,5233	–0,1767	100,00
	2009	1530,7050	4241,3000		5772,0050	1530,7000	4241,3000		4241,3000	–1530,705	73,48
	2010**	*1763,0000*	*3637,0000*		*5400,0000*	*225,9229*	*1554,2245*		*1780,1474*	*–3619,8526*	*32,97*
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.»	2008	736,00	18166,00	2334,00	21236,00	720,0000	13782,4711		14502,4711	–6733,5289	68,29
	2009	656,7948	11658,3339	34,0000	12349,1287	637,9500	11646,9800	34,0000	12318,9300	–30,1987	99,76
	2010**	*671,7123*	*6656,3339*	*36,0000*	*7364,0462*	*83,7984*	*2151,7840*	*14,1706*	*2249,7530*	*–5114,2932*	*30,55*
«Национальная технологическая база на 2007–2011 гг.»	2008	693,5000	3135,0000		3828,5000	557,5000	3029,2448		3586,7448	–241,7552	93,69
	2009	1169,1750	3294,6000		4463,7750	973,5800	3292,1000		4265,6800	–198,095	95,56
	2010**	*540,9400*	*2569,0600*		*3110,0000*	*95,8119*	*1533,0844*		*1628,8963*	*–1481,1037*	*52,38*
«Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг.»	2008	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2009		3328,6487	195,5000	3524,1487		3327,5000	147,0000	3474,5000	–49,6487	98,59
	2010**	*1480,0000*	*4970,0000*	*370,0000*	*6820,0000*	*255,0743*	*2309,6015*	*84,0000*	*2648,6758*	*–4171,3242*	*38,84*
«Глобальная навигационная система»	2008	1767,12	4385,14	10521,03	16673,29	469,1446	4183,7583	10004,4780	14657,3809	–2015,9091	87,91
	2009	4 861,21	10725,1600	16813,8400	31526,6500	3948,2900	10569,3000	16681,2600	31198,8500	–327,8	98,96
	2010**	*3311,2700*	*10397,3400*	*14230,6100*	*27939,2200*	*1238,6864*	*5097,3131*	*8890,0143*	*15226,0138*	*–12713,2062*	*54,50*
«Мировой океан»	2008	246,3780	429,6200		675,9980	211,3055	428,3500		639,6555	–36,3425	94,62
	2009	95,1600	503,5670	65,4000	664,1270	64,0100	442,0000	65,4000	571,4100	–92,717	86,04
	2010**	*377,1500*	*348,3100*	*58,4900*	*783,9500*	*183,4001*	*164,8247*	*13,8915*	*362,1163*	*–421,8337*	*46,19*
Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг.	2008	1807,00	32709,00	9253,80	43769,80	1806,0515	19614,0000	9253,8000	30673,8515	**–13095,9485**	70,08
	2009	3555,0000	41513,2000	13161,8000	58230,0000	3542,8900	41513,1200	13161,8000	58217,8100	–12,19	**99,98**
	2010**	*3700,0000*	*45823,5000*	*17512,5000*	*67036,0000*	*1286,0439*	*21967,4881*	*10462,6641*	*33716,1961*	*–33319,8039*	*50,30*
«Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 гг.)»	2008	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2009	1785,1390	777,3310	767,9440	3330,4140	1754,2800	764,0400	746,1100	3264,4300	–65,984	98,02
	2010**	*1899,9740*	*827,2760*	*602,7500*	*3330,0000*	*259,5699*	*185,3865*	*98,6599*	*543,6163*	*–2786,3837*	*16,32*
«Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.»	2008	7783,4000	1124,5000	1021,7000	9929,6000	7776,1444	1124,5000	1004,3037	9904,9481	–24,6519	99,75
	2009	8001,7195	1018,0872	3229,2155	12249,0222	7820,3500	1018,0900	3218,2700	12056,7100	–192,3122	98,43
	2010**	*7671,5315*	*953,9250*	*3382,5685*	*12008,0250*	*2170,9252*	*486,3315*	*1146,1030*	*3803,3597*	*–8204,6653*	*31,67*

* Таблица составлена по данным Министерства экономического развития РФ [6].

**Данные 2010 г. приведены по состоянию на 01.08.2010.

Таблица 2

Бюджетное финансирование НИОКР в разрезе Федеральных целевых программ, млн руб.

Наименование программы	2007 г.		2008 г.		2009 г.		2010 г.	
	Объем НИОКР, млн руб.	Доля в общем объеме финансирования программы, %	Объем НИОКР, млн руб.	Доля в общем объеме финансирования программы, %	Объем НИОКР, млн руб.	Доля в общем объеме финансирования программы, %	Объем НИОКР, млн руб.	Доля в общем объеме финансирования программы, %
«Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г.»	9 008,00	78,94	9 207,00	73,44	12 963,00	66,87	17 011	75,76
«Промышленная утилизация вооружений и военной техники (2005–2010 гг.)»	654,12	15,07	331,05	6,95	181,97	3,82	144,4222	2,84
«Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 гг.»	–		–		–		–	
«Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»	364,88	1,37	413,03	1,25	183,0104	0,79	132,585	0,66
«Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.»	–	–	–	–	1530,7	62,1	3407,62	63,1
«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.»	11 060	94,85	13840	95,05	11658,3339	94,41	6656,3399	90,39
«Национальная технологическая база на 2007–2011 гг.»	5050,00	75,71	5561	82,31	6037,1	78,6	2258,06	72,61
«Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг.»	–	–	–	–	3147,55	89,31	4790,98	70,25
«Глобальная навигационная система»	1119,96	11,34	2019,47	13,7	4 861,21	15,42	4485,15	16,05
«Мировой океан»	390,5640	63,28	429,62	63,55	503,5670	75,82	348,31	44,43
Федеральная космическая программа России на 2006–2015 гг.	16965,00	69,53	19414,00	63,94	41 513,20	71,29	45823,5	68,36
«Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009–2013 гг.)»	–	–	–	–	777,3310	23,34	260,76	7,83
«Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 г. и на период до 2015 г.»	–	–	1124,5	11,32	1018,0872	8,31	20,925	0,17

– отсутствует технологическая цепочка выпуска оборонной и гражданской продукции;

– невыполнение заложенных мероприятий в срок по этапам реализации программы и др.

Указанные преимущества и недостатки ФЦП как инструмента стимулирования инновационной и инвестиционной деятельности позволяют сделать вывод о необходимости разработки новых форм стимулирования, которые бы сделали программы более эффективными, направленными на выпуск конкурентоспособной гражданской и оборонной продукции, позволяющими обеспечить трансферт технологий из военной сферы применения в гражданскую и наоборот.

Библиографические ссылки

1. Инициативная группа специалистов ВПК [Электронный ресурс]. URL: www.vpk.name/news.

2. Сайт председателя правительства РФ [Электронный ресурс]. URL: www.premier.gov.ru.

3. Федеральная служба государственной статистики : сайт [Электронный ресурс]. URL: www.gks.ru.

4. OECD, STAN Indicators Database, 2009 edition.

5. R&D Magazine. 2010 Global R&D Funding Forecast, December 2009. P. 3–5.

6. Министерство экономического развития РФ. Департамент государственных целевых программ и капитальных вложений : сайт [Электронный ресурс]. URL: www.fcp.vpk.ru.

U. V. Erygin, O. S. Goloshapova, A. M. Saakyan

ESTIMATION OF THE CURRENT STATE AND PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF FTP IN THE DIC

In this article we define the role of DIC in implementation of innovative economic development and the need for government stipulation of such innovation activity. FTP with DIC branches participation are considered. Analysis of budget financing of DIC within FTP is presented. The advantages and disadvantages of FTP DIC are revealed.

Keywords: DIC, innovative development of economy, federal target programs, budget financing.

© Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С., Саакян А. М., 2010

УДК 336.02

Д. А. Чудаев, Г. Я. Белякова

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННО-ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ И ПРОГРАММ

Рассмотрены актуальные проблемы разработки и реализации инновационных проектов. На примере Красноярского края проанализированы крупнейшие инвестиционные проекты с точки зрения их инновационности. Сделан вывод о том, что вышеизложенные проблемы составляют объективную необходимость научных исследований по проблеме управления инвестиционно-инновационными процессами, прежде всего, с целью введения обязательной инновационно-технологической экспертизы инвестиционных проектов и программ.

Ключевые слова: инвестиционная деятельность, инновации, экспертиза, управление, критерии, оценка.

Переход России на инновационный путь развития обсуждается как в узком кругу специалистов, так и в обществе в целом, а также широко освещается в прессе. В основе перехода лежит новое качество инновационного процесса: от экономики производства товаров и услуг массового спроса к экономике производства нововведений. При этом эффективность инновации зависит от того, на какие нововведения она опирается и какие делает возможными на следующем шаге новой модели развития [1].

Нововведения – инерционный и длительный процесс, который сталкивается с серьезными ограничениями. Отдельные люди, группы и команды не могут быстро перестраивать свои установки, навыки, способности и отношение к рискам. Формируются барьеры, препятствующие появлению и распространению инновационного развития, поэтому в общей массе под инвестиционный процесс попадают проекты, не несущие новые идеи, а лишь повторяющие уже проверенные технологии.

Исходя из общероссийского распределения инвестиций, к приоритетным направлениям развития науки относятся инвестиции в рациональное природопользование, энергию и энергосбережение, коммуникационные технологии, обрабатывающие технологии. Лишь менее 5 % из всех инвестиций составляют инвестиции в нанотехнологии и наноматериалы. При этом доля промышленных предприятий, внедряющих инновации, составляет не более 10 %, а доля инновационных продуктов не

доходит до 1 % (в развитых странах этот показатель составляет 10 % и выше) [2].

Общероссийская тенденция распределения инвестиций отражается и на региональном уровне, в том числе и в Красноярском крае. В настоящее время существует ряд как позитивных, так и негативных явлений и процессов в инновационном развитии Красноярского края.

Среди позитивных факторов можно выделить следующие: значительный научный потенциал, унаследованный от СССР; высокое число занятых в сфере НИОКР; сохранившаяся с советских времен система образования и науки; высокие темпы роста проникновения информационных технологий.

Тем не менее, на пути перехода Красноярского края на инновационные рельсы существует ряд барьеров [3]:

1. Упадок науки. В результате реформ 1990-х гг. значительная часть научно-исследовательских институтов прекратила свое существование или практически не вела деятельность из-за недостаточного финансирования. Кроме того, ощущается недостаток нового оборудования и современной техники.

2. Высокий уровень монополизированности российской экономики. Монопольное положение многих компаний лишает их стимула к внедрению инноваций и повышению конкурентоспособности.

3. Нехватка новых кадров. Эта проблема связана с упадком системы образования в России, большой «утечкой мозгов» из страны, падением престижа профессии ученого и выражается в старении кадрового состава российских исследовательских институтов.

4. Низкий уровень внедрения результатов НИОКР. В результате спада 1990-х. гг. резко сократились объемы промышленного производства, а огромное число предприятий (потенциальные потребители инновационных разработок) были закрыты. Значительное отставание от мирового уровня во многих отраслях промышленности.

5. Высокий уровень коррупции. Эта традиционная российская проблема может привести к тому, что средства, направленные государством на развитие инноваций, будут израсходованы не по назначению.

6. Отсутствие государственной промышленной политики, которая могла бы стимулировать более широкое применение инноваций.

7. Конкуренция на международном уровне. Для создания и поддержания инновационных отраслей государству необходимо принимать меры по их защите от иностранной конкуренции.

Административные барьеры объясняют не все неудачи с продвижением новых технологий на рынок. Часто то, что объявляют новшеством, оказывается старой технологией в «новой упаковке».

В настоящее время в Красноярском крае идет подготовка к запуску и реализация ряда крупнейших инвестиционных проектов: строительство железнодорожной линии Кызыл–Курагино в увязке с освоением минерально-сырьевой базы Республики Тыва; развитие Красноярского международного авиатранспортного узла (ХАБа); комплексное развитие Нижнего Приангарья; газификация и газопереработка в Красноярском крае – создание Красноярского центра газодобычи; строительство Железногорской ТЭЦ; проект освоения Ванкорского нефтегазового месторождения; комплекс производств по выпуску солнечных батарей «Солнечный кластер» [4].

Один из представленных инвестиционных проектов – комплексное развитие Нижнего Приангарья. Проект предполагает строительство алюминиевого завода, двух крупных ЦБК, завода МДФ, сети автомобильных и железных дорог, целый ряд предприятий малого бизнеса. Заниматься глубокой переработкой древесины – значит создавать рабочие места, увеличивать налоговые поступления в бюджет. Это вполне логичный путь для любого региона страны, собирающейся стать вровень с мировыми экономическими лидерами. Богучанская ГЭС обеспечит энергией мощнейший алюминиевый завод, «лесников», золотодобытчиков, будет способствовать наращиванию производства и развитию экономики края. Будущее России – в переходе на инновационный путь развития, т. е. делается ставка на инвестиции в современные технологии, но на комплексное развитие Нижнего Приангарья выделены средства как на инвестиционный проект, при этом какая-либо доля инновационности отсутствует [5].

Среди вышеперечисленных инвестиционных проектов инновационным является комплекс наукоемких производств по выпуску солнечных батарей «Солнечный кластер», стоимостью 35 млрд руб. В крае имеется первичное сырье – поликремний, технологии для его глубокой переработки, а также научно-технический и организационный потенциал для создания производства компонентов солнечной энергетики. Для создания «Солнечного кластера» в Красноярском крае потребуется строительство совершенно нового высокотехнологичного предприятия, которое будет производить фотоэлементы из монокристаллического кремния и собирать конечный продукт.

В связи с отсутствием развитой инновационной среды и рыночных источников финансирования инновационных проектов, государственное финансирование научно-технических разработок на ранних стадиях является единственным источником инвестиций. На данный момент вложение государственных инвестиций в инновационное развитие составляет 50 %. Раннее вложение средств нивелируется повышенным риском, связанным с неопределенностью развития процесса превращения нематериальной идеи в стоимость и потребительскую стоимость [6].

Оценка инновационного потенциала проектов в сопоставимых единицах, сделанная как самим «заявителем», так и независимой экспертизой, может существенно облегчить процедуру принятия решения по формированию инвестиционной политики банков, организации инновационного менеджмента на предприятии при конкурсном отборе инвестиционных проектов.

На практике привлечение средств в инновационный проект из коммерческих источников становится возможным только тогда, когда существует реальный результат НИОКР, практически отсутствуют сомнения в возможности его внедрения и сбыта.

Управлять рисками, связанными с внедрением и продвижением инноваций на рынок, достаточно сложно, особенно принимая во внимание очень высокую долю неопределенности. Тем не менее, анализ инновационных

рисков и их систематизация уже может дать инструменты к управлению рисками.

В рамках разработки основ организации экспертизы научно-технических проектов предложен подход, ориентированный на учет воздействия основных факторов, влияющих на ход реализации инновационного проекта, который может быть взят за основу для разработки методики оценки реализуемости инновационных проектов.

Крупнейшие инвестиционные проекты подвергаются государственной, независимой и экологической экспертизе. Каждый инвестор тщательно экспертирует бизнес-план проекта, прежде чем выделить на него средства. Но в обильной проектной документации обычно отсутствует или оттесняется на второй план оценка инновационного уровня предлагаемых технологий и конечных продуктов, изобретательская новизна предлагаемых решений – факторы, определяющие перспективную конкурентоспособность. В этом причина столь низкой окупаемости инвестиций, продолжающегося вытеснения отечественной продукции с мировых и внутренних рынков [1].

Инновации – это особо сложный, перспективный сектор производства и рынка, особенно базисные инновации, носящие межотраслевой и высокорисковый характер. Эта поддержка может выступать в разных формах: правового регулирования, создающего преимущественный режим для базисных и улучшающих инноваций; выработки долгосрочной инновационно-инвестиционной стратегии; выработки и реальной бюджетной поддержки перспективных инновационных программ; ощутимых налоговых и таможенных льгот; введения обязательной инновационно-технологической экспертизы важнейших инвестиционных проектов, пользующихся прямой или косвенной поддержкой государства, а также совместных проектов, осуществляемых в рамках СНГ, Европейского экономического сообщества [7].

В целях повышения роли инвестиций в переходе к инновационному типу развития экономики и в обеспечении конкурентоспособности отечественных товаров и услуг, улучшения использования выделяемых на эти цели средств консолидированного бюджета, органы государственного управления РФ должны ввести обязательную инновационно-технологическую экспертизу инвестиционных проектов и программ, осуществляемых при поддержке бюджетов разных уровней или с предоставлением других форм государственной поддержки.

Основные цели и задачи экспертизы представлены на рис. 1.

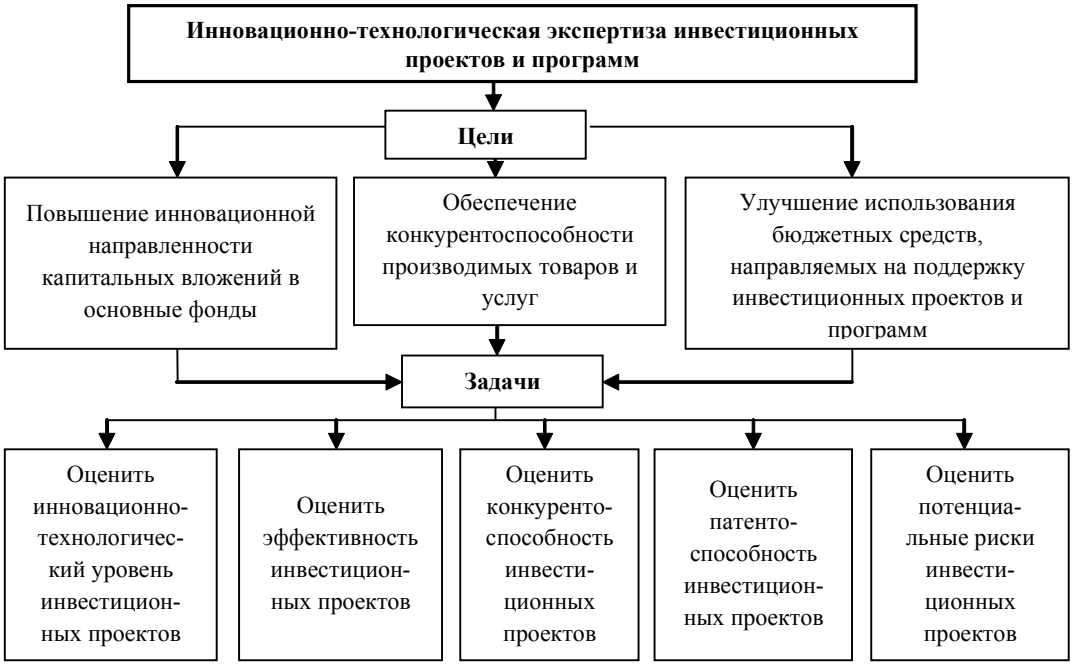


Рис. 1. Цели и задачи инновационно-технологической экспертизы инвестиционных проектов и программ

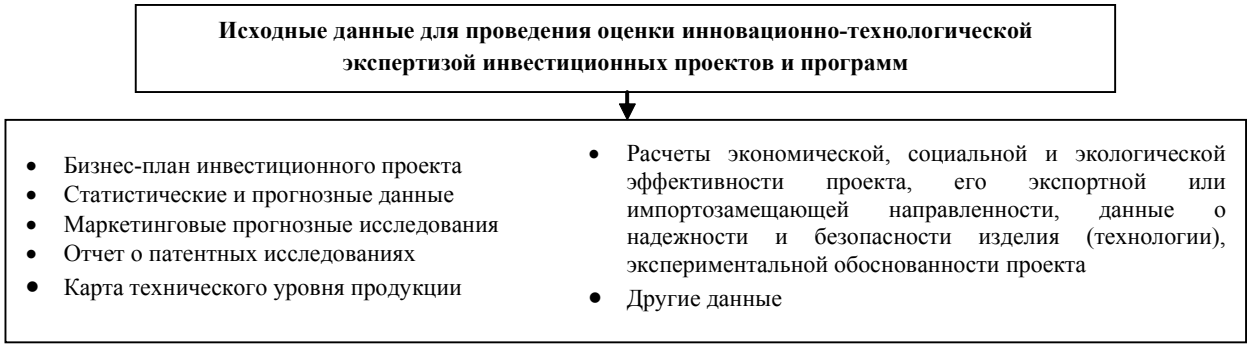


Рис. 2. Исходные данные для проведения оценки инновационно-технологической экспертизой

Оценка инновационно-технологической экспертизой инвестиционных проектов и программ должна осуществляется на основе исходных данных (рис. 2) и критериев оценки (рис. 3).

Обязательной экспертизе должны подлежать инвестиционные программы и проекты, финансируемые из бюджетов разных уровней, при объеме инвестиций из бюджета не менее 50 млн руб. [3].

На инициативной основе может проводиться экспертиза инвестиционных проектов при объеме инвестиций из бюджета менее 50 млн руб. по заказам федеральных, региональных и муниципальных органов, банков, холдингов и других организаций.

Таким образом, предлагаемая инновационно-технологическая экспертиза инвестиционных программ и проектов может способствовать повышению роли инвестиций в переходе к инновационному типу развития экономики и в обеспечении конкурентоспособности отечественных товаров и услуг, а также позволит предоставить информацию, необходимую для принятия управленческих решений в инвестиционной и инновационной сферах.

Рис. 3. Критерии оценки инновационно-технологической экспертизой инвестиционных проектов и программ

Библиографические ссылки

1. Большаков О. А. Модели и алгоритмы конкурсного отбора инновационных проектов малых предприятий : дис. … канд. экон. наук : 05.13.10. СПб., 2005.

2. ГОСКОМСТАТ России : сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/portal.

3. Инновации. Красноярский край [Электронный ресурс]. URL: http://www.giop.ru/REOS/giep/giep_innovation.nsf/html/KRASNOYARSK.

4. Официальный сайт Красноярского края [Электронный ресурс]. URL: http://www.krskstate.ru.

5. Инвестиции Красноярского края / Красинвест [Электронный ресурс]. URL: http://krasinvest.ru.

6. Журнал «Инновации» : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.innovation.ru.

7. Гершман М. А. Инновационный менеджмент. М. : Маркет ДС, 2008.

D. A. Chudaev, G. Ya. Belyakova

FORMATION OF EVALUATION CRITERIA SYSTEM FOR INNOVATIVE INVESTMENT PROJECTS AND PROGRAMS

In this article the topical problems of investigation and realization of innovative projects are considered. On example of Krasnoyarsk region the largest investing projects are analyzed in terms of their innovativeness. It is concluded that foregoing problems have objective necessity of scientific investigation on the point of management of investment and innovation processes, primarily on purpose of establishment of obligatory innovative and technological examination of investment projects and programs.

Keywords: investment activity, innovations, examination, management, criteria, appraisal.

© Чудаев Д. А., Белякова Г. Я., 2010

УДК 336.02

Д. А. Чудаев

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО-ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В РЕГИОНЕ

Рассматривается управление инвестиционно-инновационной деятельностью в промышленности региона на примере Красноярского края. Приводятся этапы формирования системы и классификация методов управления рисками. Предлагается методика определения величины риска проекта в зависимости от среднего класса инноваций для оценки крупных инвестиционных проектов региона. Разработаны меры региональной поддержки для формирования благоприятного инновационного климата и повышения доли инновационных проектов.

Ключевые слова: инвестиции, инновации, риски, механизм, оценка, проект.

Актуальность регионального аспекта управления инвестиционно-инновационными процессами возрастает в связи с экономической ситуацией, обусловленной дефицитом ряда ресурсов, углублением диспропорций в размещении трудовых ресурсов, основных производственных фондов, необходимостью реализации крупномасштабных программ технического перевооружения [1]. Потребность в региональном управлении инвестиционно-инновационным процессом вызвана также недостаточной эффективностью и конкурентоспособностью региональных научно-технических разработок [2].

Предлагаемый автором организационный механизм управления инвестиционно-инновационной деятельностью в регионе, реализация которого осуществляется через функционирование Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности Красноярского края, на основе сотрудничества с Правительством Красноярского края, инвесторами и инноваторами, направлен на постепенное продвижение к проектам НИОКР компаний, находящихся на более ранних стадиях инновационного цикла и основанных на результатах фундаментальных исследований, а также на развитие взаимодействия с венчурными и другими структурами, участвующими в финансировании проектов по всему инновационному циклу.

При разработке системы управления необходимо придерживаться следующих положений [3]:

– управление инновациями неразрывно связано с управлением хозяйственным комплексом в целом;

– региональная система управления создается с целью дополнения отраслевой;

– система должна быть развивающейся, совершенствующейся;

– система управления должна охватывать основные направления НТП и ведущие отрасли хозяйства региона;

– система управления должна строиться на основе обеспечения в регионе сочетания всех видов научно-технической политики;

– при формировании системы необходимо создание в регионе органа управления инновациями, координирующего вопросы инвестиционно-инновационной и научно-технической деятельности.

Решение проблем регулирования инвестиционно-инновационной деятельности, а также комплексное научно-техническое развитие территории обеспечивает Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности. Основной целью работы этого фонда является обеспечение комплексного научно-технического развития региона в органичном сочетании в решении приоритетных задач экономического и социального развития территории.

Исходя из вышеперечисленных положений, предлагается схема управления инвестиционно-инновационной деятельностью в регионе на основе взаимодействия органов государственной власти Красноярского края, государственных учреждений, образовательных учреждений, частных компаний (рис. 1).

Предлагаемый организационный механизм управления инвестиционно-нновационной деятельностью включает в себя совокупность следующих методов воздействия на инвестиционную деятельность.

1. Экономические методы:

– налоговые (предоставление льготного налогообложения субъектам инновационной деятельности, предоставление налоговых льгот; инвестиционный налоговый кредит);

– бюджетные (предоставление бюджетных субсидий на возмещение процентов по кредитам и затрат по лизингу; предоставление бюджетных кредитов; вклады в уставный капитал; выпуск ценных бумаг, гарантированных государством; предоставление льготных условий пользования государственным и муниципальным имуществом, землей и другими природными ресурсами);

– антимонопольные (развитие конкурентной среды за счет поддержки разных категорий инвесторов; предоставление информационных и консультационных услуг по организации бизнеса, инвестиционному бизнес-планированию);

– кредитно-денежные (выпуск корпоративных ценных бумаг; целевое кредитование за счет институциональных инвесторов (банка); осуществление операций с регио-

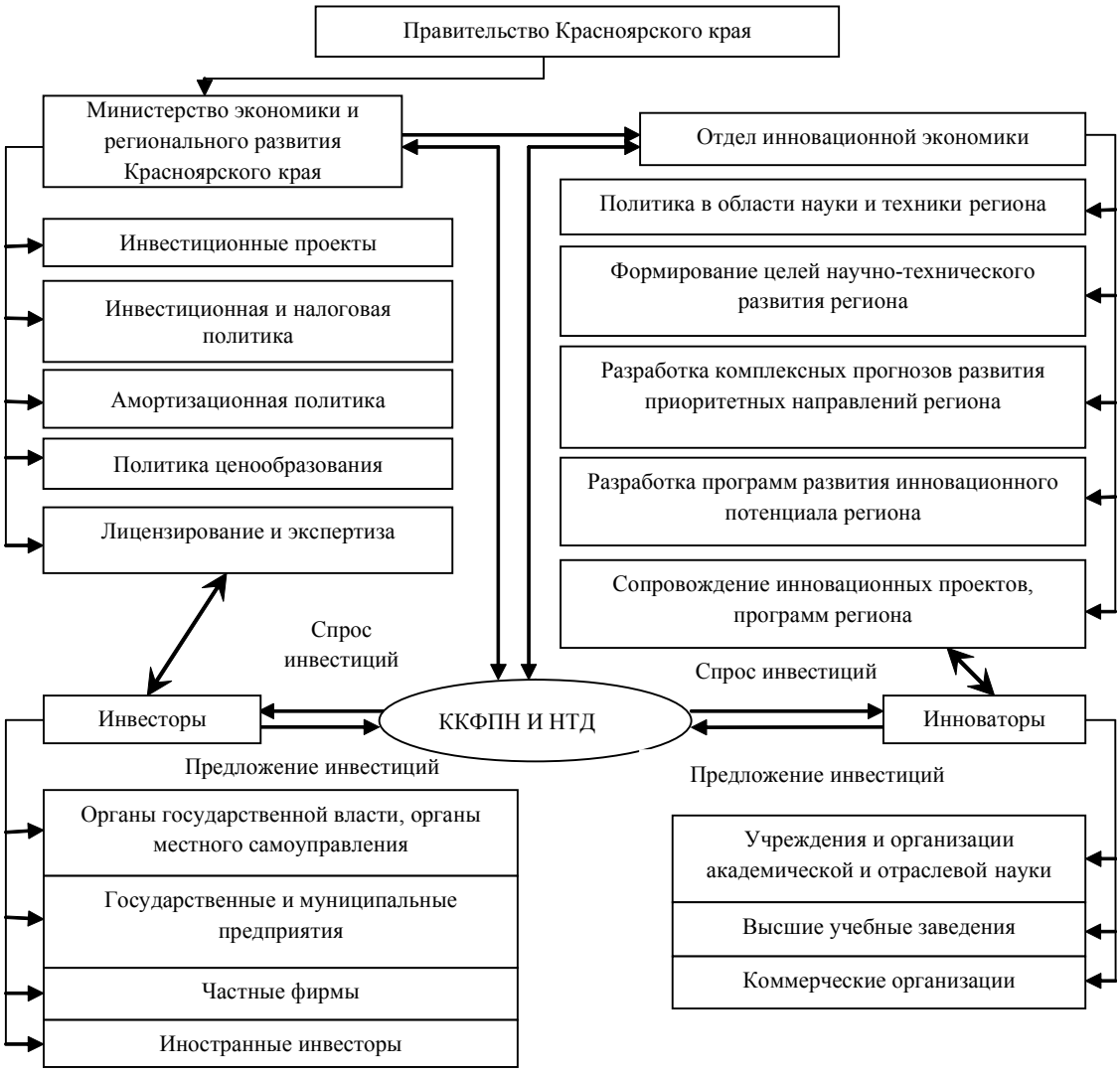


Рис. 1. Схема управления инвестиционно-инновационной деятельностью в регионе

нальными и корпоративными ценными бумагами на фондовом рынке; осуществление дисконтной политики – регулирование ставок по кредитам.

2. Правовые методы – разработка и принятие закона об инновационной политике; определение организационно-правовых форм инвестиционных механизмов.

3. Административные методы – создание нового исполнительного органа управления инновационной деятельностью или передача данных функций уже существующему ведомству; расширение круга организаций, участвующих в финансировании инновационной деятельности.

Реализация перечисленных методов повысит привлекательность предлагаемых условий для инвесторов и, следовательно, формирование дополнительного дохода в экономике, а также позволит снизить величину риска, который является одной из причин низкой инвестиционной активности и малой доли инновационных проектов в регионе.

Риск в инновационной деятельности рассматривается чаще всего как возможность возникновения неблагоприятных условий, отражающихся, в конечном итоге, на результатах инноваций, в силу существования неопределенности внешних условий и внутренней реализации процессов деятельности организаций [1].

Под управлением рисками инновационной деятельности понимается совокупность практических мер, формируемых на основе принципов, методов и инструментария принятия управленческих решений с учетом сформулированных критериев эффективности, что позволяет снизить неопределенность результатов инновационной деятельности, повысить эффективность реализации инновационных проектов, уменьшить цену достижения целей инновационного развития.

По аналогии с общим циклом управления в менеджменте (планирование, организация, регулирование и контроль) можно выделить основные общие функции управления рисками (вне зависимости от их конкретного содержания, причины возникновения и последствий):

а) идентификация и классификация рисков;

б) анализ и количественная оценка рисков;

в) разработка мер по управлению рисками;

г) мониторинг процесса реализации принятых решений или проектов и реализации тактических решений по управлению рисками.

При формировании методики управления рисками инновационной деятельности можно выделить следующие укрупненные этапы:

1. Разработка общих принципов и методов, направленных на идентификацию объекта управления, а также целей управления рисками инновационной деятельности.

2. Разработка подходов к прогнозированию рисков инновационной деятельности – создание основы для выявления и характеристики рисков, связанных с инновациями.

3. Развитие методов анализа рисков инновационной деятельности – обеспечение адекватного применения существующих методов и развитие новых подходов к проведению анализа рисков.

4. Повышение эффективности управления рисками инновационной деятельности за счет принятия рациональных решений в данной сфере, а также формирование системы управления рисками инновационной деятельности и ее интеграция в систему управления предприятием.

Организация управления рисками инновационной деятельности включает информационное и методическое обеспечение, систему распределения прав, обязанностей, полномочий и ответственности для обеспечения эффективного управления рисками, что образует систему управления рисками инновационной деятельности (рис. 2).

Непосредственные причины возникновения риска, вызванные неопределенностью, образуют факторы риска, которые должны выступать в качестве основных объек-

Рис. 2. Этапы формирования системы управления рисками

тов анализа и управления рисками инновационной деятельности.

Основные базовые методы управления рисками инновационной деятельности можно классифицировать по времени применения, по цели воздействии, по характеру воздействия (рис. 3) [1].

Управлять рисками, связанными с внедрением и продвижением инноваций на рынок, достаточно сложно, особенно принимая во внимание очень высокую долю неопределенности. Тем не менее, анализ инновационных рисков и их систематизация уже могут стать инструментом управления рисками. Инвестиции в инновации обеспечивают высокие темпы экономического роста и повышения качества жизни населения.

В настоящее время в Красноярском крае идет подготовка к запуску и реализация ряда крупнейших инвестиционных проектов [4]:

1) строительство железнодорожной линии Кызыл–Курагино в увязке с освоением минерально-сырьевой базы Республики Тыва;

2) развитие Красноярского международного авиатранспортного узла (ХАБа);

3) комплексное развитие Нижнего Приангарья;

4) газификация и газопереработка в Красноярском крае – создание Красноярского центра газодобычи;

5) строительство Железногорской ТЭЦ;

6) проект освоения Ванкорского нефтегазового месторождения;

7) комплекс производств по выпуску солнечных батарей «Солнечный кластер».

В практике известен ряд формализованных методов финансового анализа инвестиционных проектов, расчеты, которые могут служить основой для принятия решений в области инвестиционной политики. Универсального метода не существует, но развитие этих методов идет в сторону универсализма, направленную на более объективную оценку эффективности проектов, которая рассчитывается в соответствии с классификацией инновации [5].

При принятии решений о финансировании того или иного инновационного проекта инвестор учитывает целый комплекс факторов, среди которых ведущая роль отводится ожидаемому уровню доходности на вложенный капитал. Ожидаемый уровень доходности складывается из трех основных компонентов: цены капитала (соответствует уровню чистой доходности альтернативных проектов вложения финансовых средств), уровня величины риска и ожидаемого уровня инфляции. Предлагается методика определения величины риска, основанная на анализе так называемого «среднего класса» инновации (табл. 1).

Средний класс инновации рассчитывается как среднее арифметическое классов по группам риска. Величина риска устанавливается исходя из соотношения среднего класса инновации и средней величины риска, устанавливаемой для инновации данного класса (табл. 2).

По методике определения величины риска была проведена оценка инвестиционных проектов Красноярского края (табл. 3).

Оценка инвестиционных проектов (табл. 3) показала, что наименьшей величиной риска обладают проекты по строительству железнодорожной линии Кызыл–Курагино и Железногорской ТЭЦ, относящиеся ко 2-му классу инновации с величиной риска 0,5 %.

К среднему классу инноваций (3) можно отнести инвестиционные проекты по комплексному развитию Нижнего Приангарья, созданию Красноярского центра газодобычи и освоению Ванкорского нефтегазового месторождения, обладающие величиной риска 1 %.

Развитие Красноярского международного авиатранспортного узла (ХАБа) по состоянию на 01.10.2009 г. находится в стадии согласования. Проект можно отнести к 4-му классу инноваций, величина риска составляет 2 %.

Как видно из проведенного анализа на данный момент единственным инновационным проектом среди вышеперечисленных является создание комплекса инновационных наукоемких производств по выпуску солнеч-

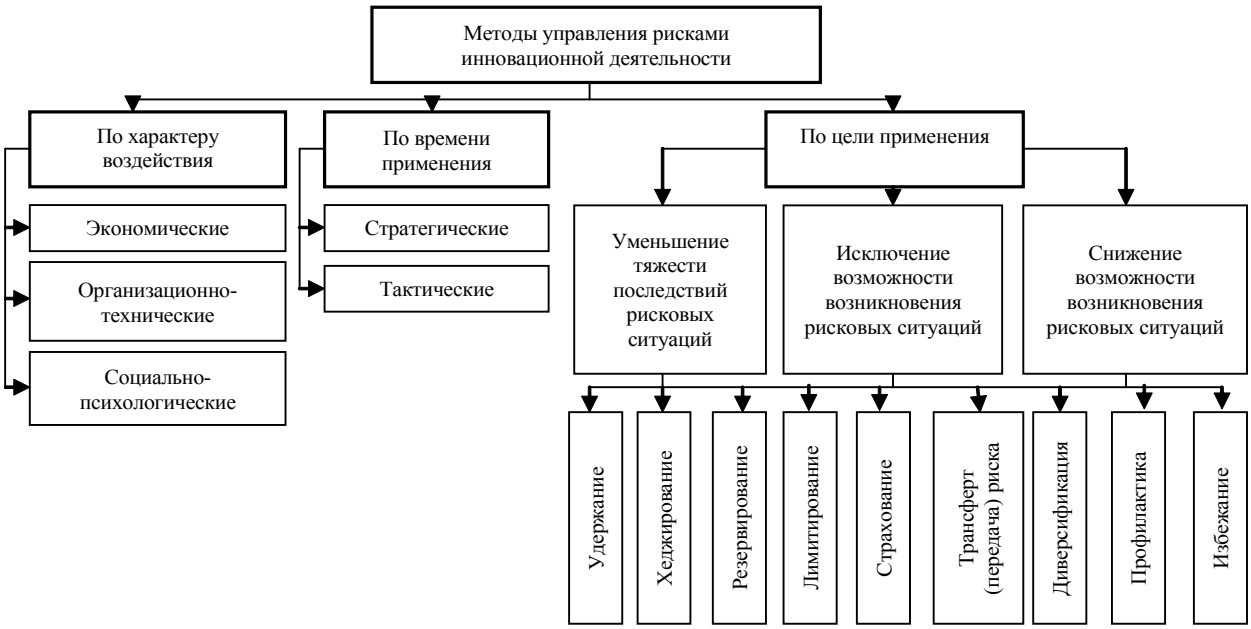


Рис. 3. Классификация методов управления рисками инновационной деятельности

ных батарей «Солнечный кластер», который относится к 6-му классу инноваций с величиной риска в размере 10 % (рис. 4).

Рис. 4. График зависимости величины риска от среднего класса инновации

Создание высокотехнологичных производств в Красноярском крае осуществляется в рамках инновационной деятельности, в которой происходит превращение научно-технического продукта, базирующегося на результатах фундаментальных и прикладных исследований, в рыночный товар с высокими потребительскими свойствами. Важнейшая стратегическая задача – связать единой цепочкой научные организации, разрабатывающие нововведения, учреждения, занимающиеся доведением научной идеи до конкретной технологии, материала или конструкции, и предприятия, которые берут на себя ответственность за их внедрение и тиражирование [6].

Годы реформ показали, что Красноярский край обладает не только сырьевыми ресурсами, но и интеллектуальным и предпринимательским потенциалом. Задача состоит в том, чтобы включить все эти ресурсы в экономическое и технологическое возрождение края путем создания высокотехнологичных производств.

Таблица 1

Классификация нововведений и инновационных процессов по группам риска (в скобках указан класс по признаку)

Признак разделения на группы /значения признаков, позволяющие определить группу риска нововведения и инновационного процесса	
1. Содержание (вид) нововведения Новая идея (8) Новый продукт (7) Новая технология (6) Новая услуга (5) Новое решение (4) Новый регламент, структура (3)	**6. Территориальный масштаб проекта** Интернационализация (7) РФ, страны СНГ и Балтии (6) Область, край (5) Район, город (4)
2. Тип новатора (сфера создания новшества) Производственные фирмы и отделения (6) Научно-технические организации и отделения (5) Маркетинговые подразделения и фирмы (4) Управление и организации (3) Организации ресурсно-сырьевой направленности (2)	**7. Масштаб распространения проекта** Широкая реализация (7) Ограниченная реализация (диффузия) (6) Единичная реализация (5)
3. Область знаний и функций Техника и технология (8) Ноу-хау (8) Естествознание (8) Производство (7) Финансы и экономика (6) Социальные и общественные звенья (5) Организация и управление (4) Юриспруденция (3) Консультанты (2)	**8. По степени новизны** Радикальные (пионерные, базовые) (8) Ординарные (изобретения, новые разработки) (5) Усовершенствующие (модернизация) (2) **9. По глубине реализации проекта** Системные (7) Комплексные (5) Элементарные, локальные (2) **10. Причина появления нового (инициатива)** Развитие науки и техники (7) Потребности производства (5) Потребности рынка (3)
4. Тип инноватора (сфера нововведения: фирмы, службы) Научно-технические звенья (7) Промышленные звенья (6) Финансовые, маркетинговые и коммерческие звенья (5) Эксплуатационные и обслуживающие звенья (4)	**11. Уровень изменчивости технологии** «Изменчивая» технология (8) «Плодотворная» технология (5) Стабильная технология (2)
5. Уровень проекта Фирма (8) Подразделения фирмы (7) Концерн, корпорация (6) Отрасль, группа отраслей (5) Государство (4)	**12. Срок реализации** Долгосрочные (более 3 лет) (8) Среднесрочные (2-3 года) (6) Краткосрочные (до 1 года) (4) Оперативные (до 0,5 года) (2)

Таблица 2

Соотношение среднего класса инновации и средней величины риска, устанавливаемой для инновации данного класса

Средний класс инновации	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина риска, %	0,0	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0	30,0

Перечисленные ниже меры позволят, устранив существующие негативные факторы, обеспечить оптимальное развитие региональной инвестиционно-инновационной деятельности.

Региональную инновационную политику следует реализовывать в виде мер региональной поддержки (рис. 5), формирования благоприятного инновационного климата, повышения инновационной активности и инновационной восприимчивости регионов. В современных условиях задачей первостепенной важности является сохранение и последующее усиление инновационно-промышленного потенциала региона, повышение степени его воздействия на экономическую эффективность производства. Без этого недостижимо обеспечение устойчивости регионального развития.

Предложенные методы управления инвестиционно-инновационной деятельностью в регионе могут способствовать повышению доли инновационных проектов, устранению существующих негативных факторов, обеспечить оптимальное развитие региональной инвестиционно-инновационной деятельности.

Библиографические ссылки

1. Новицкий Н. А., Семикова О. Р. Проблемы развития инновационно-инвестиционного комплекса России // Инновационная экономика России: проблемы развития инновационно-инвестиционного потенциала / под ред. С. Н. Сильвестрова, Н. А. Новицкого. М. : ИЭ РАН, 2006.

2. Экономика России: итоги и перспективы роста / Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации. М., 2007.

3. Зубарев А. С. Приоритетные направления политики регионального развития в условиях глобализации экономики // Научные ведомости БелГУ. 2007. Вып. 2, № 3 (34). С. 149–153.

4. Официальный сайт Красноярского края [Электронный ресурс]. URL: http://www.krskstate.ru.

5. Журнал «Инновации» : офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: http://www.innovation.ru.

6. Инновации. Красноярский край [Электронный ресурс]. URL: http://www.giop.ru/REOS/giep/giep_innovation.nsf/html/KRASNOYARSK.

Таблица 3

Оценка инвестиционных проектов Красноярского края с точки зрения инновационности

Признак разделения на группы	Значения признаков, позволяющие определить группу риска нововведения и инновационного процесса инвестпроектов			
	Комплексное развитие Нижнего Приангарья	Международный авиатранспортный узел (ХАБ)	Железногорская ТЭЦ	«Солнечный кластер»
1. По содержанию (виду) нововведения	–	Новое решение (4)	–	Новая технология (6)
2. Тип новатора (сфера создания новшества)	–	Управление и организации (3)	–	Производственные фирмы и отделения (6)
3. Область знаний и функций	–	Социальные и общественные звенья (5)	–	Техника и технология (8)
4. Тип инноватора (сфера нововведения: фирмы, службы)	–	Эксплуатационные и обслуживающие звенья (4)	–	Производственные звенья (6)
5. Уровень проекта	Отрасль, группа отраслей (5)	Государство (4)	Государство (4)	Отрасль, группа отраслей (5)
6. Территориальный масштаб проекта	Область, край (5)	Интернационализация (7)	Район, город (4)	Область, край (5)
7. Масштаб распространения проекта	Единичная реализация (5)	Широкая реализация (7)	Единичная реализация (5)	Ограниченная реализация (6)
8. По степени новизны	–	Усовершенствующие (2)	–	Радикальные (8)
9. По глубине реализации проекта	Комплексные (5)	Элементарные, локальные (2)	Элементарные, локальные (2)	Системные (7)
10. Причина появления нового (инициатива)	–	Потребности рынка (3)	–	Развитие науки и техники (7)
11. Уровень изменчивости технологии	Стабильная технология (2)	Стабильная технология (2)	Стабильная технология (2)	«Плодотворная» технология (5)
12. Срок реализации	Долгосрочные (более 3 лет) (8)	Долгосрочные (более 3 лет) (8)	Долгосрочные (более 3 лет) (8)	Долгосрочные (более 3 лет) (8)
Средний класс инновации	3	4	2	6
Величина риска, %	1	2	0,5	10

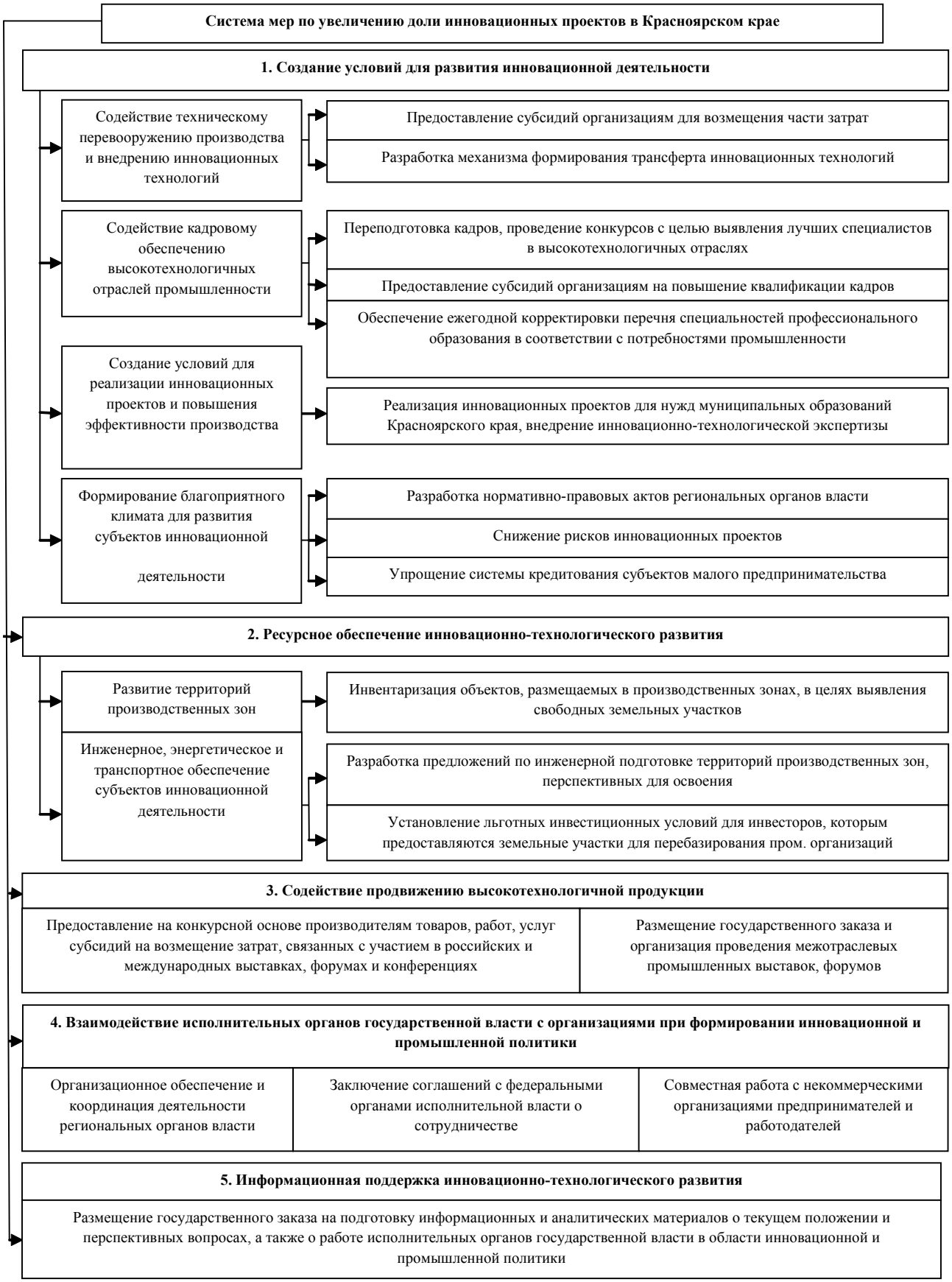


Рис. 5. Система мер по увеличению доли инновационных проектов в регионе

D. A. Chudaev

MANAGEMENT METHODS OF INNOVATIVE AND INVESTMENT ACTIVITIES IN A REGION

In this article the management of investment and innovation in the industry of the region as an example of the Krasnoyarsk Territory are considered. Stages of system and classification of management methods of risks are presented. The technique of determining the magnitude of risk of the project depending on the middle-class innovations to assess the major investment projects in the region is proposed. Measures of regional support for the formation of a favorable innovation climate and increasing the share of innovative projects are developed.

Keywords: investment, innovation, risks, technique, assessment, project.

© Чудаев Д. А., 2010

УДК 65.29

А. А. Бойко, Н. В. Бахмарева

ЦЕПОЧКА СОЗДАНИЯ ЦЕННОСТИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОЦЕССНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматривается процесс разработки цепочки создания ценности (ЦСЦ) воспроизводства основных фондов на предприятиях ракетно-космической промышленности.

Ключевые слова: цепочка создания ценности, жизненный цикл, воспроизводство.

Эффективность работы любой организации в значительной степени определяется эффективностью управления, его соответствием внутренним и внешним условиям деятельности предприятия. Изменение этих условий вызывает изменения подходов к управлению. Необходимость совершенствования управления воспроизводством основных производственных фондов (ОПФ) предприятий ракетно-космической промышленности (РКП) обосновывается количественными и качественными изменениями в технической базе производства и возросшими задачами по ее использованию, что оказывает прямое влияние на конечный результат финансово-хозяйственной деятельности данных предприятий. Пристального внимания к пути решения проблем управления и реализации современных требований, к управлению воспроизводством ОПФ заслуживает процессный подход к управлению.

В настоящее время процессный подход завоевывает все более новых приверженцев, и предприятий занимающихся внедрением данного метода управления становиться все больше. Однако российские и зарубежные ученые сходятся во мнении, что для реализации успешного перехода на процессно-ориентированное управление еще не сформирована достаточная и эффективная теоретико-практическая база, а также не решено большое количество проблем методического характера. Прежде всего это относится к отсутствию типовых инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ, подходящих для любого предприятия, способных осуществить не только переход к управлению на основе процессного подхода, а сделать это комплексно, с максимальной эффективностью и с закреплением полученного результата. Следовательно, необходимость решения задач, направленных на формирование интегрированного управления воспроизводством ОПФ по стадиям жизненного цикла и формам воспроизводства, обеспечения эффективного взаимодействия между различными подразделениями, участвующими в процессе управления, создание единой системы показателей, ориентированной на выполнение стратегии предприятия и обеспечивающей эффективное операционное управление материально-технической базой инновационного производства предприятий РКП, определяет актуальность разработки инструментария процессного подхода.

До недавнего времени внедрение процессного подхода к управлению организацией начиналось с построения системы бизнес-процессов организационной деятельности, которая показывала набор основных, вспомогательных и управленческих бизнес-процессов, а также отражала горизонтальные и вертикальные связи между ними. Далее на основе системы бизнес-процессов разрабатывалась система показателей, определяющая эффективность выполнения процессов, производства продукта и уровень удовлетворенности потребителя. После чего составлялись положения о подразделениях, выполняющих выделенные бизнес-процессы, а также регламен-

ты, описывающие процедуру их осуществления, необходимую инфраструктуру и ресурсы [1]. Однако использование только этих инструментов не позволяло в полной мере увязать создаваемую на основе процессного подхода новую систему управления со стратегией развития организацией, так как система бизнес-процессов не давала в полной мере наглядного представления о последовательности создания продуктов или услуг на уровне бизнеса организации в целом, представляющих ценность для потребителей организации. В этой связи появилась необходимость в разработке специального инструмента, посредством которого можно решить эту проблему.

Майкл Портер в 1980 г. предложил концепцию цепочки создания ценности (Value Chain), в основе которой лежал взгляд на организационную деятельность как на согласованный набор видов деятельности, создающий ценность для предприятия, начиная с исходных источников сырья для поставщиков данного предприятия, вплоть до готовой продукции, доставляемой конечному потребителю и способной увязывать создаваемую на основе процессного подхода систему управления со стратегией организации. При этом внимание акцентируется не только на процессах, происходящих внутри предприятия, а гораздо шире, выходя за его рамки. Со стратегической точки зрения концепция ЦСЦ предполагает связь с поставщиком; связь с потребителем; технические связи внутри ЦСЦ одного подразделения предприятия; связь между ЦСЦ подразделений внутри предприятия.

Цепочка создания ценности – это организованный и взаимосвязанный набор бизнес-процессов, создающих ценность для клиента. Это своего рода обзорная модель процессов организации с высокой степенью агрегации, служащая точкой выхода в детальные модели процессов следующего уровня, позволяющая объективно подходить к построению адекватной системы бизнес-процессов. Следует подчеркнуть, что при выделении бизнес-процессов на основе ЦСЦ делается акцент на результат процесса, на понимание того, из чего он состоит и как получается. Это очень важно для осознания деятельности, понимания того, как создается ценность для клиентов. Особенно следует подчеркнуть четкость и логику выявления и отображения на схемах тех бизнес-процессов, которые осуществляют управление [2]. В данном случае термин «управление» используется не только для описания деятельности руководителей (например, по принятию решений), но и для описания деятельности, преобразующие материальный поток, а также устанавливающей требования для выполнения бизнес-процесса и влияющей на его выполнение. Следовательно, при внедрении процессного подхода сначала строится ЦСЦ, а уже на ее основе система бизнес-процессов (СБП) организации. Такая последовательность позволяет четко увязать СБП со стратегией развития организации и создать целостную систему бизнес-процессов.

Достижение генеральной цели воспроизводства основных фондов предприятия, т. е. обеспечение наличия в необходимое время в определенном месте средств труда с таким потребительскими свойствами, которые соответствуют рыночным потребностям в количественных и качественных параметрах конкретного продукта при условии минимизации затрат в текущем и перспективном периоде, требует улучшения организации воспроизводства ОПФ на всех уровнях управления данной сферой, организации внутрикорпоративной интеграции соответствующих управленческих подразделений, а также налаживания взаимодействия с потребителями бизнес-процессов. Эффективная работа по разработке цепочки создания ценности в качестве инструмента процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ должна основываться на принципах ее построения [3].

Во-первых, принципы построения инструмента процессно-ориентированного управления воспроизводством ОПФ должны основываться на общих принципах процессного подхода (принципах менеджмента качества), заложенных в стандартах ИСО 9000.

Во-вторых, принципы построения цепочки создания ценности воспроизводства ОПФ должны учитывать особенности данного процесса: основные фонды участвуют в процессе производства длительное время, сохраняют натурально-вещественную форму и переносят свою стоимость на готовую продукцию по частям, по мере снашивания. Особенности функционирования основных производственных фондов требуют первоначального ввода в действие, а также периодического капитального, среднего и текущего ремонта, организации системы амортизационных отчислений для накапливания средств, необходимых для ремонта и полного обновления износившихся основных фондов.

В-третьих, принципы построения ЦСЦ воспроизводства ОПФ как инструмента процессно-ориентированного управления данной сферой должны отражать основные требования к управлению воспроизводством ОПФ: 1) создание единой службы управления воспроизводством ОПФ; 2) обеспечение эффективного взаимодействия между различными подразделениями, участвующими в процессе управления воспроизводством ОПФ; 3) переход от управления функциями к управлению процессами; 4) ориентация управления воспроизводством ОПФ в первую очередь на удовлетворение потребностей основных производственных цехов; 5) создание единой системы показателей, ориентирующейся на выполнении стратегии предприятия и обеспечивающей эффективное операционное управление воспроизводством ОПФ.

Решение этих вопросов позволило сформулировать принципы построения ЦСЦ воспроизводства ОПФ предприятий РКП, которые достаточно системно и с необходимой полнотой отражают основные требования к управлению воспроизводством ОПФ, учитывают особенности данного процесса, основываются на принципах процессного подхода и отражают направления конструктивной деятельности по управлению данным процессом (см. таблицу).

Итак, сформулированные принципы служат теоретической основой для построения типовой цепочки создания ценности воспроизводства ОПФ предприятий ракетно-космической промышленности.

Далее перейдем непосредственно к разработке типовой ЦСЦ воспроизводства ОПФ, базируясь на принципах ее построения и учитывая особенности данного процесса. В работе [2] описана подробная методика построения

ЦСЦ организации. В соответствии с этой методикой процедура построения ЦСЦ воспроизводства ОПФ разбивается на следующие этапы: 1) определение цели построения схемы ЦСЦ; 2) выделение границы ЦСЦ; 3) определение набора процессов схемы ЦСЦ; 4) построение схемы ЦСЦ; 5) построение схемы управления ЦСЦ.

Целью данной работы является разработка ЦСЦ воспроизводства ОПФ, позволяющая в дальнейшем построить СБП воспроизводства основных фондов и создать интегрированную систему управления данной сферой. Поставленная цель определяет и точку зрения (позицию, с которой будет строиться модель) должностного лица на процесс моделирования ЦСЦ воспроизводства ОПФ. Точка зрения диктует автору модели правила выбора нужной информации. В работе моделирование процесса воспроизводства ОПФ будет осуществляться с точки зрения высшего звена руководства данным процессом, ответственного за его построение и управление. Непосредственное построение ЦСЦ воспроизводства ОПФ начинается с выстраивания границ, в рамках которой будет построена схема ЦСЦ воспроизводства ОПФ. Границы цепочки ценности воспроизводства оборудования определяются ее практическими задачами, анализом и рационализацией, с обязательным включением в ее состав процессов, непосредственно участвующих в создании продукта (услуг). Далее изучается место и роли каждого элемента схемы ЦСЦ в процессе воспроизводства основных фондов, что и позволяет определить перечень звеньев (процессов) цепочки. Важнейшим показателем каждого звена цепочки является создаваемая им ценность. Согласно методике построения ЦСЦ на верхнем уровне ее границы должны совпадать с жизненным циклом продукта (рис. 1).

Построение типовой ЦСЦ воспроизводства ОПФ в рамках жизненного цикла расширяет представление о фактических масштабах и содержании движения основных фондов и возникающих в этой связи проблем управления [4]. Рамками жизненного цикла при этом охватывается деятельность не только предприятий и их подразделений, но и, при необходимости, проектно-конструкторских и строительно-монтажных организаций, решающих те или иные задачи использования основных фондов, частичного и расширенного воспроизводства и развития технической базы предприятия. В определенных масштабах охватывается и деятельность научных подразделений.

К стадиям жизненного цикла воспроизводства основных фондов относятся следующие.

Исследование – поиск тех или иных готовых результатов и достижений, которые бы можно было использовать на данном предприятии при совершенствовании его технической базы.

Разработка, проектирование, ТПП – разработка проектов машин и машинных комплексов; схем размещения и оснащения производственных цехов, участков, рабочих мест и т. д. Изготовление элементов основных фондов, включая монтаж, обкатку, пуск, пробную эксплуатацию.

Реализация (освоение) – перспективное планирование развития технико-производственной базы предприятия; планирование развития новой техники и организации производства; финансовый план; план капиталовложений; своевременная установка производственного оборудования.

Привлечение и наращивание мощностей; перспективное и текущее планирование производственной программы предприятия; организация полной загрузки оборудования; учет работы оборудования; контроль за соответствием размеров и технико-эксплуатационных характеристик оборудования, обеспечивающего технологический процесс.

Использование – эксплуатация технологического оборудования; уход за оборудованием, поддержание нормальных условий процесса производства.

Восстановление – планирование и учет выполнения графика ППР, модернизация оборудования; продажа или передача с баланса на баланс оборудование другим предприятиям; консервация оборудования до возникновения потребностей в нем; образование запаса узлов и деталей за счет демонтажа устаревшего оборудования.

Принципы построение ЦСЦ воспроизводства ОПФ

Принципы построения	Содержание принципа	Результат применения принципа
Необходимая полнота (достаточность)	При разработке схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ показываются основные стадии жизненного цикла этого процесса	Визуализация воспроизводства ОПФ и его форм на высшем уровне управления. Возможность принимать общие управленческие решения по реорганизации процесса в целом
Разделения форм воспроизводства ОПФ	При разработки схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ строятся две ЦСЦ (натуральная и стоимостная)	Создание агрегированной модели состава элементов воспроизводства ОПФ. Возможность дальнейшей декомпозиции стадий воспроизводства ОПФ. Определение границ бизнес-процессов в соответствии со стадиями воспроизводства ОПФ
Системообразующие связи	При разработке схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ отражаются основные материальные, стоимостные и информационные системообразующие связи	Наглядное представление основных системообразующих связей (материальных, стоимостных и информационных) воспроизводства ОПФ
Обратные связи	При описании бизнес-процессов управления ЦСЦ отражаются информационные потоки обратной связи как внутри каждой ЦСЦ (натуральной и стоимостной), так и между ними	Наглядное представление информационных потоков обратной связи, как между стадиями, так и между формами воспроизводства ОПФ. Определены зоны ответственности руководителей верхнего уровня

Данная модель воспроизводства ОПФ служит основой для построения модели процессов воспроизводства ОПФ последующих уровней.

На втором уровне ЦСЦ воспроизводства ОПФ ограничивается рамками кругооборота ОПФ предприятия. В соответствии с этими рамками определяется и набор бизнес-процессов по стадиям кругооборота ОПФ предприятия. Цель построения ЦСЦ на втором уровне – сформировать представление о структуре воспроизводства ОПФ на организационном уровне и определить ее состав для создания адекватной системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ с точки зрения наиболее общей модели его управления. Следует подчеркнуть, что при формировании цели построения схемы ЦСЦ воспроизводства ОПФ по кругообороту основных средств необходимо помнить о двойственности форм кругооборота: натуральной и стоимостной. Воспроизводственные движения средств труда в натуральных и стоимостных формах самостоятельны относительно друг друга и осуществляются по относительно независимым законам содержания циклов кругооборота. Следовательно, для обеспечения эффективного управления основными производственными фондами в воспроизводственном процессе проблемные ситуации управления воспроизводством необходимо

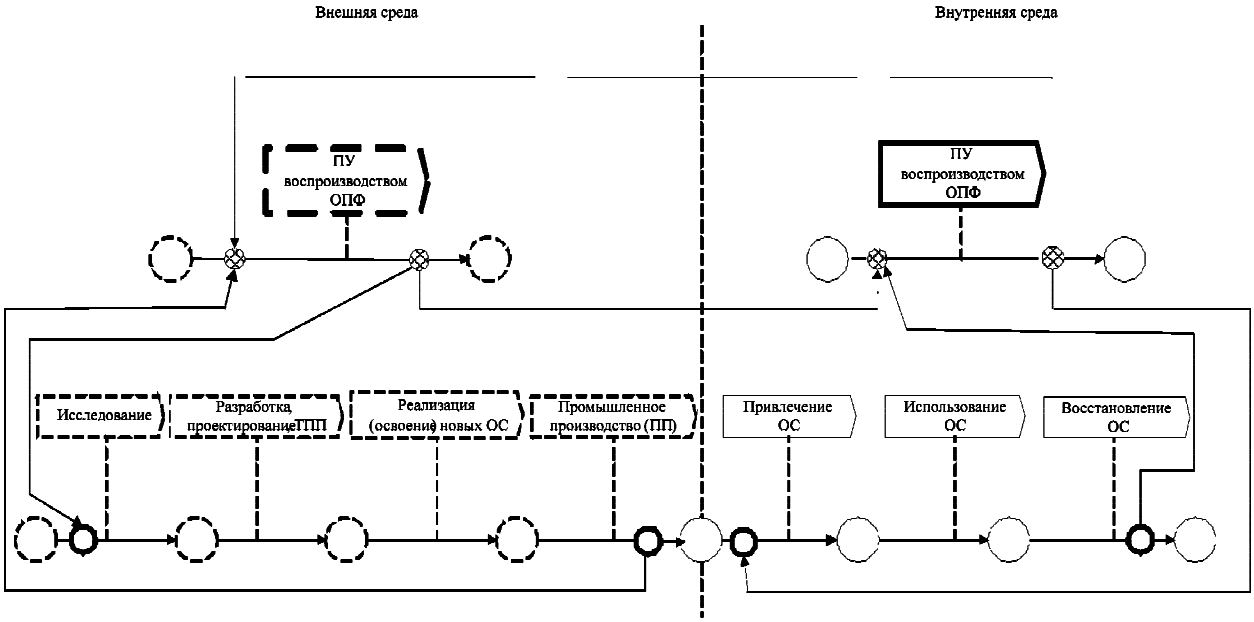


Рис. 1. Типовая цепочка создания ценности воспроизводства ОПФ в рамках жизненного цикла:
– продукт за рамками предприятия; – продукт в рамках предприятия; – слияние потоков информационных;
– слияние потоков продуктовых; – бизнес-процессы за рамками предприятия;
– бизнес-процессы в рамках предприятия; – бизнес-процессы управления за рамками предприятия;
– бизнес-процессы управления в рамках предприятия

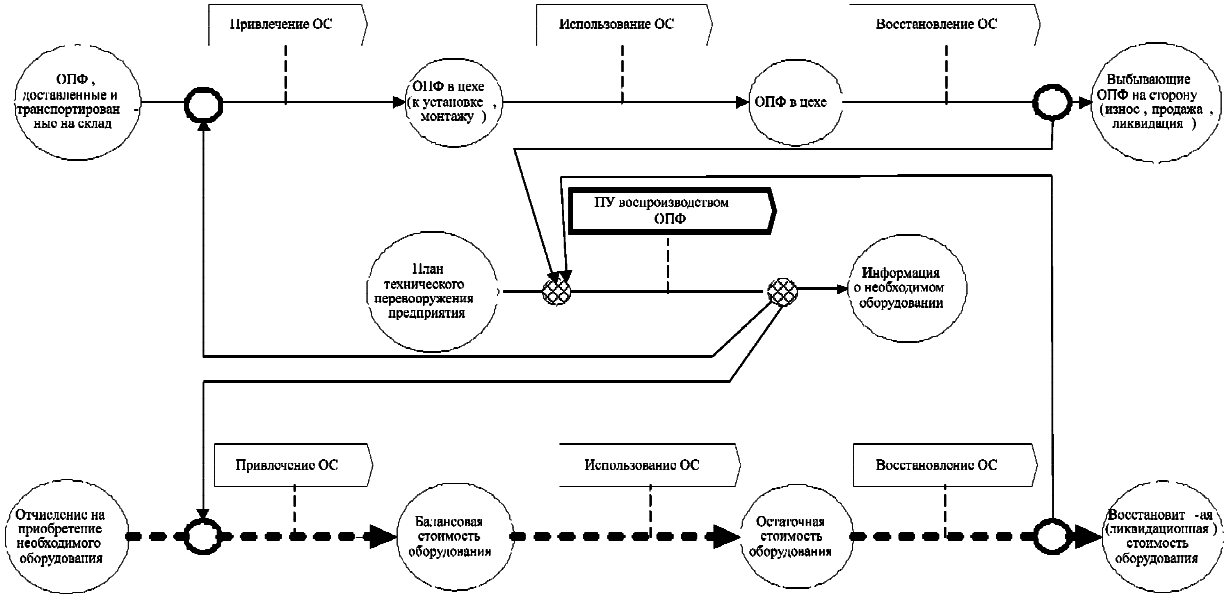


Рис. 2. Типовая цепочка создания ценности, сформированная по стадиям кругооборота ОПФ предприятия:
– натуральная форма воспроизводства ОПФ;
– стоимостная форма воспроизводства ОПФ

рассматривать в двух аспектах: аспектах управленческих факторов, воздействующих на кругообороты в натуральных и стоимостных формах. Более того, сущность кругооборотов основных производственных фондов обусловливает одновременное существование двух относительно независимых целей воспроизводства.

Для кругооборота в натуральных формах цель обеспечения процесса производства средствами труда трансформируется в обеспечение наличия в необходимое время и в определенном месте средств труда с такими потребительскими качествами, которые соответствуют потребностям в количественных и качественных параметрах конкретного продукта. Для кругооборота основных производственных фондов в стоимостных формах цель обеспечения производственного процесса средствами труда выливается в обеспечение наличия требуемого объема авансируемого основного капитала и средств для текущих расходов по стадиям натурального кругооборота основных производственных фондов. Данное обстоятельство предопределяет целесообразность одновременного построения двух ЦСЦ воспроизводства ОПФ второго уровня (рис. 2).

Тогда, с учетом всего вышеизложенного, целью построения ЦСЦ воспроизводства средств труда в натуральной и стоимостной форме будет являться обеспечение интеграции управления взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности на протяжении всего кругооборота основных фондов как внутри каждой ЦСЦ (натуральной и стоимостной), так и между ними. Исходной точкой моделирования ЦСЦ воспроизводства ОПФ предприятия служат стадии жизненного цикла, выявленные на этапе моделирования ЦСЦ первого уровня.

При разработке схем ЦСЦ воспроизводства ОПФ предприятия не нужно стремиться к максимально полному описанию материальных и информационных потоков. Первоочередная задача заключается в показе основных, системообразующих потоков и процессов. Степень полноты и детальности должна быть такой, чтобы схемы цепочек ценности адекватно отображали процесс воспроизводства оборудования обеих форм и могли использоваться для принятия решений по их совершенствованию [4]. Кругооборот средств труда в обеих формах осуществляется по одним и тем же стадиям: привлечение, использование и восстановление, однако состав бизнес-процессов, взаимодействующих на каждой из стадий воспроизводства в зависимости от формы, отличается [5]. Результатом построения схем цепочек, создания ценности воспроизводства ОПФ является четкая и структурированная картина бизнес-процессов воспроизводства основных фондов предприятия. Выделенные бизнес-процессы представляют собой набор процессов ЦСЦ каждой формы воспроизводства основных фондов предприятия и составляют основу для построения системы бизнес-процессов воспроизводства ОПФ.

Поводя итог, следует сказать, что для принятия общих управленческих решений по реорганизации воспроизводства ОПФ, представления основных материальных, стоимостных и информационных связей, определения границ бизнес-процессов в соответствии со стадиями жизненного цикла и стадиями кругооборота основных фондов и были разработаны типовые цепочки создания ценности воспроизводства ОПФ первого и второго уровня управления, которые являются универсальными и подходят для любого промышленного предприятия. Однако для их внедрения на конкретном предприятии этот типовой инструмент необходимо дорабатывать с учетом особенностей его бизнес-процессов воспроизводства ОПФ.

Библиографические ссылки

1. Кукарцев А. В., Бойко А. А. Методика перехода к управлению организацией на основе процессного подхода : моногр. / Сиб.гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2008.

2. Репин В. В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация. М. : РИА «Стандарты и качество», 2007.

3. Бойко А. А., Бахмарева Н. В. Принципы проектирования инструментов процессно-ориентированного управления воспроизводством основных производственных фондов предприятия // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. № 1. С. 17–20.

4. Бахмарева Н. В. Теоретические основы процессной модели управления воспроизводством основных производственных фондов машиностроительных предприятий с учетом их особенностей // Человеческие ресурсы и управление бизнес-процессами в современных социально-экономических системах: тенденции, проблемы и перспективы: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. / Центр приклад. науч. исслед. М., 2010. С. 124–135.

5. Михалев Г. С., Бойко А. А. Выбор и реализация варианта воспроизводства основных производственных фондов машиностроительных предприятий : моногр. / Сиб. гос. аэрокосмич.ун-т. Красноярск, 2005.

A. A. Boiko, N. V. Bahmareva

CHAIN OF CREATION OF VALUE AS THE TOOL OF THE PROTSESSNO-FOCUSED MANAGEMENT OF REPRODUCTION OF THE BASIC PRODUCTION ASSETS OF THE ENTERPRISES OF THE SPACE-ROCKET INDUSTRY

Process of working out of a chain of creation of value of reproduction of fixed capital at the enterprises of the space-rocket industry is considered.

Keywords: a chain of creation of value, life cycle, reproduction.

© Бойко А. А., Бахмарева Н. В., 2010

УДК 332.14

Г. И. Латышенко, М. В. Сафронов

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Дана оценка состояния и динамики развития малого предпринимательства в Красноярском крае. Проанализированы меры государственной и региональной поддержки малого бизнеса.

Ключевые слова: малое предпринимательство, субъекты малого предпринимательства, индивидуальные предприниматели, поддержка малого бизнеса.

Развитие малого предпринимательства является одним из важнейших приоритетов для региональной экономики, основой для развития конкурентной среды, повышения инвестиционной и инновационной активности хозяйствующих субъектов, кроме того, за счет развития малого предпринимательства обеспечивается занятость населения и повышение качества жизни жителей Красноярского края, формирование среднего класса и демократических институтов гражданского общества.

Роль малого бизнеса существенно возрастает в условиях современного экономического кризиса. Это связано с тем, что при сохранении существующей экономической ситуации крупные предприятия сокращают масштабы производства, оптимизируют затраты и временно приостанавливают свою деятельность, сокращая численность работающих, что, в свою очередь, усиливает социальную напряженность в регионе.

Переломить экономическую ситуацию возможно путем развития малого и среднего предпринимательства. При относительно небольших бюджетных затратах государство, используя ресурс малого бизнеса, может эффективно решать проблемы, связанные:

– с сокращением потребительского спроса;

– снижением уровня доходов населения;

– формированием иждивенческой психологии определенной части населения;

– сокращением поступлений в бюджеты всех уровней и т. д.

В условиях экономического кризиса важнейшими функциями малого предпринимательства становятся противодействие росту безработицы, обеспечение занятости (самозанятости) населения и снижение социальной напряженности [1].

Таким образом, развитие малого предпринимательства поможет справиться со сложной экономической ситуацией и отвечает приоритетным задачам социально-экономического развития Красноярского края на долгосрочную перспективу [2].

Развитие малого и среднего предпринимательства – это уникальный и эффективный инструмент для формирования рыночной структуры и конкурентной среды в экономике края; роста производства товаров и услуг; сокращения числа безработных; решения важных социальных проблем.

В крае в 2008 г. было зарегистрировано 6 835 предприятий малого бизнеса (без микробизнеса). Численность работников (без внешних совместителей) составляла 138,2 тыс. чел. (9,4 % от численности занятых в экономике края, в России – 12,6 %). Оборот малых предприятий и инвестиции в основной капитал составили, соответственно, 188,2 млрд руб. и 86,0 млрд руб. Доля малого бизнеса в валовом региональном продукте – 24,8 %, что выше среднероссийского показателя на 13 % (табл. 1).

Доля доходов от малого и среднего предпринимательства составляет 5–7 %.

Отмечается положительная динамика развития малого предпринимательства за период с 2005 по 2008 гг., увеличилось количество субъектов малого предпринимательства почти в два раза, доля занятых в малом предпринимательстве за 3 года возросла с 7,2 до 9,4 % от общей численности занятых в экономике края [3].

Число малых предприятий в Красноярском крае ежегодно растет, несмотря на кризисные явления в экономике. С учетом микропредприятий число малых и средних предприятий в крае в 2008 г. составило 18 270 ед., т. е. возросло по сравнению с предыдущим годом на 15 % (табл. 2). Для сравнения, по Российской Федерации произошло сокращение числа малых предприятий на 12,2 % к уровню 2007 г. [4].

Субъекты малого предпринимательства функционируют практически во всех отраслях экономики, повсеместно осваивая небольшие рыночные сегменты. Следует отметить, что структура малых предприятий (с учетом микропредприятий) по видам экономической деятельности остается на протяжении анализируемого периода практически неизменной. Основной сферой деятельности малого бизнеса является оптовая и розничная торговля (доля 46–48 %), которая менее трудоемка, но где вложенные средства приносят более быструю отдачу.

На втором месте по удельному весу в структуре по видам экономической деятельности стоят организации, занимающиеся операциями с недвижимым имуществом, арендой и предоставлением услуг (8–13 %), на третьем и четвертом местах – обрабатывающие производства и строительство (10–14 %). В структуре МСБ практически отсутствуют предприятия, производящие инновационную продукцию. На ее долю приходится около 1 % производимой в крае промышленной продукции.

В структуре малого бизнеса края (табл. 3) выделяются собственно малые предприятия с численностью работающих до 100 чел. и микро-предприятия с числом занятых до 15 чел. По статистическим данным 2008 г. число зарегистрированных микро-предприятий составило 11 435 ед., это почти в два раза больше, чем малых предприятий с большей численностью работников [3].

Как видно из представленных данных, на первом мес-

те в общем числе малых предприятий находятся предприятия оптовой и розничной торговли, их доля составляет 29,9 %, численность занятых – 29,7 %, а товарооборот – 71,0 %.

На втором месте – обрабатывающие производства – 7,3 % от общего товарооборота; на третьем месте – операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление социальных услуг – 7,0 %, на долю строительных организаций приходится 6,1 % оборота малых предприятий края. Необходимо отметить низкую долю обрабатывающих производств в общем обороте, что почти в 10 раз меньше доли оптовой и розничной торговли. Это свидетельствует о высокой доле продажи товаров, ввозимых из других регионов и импортного производства.

В крае почти не производятся товары легкой промышленности и многие продукты питания, а если и производятся, то в недостаточном количестве. Такое положение негативно сказывается на продовольственной безопасности региона. Изменение положения в данной сфере напрямую зависит от развития малого и среднего бизнеса. Сырьевая направленность экономики региона сдерживает развитие обрабатывающих производств с использованием имеющихся ресурсов в крае, особенно природных.

Изменение структуры в сторону увеличения предприятий обрабатывающих производств на базе современных технологий должно быть приоритетным при разработке программ поддержки и развития малого предпринимательства в Красноярском крае. Кроме того, приоритетными направлениями поддержки остаются сельскохозяйственное производство и сфера услуг.

Число индивидуальных предпринимателей в крае сопоставимо с количеством малых предприятий и составляет 74 494.

В районах Нижнего Приангарья в настоящее время действует 3 244 индивидуальных предпринимателя, что составляет 4,4 % от общей численности индивидуальных предпринимателей без образования юридического лица в крае. На долю оптово-розничной торговли приходится 52 %, на долю обрабатывающих производств – 4,7 %, в строительстве –1,5 % (табл. 4).

Индивидуальные предприниматели – это экономически активное население, которое необходимо поддерживать и учитывать при разработке и реализации комплекса мер, направленных на поддержку малого предпринимательства в регионе. Самозанятость этих граждан необходимо поощрять с целью расширения их бизнеса и пе-

Таблица 1

Оценка уровня развития малого бизнеса в Красноярском крае

Показатели	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Доля малого бизнеса в ВРП, %	20,3	23,9	21,0	24,8
Доля занятых в малом бизнесе, от общей численности занятых в экономике, %	7,2	7,5	8,7	9,4

Таблица 2

Динамика числа предприятий малого бизнеса в Красноярском крае

Показатель	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Всего малых предприятий	9819	10 466	15 879	18 270

Таблица 3

Структура малого предпринимательства по видам экономической деятельности

Показатель	Число предприятий		Численность, тыс.чел.		Оборот малых предприятий, тыс. руб.	
	ед.	%	всего	%	сумма, руб.	%
Малые предприятия, всего	6 835	100	138,2	100	148 900,0	100
в том числе по видам деятельности:						
– сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство	379	5,5	11,2	7,7	2 970,9	2,0
– рыболовство, рыбоводство	9	0,1	0,4	0,2	42,1	0,0
– добыча полезных ископаемых	31	0,5	0,4	0,3	737,6	0,5
– обрабатывающие производства	823	12,0	17,6	12,4	10 934,2	7,3
– производство и распределение электроэнергии, газа и воды	90	1,3	3,2	2,2	807,4	0,6
– строительство	905	13,2	16,4	12,0	9 108,9	6,1
– оптовая и розничная торговля: ремонт а/т средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	2 041	29,9	42,7	29,7	105 659,3	71,0
– гостиницы и рестораны	174	2,6	4,2	2,9	1 831,8	1,2
– транспорт и связь	423	6,2	7,0	5,1	4 024,0	2,7
– финансовая деятельность	90	1,3	0,8	0,6		
– операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	1 502	22,0	28,6	20,5	10 489,2	7,0
– образование	30	0,4	0,1	0,1	11,8	0,0
– здравоохранение и предоставление социальных услуг	136	2,0	2,0	2,1	1 258,5	0,9
– предоставление прочих коммунальных, социальных услуг	202	3,0	4,3	3,2	1 024,2	0,7

рерастания в будущем в малые и средние предприятия. Закрепление населения на территории Нижнего Приангарья отвечает современным требованиям Правительства РФ об освоения и развитии Сибири и Дальнего Востока.

Действующая среднесрочная целевая программа «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае» на 2008–2010 гг. призвана создать условия для динамичного развития малого предпринимательства, что должно привести к повышению конкурентоспособности продукции региональных товаропроизводителей, решению социальных проблем, обеспечению социальных гарантий трудящихся и повышению уровня жизни населения [3].

Государственная региональная поддержка малого предпринимательства направлена на создание условий для ведения бизнеса и развитие инфраструктуры.

В настоящее время малый бизнес сталкивается с влиянием финансово-экономического кризиса и развивается в условиях, приближенных к чрезвычайным.

Острой остается проблема доступа малого предпринимательства к финансовым ресурсам. Получение кредитов для пополнения оборотных средств, даже под большой процент, связано со сложностями оформления. До сих пор не развита система лизингового кредитования, отсутствует отлаженная система венчурного кредитования инвестиционных проектов.

К факторам, сдерживающим развитие предпринимательской деятельности в Красноярском крае, можно отнести:

– территориальные диспропорции в уровне развития муниципальных районов;

– недостаточно развитую инфраструктуру поддержки и развития малого и среднего предпринимательства;

– дисбаланс размещения информационных ресурсов;

– проблему качества продукции и продвижения её на региональный, российский и международный рынки;

– низкую долю производств по глубокой переработке продукции лесной отрасли и сельского хозяйства;

– высокий износ основных производственных фондов в сфере материального производства и агропромышленном комплексе;

– дефицит квалифицированных кадров, недостаточный уровень профессиональной подготовки;

– низкую активность органов местного самоуправления по развитию малого и среднего предпринимательства.

Тем не менее потенциал для существенного увеличения количественных и качественных показателей деятельности малого и среднего предпринимательства в крае имеется. При условии реализации необходимого комплекса мер, направленных на поддержку и развитие малого и среднего бизнеса, можно в течение ближайших 3–5 лет достигнуть средних российских показателей и лидирующих позиций в Сибирском федеральном округе.

В Красноярске с 2007 г. действует бизнес-инкубатор, в котором можно получить справочную, деловую и аналитическую информацию о бизнес среде и субъектах малого и среднего бизнеса. В крае в 2009 г. открылось агентство поддержки малого и среднего бизнеса. Основные направления деятельности: предоставление микрозаймов и поручительств малому бизнесу для начинания коммерческой деятельности и пополнения оборотных средств. Предоставив заявку в агентство, субъекты малого предпринимательства могут получить на возвратной основе займы до 500 тыс. руб. на срок от 3 мес. до одного года. На эти цели в 2009 г. предусмотрено 83,3 млн руб. Кроме того, Красноярское региональное агентство готово предоставить поручительства предпринимателям в случае нехватки залогового обеспечения. Для этого в бюджете края выделено 103,84 млн руб., которые размещены на депозитах в банке.

Всего на финансирование мероприятий краевой целевой программы «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае» было предусмотрено 516,2 млн руб. на 2009 г., в том числе 250 млн руб. за счет средств федерального бюджета.

Информационная поддержка малого бизнеса в крае осуществляется посредством развития информационно-консультационной системы на базе городских и районных библиотек, включающих 100 информационно-правовых центров, которые предоставляют предпринимателям края бесплатный доступ к ресурсам этой системы.

В целях повышения конкурентоспособности продукции региональных товаропроизводителей и продвижения её на региональные и международные рынки предусмотрена поддержка субъектов малого предпринимательства, занимающихся лесопереработкой и переработкой сельскохозяйственной продукции и дикоросов.

Государственная поддержка малого и среднего предпринимательства направлена на создание условий для

Таблица 4

Территориальное распределение индивидуальных предпринимателей в крае

Район края	Всего	Из них по видам экономической деятельности						
		с/х	обрабат. пр-ва	стр-во	опт/роз торговл.	транс-порт	операц. с недвиж.	прочие комм. и соц. услуги
Нижнее Приангарье:	3 244							
Богучанский	1 411	192	67	12	689	349	35	50
Кежемский	608	56	53	16	300	115	25	28
Енисейский	441	46	13	6	239	77	24	18
Мотыгинский	233	26	10	7	134	35	7	13
Казачинский	230	47	3	2	138	17	11	4
С.Енисейский	202	6	6	3	123	35	15	11
Пировский	119	34	4	2	66	7	1	1
Всего по краю	74 494	2 453	4 337	1 541	43 805	7 056	7 548	4 858

ведения бизнеса и развитие инфраструктуры. Непосредственная поддержка большинства субъектов малого предпринимательства станет прерогативой органов местного самоуправления [4].

Реализация мероприятий государственной поддержки приведет к росту оборота малых предприятий в стоимостном выражении и увеличению объема инвестиций в основной капитал малых организаций. Так, в 2010 г. оборот малых организаций увеличится на 5,1–7,5 % к предыдущему году, в 2011 – на 3,2–4,7 %, в 2012 г. – на 1,9–7,7 % и достигнет 416,3–440,2 млрд руб.

Объем инвестиций в основной капитал в 2010 г. вырастет в сопоставимых ценах на 1,9–4,0 % к предыдущему году, в 2011 – на 2,2–4,5 %, в 2012 г. – на 2,2–9,2 % и достигнет 7,8–8,3 млрд. руб.

Индекс производства малых организаций на протяжении прогнозируемого периода будет иметь положительную динамику. В 2010 г. он составит 103,5–106,5 % к предыдущему году, в 2011 г. – 102,0–103,0 %, в 2012 г. – 101,9–102,0 %.

Библиографические ссылки

1. О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации : федер. закон № 209-ФЗ : принят 24 июля 2007 г.

2. Закон Красноярского края «О краевой целевой программе “Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Красноярском крае на 2008–2010 гг.„» : закон Краснояр. края.

3. Государственная служба статистики: офиц. сайт URL: http://www.gks.ru.

4. Территория. Красноярский край [Электронный ресурс]: URL: http://www.territory.newslab.ru.

G. I. Latyshenko, M. V. Safronov

ESTIMATION OF DYNAMICS OF SMALL BUSINESSES DEVELOPEMENT IN KRASNOYARSK REGION

The article gives estimation of condition and dynamics of development of small businesses in Krasnoyarsk region. Measures of the state and regional support of small businesses are analyzed in the article.

Keywords: small businesses, subjects of small businesses, individual enterpreneurs, small businesses support.

© Латышенко Г. И., Сафронов М. В., 2010

УДК 330.341.42

С. К. Демченко, Т. А. Мельникова

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭКОНОМИКЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИОНА

Рассматривается трансформация региональной экономики Красноярского края, критерии эффективности структурной перестройки. Приводится оценка качества структурных изменений в экономике Красноярского края и показано их влияние на социально-экономическую эффективность региона.

Ключевые слова: общественное производство, социальная эффективность, рынок труда.

Российская экономика динамично интегрируется в мировое хозяйство. Закономерности экономического роста в масштабе глобального развития оказывают существенное влияние на каждое национальное хозяйство. Об этом свидетельствует осенний финансовый кризис 2008 г., который оказал влияние не только на функциональный характер финансовых институтов, но и на развитие структур реальных секторов экономики страны и ее регионов. Его воздействие найдет выражение в деформации отраслевой структуры и занятости населения, в изменении масштабов производства товаров и услуг, а также логических схем товародвижения в региональных товарных потоках.

В данном контексте нам представляется интересным опыт структурной трансформации региональной экономики Красноярского края. Его структура динамична и изменяется по мере развития экономической системы. Большинство авторов к основным категориям структурной трансформации экономики относят соответствующие сдвиги, кризисы, перестройку и даже структурную революцию. Что касается структурных сдвигов, то, с одной стороны, они являются результатом развития экономики, а, с другой, – процессом, приводящим к перестройке структуры экономики в целом. Им предшествуют определенные преобразования – постепенные количественные накопления структурных изменений, впоследствии переходящие в структурные сдвиги. Выход из структурного кризиса осуществляется в процессе кардинальных структурных изменений и структурной перестройки [1].

Критерий эффективности структурной перестройки выражается через систему показателей. Ими могут быть

соответствие новой структуры экономики региона новым прогрессивным научно-техническим тенденциям, удовлетворение значительной части производственных и личных потребностей, возрастающие темпы экономического роста региона, рациональность использования экономических ресурсов, степень конкурентоспособности отечественных товаров на внутреннем и внешнем рынках. Многие авторы отмечают, что структурную перестройку можно считать эффективной лишь тогда, когда она содействует повышению эффективности общественного производства [2].

Структурные изменения в экономике определяют долгосрочную стратегию развития экономики и формируют уровень ее социально-экономической эффективности. Поэтому оценка качества происходящих структурных изменений в экономике должна быть в центре внимания органов власти на национальном, региональном и местном уровнях.

Цель данной работы – оценить качество структурных изменений в экономике Красноярского края и показать их влияние на социально-экономическую эффективность региона.

Красноярский край имеет ряд особенностей, отражающихся на его экономическом и социальном развитии. Прежде всего это богатство природными ресурсами, уникальная обширность территории, расположенность в самом центре России, а также удаленность от основных мест концентрации промышленного производства и населения, находящихся в европейской части России.

Уровень деловой активности региона нередко оценивается обобщающим показателем изменения объема производства товаров и услуг, таким как динамика валового регионального продукта (ВРП). Если говорить о Красноярском крае как о регионе, имеющем большой экономический и инвестиционный потенциал, то можно выделить долю ВРП среди регионов Сибирского федерального округа (СФО) (рис. 1).

Красноярский край, хотя и имеет лидирующее место среди регионов СФО, также переживает последствия мирового экономического кризиса, поскольку более 50 % доходов бюджета составляют промышленные и обрабатывающие производства. Российская продукция обрабатывающих и металлургических производств неконкурентоспособна по отношению к зарубежным аналогам, это связано в первую очередь с износом технической базы и сложностью внедрения инноваций (табл. 1).

Если сопоставить динамику изменений доли различных отраслей с общим объемом производства относительно 2007 г., то к 2009 г. доля промышленности в общей структуре ВРП снизилась на 12,8 %, сельского хозяйства – 4,3 %; строительства – 23,7 % (табл. 1). Снижение связано с такими тенденциями, как снижение среднегодовых мировых цен на основные виды цветных и драгоценных металлов, производимых в крае. Средняя цена никеля сократилась на 44,2 %, меди – 41,7 %, алюминия – 45 %, платины – 37,1 %, серебра – 17,7 %, палладия – 42,1 %. Дальнейший спад произошел и в производстве черных металлов.

Отраслевые сдвиги в структуре ВРП отразились на изменениях количества и качества рабочей силы, занятой в различных сферах. Если проанализировать изменение структуры занятого населения в целом, мы можем отметить уменьшение доли работающих именно в тех отраслях, за счет которых произошли изменения структуры производимого ВРП. Так в 1998–2001 гг. доля работающих в промышленности увеличилась почти на 1 %, в строительстве увеличение достигло 0,5 %, в социальной сфере – 1,2 %. Сравним динамику ВРП и численность занятого населения за период структурных преобразований (табл. 2).

Надо заметить, что динамика занятого населения в экономике Красноярского края стремительными темпами уменьшается. Хотя на сегодняшний день в крае дей-

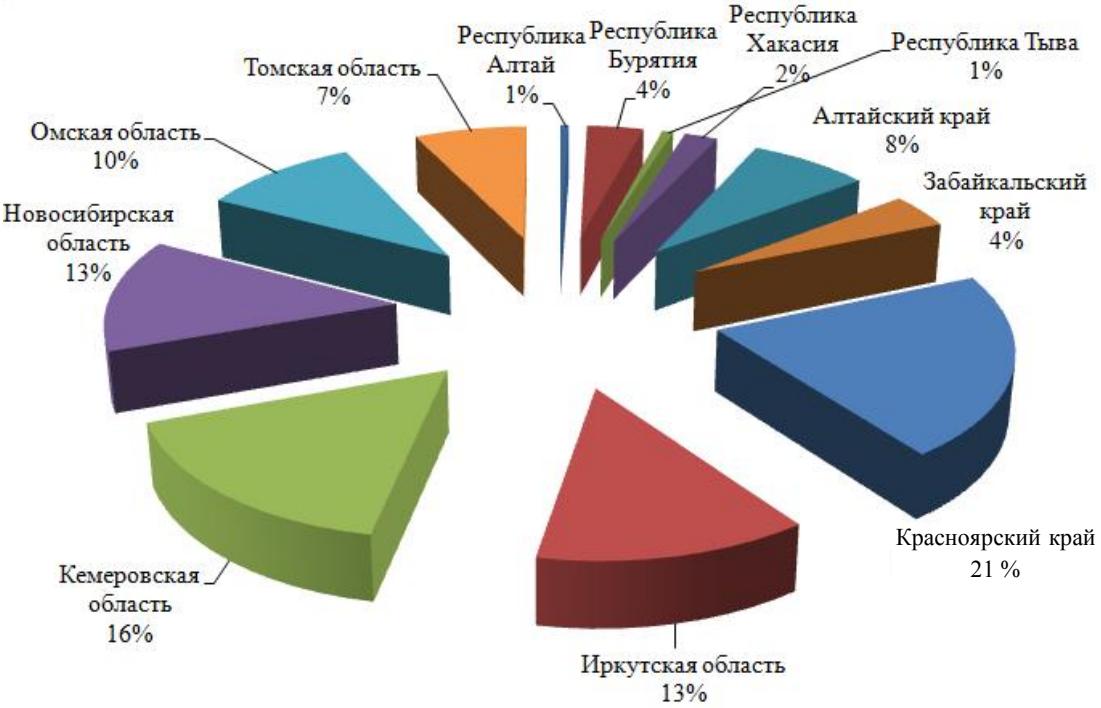


Рис. 1. Доля Красноярского края в структуре СФО за 2008 г. [3]

ствуют программы по поддержки занятости, но все равно число занятых в 2008 г. уменьшилось по сравнению с 2002 г.

В связи с изменившимися условиями производства, переходом человечества в постиндустриально-информационное общество, нельзя не учитывать того, что само понятие «эффективность общественного производства» и его оценка также претерпевают изменение. При сохранении общего понятия эффективности как соотношения результата и затрат, происходят не только количественные, но и качественные изменения параметров эффективности общественного производства. Даже в исторически обозримый современный период понятие экономической эффективности расширилось за счет социальной составляющей эффективности. Возникает необходимость учета не просто экономической, а социально-экономической эффективности.

Важное значение имеют особенности социально-экономической эффективности производства и разработка путей ее повышения для формирования экономической политики страны и ее регионов. Поэтому остро встал вопрос о необходимости исследования факторов и условий повышения социально-экономической эффективности производства, механизма обеспечения ее повышения, формирования направлений и способов обеспечения оптимального соотношения между государственным регулированием и рыночным саморегулированием, выделения особенностей и разграничения социально-экономической эффективности на каждом уровне социально-экономической системы как важнейших общенациональных задач. Действительно, если стратегия обеспечения социально-экономической эффективности является общей для всех уровней экономики страны, то ее реализация предполагает учет особенностей каждого региона, отрасли, предприятия, без чего невозможно обеспечить общенациональную стратегию повышения социально-экономической эффективности производства [4].

Между социальной и экономической эффективностью существует взаимосвязь. С одной стороны, улучшение удовлетворения личных потребностей всех членов общества объективно требует роста экономической эффективности. Нельзя повысить благосостояние народа, не обеспечив существенный рост производительности общественного труда. Экономическая эффективность выступает могучей пирамидой решения социальных проблем. С другой стороны, повышение социальной эффективности выступает решающим фактором рационального и экономного ведения хозяйства в интересах общества и отдельных его членов.

Однако на практике подобная взаимосвязь не всегда существует, что проявляется в нерациональном использовании материальных ресурсов, загрязнении окружающей среды и т. п. Потеря связи между социальной и экономической эффективностью фактически означает, что производство осуществляется ради производства, т. е. оно приобретает бессмысленный характер. Объективной закономерностью должен быть рост эффективности производства такой продукции и такого качества, которое действительно нужно обществу для удовлетворения его потребностей. В этом суть взаимосвязи экономической и социальной эффективности хозяйственной деятельности.

С масштабными рыночными преобразованиями в России в 1992 г., введением новых экономических институтов и либерализацией цен весь комплекс социальных вопросов получил новое значение. Несмотря на прошедшие с тех пор годы, ныне социальные проблемы продолжают сохранять свою прежнюю остроту, миллионы россиян сохраняют низкий уровень жизни, связанный в первую очередь с высоким уровнем безработицы, низкой заработной платой, высоким уровнем дифференциации доходов населения и т. д. [5].

Наиболее сильно весь спектр социальных вопросов отражает такое понятие, как социальная эффективность.

Социальная эффективность – степень удовлетворенности потребностей и интересов работников, определяющая эффективность использования человеческих ресурсов в рамках экономической эффективности.

По разным данным за чертой бедности в Красноярском крае (доходы ниже величины прожиточного минимума) или около нее живет около 471 тыс. человек. Динамика темпов роста заработной платы представлена на рис. 2.

Таким образом, темп роста реальной заработной платы по краю в период с 2000–2009 гг. уменьшился в среднем на 10,2 %.

Преобладающая часть занятого населения сосредоточена на крупных и средних предприятиях, где в 2009 г. работало 287 тыс. чел. За годы экономических реформ произошло существенное изменение структуры занятости населения. Падение объемов промышленного производства в первой половине 1990-х гг. привело к оттоку

Таблица 1

Изменение структуры ВРП Красноярского края, % [3]

Показатели, %	2007 г.	2008 г.	2009 г.	Динамика изменения доли отрасли в 2009 г. относительно 2007 г., %
Промышленность	103,6	105,3	90,8	–12,8
Сельское хозяйство, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	106,7	105,2	102,4	–4,3
Строительство	113,6	104,9	89,9	–23,7

Таблица 2

Динамика объема ВРП и численность занятого населения в Красноярском крае за 2002–2007 гг.

Показатели, %	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Объем ВРП	104	105,6	106,4	103,3	104,4	106	104,6
Процент занятого населения	100	98,4	98	92,1	91,3	91,3	90,4

работников в другие отрасли экономики. Большая часть трудоспособного населения занята теперь в сфере услуг, что соответствует современным мировым тенденциям развития крупных городов. В малых организациях в 2009 г. по оценкам работали 184,2 тыс. чел. Отмечается высокая маятниковая миграция населения из прилегающих к городу территорий, работающего в организациях Красноярска.

В структуре среднесписочной численности работников организаций наибольшая доля приходится на занятых в промышленности. В 2009 г. она составила 20,8 %, снизившись по сравнению с 2008 г. на 1,1 %. Значительна также доля работающих в организациях торговли – 14,2 %, что на 0,3 % выше, чем в 2008 г. Доля занятых в организациях бюджетной сферы в общей численности работников организаций в динамике увеличилась с 29,1 % в 2008 г. до 29,8 % в 2009 г.

Специфическое состояние рынка труда характеризуется сочетанием скрытой безработицы и низкого уровня официально зарегистрированной. Численность официально зарегистрированных безработных на 01.01.2010 составила 6,6 тыс. чел., что на 67,5 % выше уровня на начало предыдущего года. Уровень регистрируемой безработицы в 2009 г. составил 1,08 % против 0,65 % в 2008 г. Основная часть зарегистрированных безработных составляют женщины, молодежь в возрасте 16–29 лет [6].

Если проанализировать изменение структуры занятого населения в целом, мы можем отметить изменение доли работающих именно в тех отраслях, где изменилась структура производимого ВРП. Так в 2005–2008 гг доля работающих в промышленности уменьшилась на 1 %, в то время как падение производства составило 12,8 %. В строительстве произошло увеличение числа занятых на 10 %, хотя объем производства сократился на 23 %. В сельском хозяйстве доля производства и доля занятых снизилась на 4,3 % и 10,5 % соответственно.

Мировой экономический кризис сыграл большую роль в занятости населения. Так, в 2009 г. в краевые государственные учреждения службы занятости населения 389,3 тыс. чел. обратились за предоставлением государственных услуг в области занятости населения, в том числе за содействием в поиске работы – 219,8 тыс. чел., из них 15,3 тыс. чел. были уволены в связи с ликвидацией организации либо сокращением численности или штата работников организации (в январе–декабре 2008 г. – 259,1 тыс. чел., 136,5 тыс. чел. и 7,6 тыс. чел. соответственно).

Уровень зарегистрированной безработицы в конце 2009 г. составил 4,2 % экономически активного населения (на 31 декабря 2008 г. – 2,3 %). Наиболее низкий уровень безработицы зарегистрирован в городах Ачинске, Красноярске, Железногорске и Балахтинском, Рыбинском, Березовском районах, наиболее высокий – в поселке Кедровый, в Бирилюсском и Енисейском районах. В 17 городских округах и муниципальных районах края ситуация на рынке труда характеризовалась как напряженная (уровень зарегистрированной безработицы составлял более 5 % трудоспособного населения).

В январе–апреле 2010 г. в краевые государственные учреждения службы занятости населения обратились за предоставлением государственных услуг в области занятости населения 124,3 тыс. чел., в том числе: за содействием в поиске работы – 50,2 тыс. чел., из них 2,9 тыс. чел. были уволены в связи с ликвидацией организации либо сокращением численности или штата работников организации (в январе–апреле 2009 г. – 126,0 тыс. человек, 68,6 тыс. чел. и 7,2 тыс. чел. соответственно).

По состоянию на 1 мая 2010 г. в органах службы занятости населения Красноярского края зарегистрированы 43,4 тысячи безработных граждан. Уровень зарегистрированной безработицы составил 2,7 % экономически активного населения (на 1 мая 2009 г. – 3,4 %).

Красноярск является крупным промышленным центром Сибири. На 1 января 2010 г. число учтенных организаций в г. Красноярске составило 46 тыс. единиц, из них 45,1 тыс. единиц являются юридическими лицами, 0,9 – филиалами, представительствами и другими обособлен-

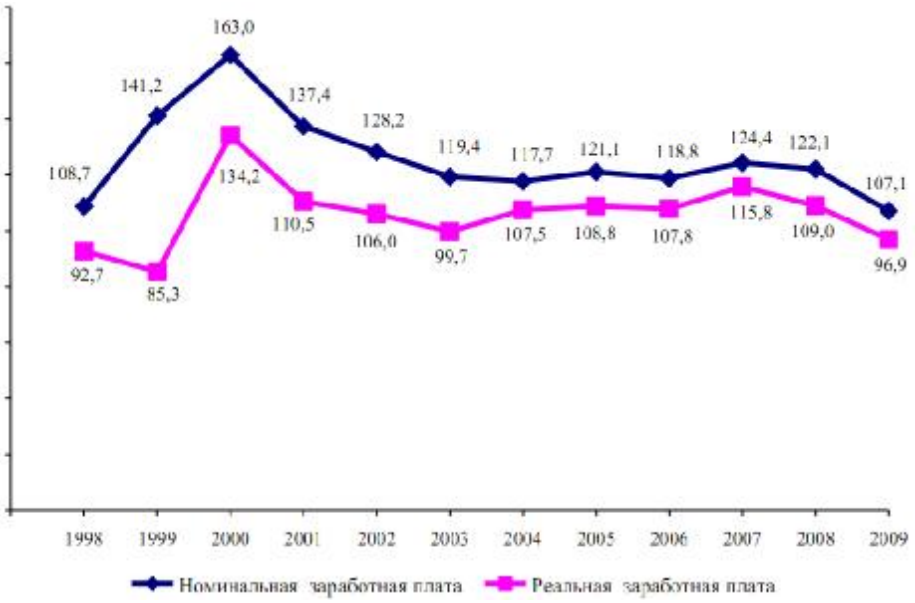


Рис. 2. Среднемесячная начисленная номинальная и реальная заработная плата работников организаций Красноярского края (в % к предыдущему году)[6]

ными подразделениями. Доля предприятий обрабатывающего производства Красноярска в общем обороте обрабатывающего производства края составляет 26,3 % (2008 г. – 30,4 %). Удельный вес обрабатывающего производства в общем объеме оборота города за последние годы уменьшается: в 2006 г. – 85 %, в 2007 г. – 80,5 %, в 2008 г. – 76,8 %, 2009 г. – 73,2 % (табл. 3).

Металлургическое производство занимает лидирующее положение в общем объеме товарной продукции (51 % в обороте обрабатывающего производства в 2009 г.).

На втором месте находится производство машин и оборудования (17,1 % в обороте обрабатывающего производства в 2009 г.). Доля оборота по этому виду экономической деятельности к 2009 г. снизилась по сравнению с 2004 г. на 2,5 % (табл. 4).

Влияние на снижение оказало падение объемов производства на ОАО ПО «Красноярский завод комбайнов», ОАО «Красноярский завод лесного машиностроения», ОАО КЗХ «Бирюса».

На третьем месте – производство пищевых продуктов, включая напитки, рост их в 2009 г. составил 13,1 % в обороте обрабатывающего производства.

До 2009 г. стабильно увеличивались объемы строительства, что способствовало росту оборота по такому виду экономической деятельности, как производство прочих неметаллических минеральных продуктов. Доля производства прочих неметаллических минеральных продуктов в обороте обрабатывающего производства с 2004 г. по 2008 г. увеличилась на 3,7 % (доля 2004 г. – 4,5 %, 2008 г. – 8,2 %). В 2009 г. в связи с кризисными явлениями в финансовой системе в строительной отрасли произошло снижение объемов строительства и, как следствие, снижение в производстве прочих неметаллических минеральных продуктов (доля в обороте обрабатывающего производства в 2009 г. составила 5,5 %).

В экономике города до 2009 г. наблюдался значительный рост инвестиций в основной капитал (рис. 3).

В структуре инвестиций в 2009 г. доминируют вложения в строительство и реконструкцию зданий, кроме жилых (38 %), приобретение машин, оборудования, транспортных средств (31 %), жилищное строительство (14,3 %).

Основным источником инвестиционной деятельности крупных и средних предприятий являются привлеченные средства – 68,6, 72,5 и 76,3 % в 2007 г., 2008 и 2009 гг. соответственно. Доля собственных средств предприятий в структуре источников финансирования уменьшилась с 31,3 % в 2007 г. до 23,7 % в 2009 г. Доля бюджетных средств в структуре источников финансирования увеличилась с 16,9 % в 2007 г. до 22,2 % в 2009 г.

Большое количество крупных промышленных предприятий имеют собственную опытно-промышленную базу. Значительный вклад в разработку и освоение наукоемкой продукции вносят ОАО «РУСАЛ – Красноярский алюминиевый завод», ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В. Н. Гулидова», ОАО «Красноярский машиностроительный завод» и др.

Одним из основных преимуществ города является высокая концентрация академических и отраслевых институтов, вузов, а также опытно-конструкторских организаций. На территории города расположены 25 высших учебных заведений, 46 организаций, выполняющих научные исследования и разработки.

Особая роль в инновационном развитии отводится техническим и новым инновационным университетам. В рамках приоритетных национальных проектов в Красноярске создан Сибирский федеральный университет (СФУ), призванный готовить кадры и разрабатывать глобально значимые технологии, способные влиять на мировые процессы.

Так, например, на базе инновационной площадки Политехнического института СФУ сформированы инновационные кластеры: «Радиоэлектроника и космические технологии», «Региональный научно-технический кластер программных средств и IT-технологий». Разработаны основные принципы формирования машиностроительного кластера инновационного типа.

В целом по стране лидерами, определяющими общую картину инновационной деятельности, остаются нефте-

Таблица 3

Структура оборота продукции обрабатывающих производств

Вид деятельности	Доля по обороту, %				
	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Обрабатывающие производства, из них:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
производство пищевых продуктов, включая напитки	9,2	8,4	9,6	10,9	13,2
текстильное и швейное производство	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
производство кожи, изделий из кожи и производство обуви	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
обработка древесины и производство изделий из дерева	1,1	1,5	1,5	1,0	0,8
целлюлозно-бумажное производство; издательская и полиграфическая деятельность	2,2	2,3	2,2	2,1	2,0
химическое производство	3,5	2,7	1,9	1,3	1,5
производство резиновых и пластмассовых изделий	3,7	1,5	1,6	1,4	1,5
производство прочих неметаллических минеральных продуктов	5,3	6,0	6,8	8,2	5,5
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	48,9	53,9	51,8	51,5	51,0
производство машин и оборудования	18,1	17,1	17,6	16,1	17,1
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	1,4	1,7	2,0	2,0	2,2
производство транспортных средств и оборудования	3,8	3,1	2,9	3,1	2,9
прочие производства	2,4	1,5	1,8	2,0	1,9

химическая промышленность, машиностроение и металлообработка. Особенности структуры промышленности Красноярска свидетельствуют об объективно более низких, чем в среднем для экономики страны, внутренних стимулах инновационного развития. В этой ситуации необходимы меры, направленные на стимулирование создания инновационно-ориентированных производств, использующих интеллектуальный ресурс Красноярска.

Подведем итоги структурных преобразований, которые происходили в регионе в период экономического кризиса:

– наблюдалось резкое падение в структуре ВВП доли производства в основных отраслях народного хозяйства, таких как промышленность, сельское хозяйство, строительство;

– одним из основных структурных сдвигов в региональной промышленности является рост сырьевых отраслей и отраслей топливно-энергетического комплекса при постоянном снижении объемов производства в машиностроении и металлообработке;

– в сфере занятости образовался дисбаланс спроса и предложения на рынке труда за счет несогласованности между вузами и работодателями о потребности в специалистах в той или иной отрасли или сфере услуг, также слабо развита взаимосвязь спроса на рынке труда и системы профессионального образования, системы профессионального заказа, инвестирования в обучение необходимых для развития субъектов экономики и социальной сферы рабочих и специалистов;

– низкая диверсификация структуры промышленного производства (более половины оборота обрабатывающего производства приходится на долю металлургии), низкий уровень использования производственных мощностей, трансформация большинства промышленных предприятий либо в диверсифицированные производства товаров, малозначимых для отраслей региональной и российской экономики с небольшой долей товаров-импортозаменителей, либо в производителей услуг: офисных, энергетических, по продаже тепла, услуг по строительству и т. п.;

– высокий уровень физического и морального износа оборудования и недостаточность собственных средств предприятий на их обновление и модернизацию. Как следствие, большинство промышленных предприятий, за исключением цветной металлургии, не только не в состоянии конкурировать на мировых рынках, но и постепенно сдают свои позиции на национальном рынке.

С целью противодействия негативным структурным изменениям в экономике Красноярского края и для усиления социально-экономической эффективности развития региона необходимо добиться прекращения оттока рабочей силы из высокотехнологичных производств, прежде всего машиностроения в топливно-сырьевые отрасли и сферу обращения. Для этого следует остановить структурную и инвестиционную трансформацию профессионально-квалификационных характеристик занятости рабочей силы. Устранить структурную деформацию можно в ходе усиления государственного регулирования, в частности, восстановления системы госзаказа в высокотехнологичных секторах экономики. Целесообразно было бы направить инвестиционные ресурсы в высокотехнологичные секторы экономики.

Библиографические ссылки

1. Селищева Т. А. Трансформация структуры российской экономики / С.-Петерб. гос. инж.-экон. ун-т. СПб., 2005.

2. Гнездилов А. Экономика региона. Ставка на инновации // Природные ресурсы Красноярского края. 2010. № 4. С. 28–32.

3. Данные Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru (дата обращения: 15.11.2010).

4. Пшеничникова С. Н. Структурные трансформации в российской экономике: критерии и оценки // Экономика и управление. 2009. № 1/4. С. 28–35.

Таблица 4

Объемы промышленного производства на предприятиях г. Красноярска в 2005–2009 гг.

Показатели	Ед. изм.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Индекс промышленного производства к предыдущему году	%	100,1	98,0	101,1	105,2	88,6
Оборот организаций, всего	млн руб.	98 683,9	123 473,0	163 999,3	177 520,9	146 641,4
в том числе: добыча полезных ископаемых	млн руб.	85,1	74,8	194,1	183,6	399,2
обрабатывающие производства	млн руб.	82 726,5	104 986,3	131 491,0	136 266,0	107 386,7
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	млн руб.	15 872,3	18 411,9	32 314,1	41 071,3	38 855,5
Темп роста оборота организаций в действующих ценах к предыдущему году	%	X	125,1	132,8	108,2	82,6
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами, всего	млн руб.	88 274,4	112 269,2	146 624,0	153 989,7	129 730,0
в том числе: добыча полезных ископаемых	млн руб.	85,1	74,0	194,1	131,2	241,4
обрабатывающие производства	млн руб.	80 016,7	102 714,9	128 806,4	132 710,3	102 534,5
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	млн руб.	8 172,6	9 480,3	17 623,5	21 148,2	26 954,2
Темп роста объема отгруженных товаров в действующих ценах к предыдущему году	%	X	127,2	130,6	105,0	84,2

5. Шувалов. А. И. Основные факторы развития Сибири и Дальнего Востока – модернизация и улучшение качества жизни людей // Экономика и управление. 2009. № 1. С. 3–6.

6. Меньшикова В. И. Факторы устойчивого развития // Экономика и управление. 2009. № 1/4. С. 38–42.

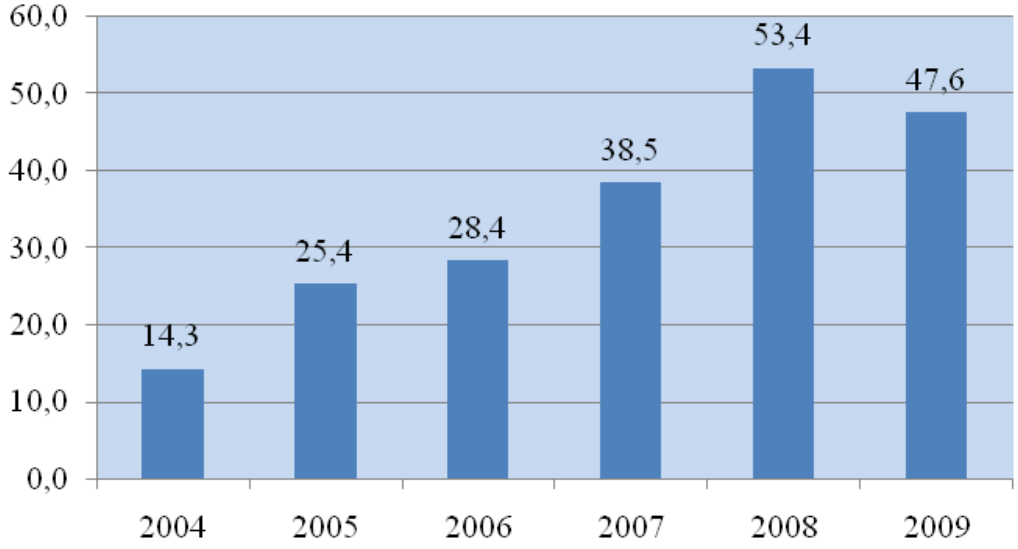


Рис. 3. Динамика инвестиций в основной капитал, млрд руб. [4]

S. K. Demchenko, T. A. Melnikova

STRUCTURAL CHANGES IN ECONOMY AND THEIR INFLUENCE ON SOCIAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF REGION

Transformation of regional economy of Krasnoyarsk region, criteria of efficiency of structural reorganization is considered. Estimation of quality of structural changes in economy of Krasnoyarsk region and their influence on social and economic efficiency of the region is given in the article.

Keywords: social production, social efficiency, labor market.

© Демченко С. К., Мельникова Т. А., 2010

УДК 331.104.2

О. Л. Егошина, В. М. Клешков, О. Э. Семенкина

ВНУТРЕННИЙ МАРКЕТИНГ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ

В условиях постиндустриальной экономики интеллектуальные работники как основные производители и носители знаний являются источником долгосрочного конкурентного преимущества, которое трудно скопировать, поэтому успех бизнеса требует маркетингового подхода не только к обслуживанию потребителей, но и внутреннего рынка – работников. Проанализированы возможности, уточнены инструменты внутреннего маркетинга и предложены принципы, повышающие эффективность использования интеллектуальных работников в организации с учетом особенностей данной группы человеческих ресурсов.

Ключевые слова: интеллектуальные работники, внутренний маркетинг, требования к внутренней среде организации, инструменты внутреннего маркетинга.

Эффективность деятельности современных организаций в значительной степени зависит от клиентоориентированности бизнеса, наличия уникального товарного и сервисного предложения, совершенствования бизнес-процессов, но еще более основана на том, насколько руководство справляется с задачей по привлечению, управлению и удержанию интеллектуальных работников, способных обеспечить конкурентные преимущества орга-

низации. Известны случаи, когда процветающие корпорации резко снижали свои производственные показатели и даже поглощались конкурентами в связи с тем, что не могли обеспечить сотрудникам желанные условия деятельности, и с их уходом теряли интеллектуальный капитал, который прежде выступал основой их инвестиционной привлекательности [1]. Сложность указанной задачи связана не только с редкостью интеллектуального сотрудника как носителя уникальных способностей, но и ограниченной возможностью управления данной группой в силу ее особенностей. Указанные факторы требуют пересмотра и корректировки управленческих инструментов, традиционно применяемых организациями, и предложения дополнительных инструментов – одним из которых может быть внутренний маркетинг.

Значение интеллектуальных работников в современной организации определяется следующим:

а) они составляют значительную долю персонала;

б) создают конкурентоспособность организации;

в) являются ключевым источником развития.

Рассмотрим основные характеристики интеллектуального работника:

– оперирование в работе информацией и знаниями, способность переработки их в новые знания, готовые продукты;

– независимость профессиональной деятельности от собственности на средства и условия производства;

– идентификация себя в большей степени с профессией, сферой деятельности, чем с конкретной организацией;

– слабая возможность рабочего контроля по причине продажи работодателю результатов интеллектуальной деятельности, процесс достижения которых скрыт;

– значительная способность к самоорганизации, поэтому их самостоятельность не вредит компании, а увеличение доли таких работников в организации снижает потребность в традиционном управлении персоналом;

– возможность интеллектуального роста и развития, а не материального вознаграждения – главный мотив деятельности;

– постепенное осознание интеллектуальными работниками своей ведущей роли в производственном процессе и возможности ее успешно играть вне организации и пр.;

– ответственность за производительность лежит на интеллектуальном работнике, который должен сам собой управлять, и независимость при выполнении работы;

– качество решения поставленной задачи, а не количество или объем произведенного продукта, как у работника физического труда – основной показатель производительности интеллектуального работника [2].

К категории интеллектуальных сотрудников обычно относят программистов, юристов, конструкторов, дизайнеров, консультантов, экспертов, аналитиков, маркетологов и представителей других профессий, способных без физических средств производства создать готовый продукт [3].

Увеличение в современных организациях удельного веса интеллектуальных работников и ужесточение конкуренции на рынке труда за них формируют повышенные требования к организации с точки зрения создания привлекательных условий труда. Внутренний маркетинг способен помочь организации сформировать данные условия.

Появление понятия «внутренний маркетинг» связывают с активным развитием сферы услуг в 1970-е годы в развитых странах и именем К. Грёнрооса, предложившего данное понятие в рамках функционально-инструментальной модели качества обслуживания. К. Гренроос вводит также такие термины, как «внутренний продукт» (работа персонала) и «внутренний потребитель» (персонал фирмы) [4].

Сегодня учеными-теоретиками и практиками предложено множество трактовок понятия «внутренний маркетинг». Иногда его также называют интернальным маркетингом или интромаркетингом. Рассмотрим несколько подходов к определению этого понятия с точки зрения применимости к интеллектуальным работникам (см. таблицу).

В целом данные трактовки довольно детальны, но в отношении интеллектуальных работников являются спорными. В частности, определение Д. Лобанова полемично в области стимулирования, поскольку работников невозможно стимулировать в силу присущих им особенностей, можно применять лишь внутреннюю мотивацию для данной группы работников. Подходы К. Грёнрооса и Е. Н. Голубковой кажутся нам несколько ограниченными, так как первый ориентирован прежде всего на сферу услуг и процесс обслуживания, осуществляемый контактным персоналом, не рассматривая другие категории интеллектуальных работников, а подход Е. Н. Голубковой ориентирован на внешних клиентов и использует сотрудников, как средство их завоевания. Наиболее адекватным, исходя из целей данного исследования, нам видится определение, которое предложили Л. Берри и П. Парасураман, поскольку оно делает акцент на удовлетворении квалифицированного персонала, коим и является интеллектуальный работник.

Внутренний маркетинг, ориентированный на внутренний рынок организации, предшествует внешнему маркетингу, поскольку может оказаться бесполезным продвигать на рынок какой-то продукт, если персонал организации не в состоянии обеспечить его высокое качество. Целью внутреннего маркетинга является создание настоящей команды, т. е. людей, чье пристрастие к своему делу превосходит рамки должностных обязанностей. Они определяют содержание своей работы под углом зрения обслуживания внешних клиентов [5].

Одним из главных понятий внутреннего маркетинга является понятие внутреннего рынка как места обмена ценностей, предоставляемых внешним клиентам персоналом организации, на материальное и морально-социальное вознаграждение, предоставляемое им руководством организации. Важной функцией внутреннего маркетинга является развитие у всех сотрудников ориентации на рынок, а не только у сотрудников отдела маркетинга. Как считает Р. Таунсенд, маркетингом должны заниматься все работники организации, начиная от владельца и директора, заканчивая уборщицей, а не отдельно выделенная структура [6].

Таким образом, внутренний маркетинг основан, с одной стороны, на том, что персонал – это ресурс орга-

низации, необходимый для достижения ее целей, с другой стороны, персонал – это одна из важнейших клиентских групп организации, потребности которой необходимо удовлетворять.

Концепция внутреннего маркетинга в большинстве источников рассматривается по аналогии с традиционным комплексом маркетинга («4P» – product, price, place, promotion). Проанализируем элементы комплекса внутреннего маркетинга, предложенные в [5].

1. Продукт – это работа, предлагаемая организацией сотруднику. Организация предлагает особый продукт – должность в организации с ее специфическими задачами, правами и обязанностями. Работник «покупает» этот продукт, «оплачивая» его своим трудом. Удовлетворение персонала внутренним продуктом (работой) зависит от того, насколько потребительские свойства этого продукта (содержание работы, ее объем, творческий характер работы, временной график ее выполнения, уровень самостоятельности принятия решений и др.) соответствуют ожиданиям персонала.

Для интеллектуального работника для удовлетворения его работой требуется, чтобы она носила творческий характер (в широком смысле), а также наличие прав и должностных полномочий для качественного выполнения своих обязанностей, участие в принятии стратегических и оперативных решений, а не их беспрекословное выполнение, и прочие характеристики работы, позволяющие реализовать потенциал работника. Необходимость соответствия работы ожиданиям персонала говорит о целесообразности как входного исследования ожиданий работника в отношении содержания и процесса работы при приеме работника в организацию, так и периодического – для отслеживания изменений ситуации и своевременной ее корректировки.

2. Цена внутреннего продукта – это стоимость материальных, социальных и иных благ, получаемых сотрудниками за свою работу. Другими словами, цена внутреннего продукта определяется степенью стимулирования труда сотрудников.

Применение прямого экономического воздействия в отношении интеллектуальных работников ограничено слабой материальной заинтересованностью последних. Так, у подобных работников, как правило, отсутствуют значительные проблемы в удовлетворении материальных потребностей (уже приобретена квартира, машина, имеются определенные накопления и пр.), поэтому они могут позволить себе выбор организации, предоставляющей не максимальную заработную плату, а возможности для профессионального и личностного роста, интересную работу, цели которой понимаемы и разделяемы работниками, установлены доброжелательные отношения в коллективе и пр. Однако это не подразумевает, что организация может экономить на оплате труда интеллектуальных работников, напротив, такие профессионалы осведомлены о своей стоимости на рынке труда, но размер заработной платы не является для них главным мотиватором. Необходимо отметить также, что размер денежного вознаграждения, которое обычно готовы предложить руководители российских предприятий, не имеют стимулирующего эффекта на интеллектуальных работников. И наоборот, размер вознаграждения, способного стимулировать такого работника, намного превышает суммы, которые готовы потратить руководители на эти цели. Поэтому прямое материальное стимулирование не оказывает значительного мотивационного воздействия на интеллектуальных работников. Признанием важности и расширением ответственности данной категории работников может служить применение косвенного экономического воздействия путем внедрения хозяйственного расчета (самоокупаемости) и участия в прибылях с предоставлением акций, облигаций организации.

3. Место (способ доведения внутреннего продукта) – правильное распределение сотрудников поручаемой им работы внутри организации. Данный компонент рассматривается прежде всего с точки зрения эффективности организационной структуры и распределения задач, прав и ответственности.

Организационное воздействие на интеллектуального работника, предполагающее использование организационной структуры, штатного расписания, должностных инструкций и прочее ограничено по той причине, что при выполнении своих производственных задач данные работники не привязаны к конкретному рабочему месту и времени, организации и средствам производства и способны выполнять свои обязанности вне их. Кроме того, интеллектуальные работники, как правило, выполняют творческие задачи, требующие значительного подготовительного процесса, определенного настроя и обстанов-

Подходы к понятию «внутренний маркетинг»

Автор	Определение
Грёнроос К.	Маркетинг, предполагающий работу с контактным персоналом фирмы и предназначенным для создания мотивационных и организационных условий труда, способствующих созданию функционального качества обслуживания (того, как происходит процесс обслуживания потребителей) [4]
Лобанов Д.	Использование маркетингового подхода применительно к сотрудникам – это выстраивание, стимулирование, координирование и интегрирование персонала для эффективного применения корпоративных и функциональных стратегий с целью удовлетворения потребителя через процесс взаимодействия с мотивированным и клиентоориентированным персоналом [7]
Голубкова Е. Н.	Маркетинг, осуществляемый внутри организации и направленный на эффективное обучение и мотивацию труда сотрудников, непосредственно осуществляющих контакты с клиентами и обеспечивающих поддержку этих контактов, а также на создание условий, при которых сотрудники работают как единая команда, обеспечивая наиболее полное удовлетворение клиентов [5]
Берри Л., Парасураман П.	Привлечение, обучение, мотивирование и удержание квалифицированного персонала посредством создания таких рабочих условий, которые удовлетворяли бы нужды персонала [8]

ки. Поэтому жесткое ограничение их рабочего процесса может привести к обратному результату. Неэффективность распорядительных и дисциплинарных воздействий на интеллектуальных работников продемонстрируем следующим примером. Так, конструктор месяц разрабатывает идею, еще месяц дорабатывает ее, но несмотря на то, что результат появляется спустя два месяца, это не говорит о том, что конструктор не выполнял порученное руководителем задание, также как и не говорит об обратном – представленный результат мог быть достигнут за полчаса, а все два месяца конструктор создавал видимость работы, саботируя задание руководителя, не являющегося для него авторитетом, не понимая и, следовательно, не разделяя целей организации. Иначе говоря, если работник заинтересован по каким-либо причинам остаться в организации, цели которой он не разделяет и руководитель которой не является для него авторитетом, в силу интеллектуальной развитости он найдет возможности, открыто не вступая в конфликт, саботировать административно-правовое воздействие на него.

Одним из решений указанных сложностей может стать уплощение организационной структуры. Реализация существующих рыночных возможностей предприятия отражается в его организационной структуре. Основной тенденцией развития организационных структур управления считается ее последовательное уплощение и увеличение адаптивности. Специалисты определяют следующие требования к формированию эффективных организационных структур [9]:

– сокращение размеров подразделений и укомплектование их более квалифицированным персоналом;

– уменьшение числа уровней управления;

– уплощение организационной структуры, децентрализация, расширение хозяйственной самостоятельности;

– кооперация и партнерство, групповая организация труда;

– делегирование полномочий и побуждение к принятию сотрудниками ответственности на себя;

– создание организационных условий для быстрой реакции на изменения;

– ориентация текущей работы, в том числе графиков и процедур, на запросы потребителей и пр.

Высокими адаптивными возможностями характеризуется органическая модель организации управления. Особенности органических организаций – поощрение творческого подхода к работе, повышение уровня информированности, изменение полномочий и ответственности каждого сотрудника в соответствии с характером решаемой проблемы и др. – приводят к увеличению значимости и участия каждого сотрудника в принятии решений, раскрытию потенциала персонала организации, активизации инновационного мышления, что весьма характерно для интеллектуальных работников.

4. Продвижение внутреннего продукта – это создание системы эффективных маркетинговых коммуникаций между участниками внутреннего рынка. Причем наряду с маркетинговыми коммуникациями следует рассматривать и общеорганизационные коммуникации. Задачей внутреннего маркетинга является анализ формальных и неформальных внутренних коммуникаций с целью выявления эффективности и целесообразности коммуникаций для качественной работы персонала.

Методы маркетинговых коммуникаций во внутреннем маркетинге предполагают применение следующих инструментов:

– стимулирование сбыта;

– персональная продажа;

– реклама;

– связи с общественностью (PR).

Под *стимулированием сбыта* во внутреннем маркетинге понимаются краткосрочные поощрительные меры, способствующие «продаже» работы сотрудникам организации, например, предоставление дополнительной оплаты или других льгот за выполнение внеплановой, особо важной работы. Интеллектуальный работник, как и другие категории персонала, может быть стимулирован подобным инструментом, но чаще – расширением полномочий, возможностью участия в интересном проекте и т. п., и при четком понимании целесообразности увеличения своих трудозатрат.

Под *персональной продажей* понимается устная презентация руководителем в разговоре с одним или несколькими потенциальными внутренними покупателями с целью ее продажи. Она является эффективным инструментом продвижения работы/продукта на определенных этапах ее сбыта, когда личные контакты руководства с сотрудниками организации могут являться более эффективными методами мотивации, чем методы стимулирования продаж. Кроме того, методы персональной продажи используются в ходе собеседования при найме на работу. Личный характер встречи позволяет точнее понять запросы сотрудников, разъяснить им позиции и возможности организации, в выгодном свете представить продаваемые работы, ликвидировать недопонимание, установить доверительные отношения, носящие долгосрочный характер. Для интеллектуального работника такой инструмент продвижения может быть довольно значим, поскольку занимаемые им должности часто требуют прямого контакта с руководством, и личная продажа работы как внутреннего продукта организации, часто более эффективна, так как изначально позволяет минимизировать процедурные помехи и недопонимание будущих (или уже состоявшихся) участников внутреннего рынка.

Реклама во внутреннем маркетинге используется, в основном, внутренняя, представленная печатной информативной рекламой в виде различных внутренних информационных материалов, во многом совпадающих с материалами по связям с общественностью. Внешняя реклама направлена на привлечение в организацию новых сотрудников. Цели этой рекламы во многом идентичны с имиджевой рекламой организации в целом. Данный инструмент применяется в отношении интеллектуальных работников при условии информационной прозрачности внутри и вне организации.

Связи с общественностью во внутреннем маркетинге прежде всего направлены внутрь организации (используется внутренняя функция связей с общественностью). Под общественностью в данном случае понимаются различные сотрудники подразделений организации, включая контактный персонал. Внутренняя функция направ-

лена на создание и поддержание корпоративной социальной ответственности внутри организации, в особенности по удовлетворению потребностей внешних клиентов. Речь идет о высокой репутации организации среди ее персонала, формировании благожелательного климата внутри организации, поддержании чувства ответственности и заинтересованности в делах администрации. Во внутреннем маркетинге может также применяться и внешняя функция связей с общественностью, направленная на привлечение на работу в организацию высококвалифицированного персонала. Данный инструмент может использоваться в отношении интеллектуальных работников лишь при условиях, представленных на разработанном авторами рисунке.

Авторы предлагают следующие принципы использования внутреннего маркетинга в отношении интеллектуальных работников предприятий:

1. Принцип информационной прозрачности внутри организации – информация является первостепенным ресурсом деятельности интеллектуального работника, поэтому цели и задачи, стратегия и тактика организации должны быть открыты и ясны персоналу для понимания того, что, как и зачем необходимо делать. Это обеспечивает чувство включенности в производственный процесс, улучшает возможности для мотивации персонала, создания команды.

2. Принцип соучастия персонала в принятии решений – совместное принятие решений по важным вопросам устраняет возможное сопротивление интеллектуальных работников силовым методам принятия решений и создает чувство причастности, укрепляет «дух общего дела».

3. Предпочтительность принципов, стимулирующих управленческих воздействий перед наказывающими и запрещающими принципами в силу ограничения возможностей применения последних.

4. Принцип «триединства» идентичности: то, что думает руководитель об интеллектуальном работнике, то, что думает работник о руководителе и то, что руководитель и работник думают о клиенте не должно противоречить друг другу, и в итоге формировать идентичность соответствующей информации, которая передается клиенту и создает то, что думает клиент об этой организации. В результате создается идентичная информационная среда, обеспечивающая внутреннюю и внешнюю клиентскую ориентацию на приверженность данной организации.

Таким образом, нами выявлено, что внутренний маркетинг является одним из инструментов создания благоприятной организационной среды, в которой возможно эффективное использование интеллектуальных работников. Уточнены элементы внутреннего маркетинга, что обусловлено особенностями интеллектуальных работников и предложены требования к внутренней среде организации для обеспечения эффективного использования интеллектуальных работников и принципы использования внутреннего маркетинга в отношении интеллектуальных работников предприятий – данные инструменты обеспечивают в свою очередь успех предприятия в постоянно изменяющихся рыночных условиях.

Библиографические ссылки

1. Иноземцев В. Л. Перспективы постиндустриальной теории в меняющемся мире // Новая постиндустриальная волна на Западе. М., 1999.

2. Друкер П. Задачи менеджмента в XXI в. : учеб. пособие. М. : Вильямс, 2007.

3. Юртайкин Е. Особенности развития интеллектуальных работников // Управление человеческим потенциалом. 2005. № 2.

4. Новаторов Э. В. Международные модели маркетинга услуг // Маркетинг в России и за рубежом. 2000. № 3.

5. Голубкова Е. Н., Михайлов О. З. Внутренний маркетинг и управление персоналом – инструменты повышения эффективности управления // Маркетинг в России и за рубежом. 2000. № 3.

6. Таунсенд Р. Секреты управления, или как удержать компанию от подавления инициативы людей и снижения прибыли. М. : ПКК «Интерконтакт», 1991.

7. Лобанов Д. Внутренний маркетинг персонала в российских компаниях [Электронный ресурс]. URL: http://

Требования, предъявляемые к внутренней среде организации для обеспечения эффективного использования интеллектуальных работников

www.hr-portal.ru/article/vnutrennii-marketing-personala-v-rossiiskikh-kompaniyakh (дата обращения: 15.11.2010).

9. Хайниш С. В., Токарева, Н. Ю. Структура организации: от реальности до виртуальности – один шаг. Принципы организационно-структурного обеспечения инновационных процессов на предприятии (Из опыта управленческого консультирования). М. : МНИИПУ, 1999.

8. Berry L. L., Parasuraman P. Marketing services. N. Y. : The Free Press, 1991.

O. L. Egoshina, V. M. Kleshkov, O. E. Semenkina

INTERNAL MARKETING AS THE TOOL OF EFFECTIVENESS INCREASE OF INTELLECTUAL EMPLOYEE EXPENDITURE

Under conditions of postindustrial economics intellectual employees as the main manufacturers and knowledge carriers are a source of long-term competitive advantage which is difficult for copying, therefore the success of business demands the marketing approach not only to consume service, but also to home market – employees. The article is devoted to analysis of possibilities, specifying internal marketing tools and the principles increasing efficiency of intellectual employees expenditure in organization, taking into account features of this human resources group.

Keywords: intellectual employees, internal marketing, requirements to internal environment of organization, tools of internal marketing.

© Егошина О. Л., Клешков В. М., Семенкина О. Э., 2010

УДК 330.332

М. Ю. Жуков

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ГРУПП ПРЕДПРИЯТИЙ

Рассматриваются проблемы оценки инвестиционной привлекательности предприятий и групп предприятий. Анализируется влияние принадлежности к определенной группе на инвестиционную привлекательность фирмы. Произведена классификация показателей инвестиционной привлекательности. Рассмотрены принципы отбора факторов и показателей, определяющих инвестиционную привлекательность.

Ключевые слова: инвестиционная привлекательность, инвестиции, структура экономической системы, предприятие, отрасль, кластер.

Для современной мировой экономики характерны следующие особенности: высокий уровень конкуренции; рост требований потребителей к качеству продукции и уровню сервиса; постоянное изменение рыночных условий, производственных и управленческих технологий; интенсификация инновационной деятельности; непрерывная трансформация территориальной и производственной структуры экономики; рост доли и значения сектора услуг; формирование на базе крупных городов торговых, финансовых и научных центров; перемещение производственных мощностей на территории с меньшей стоимостью земли и трудовых ресурсов и т. д. Данные тенденции определяют актуальность проблемы формирования экономической и промышленной политики. Для решения этой задачи необходим инструментарий, позволяющий проводить эффективное и гибкое структурирование экономической системы, отслеживать тенденции в развитии отдельных групп хозяйствующих субъектов, производить мониторинг изменения структуры и развития экономической системы в целом. Необходимым элементом такой системы управления является оценка инвестиционной привлекательности предприятий и групп предприятий.

Предприятие представляет собой экономическую систему, осуществляющую процесс производства продукции и/или оказания услуг, в ходе которого потребляются определенные ресурсы (финансовые, материальные, трудовые, информационно-технологические и т. д.).

Инвестиционная привлекательность предприятия – совокупность свойств фирмы, предопределяющих ее способность к эффективному функционированию и развитию на базе освоения собственных и привлеченных инвестиционных ресурсов.

Инвестиционная привлекательность группы предприятий – это средневзвешенная оценка уровня инвестиционной привлекательности предприятий, входящих в группу, с учетом их относительной величины, масштаба деятельности и степени значимости.

Мировая экономика, а также экономика отдельной страны, особенно такой большой как Россия, представ-

ляет собой сложную систему, состоящую из множества взаимопересекающихся групп хозяйствующих субъектов, объединенных в единое целое многочисленными связями (см. рисунок).

Предприятия могут объединяться в группы на основе различных признаков: территориальной принадлежности (предприятия страны, региона, муниципального образования); сферы деятельности (отрасль); принадлежности к совокупности объединенных устойчивыми связями хозяйствующих субъектов (кластер, ТПК); комбинаций признаков (например, отрасль в регионе).

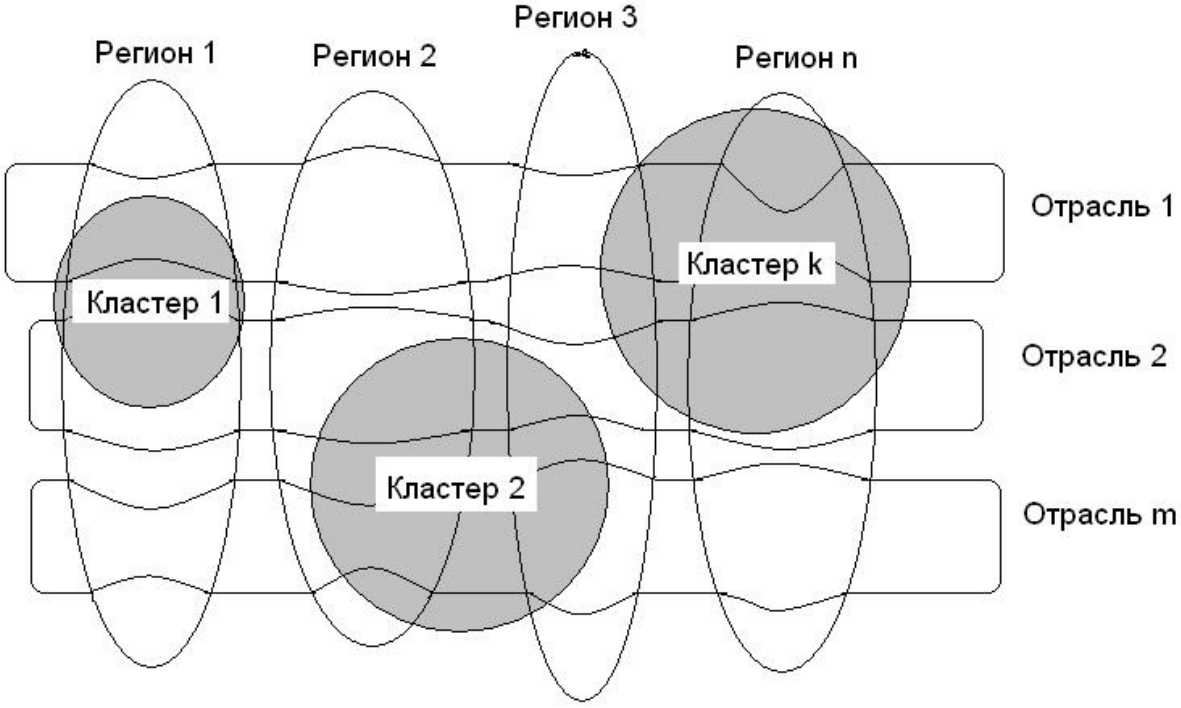
Целесообразность объединения в группу определяется наличием специфических условий хозяйствования, характерных только для данной группы, которые положительно или отрицательно влияют на инвестиционную привлекательность предприятий группы относительно фирм, не относящихся к данной совокупности. Это порождает необходимость оценки инвестиционной привлекательности группы предприятий с целью выявления влияния принадлежности к данной группе на инвестиционную привлекательность исследуемого предприятия.

Инвестиционная привлекательность группы предприятий оценивается относительно совокупности, включающей в себя исследуемую группу (например, инвестиционная привлекательность предприятий региона относительно предприятий страны).

Современные методики оценки инвестиционной привлекательности групп предприятий представлены преимущественно отраслевым анализом. В большинстве существующих методик оценка инвестиционной привлекательности отрасли состоит из двух аспектов: оценки потенциала (характеризуемого в первую очередь величиной ожидаемого дохода) и оценки уровня инвестиционного риска (вероятность негативного отклонения результата инвестиций от ожидаемой величины) [1; 2]. При этом в одних методиках оценка производится преимущественно с позиции анализа инвестиционной привлекательности предприятий отрасли, в других – с позиции вхождения нового предприятия в отрасль. Наиболее распространенными недостатками в современных методиках оценки инвестиционной привлекательности групп предприятий являются отсутствие четкого обоснования весовых коэффициентов оцениваемых факторов инвестиционной привлекательности, слабая взаимосвязь с анализом экономических систем других уровней, недостатки, связанные с применением экспертных оценок [3].

В рамках данного исследования инвестиционная привлекательность группы предприятий оценивается на основе методики оценки инвестиционной привлекательности предприятия.

В настоящее время наибольшее распространение получили два подхода к оценке инвестиционной привлекательности предприятия. При использовании первого подхода оценивается положение предприятия на фондовом рынке, биржевой курс его ценных бумаг [4]. Второй подход основан на анализе критериев инвестиционной привлекательности предприятия, особенностей его функционирования, финансовых показателей [5; 6; 7]. Главным недостатком первого подхода является недостаточная обоснованность тезиса, на котором он базируется. Суть этого тезиса состоит в том, что инвестиционная привлекательность предприятия полностью отражается на динамике курса его ценных бумаг, что не всегда верно даже в условиях высокоразвитых западных фондовых рынков. Для многих методик, базирующихся на втором подходе, помимо общих недостатков, отмеченных при анализе методов оценки инвестиционной привлекательности отрасли, характерны недостатки, связанные со слабым анализом взаимосвязи между инвестиционной привлекательностью и инвестиционной активностью.



Упрощенная схема экономической системы страны

В рамках данного исследования инвестиционная привлекательность предприятия определяется на базе анализа факторов инвестиционной привлекательности. Интегральный коэффициент рассчитывается по формуле

$$ИП = \sum_{i=1}^{n} F_i \cdot a_i,$$

где ИП – интегральный коэффициент инвестиционной привлекательности; F_i – оценка i-го показателя; a_i – вес i-го показателя, определяемый степенью его влияния на инвестиционную привлекательность; n – количество показателей, учитываемых при оценке.

Принципы оценки показателей и смысловая нагрузка получаемых значений аналогичны методике оценки инвестиционной привлекательности региона [3].

Среди показателей, определяющих инвестиционную привлекательность предприятия, можно выделить показатели общие для всех хозяйствующих субъектов и показатели актуальные только для ограниченной группы фирм. В дальнейшем первая группа показателей будет именоваться «общие показатели», а вторая «индивидуальные показатели». Соответственно методика оценки инвестиционной привлекательности, содержащая только общие показатели, может именоваться «общей методикой», а методика, дополненная индивидуальными показателями – «индивидуальной методикой». Индивидуальные методики разрабатываются для конкретного предприятия (групп предприятий) и предназначены преимущественно для анализа динамики инвестиционной привлекательности исследуемого объекта. Состав индивидуальных показателей зависит от особенностей конкретного предприятия, сферы его деятельности, месторасположения, используемых технологий и т. д. Использование данной группы показателей позволяет более точно проследить механизм формирования инвестиционной привлекательности исследуемого объекта, но затрудняет сопоставление объектов, относящихся к разным сферам деятельности, и повышает трудоемкость анализа в связи с необходимостью корректировки методики оценки для каждого объекта.

Также можно выделить целевые и факторные показатели. Целевые показатели – это показатели, имеющие значение сами по себе (прибыль, выручка, себестоимость и т. д.). Достижение определенного уровня этих показателей, их максимизация или минимизация может являться целью осуществления инвестиционного проекта. Факторные показатели – количественная оценка тех факторов, за счет которых планируют достичь требуемых целевых показателей. Эти характеристики имеют значение лишь с точки зрения их влияния на целевые показатели.

При отборе факторов и показателей для индивидуальной методики оценки инвестиционной привлекательности конкретного предприятия либо группы предприятий следует руководствоваться следующими принципами: отобранная совокупность показателей должна максимально полно и всесторонне характеризовать исследуемый объект с позиции инвестиционной привлекательности с учетом специфики его деятельности; наличием логической связи отобранных показателей с инвестиционным процессом; показатели должны быть теоретически обоснованны; доступностью достоверной информации, необходимой для расчета; сопоставимостью с идентичными показателями аналогичных объектов; конкретностью и однозначностью толкования полученных результатов.

Среди факторных показателей с учетом тенденций развития современной экономики можно выделить следующее ключевые группы: конкурентоспособность и положение на рынках сбыта; инновационную активность; технологический уровень производства; формирование человеческого капитала (политика по привлечению наиболее квалифицированного персонала, меры по обучению и развитию работников, создание максимально благоприятных условий для высокопродуктивного труда); качество продукции; репутацию фирмы; организацию производства и качество менеджерской команды.

Определение состава показателей и их относительных весов при оценке факторов инвестиционной привлекательности основывается на анализе статистических взаимосвязей между показателями, характеризующими факторы инвестиционной привлекательности, и показателем фактического уровня инвестиционной привлекательности [8; 9; 10; 11]. Фактический уровень инвестиционной привлекательности характеризует реализацию инвестиционной привлекательности в форме инвестиционной активности. В методике оценки инвестиционной привлекательности региона фактический уровень инвестиционной привлекательности рассчитывался на основе показателя инвестиций в основной капитал в регионе [3]. Для предприятия наиболее информативным показателем, характеризующим фактический уровень инвестиционной привлекательности, является капитализация. Исходя из этого наилучшей базой для определения степени влияния отдельных показателей на инвестиционную привлекательность служат предприятия, акции которых размещены на фондовой бирже, имеют историю торгов достаточно длительную для построения модели, обладают наибольшей ликвидностью и используются для расчета ключевых фондовых индексов.

В рамках данного исследования была рассмотрена сущность инвестиционного процесса в современной экономике и его зависимость от ключевых характеристик предприятий; отобраны показатели, оказывающие определяющее влияние на инвестиционную привлекательность; проведен анализ статистической взаимосвязи этих показателей с фактической инвестиционной привлекательностью на основе данных ведущих российских предприятий, соответствующих вышеприведенным критериям. В результате этого была сформирована следующая система показателей и весовых коэффициентов для общей методики оценки инвестиционной привлекательности предприятия:

1. Рентабельность (вес 0,35): общая рентабельность собственного капитала (вес 0,2), чистая рентабельность собственного капитала (вес 0,2), общая рентабельность активов (вес 0,12), чистая рентабельность активов (вес 0,12), общая рентабельность продаж (вес 0,18), чистая рентабельность продаж (вес 0,18).

2. Оборачиваемость (вес 0,15): оборачиваемость активов (вес 0,3), оборачиваемость внеоборотных активов (вес 0,15), оборачиваемость оборотных активов (вес 0,3), оборачиваемость собственного капитала (вес 0,25).

3. Финансовая устойчивость (вес 0,15): коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными обо-

ротными средствами (вес 0,3), коэффициент обеспеченности запасов собственными оборотными средствами (вес 0,1), коэффициент маневренности собственных средств (вес 0,2), коэффициент финансовой устойчивости (вес 0,15), индекс постоянного актива (вес 0,25).

4. Кредитоспособность (вес 0,25): коэффициент задолженности (плечо финансового рычага) (вес 0,35), доля долгосрочных кредитов в общей задолженности (вес 0,2), доля краткосрочных кредитов в общей задолженности (вес 0,15), доля кредиторской задолженности в общей задолженности (вес 0,3).

5. Ликвидность (вес 0,1): коэффициент текущей ликвидности (вес 0,25), коэффициент критической ликвидности (вес 0,3), коэффициент абсолютной ликвидности (вес 0,45).

Оценка инвестиционной привлекательности группы предприятий может производиться двумя способами:

– рассчитываются сводные показатели по исследуемой группе и другим аналогичным группам, составляющим генеральную совокупность. В качестве максимально и минимально допустимых значений, если таковые не определены теоретически, принимаются максимальные и минимальные значения показателей среди сформированных групп; в качестве средних значений принимаются значения показателей по генеральной совокупности.

– определяются интегральные показатели инвестиционной привлекательности предприятий анализируемой группы относительно предприятий генеральной совокупности. Среднее значение интегрального показателя инвестиционной привлекательности по группе будет определять инвестиционную привлекательность группы. При этом целесообразно использовать средневзвешенные значения с целью учета разности размеров анализируемых фирм.

Разработанная общая методика оценки инвестиционной привлекательности позволяет производить сравнительную оценку уровня инвестиционной привлекательности предприятий и групп предприятий.

В результате оценки инвестиционной привлекательности российских предприятий и групп предприятий в 2008 г. с помощью общей методики (выборка предприятий сделана на основе отраслевых индексов РТС [12]) были получены следующие значения интегральных коэффициентов:

1) потребительские товары и розничная торговля (–0,23): АО «Седьмой Континент» (–0,27), ОАО «ДИКСИ Групп» (–0,29), ОАО «Синергия» (–0,09), ОАО «Концерн КАЛИНА» (–0,17);

2) нефть и газ (+0,08), ОАО «Газпром» (+0,09), ОАО «Газпром нефть» (+0,38), ОАО «НК Роснефть» (+0,02), ОАО «Татнефть им. В. Д. Шашина» (+0,32), ОАО «АК Транснефть» (–0,11);

3) промышленность (–0,22): ОАО «Силовые машины» (–0,08), ОАО «Автоваз» (–0,44), ОАО «Корпорация ИРКУТ» (–0,09), ОАО КАМАЗ (–0,20), ОАО ОМЗ (–0,32), ОАО «СОЛЛЕРС» (–0,41), ОАО «Уфимское МПО» (–0,32);

4) металлы и добыча (–0,06): ОАО ЧТПЗ (–0,10), ОАО «Северсталь» (+0,14), ОАО ЧЦЗ (–0,28), ОАО «ГМК Норильский никель» (–0,19), ОАО ММК (–0,12), ОАО НЛМК (+0,25); ОАО «Полюс Золото» (–0,09), ОАО «Полиметалл» (–0,38), ОАО «Распадская» (+0,41), ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (+0,09);

5) электроэнергетика (–0,32): ОАО «Башкирэнерго» (+0,29), ОАО «ФСК ЕЭС» (–0,38), ОАО «Иркутскэнерго» (–0,13), ОАО «Холдинг МРСК» (–0,34), ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» (–0,42), ОАО ОГК-2 (–0,30), ОАО ОГК-3 (+0,08), ОАО ОГК-4 (+0,03), ОАО Энел ОГК-5 (–0,38), ОАО ТГК-1 (–0,40), ОАО ТГК-5 (–0,02);

6) телекоммуникации (+0,08): ОАО «Сибирьтелеком» (–0,37), ОАО «Дальсвязь» (–0,05), ОАО МГТС (–0,02), ОАО «ВолгаТелеком» (–0,26), ОАО «Ростелеком» (+0,15), ОАО «Северо-Западный Телеком» (–0,25), ОАО «Уралсвязьинформ» (–0,30).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшим уровнем инвестиционной привлекательности обладают компании, принадлежащие к группам «Металлы и добыча» и «Нефть и газ», что свидетельствует о преимущественно сырьевом характере экономики России.

Все показатели, используемые в общей методике, рассчитываются на основе публичной отчетности предприятий, что обеспечивает доступность достоверных исходных данных для анализа. В методике не применяют экспертных оценок, обеспечивая тем самым максимальную открытость производимых расчетов, повышая объективность. Используемые весовые коэффициенты могут изменяться в зависимости от эволюции экономической системы и предпочтений конкретных инвесторов либо других пользователей методики. Общая методика также может применяться и при разработке индивидуальных методик для конкретных предприятий. В данном случае общая методика дополняется индивидуальными показателями, имеющими значение для исследуемого предприятия. Пропорции между весовыми коэффициентами показателей общей методики при этом сохраняются.

Библиографические ссылки

1. Милованова Е. А., Кузьменко Т. В. Прогнозные оценки инвестиционной привлекательности отрасли // Экономический анализ: теория и практика. 2007. № 7. С. 31–34.

2. Щиборщ К. Оценка инвестиционной привлекательности отрасли // Управление компанией. 2002. № 4. С. 66–70.

3. Смирнова Е. В., Жуков М. Ю. Методика оценки инвестиционной привлекательности региона // Вестник СибГАУ. 2010. № 2 (28). С. 146–150.

4. Агрессивный портфель акций первого эшелона [Электронный ресурс] // Инвестиционная компания «Еврофинансы» : офиц. сайт. 2004. URL: http://www.eufn.ru/download/apave2.doc (дата обращения: 15.11.2010).

5. Рейтинг инвестиционной привлекательности предприятий Северо-Западного ФО за 2004 г. рейтингового агентства АК&М (СПб.) [Электронный ресурс]. URL: http://invest.pskov.ru/rating.php?nsid=285&lang=ru (дата обращения: 15.11.2010).

6. Кельчевская Н., Зименко И. Комплексный анализ и целевое прогнозирование финансового состояния предприятия // Проблемы теории и практики управления. 2007. № 1. С. 93–99.

7. Елович А. Я. Интегральная оценка инвестиционной привлекательности и критериев эффективности проекта фирмы // Культура народов Причерноморья. 2003. № 45. С. 38–41.

8. Радченко С. Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей : моногр. Киев : ПП «Санспарель», 2005.

9. Шаланов Н. В. Математическая экономика. Новосибирск : НГИ, 2005.

10. Эконометрика: учебник / под ред. И. И. Елисеевой. М. : Финансы и статистика, 2005.

11. Ефимова М. Р., Петрова Е. В., Румянцев В. Н. Общая теория статистики : учебник. М. : Инфра-М, 1996.

12. Списки акций для расчета отраслевых индексов РТС [Электронный ресурс] // Биржа РТС. URL: http://www.rts.ru/s894 (дата обращения: 15.11.2010).

M. Y. Zhukov

TECHNIQUE OF AN ESTIMATION OF INVESTMENT APPEAL OF THE ENTERPRISES AND GROUPS OF THE ENTERPRISES

Problems of an estimation of investment appeal of the enterprises and groups of the enterprises are considered. Influence of an accessory to the certain group on investment appeal of firm is analyzed. Classification of indicators of investment appeal is produced. Principles of selection of factors and the indicators determining investment appeal are considered

Keywords: investment appeal, investments, structure of economic system, the enterprise, branch, cluster.

© Жуков М. Ю., 2010

УДК 519.8

А. Н. Антамошкин, О. И. Антамошкина, Д. В. Ходос

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ*

Рассматриваются модели и алгоритмы оптимизации основных этапов инновационного процесса.

Ключевые слова: инновационный процесс, моделирование, алгоритмы оптимизации.

Процесс планирования и управления инновационной деятельностью предприятия можно представить в виде следующих этапов: формирование инновационной программы, формирование структуры капитала, определение возможных форм и способов финансирования инновационного процесса, определение графика финансирования, формирование портфеля источников финансирования. Можно сюда же включить и последний этап реализации инновационной программы – формирование производственных расписаний [1]. Каждый из перечисленных этапов предполагает наличие достаточно большого числа возможных решений, и без использования систем поддержки принять обоснованное (оптимальное) решение представляется практически невозможным.

Рассмотрим предлагаемые модели и алгоритмы поддержки принятия обоснованных управленческих решений на этапах инновационного процесса.

1. Формирование оптимального портфеля инновационных проектов.

При формировании портфеля инновационных проектов обычно применяются два критерия: доходность (как правило, *NPV*, так как этот показатель обладает свойством аддитивности) и риск (рыночная модель Марковица) [2]. При использовании критерия доходности при заданном уровне риска мы получаем многомерную задачу о рюкзаке, которая при небольшом числе рассматриваемых проектов может быть решена полным перебором, а при большой размерности успешно решалась нами алгоритмами муравьиных колоний [3]. Такая постановка задачи интересна тем, что может рассматриваться централизованный фонд развития, например, корпорация.

Больший интерес представляет решение задачи минимизации риска портфеля при заданном уровне доходности проектов, включаемых в портфель, поскольку в этом случае возможно снижение риска портфеля за счет эффекта диверсификации. Задача решалась модифицированным (для булевых переменных) методом динамического программирования, который, как показало сравнение с полным перебором, всегда показывал оптимальное решение при существенно меньшей трудоемкости. Трудность решения задачи в такой постановке состояла в том, что рыночная модель Марковица требует построения матрицы парных ковариаций между проектами, вклю-

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

чаемыми в портфель, которые могут быть определены только методом экспертных оценок.

2. Формирование структуры капитала – определение объемов собственных и заемных средств.

Основными критериями при определении оптимальной структуры капитала являются приемлемый уровень доходности и риска в деятельности предприятия; средневзвешенная стоимость капитала; рыночная стоимость предприятия. При нахождении оптимальной структуры капитала предлагается учет неопределенностей осуществлять методами теории статистических решений (игра с природой): строится матрица, учитывающая различные варианты стратегий в соответствии с различными состояниями структуры капитала. В качестве состояний природы (нерегулируемые факторы) выступают инфляционный фактор; налоговый корректор; бюджетная компенсация; рентабельность операционной деятельности. Каждый из этих факторов может находиться в одном из двух состояний – пессимистическом или оптимистическом. Таким образом, учитывая все возможные сочетания факторов, получаем 16 возможных состояний. На основе полученных данных строится матрица, учитывающая стратегии предприятия при различных нерегулируемых факторах. При формировании структуры капитала необходимо использовать вариант, обеспечивающий приемлемый уровень финансовой рентабельности и минимальный риск реализации инновационной программы. Поэтому данная задача решается по критерию Сэвиджа. Наличие формальных критериев отражения исходной информации позволяет построить модель, адекватную реальности. В результате получаем оптимальную стратегию, соответствующую структуре капитала при минимальном риске, т. е. оптимальное соотношение собственного и заемного капитала.

3. Определение возможных форм и способов финансирования инновационной программы.

Решению проблемы привлечения заемного капитала способствует все более расширяющееся многообразие форм и способов банковского кредитования, позволяющее удовлетворить специфическим требованиям финансирования инновационного процесса. Вместе с тем существующее многообразие форм и способов банковского кредитования одновременно и затрудняет процесс принятия решения по финансированию инновационной деятельности, поскольку требует решения проблем формирования допустимых и выбора наиболее эффективных альтернатив.

Под формами финансирования будем понимать внешнее выражение содержания финансовых отношений, с помощью которых предприятие мобилизует финансовые ресурсы.

Способ финансирования – это совокупность приемов и операций непосредственного осуществления процесса финансирования (через использование собственных ресурсов, использование привлеченных и заемных средств) инновационной программы, определенных в рамках формы участия инвестора. Банковское кредитование должно осуществляться на основе выбора или разработки форм финансирования, параметры которых соответствуют особенностям финансирования инновационной деятельности. Среди них наиболее существенными являются сроки погашения (влияет на длительность проекта); способы взимания ссудного процента; потребности в кредите (в соответствии с графиком кредитования); виды процентных ставок; число кредитов; способы обеспечения.

Алгоритм формирования допустимого множества форм финансирования состоит из следующих этапов: формируются возможные альтернативные формы финансирования; определяется состав параметров, на основе которых производится оценка соответствия альтернативных форм финансирования с целью определения допустимых; с привлечением экспертов осуществляется оценка предпочтений по рассматриваемым параметрам и строится лепестковая диаграмма, по которой и формируется множество допустимых форм финансирования.

4. Определение графика финансирования.

Недостаточный уровень собственного капитала и необходимость поддержания структуры капитала на требуемом уровне в течение всего срока реализации проектов приводит в свою очередь к необходимости капитализации всех внутренних источников финансирования с целью обеспечения максимальных темпов наращивания капитала предприятия. Это полностью соответствует принципу максимальной капитализации текущих финансовых ресурсов. С учетом данного принципа при поддержании оптимальной структуры капитала строится оптимальный график потребностей в заемных средствах. Методом математической индукции выводится общая формула задолженности по кредиту на j-м интервале планирования, $j = 1, \ldots, J$, где J – общее число интервалов планирования реализации инновационной программы, и в качестве критерия оптимизации графика финансирования выбирается минимум привлечения заемного капитала на каждом интервале планирования при поддержании оптимальной структуры капитала. В результате получают оптимальный график финансирования.

Сформированный таким образом график финансирования позволяет определить возникающие финансовые потребности предприятия в течение заданного периода и оптимально спланировать расходование средств.

5. Формирование портфеля источников финансирования.

В результате построения графика планирования расходов на заданный период определяют общую сумму потребности в заемном капитале. На каждом интервале планирования предприятию необходима лишь часть этой суммы. Поэтому нет необходимости в получении сразу всей суммы для реализации проектов. Для формирования оптимального портфеля источников финансирования необходимо точно указывать для каждого интервала планирования дату возникновения потребностей. Источниками финансирования предприятия являются кредиты банков, займы, субсидии, субвенции и другие обязательства в форме различных финансовых инструментов, привлекаемых на условиях срочности, возвратности и платности. Требуется найти такой вариант последовательности кредитования (в каком банке и на каком этапе должен быть получен кредит), при котором общая сумма выплат за весь плановый период обращается в минимум. При

этом учитывается, что на различных этапах могут использоваться различные источники финансирования, либо может оказаться, что один источник кредитного портфеля использовать выгоднее на нескольких последовательных этапах за счет стоимости его привлечения, чем привлекать более дешевые кредиты, которые за счет стоимости привлечения могут оказаться дороже.

Данная задача также решалась модифицированным (для булевых переменных) методом динамического программирования.

Рассмотрена также задача синдицированного кредитования крупных и долгосрочных инновационных программ, которая решалась с помощью генетических алгоритмов [4].

6. Формирование производственной программы.

Как уже указывалось выше, поддержка принятия решений на этапе планировании производственных расписаний – циклическая альтернативная сетевая имитационная модель и решение ее генетическими алгоритмами подробно рассмотрены в работе [1].

Таким образом, рассмотрены все стадии планирования инновационного процесса, реализация предложенных моделей и алгоритмов оптимизации для которых позволит обеспечить принятие обоснованных управленческих решений по планированию инновационного развития.

Авторы считают, что в данном исследовании новым является комплексный подход к созданию системы поддержки принятия решений по планированию инновационного развития.

Библиографические ссылки

1. Антамошкин А. Н., Дегтерев Д. А., Симаков П. А. Оптимизация расписаний дискретных производств позаказного типа // СУИТ. 2009. № 1(35).

2. Антамошкин А. Н., Антамошкина Е. А. Интервальная оценка риска портфеля инновационных проектов // Вестник СибГАУ. 2009. № 2(23).

3. Антамошкин А. Н., Кагиров Р. Р. Алгоритмы муравьиных колоний для многомерной задачи о рюкзаке // СУИТ. 2007. № 1(27).

4. Антамошкин А. Н., Новой А. В. Система выбора участников синдицированного кредитования для финансирования долгосрочных проектов (программная система «FLTP-Syndicate ver. 1.0»). Свидет. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2009615818, 2009.

A. N. Antamoshkin, O. I. Antamoshkina, D. V. Hodos

BASIC STEPS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT PROGRAM FORMATION MODELING

Models and algorithms for optimization of innovative process basic steps are considered in the paper.

Keywords: innovative process, modeling, optimization algorithms.

© Антамошкин А. Н., Антамошкина О. И., Ходос Д. В., 2010

УДК 336.1:001.895

О. Н. Владимирова, И. З. Погорелов

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК МЕХАНИЗМ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Характеризуется механизм государственно-частного партнерства как возможная форма взаимодействия государственных и частных структур для стимулирования инновационного развития. Рассматривается вариант оптимизации сотрудничества посредством активизации на территории региона деятельности подразделений новых институтов.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, инновационное развитие, кластеры, разработка и совершенствование нормативной базы.

В настоящее время мировая экономика находится на пороге новой волны роста инвестиций, характер которых будет отличаться от тех, которые осуществлялись последние 10–15 лет. По гипотезе П. Быкова и Т. Гуровой новая инвестиционная волна в финансово развитых странах будет в основном формироваться за счет внутренних накоплений и направляться на повышение качества национальной экономики, совершенствование ее инфраструктуры, понимаемой в широком смысле слова.

В настоящее время наблюдается формирование ряда долгосрочных тенденций, к числу которых можно отнести наращивание инвестиций в основной капитал, причем на основе новых технологий; развитие рынка технологий и уменьшение роли международной торговли товарами; ускоренное развитие оборонного комплекса как одного из основных источников создания новых технологий [1, с.18–19]. На наш взгляд, эти тенденции характерны и для современной России, по крайней мере, в среднесрочной перспективе.

Все вышесказанное, а также прогнозируемый дефицит федерального и региональных бюджетов на ближайшие несколько лет делает актуальным поиск новых для России финансовых механизмов и инструментов. Одним из таких механизмов может выступить государственно-частное партнерство (ГЧП), ряд инструментов которого в последние годы получил «законодательную прописку» в России и стал доступен для решения сложных проблем, связанных с повышением качества оказываемых публичных услуг, а также привлечения финансирования для создания новых и реконструкции существующих объектов производственной, инженерной и научной инфраструктуры. Авторы согласны с мнением А. Дынкина, который утверждает, что «опыт многих стран дает и убедительные примеры ГЧП для проведения контрциклической политики. Часто методы демонополизации с помощью ГЧП через запуск альтернативных производств действует быстрее и эффективнее, чем ФАС»[2].

Анализ мирового опыта применения механизма ГЧП показывает его эффективность при реализации крупных инновационных проектов, результатами которых являются новые технологии, значительно повышающие при их внедрении производительность труда в производстве. Это позволяет считать полезным внедрение инструментов и механизма ГЧП для решения задачи по обеспечению трудовыми ресурсами инвестиционных программ различного уровня. По расчетам, произведенным еще в середине 2008 г. Институтом региональной политики, в случае реализации всех ранее заявленных комплексных инновационных проектов (КИП) в России к 2020 г. необходимо заполнить 3,2 млн новых рабочих мест. С учетом необходимости одновременного развития сферы услуг к этому времени понадобилось бы уже около 7 млн новых работников. В это же время по прогнозу общая численность населения России сократится до 138 млн человек, а населения в трудоспособном возрасте уменьшится до 77,5 млн. Особенно актуальны, на наш взгляд, будет использование механизма ГЧП при разработке новых «прорывных» технологий для Сибири и Дальнего Востока, где наблюдается отток трудоспособного населения и одновременно реализуются ряд крупных инвестиционных проектов.

Возникает резонный вопрос об источниках трудовых ресурсов, необходимых не только для создания новых объектов, но и для их эксплуатации. Решить поставленные выше проблемы невозможно без использования инструментов ГЧП и перехода к инновационному типу развития, что потребует внесения соответствующих изменений в экономическую политику государства в целом, а также экономическую политику, проводимую регионами и муниципальными образованиями. При разработке экономической политики необходимо помнить о том, что сущностью и главной целью ГЧП «является скорее создание более эффективной системы производства, чем просто финансирование инвестиционных потребностей инфраструктуры» [3, с. 12]. В настоящее время особенности правового режима ГЧП в России регулируются бюджетным законодательством, рядом других федеральных законов, в том числе «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд», «О приватизации государственного и муниципального имущества», «О защите конкуренции», «О концессионных соглашениях», постановлениями Правительства России, в которых определены типовые концессионные соглашения, а также с 2006 г. – рядом законов, принятых субъектами Российской Федерации (Санкт-Петербургом, Томской областью и рядом других Субъектов Федерации) [4, с. 72]. Так, применительно к сфере коммунального хозяйства ГЧП можно определить как делегирование на срок, определенный в договоре, частному сектору функций управления системами коммунальной инфраструктуры. Причем для коммунальной сферы, на наш взгляд, в данном случае более корректно говорить даже не о ГЧП, а о муниципально-частном партнерстве (МЧП), так как согласно российскому законодательству МЧС является сферой ответственности органов муниципальной системы управления (МСУ), которые, как известно, не входят в систему органов государственной власти. Таким образом, здесь государственно-частные партнерства являются партнерствами между муниципальными властями и частным сектором (управляющими компаниями-операторами и инвесторами) в целях эффективной эксплуатации [3, с. 11–12].

«При финансировании и кредитовании инноваций – по мнению А. М. Ерошкина – осуществляется постоянная взаимодополняющая финансовая поддержка ими инновационных проектов в целях преодоления характерного для России разрыва между бюджетными затратами на НИОКР и фактическим внедрением результатов. Государство должно принимать на себя проектные риски на этапе НИОКР, а банки – привычные для них риски при кредитовании серийного производства и сбыта инновационной политики; приоритет гарантийных форм поддержки государством инновационных проектов над бюджетным инвестированием; участие государства в софинансировании инновационных проектов преимущественно через государственные институты развития и инвестиционные корпорации, что обеспечивает гибкость в структурировании и реализации проектов, снижает риски банковских соинвесторов; соблюдение государством прозрачных критериев отнесения проектов к инновационным и порядка их поддержки» [5, с. 50].

На наш взгляд, следует ожидать весьма длительного периода ухудшения экономической конъюнктуры для традиционных сырьевых товаров и услуг, производимых и оказываемых на территории Красноярского края и города Красноярска, а также продолжения кризиса доверия на мировом и отечественном финансовом рынках. В этих условиях является актуальным нахождение и стимулирование развития новых, так называемых, «локомотивов», или «точек» роста, которые позволят сформировать новые отрасли специализации в условиях стагнации или деградации традиционных, таких как добыча и, как правило, только первичная переработка полезных ископаемых (черные и цветные металлы), продукты лесопереработки, нефтехимии и пр. При этом, по мнению авторов, остается открытым вопрос о целесообразности дальнейшей поддержки всех отраслей традиционной специализации края и города в необходимых для их развития объемах.

Актуальность подобного подхода можно подтвердить следующими фактами: несмотря на постоянное внима-

ние, уделяемое в крае проблемам лесопереработки, только за 2008 г. внутренний рынок соответствующей продукции уменьшился на 30 % прежде всего за счет сокращения объемов жилищного строительства.

Можно согласиться с утверждением В. Зубова о том, что «в складывающейся ситуации, без сомнения, выиграет те, кто настроят свою внутреннюю экономику на самые жесткие правила международной конкуренции» [6].

Учитывая обстоятельство, что сырьевую ориентацию экономики региона, как и страны в целом, не удастся преодолеть в ближайшие 5–10 лет, видится целесообразным в крае развивать секторы научного обслуживания отраслей, относящиеся к этой специализации. Прежде всего это связано с тем, что стандартные меры по снижению издержек на производственных предприятиях: уменьшение численности, снижение уровня получаемой заработной платы, продажа непрофильных активов и другие вскоре достигнут либо своего естественного предела (например, минимальной численности занятых, необходимых для обслуживания оборудования), либо ограничения социального характера (минимально допустимый уровень оплаты труда в регионе). Если и после достижения этих пределов цены на сырьевые товары, производимые в регионе, будут падать, то их производители столкнутся с необходимостью совершенствования используемых технологий или внедрения новых, которые позволят резко уменьшить трудо-, энерго-, материалозатраты на производство первичной продукции или заняться производством продукции с более высокой долей добавленной стоимости.

По мнению авторов, в крае имеются элементы инновационной инфраструктуры, способствующие разработке и реализации оптимизационных разработок, в частности, Сибирский федеральный университет (СФУ), в котором организуются институты, направленные на развитие научных исследований соответствующих отраслей (НК «Роснефть»), формирование комплекса по проведению научных исследований в области космических исследований, осуществляемых в Сибирском государственном аэрокосмическом университете (СибГАУ), функционирование Красноярского городского бизнес-инкубатора, создание технопарка. Ясно, что частный сектор даже в лице крупных корпораций, входящих в состав отечественных и мировых ТНК, работающих на территории города и края, в ближайшие годы без помощи государства вряд ли сможет решить задачи резкого усиления своих конкурентных позиций за счет перехода к инновационному типу развития.

В этой ситуации, по нашему мнению, важную роль может сыграть консолидация правящих элит края и крупных муниципалитетов с использованием сравнительно новых для страны и региона инструментов государственно-частного партнерства. В частности, речь идет о формировании технопарка и кластеров отраслевой или межотраслевой специализации. Для создания соответствующей инженерной, производственной и научной инфраструктуры необходимо использовать потенциал созданных сравнительно недавно институтов развития, таких как ВЭБ, Инвестиционный Фонд РФ, РОСНАНО, РВК. Учитывая то обстоятельство, что с 2009 г. единственным консультантом по использованию средств Инвестиционного фонда РФ стал ВЭБ, было бы логично принять предложение представителей Центра государственно-частного партнерства ВЭБа о создании в структуре администрации края и города подразделений, ответственных за координацию работы с ВЭБом и готовящих свои предложения о поддержке инвестиционных проектов на основе стандартов этого банка. С учетом специфики основных направлений деятельности ВЭБа обозначенные проекты могли бы быть инициированы как в сфере ЖКХ, так и в сфере создания новых и совершенствования действующих инфраструктурных объектов научного комплекса.

Практика показывает, что осуществление регионами ранее заявленных инвестиционных проектов в установленные сроки невозможно осуществить только за счет бюджетных средств и средств, привлекаемых частными компаниями, которые также вынуждены сокращать инвестиционные бюджеты на 2010 г. В связи с тем, что, начиная с 2008 г. «нижняя планка» сметной стоимости инвестиционных проектов, реализуемых при помощи ВЭБа, составляет 500 млн руб., у большинства муниципалитетов России возникает проблема «недотягивания» стоимости проекта до величины нижнего порога. Специалисты Центра ГЧП ВЭБа предлагают свой вариант решения этой проблемы: разработать так называемые «типовые» проекты реконструкции инфраструктуры муниципальных образований, с последующим объединением ряда заявок от МО в одну, что позволит преодолеть вышеназванный порог. Для того чтобы правильно оформить заявки на софинансирование инвестиционных проектов, Центр ГЧП ВЭБа совместно с СИБГАУ предлагает провести обучение специалистов МО, которые могли бы затем работать в составе соответствующих подразделений органов управления МО, которые будут заниматься координацией работы с ВЭБом по реализации этих инвестиционных проектов. Скорее всего, в 2010 г. вряд ли стоит рассчитывать на начало реализации этих проектов, однако не следует упускать время, необходимо создать условия, позволяющие включиться в процесс выделения средств из Инвестиционного фонда как только сложатся соответствующие условия.

В России до сих пор отсутствует законодательная база по технопаркам, что вынуждает инициаторов соответствующих проектов осуществлять их реализацию в рамках либо наукоградов, либо законодательства об особых экономических зонах (ОЭЗ) внедренческого типа. Существующая же нормативная база вышеперечисленных инновационных институтов направлена прежде всего на создание, а не на тиражирование инновационных продуктов и технологий, что характерно для технопарков. На наш взгляд, законодательному собранию края следовало бы выступить с законодательной инициативой разработки нормативной базы по совершенствованию национальной инновационной системы, в том числе по определению статуса технопарка и бизнес-парка, а также их резидентов. В случае отсутствия прогресса в области создания законодательной базы по технопаркам, очевидно, следует переориентироваться на создание свободных экономических зон (СЭЗ) технико-внедренческого характера.

Руководство исполнительной и законодательной властей города и края в настоящее время не определилось по совместной поддержке инициатив в этой сфере. На различных городских и краевых форумах в последние

годы обсуждаются как минимум три различных варианта создания городского технопарка и порядка двадцати кластеров. Анализ практики реализации проектов по созданию технопарков в России констатирует необходимость поддержки совместного проекта. Кроме того, успешная реализация в регионе более, чем одного проекта создания технопарка, на наш взгляд, возможна лишь в Москве или Санкт-Петербурге. При этом в соседних с Красноярским краем Томской области и городах Новосибирске и Кемерово технопарки уже прошли предпроектную стадию и с разной степенью успешности создают инженерную инфраструктуру. Так, в начале мая 2009 г. подписано рамочное соглашение между государственной корпорацией РОСНАНО и правительством Томской области о сотрудничестве по разработке инноваций в области нанотехнологий в Томской внедренческой СЭЗ, в частности, с рядом ее потенциальных резидентов.

В связи с развитием финансового и экономического кризиса правительство России еще в 2009 г. потребовало от инициаторов создания технопарков защиты бизнес-концепций – это, на наш взгляд, дает будущему технопарку Красноярска шанс на практическую реализацию в случае, если удастся объединить усилия Красноярской городской и краевой властей вокруг одного проекта технопарка и максимум 1–2 кластеров. Это, естественно, не исключает необходимости проведения соответствующих конкурсов на лучший проект технопарка и кластера. Заслуживает внимания исследование возможности объединения нескольких вариантов создания технопарков в один, в частности, производственные мощности и помещения «Красмаша» могут быть дополнены научно-исследовательскими лабораториями Красноярского отделения СО РАН, СФУ и СибГАУ. При этом будет не одна, а несколько площадок, что вполне допускается идеологией создания технопарков.

Мировой опыт показывает, что в европейских странах, как правило, кластеры успешно развивались при достижении определенной «критической» массы малых и средних предприятий одной или нескольких смежных отраслей. В настоящее время не сформулированы принципы создания кластеров в так называемых зонах «нового освоения» в странах с развивающейся экономикой, что затрудняет создание соответствующих проектов на территории, например, Красноярского края. Ссылки на то, что в качестве основы разработки подобных проектов можно положить накопленный в СССР опыт по созданию территориально-производственных комплексов (ТПК), на наш взгляд, является попыткой неоправданного упрощения существующих проблем. Так, в СССР был единый собственник – государство – как существующих предприятий и недр, так и создаваемых в результате строительства новых предприятий и объектов инфраструктуры; имелась централизованная система планирования и материально-технического снабжения. В то время не было проблем координации действий частных собственников предприятий, деятельности государственных предприятий, органов МСУ и государственной власти, а также институтов гражданского общества.

Именно для решения подобных проблем мировым сообществом накоплен опыт использования инструментов государственно-частного партнерства, в частности, концессионных соглашений. В России в 2005 г. принят, а в 2008 г. подвергнут существенной доработке федеральный закон о концессионных отношениях. Учитывая его «рамочный» характер, ряд регионов страны приняли свои региональные законы, определяющие сферу применения этого инструмента, а также не до конца урегулированные отношения в рамках федерального акта, в частности, предоставляемые концессионеру льготы и преференции. На наш взгляд, в этом региональном законе особое место должны найти регулирование концессионные отношения в сфере инноваций, в том числе разработка и внедрение инновационных технологий в создании объектов инфраструктуры (производственной, транспортной, инженерной, энергетической и пр.).

Кроме того, в действующем федеральном законе о концессионных отношениях в настоящее время рассмотрены вопросы создания новых или реконструкции действующих объектов, но не решены вопросы эксплуатации их в будущем.

Следует отметить четко определяемую тенденцию усиления роли государственно-частного партнерства как реального рычага воздействия на инновационную составляющую развития экономики в современных условиях.

Библиографические ссылки

1. Быков П., Гурова Т. Что не обсуждалось в Давосе // Эксперт. 2010. № 5.

2. Дынкин А. Опыт 1998 г.: Два кризиса // Ведомости. 2009. 28 апр.

3. Мартусевич Р. А., Сиваев С. Б., Хомченко Д. Ю. Государственно-частное партнерство в коммунальном хозяйстве. М. : Фонд «Институт экономики города», 2006.

4. Масленников А. Государственно-частное партнерство: региональный аспект // Экономист. 2008. № 9.

5. Стратегия инновационного развития экономики России: роль финансовой и банковской систем // Деньги и кредит. 2008. № 7.

6. Зубов В. Антикризисная политика: Оборона старой крепости // Ведомости. 2009. 27 мая.

O. N. Vladimirova, I. S. Pogorelov

PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIPS AS A MECHANISM FOR THE ECONOMY INNOVATIVE DEVELOPMENT

This article is devoted to characteristics of mechanism of state and private partnership as a possible form of interaction of state and private structures to stimulate innovation development. The variant of optimization of collaboration through increasing of activities of departments of new institutions on the territory of the region was considered

Keywords: state and private partnership, innovation development, cluster, development and improvement of regulatory base.

© Владимирова О. Н., Погорелов И. З., 2010

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеенко Сергей Владимирович – доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Новосибирский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – вихревые и когерентные структуры, турбулентные течения, волновые явления и процессы переноса в двухфазных средах, пленки жидкости и ривулеты, экспериментальные методы, моделирование аэродинамики топочных устройств, энергоэффективные технологии и энергосбережение. E-mail: aleks@itp.nsc.ru.

Алешечкин Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета. Область научных интересов – радиотехника. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1994 г. E-mail: tpre@yandex.ru.

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 – техническое направление (системный анализ). E-mail: oleslav@mail.ru.

Антамошкина Ольга Игоревна – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой маркетинга Красноярского аграрного университета. Окончила Томский государственный университет в 1973 г. Область научных интересов – инновационный менеджмент. E-mail: antamoshkina@yandex.ru.

Артюкова Оксана Евгеньевна – магистрант, лаборант кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – электротехнологии. Тел. 8(391)262-27-80.

Бадмаева Ксения Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – разработка методического, алгоритмического обеспечения для хранилищ данных, систем поддержки принятия решений. E-mail: ksenya@icm.krasn.ru.

Бахмарева Наталья Владимировна – старший преподаватель кафедры бухгалтерского учета, анализа и аудита 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 – реорганизация систем управления, процессный подход к управлению, управление качеством, экономический анализ деятельности предприятия, методика преподавания экономических дисциплин. E-mail: bahmareva@sidsau.ru.

Бежитский Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент 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 2006 г. Область научных интересов – оптимизация, анализ данных, интеллектуальные информационные технологии, моделирование. E-mail: bezhitsk@mail.ru.

Безруких Андрей Алексеевич – старший преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного производства Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – технология и оборудование сварочных и наплавочных дуговых процессов. Тел. 8-908-025-33-57.

Белозерцев Владимир Семенович – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1974 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. Тел. 8(391)262-95-61.

Белоусова Ольга Генриховна – начальник группы отдела конструирования бортового, экспериментального и специализированного технологического оборудования ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Томский политехнический институт в 1975 г. Область научных интересов – тепловакуумные испытания космических аппаратов, конструирование элементов базы наземной экспериментальной отработки. E-mail: fog@atomlink.ru.

Беляков Геннадий Павлович – доктор экономических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз, филиал Красноярского политехнического института в 1966 г. Область научных интересов – экономика народного хозяйства. Тел. 8(391)264-00-14.

Белякова Галина Яковлевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Ленинградский технологический институт целлюлозо-бумажной промышленности в 1969 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: belyakova@sibsau.ru.

Биронт Виталий Семенович – доктор технических наук, профессор Сибирского федерального университета, заслуженный работник высшей школы. Окончил Всесоюзный заочный политехнический институт в 1961 г. Область научных интересов – металловедение и термообработка. Тел. 8(391)291-92-14.

Блохин Иван Вячеславович – младший научный сотрудник, аспирант Сибирского федерального университета. Окончил магистратуру Сибирского федерального университета в 2009 г. Область научных интересов – металловедение и термообработка. Тел. 8(391)291-92-14.

Богданов Константин Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решет-

нева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования, системы электропитания космических аппаратов. E-mail: bogdanov@pinedesign.ru.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1990 г. Область научных интересов – управление основными производственными фондами машиностроительных предприятий. E-mail: boiko@sibsau.ru.

Бондаренко Геннадий Васильевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Ростовский-на-Дону государственный университет в 1959 г. Область научных интересов – рентгеноспектральный флуоресцентный анализ вещества. E-mail: churilov@iph.krasn.ru.

Борисов Александр Васильевич – кандидат технических наук, доцент Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Окончил Новосибирский электротехнический институт связи в 1979 г. Область научных интересов – микропроцессоры и программируемые логические интегральные схемы, измерения в области сверхвысоких частот. E-mail: bav@sibsutis.ru.

Браверман Владимир Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов. E-mail: braverman-vladimir@rambler.ru.

Бурмак Влада Игоревна – студент Института математики и информатики Сибирского федерального университета. Область научных интересов – дифференциальные уравнения механики. E-mail: lada-burmak@yandex.ru.

Варнаков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник 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. E-mail: vsn@iph.krasn.ru.

Вахтеев Евгений Витальевич – аспирант кафедры летательных аппаратов 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 – нанесение покрытий различного назначения. Тел. 8-962-065-32-32.

Вейсов Евгений Алексеевич – кандидат технических наук, профессор, проректор по информатизации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Казанский авиационный институт в 1970 г. Область научных интересов – вычислительные процессы, распределенные вычислительные системы. E-mail: veisov@sibsau.ru.

Величко Евгений Викторович – аспирант кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – источники электроэнергии космического назначения. Тел. 8-950-433-93-09.

Веретнова Татьяна Анатольевна – старший преподаватель, заместитель декана технологического факультета Института цветных металлов и металловедения Сибирского федерального университета. Окончила Красноярскую академию цветных металлов и золота в 2001 г. Область научных интересов – теплофизика и теоретическая теплотехника. E-mail: veretnova@mail.ru.

Владимирова Ольга Николаевна – кандидат экономических наук, профессор, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Алтайский государственный университет в 1992 г. Область научных интересов – финансы и кредит. E-mail: olgav@akadem.ru.

Власов Антон Юрьевич – кандидат физико-математических наук, заместитель директора Научно-образовательного центра космических систем и технологий, доцент кафедры физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – физика магнитных явлений, механика твердого деформируемого тела. E-mail: vay@atomlink.ru.

Галочкин Сергей Александрович – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Казанский авиационный институт в 1979 г. Область научных интересов – системы электроснабжения космических аппаратов. Тел. 8(39197)6-45-72.

Гирн Алексей Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 1998 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, упрочнение поверхностей. Тел. 8(391)262-95-61.

Головенкин Сергей Евгеньевич – кандидат медицинских наук, доцент Красноярского государственного медицинского университета имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого. Окончил Красноярский государственный медицинский институт в 1991 г. Область научных интересов – прогнозирование в кардиологии, изучение течения ишемической болезни сердца, сравнения эффективности различных видов лечения заболеваний сердца. E-mail: gse2008@mail.ru.

Головенко Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и электротехники Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский госу-

дарственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – магнитная гидродинамика. E-mail: golovenko_ea@mail.ru.

Голощапова Ольга Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент, и. о. заместителя заведующего кафедрой финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный торгово-экономический институт в 2001 г. Область научных интересов – налоги, инновационная инвестиционная деятельность. E-mail: gos6@yandex.ru.

Горемыкин Виталий Андреевич – студент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – математическое моделирование. E-mail: virt38@mail.ru.

Готовко Сергей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – материаловедение и прочность в сварке. E-mail: gefest_61@mail.ru.

Гулакова Татьяна Константиновна – магистрант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – комбинаторная оптимизация. E-mail: pesterevatk@ rambler.ru.

Дектерев Дмитрий Александрович – аспирант лаборатории экологических проблем энергетики Института теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета в 2009 г. Область научных интересов – механика жидкости, гидродинамика, вихревые структуры, закрученные потоки, турбулентность. E-mail: dekterev_da@mail.ru.

Демченко Светлана Капитоновна – доктор экономических наук, профессор кафедры экономической теории и правоведения Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Новосибирский государственный университет имени Ленинского комсомола в 1982 г. Область научных интересов – экономическая теория. Тел. 8(391)221-95-33.

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. E-mail: mdorrer@fait/krs.ru.

Евкин Игорь Васильевич – начальник сектора отдела 370 ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский государственный университет в 1971 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, создание новых материалов. Тел. 8-950-426-20-07.

Егошина Ольга Леонидовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры организации производства Сибирского федерального университета. Окончила Красноярский государственный аграрный университет в 2002 г. Область научных интересов – управление интеллектуальным капиталом, менеджмент знаний, управление интеллектуальными работниками. E-mail: olga220@list.ru.

Еремеевский Артем 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 – аппаратные средства цифровой обработки сигналов, системы телеуправления космическими аппаратами. E-mail: mad_fobos@mscript.ru.

Ермошкин Юрий Михайлович – кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории проектирования и испытаний систем коррекции ОАО «Информационно-спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Московский авиационный институт в 1977 г. Область научных интересов – применение двигательных подсистем на космических аппаратах. E-mail: erm@iss-reshetnev.ru.

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 в 1985 г. Область научных интересов – планирование и контроль, система контроллинга деятельности предприятий. E-mail: erigina@sibsau.ru.

Ерыгин Юрий Владимирович – доктор экономических наук, декан финансово-экономического факультета 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 – стратегический и инновационный менеджмент. E-mail: yuri_erygin@mail.ru.

Жуков Максим Юрьевич – аспирант кафедры информационных технологий и математического моделирования Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – инвестиционный анализ. E-mail: jukovmu@mail.ru.

Журавлев Виктор Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1980 г. Область научных интересов – эксплуатация ракетных двигателей. Тел. 8-903-924-45-88.

Захаров Юрий Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного технологического университета. Окончил Одесский государственный университет имени И. И. Мечникова в 1957 г. Область научных интересов – физика конденсированного состояния, механика деформируемого твердого тела, устойчивость систем. Тел. (391)268-10-38.

Исмаылов Борис Николаевич – начальник курса Высшей аттестационной комиссии Академии управления

Министерства внутренних дел России. Окончил Самаркандское высшее военное автомобильное командное училище имени Верховного совета Узбекской ССР в 1991 г., Военный университет Министерства обороны Российской Федерации, факультет внутренних войск в 2002 г. Область научных интересов – техническое законодательство, менеджмент качества. Тел. (391)266-98-66.

Капулин Денис Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры системы автоматики, автоматизированного управления и проектирования Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – силовая преобразовательная техника, системы автоматизированного проектирования. E-mail: kapulin@gmail.com.

Клешков Владимир Михайлович – кандидат технических наук, директор химзавода – филиала ОАО «Красноярский машиностроительный завод». Окончил Казанский авиационный институт в 1972 г. Область научных интересов – управление организационными системами, системы поддержки принятия решений, информационные системы. Тел. (39197)9-71-25.

Ковалева Ангелина Адольфовна – кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения и термической обработки металлов Института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1972 г. Область научных интересов – упрочнение, сверхпластичность металлических материалов, разрушение, стружковые материалы, композиционные, драгоценные. Тел. (391)213-32-86.

Козловский Сергей Никифорович – профессор кафедры сварки Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1971 г. Область научных интересов – исследования в области сварки. Тел. 8-906-911-95-49.

Коробко Анна Владимировна – кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Красноярский государственный университет в 2004 г. Область научных интересов – системы поддержки принятия решений, разработка методического, алгоритмического обеспечения для информационно-аналитической поддержки управления. E-mail: lynx@icm.krasn.ru.

Краев Михаил Васильевич – доктор технических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М. Ф. Решетнева, 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. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского государственного политехнического института в 1967 г. Область научных интересов – гидродинамика систем подачи энергодвигательных установок. Тел. (391)262-95-61.

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 ракетоносителей. E-mail: kat-belka@yandex.ru.

Краснобаев Юрий Вадимович – доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования, доцент Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – автоматизация исследования и проектирования вторичных источников питания. E-mail: uvkras@mail.ru.

Крат Светлана Александровна – ведущий инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончила Томский институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники в 1991 г. Область научных интересов – моделирование светооптических схем, системы управления, тепловакуумные испытания космических аппаратов. E-mail: kratsv@iss-reshetnev.ru.

Кубриков Максим Викторович – аспирант кафедры двигателей летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – эксплуатация расчетных двигателей. E-mail: gicropon:ka@mail.ru.

Кузьмич Роман Иванович – магистрант кафедры системного анализа Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил бакалавриат кафедры системного анализа Сибирского государственного университета имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – системный анализ и управление, разработка механизмов регулирования социально-экономического развития городской агломерации. E-mail: kuxrom88@mail.ru.

Латышенко Галина Ивановна – доцент кафедры организации и управления наукоемкими производствами Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – разработка программ социально-экономического развития региона, организация и планирование наукоемких производств. E-mail: latyshenko59@mail.ru.

Лелеков Александр Тимофеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 2002 г. Область научных интересов – автоматизация производственных процессов, системы электропитания космических аппаратов. Тел. 8-902-965-96-06.

Ленченко Виктор Макарович – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор Сибирского федерального университета. Окончил Среднеазиатский государственный университет в 1951 г. Область научных интересов – физика полупроводников, структура твердых тел. Тел. (391)221-29-16.

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. E-mail: ivt_anlovch@sibsau.ru.

Логинов Юрий Юрьевич – доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности и коммерциализации разработок Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1976 г. Область научных интересов – физика полупроводников, структурные дефекты кристаллов. E-mail: loginov@sibsau.ru.

Лубнин Михаил Алексеевич – кандидат технических наук, профессор кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Челябинский политехнический институт в 1959 г. Область научных интересов – производство летательных аппаратов. Тел. 8(391)264-62-82.

Лукьянова Анна Александровна – доктор экономических наук, профессор, проректор по учебной работе 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. E-mail: lukianovaaa@sibsau.ru, dekanatfef@sibsau.ru.

Лященко Сергей Александрович – студент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета. Область научных интересов – сверхвысоковакуумная технология многослойных наноструктур, спектральная эллипсометрия. E-mail: fenics_star@mail.ru.

Максимов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела ЭМС, ЭСР и ФКП ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – прикладная космофизика. E-mail: maximov@npopm.ru.

Масаев Сергей Николаевич – аспирант факультета автоматизации и информационных технологий Сибирского государственного технологического университета. Окончил Красноярский государственный университет цветных металлов и золота в 2006 г. Область научных интересов – системный анализ, экономика. E-mail: fabery@rambler.ru.

Масич Игорь Сергеевич – кандидат физико-математических наук, докторант 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 2004 г. Область научных интересов – системный анализ, комбинаторная оптимизация, анализ данных. E-mail: i-masich@yandex.ru.

Медведев Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций, заведующий отделением кибернетики и системного анализа Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук при Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Фрунзенский политехнический институт в 1968 г. Область научных интересов – кибернетика, теория стохастических систем управления. Тел. 8(391)290-50-11.

Мейстер Роберт Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – технология и оборудование сварочных и наплавочных дуговых процессов. Тел. 8(391)249-75-72.

Мельникова Татьяна Александровна – ассистент кафедры экономической теории и правоведения Красноярского торгово-экономического института. Окончила Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – экономическая теория. E-mail: mta6918@yandex.ru.

Михеев Алексей Анатольевич – ведущий специалист ООО «Гринфин». Окончил Сибирский аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2009 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения. Тел. 8-923-280-59-04.

Михеев Анатолий Егорович – доктор технических наук, заведующий кафедрой летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1973 г. Область научных интересов – нанесение покрытий различного назначения, упрочнение поверхностей, создание новых материалов. Т. 8(391)262-95-61.

Мишуренко Андрей Борисович – старший преподаватель кафедры сварки летательных аппаратов Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2002 г. Область научных интересов – исследования в области контактной сварки. E-mail: mishurenko@mail.ru.

Мозжерин Александр Владимирович – аспирант Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2008 г. Область научных интересов – физика полупроводников, структурные дефекты в кристаллах. Тел. (391)262-95-94.

Мурыгин Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1980 г. Область научных интересов – автоматизация электронно-лучевой сварки. E-mail: 206393@mail.ru.

Надирадзе Андрей Борисович – профессор, ведущий научный сотрудник кафедры электроракетных двигателей и энергетических установок Московского авиационного института. Окончил Московский авиационный институт (Государственный технический университет) в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование

воздействия электроракетных двигателей на элементы и системы космических аппаратов, компьютерное моделирование сложных систем, взаимодействие плазмы с поверхностью. E-mail: nadiradze@mail.ru.

Непомнящий Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией микропроцессорных систем Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1992 г. Область научных интересов – микропроцессорные системы, моделирование вычислительных систем. E-mail: olegn_68@mail.ru.

Ноженков Александр Ильич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – информационно-аналитические системы, разработка методического, алгоритмического обеспечения для сбора и анализа данных. E-mail: alex_n@icm.krasn.ru.

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. E-mail: een90@mail.ru.

Оборина Людмила Ивановна – инженер-менеджер фирмы «Союз». Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2001 г. Область научных интересов – менеджмент качества, технологическое обеспечение качества. Тел. (391)220-94-56.

Овчинников Сергей Геннадьевич – доктор физико-математических наук, заместитель директора Института физики имени Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, профессор кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1972 г. Область научных интересов – особенности спинового, зарядного и орбитального упорядочений в кобальтитах, магнитные переходы в Fe_2O_3, энергии возбуждения и квантовых фазовых переходов в оксидах меди, экспериментальное наблюдение виртуальных электронных состояний мотт-хаббардовского диэлектрика $FeBO_3$ в спектрах инфракрасного поглощения. E-mail: sgo@iph.krasn.ru.

Охорзин Владимир Афанасьевич – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, советник Российской инженерной академии и Академии наук высшей школы. Окончил Томский политехнический институт в 1966 г. Область научных интересов – управление в технических системах. E-mail: okhorsin@mail.ru.

Пенькова Татьяна Геннадьевна – кандидат технических наук, научный сотрудник Института вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук. Окончила Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк) в 2004 г. Область научных интересов – системы поддержки принятия решений, разработка методического, алгоритмического обеспечения для информационно-аналитической поддержки управления. E-mail: Penkova_t@icm.krasn.ru.

Первухин Михаил Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехнологии и электротехники Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1999 г. Область научных интересов – быстрая кристаллизация слитков и магнитная гидродинамика. E-mail: pmv_75@ mail.ru.

Погорелов Илья Зиновьевич – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного кадрового и проектного управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский институт цветных металлов в 1975 г. Область научных интересов – государственное частное партнерство. E-mail: pogor53@mail.ru.

Покидышева Елена Владимировна – аспирант кафедры финансов и кредита Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный университет в 2006 г. Область научных интересов – финансы, денежное обращение и кредит. E-mail: epokidysheva@yandex.ru.

Покидышева Людмила Ивановна – кандидат технических наук, профессор кафедры вычислительной техники Сибирского федерального университета. Окончила Томский государственный университет в 1978 г. Область научных интересов – информатика, моделирование, системный анализ и принятие решений. E-mail: pok50@rambler.ru.

Потуремский Игорь Владимирович – начальник группы защиты информации ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – информатика и информационно-управляющие системы и комплексы. E-mail: oris@iss-reshetnev.ru.

Пьяных Артем Анатольевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теплотехники и гидрогазодинамики Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2005 г. Область научных интересов – теплофизика и теплоэнергетика. E-mail: piartex@gmail.com.

Раевский Валентин Анатольевич – доктор технических наук, главный специалист по системам управления ориентацией космических аппаратов ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», лауреат премии Правительства Российской Федерации, заведующий филиалом кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Днепропетровский государственный университет в 1958 г. Тел. (39197)6-45-90.

Рыжиков Иван Сергеевич – студент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – системный анализ. E-mail: dreamshifter@yandex.ru.

Рябищук Ирина Владимировна – аспирант финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2008 г. Область научных интересов – инновационная и региональная экономика. E-mail: saxarok_13@mail.ru.

Саакян Аревик Маисовна – ассистент кафедры финансов и кредита Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – налоги и налогообложение, инновационная деятельность промышленных предприятий, инвестиции. E-mail: revishatka@mail.ru.

Сафронов Михаил Викторович – магистр финансово-экономического факультета Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – бизнес-планирование, инновационная экономика, региональная экономика. E-mail: saff17@mail.ru.

Сахнов Михаил Юрьевич – аспирант кафедры систем автоматического управления Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 2002 г. Область научных интересов – исследование режимов работы никель-водородных аккумуляторных батарей в целях обеспечения длительного срока эксплуатации. E-mail: sakhnoff@iss-reshetnev.ru.

Семенкина Ольга Эрнестовна – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Кемеровский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация сложных систем, стохастические алгоритмы оптимизации, управление в организационно-технических системах. E-mail: saor_semenkin@sibsau.ru.

Сенашов Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-экономических наук Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1975 г. Область научных интересов – механика твердого тела, математическое моделирование в экономике. E-mail: sen@sibsau.ru.

Симунин Михаил Максимович – кандидат технических наук, доцент кафедры квантовой физики и нанотехнологий Московского института электронной техники. Окончил Московский институт электронной техники в 2007 г. Область научных интересов – химическая технология наноматериалов, физическая химия поверхностей, катализ, углеродные нанотрубки. E-mail: michanel@mail.ru.

Тинькова Светлана Михайловна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплофизики и техносферной безопасности горного и металлургического производства Института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета. Окончила Институт цветных металлов имени М. И. Калинина в 1972 г. Область научных интересов – теплофизика и теоретическая теплотехника. Тел. 8(391)268-70-25.

Трифанов Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления качеством и сертификации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – технология производства летательных аппаратов и технологическое обеспечение качества изделий машиностроения. Тел. 8(391)291-92-14.

Урусов Владимир Михайлович – инженер ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – проектирование систем коррекции космических аппаратов. Тел. (39197)6-48-24.

Ушанова Ирина Сергеевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный технологический университет в 2003 г. Область научных интересов – экономика и управление народным хозяйством, региональная экономика. Тел. (391)264-05-14.

Фадеев Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования машин Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирскую аэрокосмическую академию в 2000 г. Область научных интересов – электротехнологии. E-mail: fadeev.77@mail.ru.

Филенкова Нина Викторовна – кандидат математических наук, доцент кафедры физики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2003 г. Область научных интересов – механика, моделирование. E-mail: fnv2001@gmail.com.

Фролова Анна Ивановна – ассистент кафедры экономики и управления на предприятии Лесосибирского филиала Сибирского государственного технологического университета. Окончила Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета в 2009 г. Область научных интересов – социально-экономическое развитие муниципальных образований Красноярского края. E-mail: frolovaannaiv@mail.ru.

Ханов Владислав Ханифович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1986 г. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов. E-mail: hanov@sibsau.ru.

Хартов Станислав Викторович – кандидат технических наук, научный сотрудник Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Московский институт электронной техники в 2005 г. Область научных интересов – функциональные

наноструктуры и их технология, самоорганизация, локальные химические реакции, катализ. E-mail: stas_fi@list.ru.

Ходос Дмитрий Васильевич – доктор экономических наук, доцент кафедры экономики и агробизнеса Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный аграрный университет в 1998 г. Область научных интересов – региональная экономика. E-mail: hodos@rambler.ru.

Христич Валерий Васильевич – начальник отдела тепловакуумных испытаний ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева», доцент базовой кафедры космического машиностроения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Ленинградский военно-механический институт в 1965 г. Область научных интересов – тепловакуумные испытания космических аппаратов. E-mail: hristich@iss-reshetnev.ru.

Чудаев Дмитрий Анатольевич – 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 – экономика, инвестиции, инновации, право, политика. E-mail: blackllch@rambler.ru.

Шестаков Иван Яковлевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электронной техники и телекоммуникаций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1975 г. Область научных интересов – электротехнология. Тел. 8(391)262-27-80.

Шторк Сергей Иванович – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лаборатории экологических проблем энергетики Института теплофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Окончил Красноярский государственный университет в 1983 г. Область научных интересов – механика жидкости, гидродинамика, вихревые структуры, закрученные потоки, теплоэнергетика, горение, турбулентность. E-mail: shtork@itp.nsc.ru.

Шульман Владимир Абрамович – доктор медицинских наук, профессор Красноярского государственного медицинского университета имени профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого. Окончил Красноярский государственный медицинский институт в 1960 г. Область научных интересов – прогнозирование в кардиологии, изучение течения ишемической болезни сердца, разработка методов диагностики и лечения нарушений сердечного ритма. E-mail: shulman36@mail.ru.

Яковлев Иван Александрович – студент кафедры технической физики Сибирского государственного аэрокосмического университета. Область научных интересов – сверхвысоковакуумная технология многослойных наноструктур, дифракция отраженных быстрых электронов. E-mail: copok_iet@mail.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА 3

Медведев А. В. Теория непараметрических систем. Моделирование 4
Сенашов С. И., Бурмак В. И. Точное решение уравнений пластичности плоского напряженного состояния 10
Ленченко В. М., Логинов Ю. Ю., Мозжерин А. В. Лавинное умножение и излучательная рекомбинация носителей тока в кремниевых солнечных элементах 11
Власов А. Ю., Захаров Ю. В., Филенкова Н. В. Изгиб упругой консоли в поле центробежных сил: пороговые значения нагрузок 15
Охорзин В. А., Рыжиков И. С. Гибридный модифицированный метод эволюционных стратегий для решения задач идентификации динамических систем 20
Бежитский С. С., Головенко Е. А., Горемыкин В. А., Первухин М. В. О решении задачи оптимального выбора параметров питания линейной индукционной машины генетическим алгоритмом с локальным поиском 23
Еремеевский А. А., Ханов В. Х. Метод поиска заданного шаблона во временном ряду 27
Алешечкин А. М. Переборный метод разрешения неоднозначности в многошкальной фазовой радионавигационной системе 30
Потуремский И. В., Мурыгин А. В. Система мониторинга узлов локальной вычислительной сети на основе протокола syslog 35
Лелеков А. Т., Сахнов М. Ю., Галочкин С. А., Величко Е. В. Моделирование тепловых объектов с распределенными параметрами с использованием программных комплексов COMSOL Multiphysics–MATLAB–Simulink 40
Варнаков С. Н., Яковлев И. А., Лященко С. А., Овчинников С. Г., Бондаренко Г. В. Сравнение силицидов железа, полученных методами молекулярно-лучевой и твердофазной эпитаксии 45
Вейсов Е. А., Непомнящий О. В., Краснобаев Ю. В., Капулин Д. В. Методы и алгоритмы микропрограммного управления быстродействующими импульсными стабилизаторами напряжения для организации питания бортовой аппаратуры перспективных космических аппаратов 51
Ловчиков А. Н., Носкова Е. Е. Анализ и синтез широтно-импульсных систем 57
Богданов К. В., Ловчиков А. Н. Особенности синтеза параллельных повышающих преобразователей с широтно-импульсной модуляцией 62
Браверман В. Я., Белозерцев В. С. Частотный метод определения уровня фокусировки электронного луча и глубины проплавления при электронно-лучевой сварке 65
Головенкин С. Е., Гулакова Т. К., Кузьмич Р. И., Масич И. С., Шульман В. А. Модель логического анализа для решения задачи прогнозирования осложнений инфаркта миокарда 68
Коробко А. В., Пенькова Т. Г. Метод концептуального OLAP-моделирования на основе формального концептуального анализа 74
Ноженков А. И. Построение управляемых комплексов OLAP-моделей 79
Бадмаева К. В. Разработка методики адаптивного управления процессом проектирования и развития специализированных хранилищ данных 85
Masaev S. N., Dorrer M. G. Company management system estimation on the basis of adaptive correlation to the environment 90
Покидышева Л. И., Покидышева Е. В. Структурный анализ интеграции подсистем методом главных компонент 94

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА 99

Максимов И. А. Проблемы обеспечения надежного функционирования современных космических аппаратов в условиях дестабилизирующего воздействия факторов космического пространства и факторов техногенного характера 100
Ермошкин Ю. М., Раевский В. А., Урусов В. М. Проведение ориентации и коррекции орбиты геостационарного космического аппарата: схема с установкой двигателей коррекции на приводах 102
Кубриков М. В., Журавлев В. Ю. Проектирование диафрагм-разделителей удлиненных топливных баков 105
Максимов И. А., Надирадзе А. Б. Определение условий возникновения разрядных процессов, инициированных низкотемпературной плазмой стационарных плазменных двигателей космических аппаратов 108
Краева Е. М., Краев М. В. Исследование вихревых турбулентных потоков в поле центробежных сил 111

Сахнов М. Ю., Лелеков А. Т., Галочкин С. А. Распределенная энерготепловая модель никель-водородной аккумуляторной батареи 40НВ-70 114
Алексеенко С. В., Дектерев Д. А., Шторк С. И. Исследование прецессирующего вихревого ядра в цилиндрической камере 120

РАЗДЕЛ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И МАТЕРИАЛЫ 125

Крат С. А., Христич В. В. Тепловакуумная отработка космических аппаратов: развитие новых тенденций 126
Михеев А. Е., Гирн А. В., Вахтеев Е. В., Михеев А. А., Евкин И. В. Технология нанесения антиэрозионных покрытий на элементы конструкций космических аппаратов 130
Фадеев А. А., Шестаков И. Я., Артюкова О. Е. Конструирование исследовательской установки для электрообработки на базе электродинамического привода 133
Оборина Л. И., Биронт В. С., Блохин И. В., Трифанов И. В., Исмаылов Б. Н. О влиянии структурного состояния сплава 32 НКД на температурный коэффициент линейного расширения труб волноводов 138
Веретнова Т. А., Ковалева А. А., Шестаков И. Я., Тинькова С. М., Пьяных А. А. Моделирование теплообменных процессов при электроконтактной резке металлов 141
Безруких А. А., Мейстер Р. А., Лубнин М. А., Готовко С. А. Сравнительный анализ наплавки различными способами плавящимися электродами для сварки нержавеющих сталей 145
Мишуренко А. Б., Козловский С. Н. Математическая модель контактного сопротивления холодного контакта при контактной точечной сварке 148

РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИКА 151

Беляков Г. П., Логинов Ю. Ю. Развитие международной аэрокосмической системы глобального мониторинга Земли 152
Lukyanova A. A., Ryabishchuk I. V., Ushanova I. S. Innovative potential as the basis of defence industry complex enterprises competitiveness 155
Белякова Г. Я., Фролова А. И. Прогнозирование основных социально-экономических показателей по Енисейскому району 159
Беляков Г. П., Ерыгина Л. В. Концепция реактивного инновационного развития предприятий ракетно-космической промышленности 162
Ерыгин Ю. В., Голощапова О. С., Саакян А. М. Оценка современного состояния и проблемы реализации федеральных целевых программ оборонно-промышленного комплекса 166
Чудаев Д. А., Белякова Г. Я. Формирование системы критериев оценки инвестиционно-инновационных проектов и программ 170
Чудаев Д. А. Методы управления инвестиционно-инновационной деятельностью в регионе 174
Бойко А. А., Бахмарева Н. В. Цепочка создания ценности как инструмент процессно-ориентированного управления воспроизводством основных производственных фондов предприятий ракетно-космической промышленности 181
Латышенко Г. И., Сафронов М. В. Оценка динамики развития малого предпринимательства в Красноярском крае 186
Демченко С. К., Мельникова Т. А. Структурные изменения в экономике и их влияние на социально-экономическую эффективность региона 189
Егошина О. Л., Клешков В. М., Семенкина О. Э. Внутренний маркетинг как инструмент повышения эффективности использования интеллектуальных работников 195
Жуков М. Ю. Методика оценки инвестиционной привлекательности предприятий и групп предприятий 200
Антамошкин А. Н., Антамошкина О. И., Ходос Д. В. Моделирование основных этапов формирования программы инновационного развития 204
Владимирова О. Н., Погорелов И. З. Государственно-частное партнерство как механизм инновационного развития региона 206

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 210

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS 3

Medvedev A. V. Theory of non-parametric systems. Modeling 9
Senashov S. I., Burmak V. I. Exact solutions of equation of plasticity of plane stress condition 11
Lenchenko V. M., Loginov Yu. Yu., Mozzherin A. V. Avalanche multiplication and radiative recombination of carriers in silicon solar cells 14
Vlasov A. Yu., Zakharov Yu. V., Filenkova N. V. Elastic cantilever bending under the impact of centrifugal force: critical loads 19
Okhorzin V. A., Ryzhikov I. C. Hybrid modified evolution strategies method for dynamic system identification 23
Bezhitskiy S. S., Golovenko E. A., Goremykin V. A., Pervuhin M. V. Solving problem of optimal choice of plan linear induction machines power supply characteristics using genetic algorithm with local search 27
Eremeevski A. A., Khanov V. Kh. Method of search of the set template in time series 29
Aleshechkin A. M. Search method of ambiguity resolution in multi-scale phase radio-navigation systems 34
Poturemskiy I. V., Murygin A. V. Monitoring system of lan devices based on syslog protocol 39
Lelekov A. T., Sahnov M. Y., Galochkin S. A., Velichko E. V. Modeling of thermal objects with distributed parameters with the use of COMSOL Multiphysics–MATLAB–Simulink software packages 44
Varnakov S. N., Yakovlev I. A., Lyaschenko S. A., Ovchinnikov S. G., Bondarenko G. V. Comparison of iron silicide synthesized by molecular beam and solid-phase epitaxy 51
Veysov E. A., Nepomnyaschi O. V., Krasnobaev U. V., Kapulin D. V. Methods and algorithms for microprogram control of high-speed, impulse voltage regulators for power supply of onboard equipment of perspective space vehicles 56
Lovchikov A. N., Noskova E. E. Analysis and synthesis of wide-pulse systems 61
Bogdanov K. V., Lovchikov A. N. Features of synthesis of parallel boost converters with pulse-width modulation 65
Braverman V. Ya., Belozertsev V. S. Frequency-domain method of estimation of electron beam focusing level and melting depth during electron-beam welding 68
Golovenkin S. E., Gulakova T. K., Kuzmich R. I., Masich I. S., Shulman V. A. Model of logical analysis for solving problem of prognosis of myocardial infarction complications 73
Korobko A. V., Penkova T. G. Method of conceptual OLAP-modelling based on formal conceptual analysis 79
Nozhenkov A. I. OLAP-models controlled complex construction 84
Badmaeva K. V. The technique of adaptive control in design and development process of specialized data warehouse 90
Масаев С. Н., Доррер М. Г. Интегральная оценка управления компанией в окружающей среде на основе метода корреляционной адаптометрии 94
Pokidysheva L. I., Pokidysheva E. V. Structural analysis of the integration of subsystems using the method of principal components 98

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING 99

Maximov I. A. Problems of support of reliable operation of modern SC under factors of space and technogeneous character destabilising influence 101
Yermoshkin Yu. M., Raevsky V. A., Urusov V. M. Geostationary spacecraft orbit slaving and maneuver: thrusters on drives installation scheme 105
Kubrikov M. V., Zhuralev V. Yu. Software for realisation of mathematical model of reversing diaphragm-separators of fuel tanks 108
Maksimov I. A., Nadiradze A. B. Determination of conditions of discharge processes occurance, initiated by low temperature plasma of SC stationary plasma thrusters 110
Kraeva E. M., Kraev M. V. Investigation of vortex turbulent flow in the centrifugal force field 114
Sahnov M. Y., Lelekov A. T., Galochkin S. A. Distributed parameters energy-heat model of space nickel-hydrogen storage battery 120
Alekseenko S. V., Dekterev D. A., Shtork S. I. Study of precessing vortex core in a cylindrical chamber 124

PART 3. TECHNOLOGICAL PROCESSES AND MATERIALS 125

Krat S. A., Hristich V. V. Spacecraft thermal vacuum optimization: development of new tendencies 129
Mikheev A. E., Girn A. V., Vakhteev E. V., Mikheev A. A., Evkin I. V. Technology of overcoating of design elements of space vehicles with antierosive coating 133
Fadejev A. A., Chestakov I. Ya., Artukova O. E. Designing of research installation for electroprocessing on the basis of electrodynamic drive 137
Oborina L. I., Bironi V. S., Blokhin I. V., Trifanov I. V., Ismaylov B. N. About influence of the structural condition of 32 nkd on temperature factor of linear expansion of pipes of wave guides 141
Veretnova T. A., Kovalyova A. A., Shestakov I. Ya., Tinkova S. M., Pyanikh A. A. Modeling of heat exchange processes under electrocontact cutting of metals 144
Bezrukih A. A., Meister R. A., Lubnin M. A., Gotovko S. A. Comparative analysis of different ways surfacing with consumable electrodes for stainless steels welding 148
Mishurenko A. B., Kozlovsky S. N. Mathematical model of contact resistance sof cold contact at spot welding 150

PART 4. ECONOMICS 151

Belyakov G. P., Loginov Yu. Yu. Development of the international aerospace system for global Earth monitoring 155
Лукьянова А. А., Рябищук И. В., Ушанова И. С. Инновационный потенциал как основа конкурентоспособности предприятий оборонно-промышленного комплекса 158
Belyakova G. Ya., Frolova A. I. Forecasting of tne leading social-economic indexes for Eniseysk region 161
Belyakov G. P., Erygina L. V. The jet innovative development concept of the space-rocket industry enterprises 165
Erygin U. V., Goloshapova O. S., Saakyan A. M. Estimation of the current state and problems of implementation of FTP in the DIC 170
Chudaev D. A., Belyakova G. Ya. Formation of evaluation criteria system for innovative investment projects and programs 174
Chudaev D. A. Management methods of innovative and investment activities in a region 181
Boiko A. A., Bahmareva N. V. Chain of creation of value as the tool of the protsessno-focused management of reproduction of the basic production assets of the enterprises of the space-rocket industry 185
Latyshenko G. I., Safronov M. V. Estimation of dynamics of small businesses developement in Krasnoyarsk region 189
Demchenko S. K., Melnikova T. A. Structural changes in economy and their influence on social and economic efficiency of region 195
Egoshina O. L., Kleshkov V. M., Semenkina O. E. Internal marketing as the tool of effectiveness increase of intellectual employee expenditure 200
Zhukov M. Y. Technique of an estimation of investment appeal of the enterprises and groups of the enterprises 204
Antamoshkin A. N., Antamoshkina O. I., Hodos D. V. Basic steps of innovative development program formation modeling 206
Vladimirova O. N., Pogorelov I. S. Public-private partnerships as a mechanism for the economy innovative development 209

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 210

Приложение № 2
к Положению № 63/74 от 15.03.06
о журнале «Вестник СибГАУ»

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СИБГАУ»

Общие требования. Тексты статей представляются в редакцию журнала в электронном и печатном виде на русском и английском языках. Русскоязычная версия должна сопровождаться английским переводом фамилии автора (авторов); названия статьи; аннотации; ключевых слов (см. пример оформления статьи).

Файл со статьей представляется на любом электронном носителе.

На последней странице ставится подпись автора (авторов) статьи. Количество авторов одной статьи – не более пяти. Автор имеет право публиковаться в выпуске один раз, второй раз – 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 библиографические ссылки).

Параметры страницы. Формат А4 (210×297 мм). Поля: правое и левое – 2 см, верхнее и нижнее – 2,5 см.

Текст. Шрифт – Times New Roman, размер 12 пт.

По центру помещаются инициалы и фамилия автора (авторов).

Не допускается (!) в тексте статьи набирать слова прописными (заглавными) буквами, жирным шрифтом или курсивом, а также размещать все указанные элементы в рамках и имитировать оформление 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.

При наличии гранта ссылка на грант помещается внизу полосы под строками основного текста (подстрочное примечание).

Примечания. 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.

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 пт, например *Таблица 1*, ниже – заглавие таблицы (набирается жирным шрифтом по центру). Если таблица имеет большой объем, то она может быть помещена на отдельной странице, а в 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 и иллюстрации с разрешением 300 dpi и более.

Библиографические ссылки составляются в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию и помещаются после основного текста (ГОСТ 7.0.5–2008).

К печатному варианту статьи необходимо приложить:

1) экспертное заключение о возможности открытой публикации;

2) внешнюю рецензию (рецензент, желательно, не ниже ученой степени доктора наук);

3) 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 высылают почтой с указанием обратного адреса. По электронной почте статьи не принимаются.

Статьи рецензируются. Отклоненные материалы не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 621.396.96.001(07)

И. А. Иванов

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ*

Рассмотрена децентрализованная обработка информации в двухканальных измерительных системах при косвенном измерении для различных алгоритмов фильтрации оценки вектора состояния в измерительных пунктах и пункте обработки информации. Проведен сравнительный анализ результатов имитационного моделирования синтезированных алгоритмов.

Ключевые слова (не более 6):

Задача обеспечения высокой точности оценивания координат и параметров траектории движения объекта может быть решена за счет применения многоканальных измерительных систем с оптимальной централизованной обработкой.

(Продолжение текста публикуемого материала).

---

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00-01-00912).

Библиографические ссылки

1. Гришин Б. П., Казаринов Ю. М. Динамические системы, устойчивые к отказам. М. : Радио и связь, 1985.

2. Медведев А. В. О моделировании организационных процессов // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. Вып. 1. Красноярск, 2000. С. 173–191.

I. A. Ivanov

DECENTRALIZED ALGORITHMS OF INFORMATION PROCESSING IN TWO-CHANNEL MEASURE SYSTEMS

It is covered a decentralized algorithms of information processing in two-channel measure systems in case of an indirect measuring for different filtration algorithms of a condition vector estimation at the reception measure station and the station of information processing. Comparative analysis is carried out with a help of imitation modeling of synthesized algorithms.

Keywords: