

Данный текст является русскоязычной версией опубликованной на английском языке статьи и представлен в авторской редакции только на данном сайте!

UDC 656.7.076

Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-452-457

For citation: Akzigitov A. R., Pisarev N. S., Statsenko N. I., Neverov U. A., Akzigitov R. A. Information-measuring system of pyrometric type for small-sized unmanned aircraft. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2019, Vol. 20, No. 4, P. 452–457. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-452-457

Для цитирования: Акзигитов А. Р., Писарев Н. С., Стаценко Н. И., Неверов Ю. А., Акзигитов Р. А. Информационно-измерительная система пирометрического типа для малоразмерного беспилотного летательного аппарата // Сибирский журнал науки и технологий. 2019. Т. 20, № 4. С. 452–457. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-4-452-457

INFORMATION-MEASURING SYSTEM OF PYROMETRIC TYPE FOR SMALL-SIZED UNMANNED AIRCRAFT

A. R. Akzigitov*, N. S. Pisarev, N. I. Statsenko, U. A. Neverov, R. A. Akzigitov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochny Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: balals@mail.ru

A new trend of science and technology is now rapidly developing both in Russia and abroad – the development of miniature unmanned aerial vehicles.

The key system of on-board control equipment (avionics) of an unmanned aerial vehicle (UAV) is the orientation system for determining UAV attitude relative to reference system. In small-size UAV, we can meet the application of strapdown attitude reference systems, magnetometric, pyrometric, video systems, etc.

Rapid development of mini- and micro-UAVs requires the development of information-measuring systems (operating on different physical principles) in order to determine UAV attitude parameters in flight. With UAV mass and wingspan reduction, there are growing requirements for these systems, concerning the accuracy of positioning parameters and more compact dimensions.

Manufacturing of most information-measuring and control systems of manned aircraft and heavy UAVs rely on traditionally used gyroscopes and accelerometers. They are complex fine-mechanics instruments of considerable power consumption, rather large size, weight and high cost.

A significant improvement of the accuracy in UAV angular coordinates determination is achieved by integrating orientation systems of various types. The use of GPS / GLONASS signals also improves the accuracy and reliability of determining UAV angular coordinates and supplies the additional function of measuring its geographical coordinates.

Keywords: information-measuring system, unmanned aerial vehicle, pyrometric sensor.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А. Р. Акзигитов*, Н. С. Писарев, Н. И. Стаценко, Ю. А. Неверов, Р. А. Акзигитов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: balals@mail.ru

В настоящее время в России, как и за рубежом, стремительно развивается новое направление науки и техники – разработка миниатюрных беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА).

Ключевой системой бортовой аппаратуры управления (авионики) БПЛА является система ориентации для определения углового положения БПЛА относительно опорной системы координат. В МБПЛА могут применяться бесплатформенные системы ориентации, магнитометрические, видеосистемы, пирометрические и др.

Стремительно развивающееся направление мини- и микро-БПЛА требует разработки информационно-измерительных систем, необходимых для определения параметров ориентации БПЛА в пространстве, построенных на различных физических принципах. Вместе с уменьшением массы и размаха крыльев БПЛА, возрастают требования к таким системам по точности определения параметров и минимизации габаритов.

В настоящее время большинство информационно-измерительных и управляющих систем пилотируемых самолётов и тяжёлых БПЛА строятся на базе гироскопов и акселерометров традиционного исполнения. Они представляют собой сложные приборы точной механики, обладающие значительными энергопотреблением, габаритами, массой и высокой стоимостью.

Существенное улучшение точности определения угловых координат БПЛА достигается комплексированием систем ориентации различных типов. Использование сигналов систем GPS/ГЛОНАСС также повышает точность и надёжность определения угловых координат БПЛА и добавляет функцию определения географических координат его положения.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, беспилотный летательный аппарат, пирометрический датчик.

Введение. Предложенная модель касается устройств для измерения углового положения самолета и может использоваться в качестве устройства для ориентации и стабилизации на беспилотных летательных аппаратах (ЛА) маленького размера.

Известна система ориентации свободного хода, которая генерирует в качестве параметров ориентации углы последовательных вращений движущегося объекта, известные как углы Крылова. Она состоит из трех датчиков угловой скорости, оси чувствительности которых взаимно перпендикулярны, и вычислителей угла, основными элементами которых являются вычислители угловой скорости на углах Крылова, а также интегрирующие и суммирующие устройства [1–3].

Недостатком системы ориентации свободного хода являются зависящие от времени погрешности определения углового положения объекта, обусловленные наличием интегрирующих звеньев в датчике угловых скоростей.

Пирометрическая вертикаль. Наиболее близким аналогом является пирометрическая вертикаль в составе второго пилота CPD4 (рис. 1) – модель самолета автопилот производства FMA Inc (США, штат Мэриленд).



Fig. 1. Co-Pilot CPD4
Рис. 1. Co-Pilot CPD4

Эта вертикаль состоит из четырех пирометрических датчиков (пирометров), расположенных горизонтально на печатной плате в плоскости самолета [2–5]. Принцип измерения углового положения основан на измерении разности инфракрасного теплового излучения с поверхности земли и неба (рис. 2). Поскольку земля всегда теплее, существует определенный градиент, распределенный вертикально от Зенита к Надиру. Измеряя температуру четырьмя перпендикулярными пирометрами, расположенными вдоль осей симметрии самолета, можно определить углы крена и тангажа без накопления погрешностей из-за отсутствия интегрирующих звеньев [6–9].

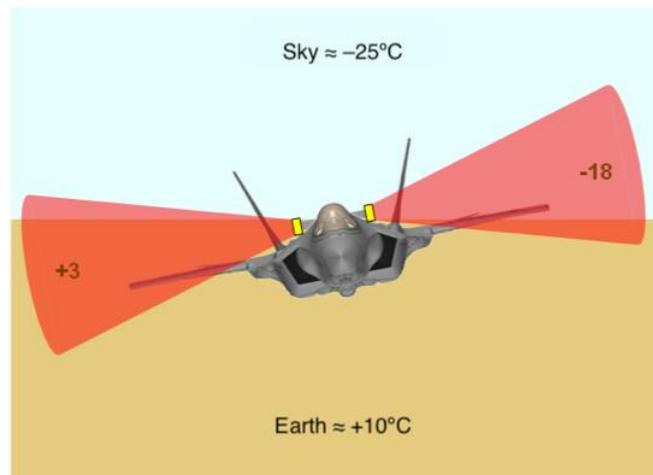


Fig. 2. Gradient between sky and earth
Рис. 2. Градиент между небом и землей

Недостатком известной пирометрической вертикали является невозможность работы при отсутствии видимой линии горизонта (при полете в глубоких ущельях, тоннелях, городских улицах) и неравномерной тепловой картине на противоположных сторонах самолета (например, при лесном пожаре справа, слева – холодное море) [10; 11]. В первом случае пирометрическая вертикаль вообще не сможет функционировать, во втором случае произойдет значительная погрешность в определении углов крена и тангажа (рис. 3).

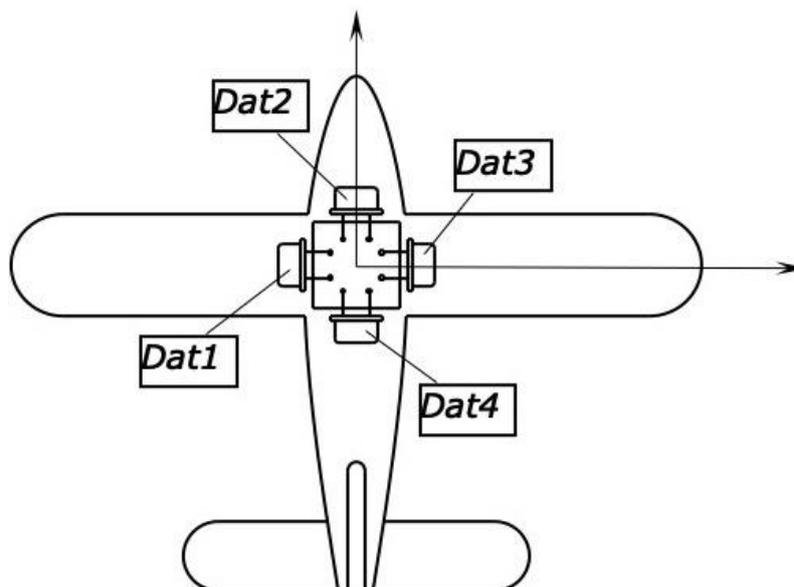


Fig. 3. Location of pyrometric sensors
Рис. 3. Расположение пирометрических датчиков

Техническая задача. Техническая задача предлагаемого устройства заключается в расширении возможностей пиromетрической вертикали путем добавления контроля точности углов, рассчитываемых пиromетрической вертикалью, и вычисления углов тангажа и крена при отсутствии видимой линии горизонта или неравномерной тепловой картине [12–14].

Техническая задача решается следующим образом: в пиromетрическую вертикаль, содержащую четыре пиromетра, размещенных на печатной плате перпендикулярно в одной плоскости, дополнительно вводится двух- или трехосный неклинируемый независимый от пиromетров датчик угловой скорости, ось чувствительности которого параллельна осям симметрии летательного аппарата, а сам датчик угловой скорости располагается в центре масс летательного аппарата с возможностью контроля точности углов крена и тангажа, рассчитываемой по показаниям только пиromетров углов крена и тангажа, и расчета углов крена и тангажа только по показаниям ДУС в течение ограниченного времени, когда углы крена и тангажа считаются неверными. В неблагоприятных для пиromетрической вертикали условиях становится возможным моментально поменять способ расчета углового положения с пиromетрической вертикали на датчик угловых скоростей (ДУС), используя последнее корректное значение пиromетрической вертикали в качестве начальных значений углов крена и тангажа, а также определение наличия неблагоприятных условий по показаниям ДУС.

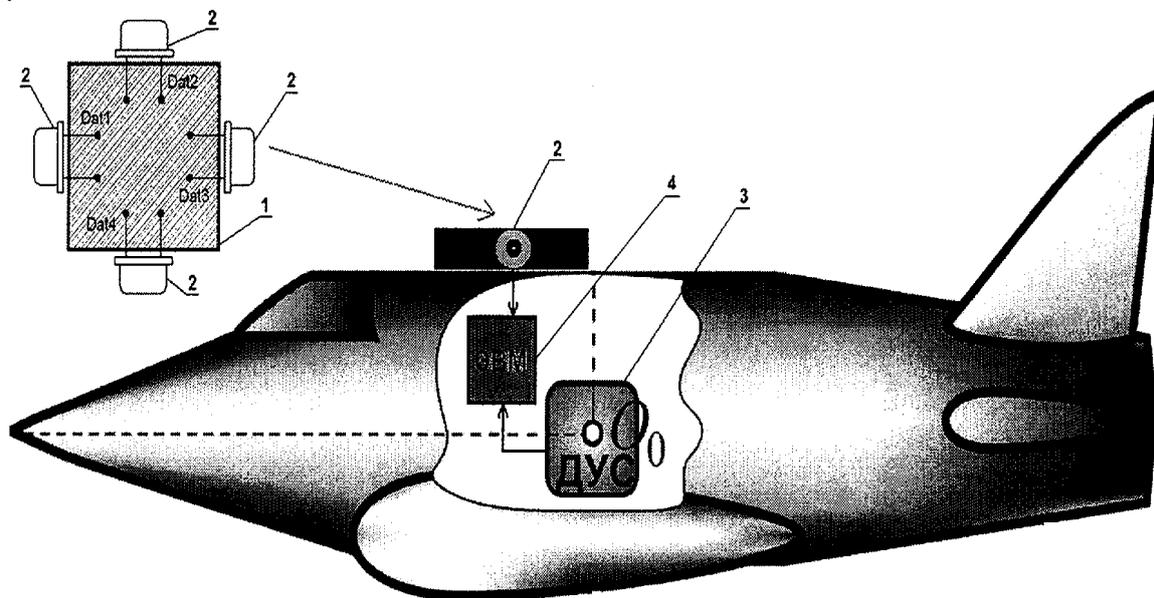


Fig. 4. Location of pyrometric sensors with angular velocity sensor

Рис. 4. Расположение пиromетрических датчиков совместно с датчиком угловой скорости

Полезная модель проиллюстрирована чертежами (рис. 4), где показана структурная схема пиromетрической вертикали с неработоспособными ДУС. Предлагаемое устройство содержит печатную плату 1, на которой перпендикулярно друг другу в одной плоскости расположены четыре пиromетра 2 (печатная плата 1 установлена на летательном аппарате так, что направление осей чувствительности пиromетров параллельно осям симметрии летательного аппарата), а также двух- или трехосный ДУС 3, расположенный в центре масс летательного аппарата с направлением осей чувствительности параллельно осям симметрии летательного аппарата. Пиromетры и ДУС подключены к компьютеру 4.

Заявляемое устройство работает следующим образом. В нормальном режиме расчет углов крена и тангажа происходит с использованием только показаний пиromетров 2. В течение всего полета непрерывно измеряются углы крена и тангажа по показаниям пиromетров 2, составляющих пиromетрическую вертикаль, и ДУС 3, происходит накопление последних образцов в ОЗУ компьютера 4 и сравнение этих показаний (см. рис. 4).

Выполнение неравенств показаний приборов означает, что показания пирометрической вертикали и независимых ДУС на последнем измерении коррелированы и пирометрическая вертикаль работает правильно. При этом фг углу тангажа ДУС присваивается значение угла тангажа пирометрической вертикали, а углу крена ДУС – значение угла крена пирометрической вертикали и отсчет углового положения ДУС начинается каждый раз заново от последнего значения, определенного пирометрической вертикалью. Таким образом, осуществляется непрерывный контроль точности углов, выдаваемых пирометрической вертикалью. Вместе с отсутствием накопления ошибок интегрирования, это обеспечивает увеличение надежности и универсальности предлагаемого устройства по сравнению с известными [15].

В случае невыполнения неравенств присвоения углов не происходит. Если неравенства не выполняются заданное конструкцией количество раз подряд, то условия работы пирометрической вертикали считаются неблагоприятными и задача расчета углов крена и тангажа полностью смещается к ДУС, путем интегрирования показаний которых получены текущие углы крена и тангажа относительно их последних правильных значений. Переключение на ДУС также возможно обеспечить по команде пилота самолета или оператора БПЛА. Значения остальных параметров подбираются индивидуально для используемого самолета и автопилота.

Наиболее распространенные в настоящее время ДУС имеют собственный уход в диапазоне 0,33 градуса в мин. Самолеты, в зависимости от компоновки, способны поддерживать стабилизацию с погрешностями углов крена и тангажа от 1 (для несамостабилизирующихся аэродинамических схем) до 5 (для самостабилизирующихся аэродинамических схем) градусов. Таким образом, при накоплении погрешностей в определении углов крена и тангажа на уровне 0,33 градуса в мин., воздушное судно может продолжать устойчиво летать, используя показания неработоспособной ДУС в течение времени от 3 до 15 мин., что позволяет не только выйти из неблагоприятной для работ пирометрической вертикальной зоны, но и выполнять кратковременные полеты в ущельях, тоннелях и на городских улицах.

Условием возврата к стабилизации самолета по показаниям пирометрической вертикали является выполнение неравенств несколько раз подряд.

При возвращении к стабилизации по показаниям пирометрической вертикали значения углов крена и тангажа сбрасываются, а угловое положение на ДУС, как и прежде, начинается заново с последнего корректного значения, определяемого пирометрической вертикалью, что позволяет многократно использовать управление ДУС без накопления ошибок интегрирования.

Таким образом, совокупность атрибутов устройства, реализация которых может быть выполнена, позволяет расширить функциональные возможности пирометра по вертикали при отсутствии видимой линии горизонта или неравномерной тепловой картине путем введения контроля точности, рассчитываемой по показаниям только пирометров углов крена и тангажа, и расчета углов крена и тангажа только по показаниям ДУС в течение ограниченного времени, когда углы крена и тангажа пирометров признаются некорректными.

Заключение. В данной работе была рассмотрена информационно-измерительная система пирометрического типа для малоразмерного беспилотного летательного аппарата. Преимущества использования такой системы обусловлены недостатками системы ориентации для определения углового положения БПЛА относительно опорной системы координат.

Подход использования пирометрических датчиков поможет существенно улучшить точности определения угловых координат БПЛА.

References

1. Gal'kevich A. I. *Nizkoorbital'naya kosmicheskaya sistema personal'noy sputnikovoy svyazi i peredachi dannykh* [Low-orbit space system of personal satellite communication and data transmission]. Moscow, Yulis Publ., 2013, 170 p. (In Russ.).
 2. Kuzovnikov A. V., Testodov N. A., Agureev V. A. [Problems of development of low-orbit multifunction personal satellite communication system GONETS-D1M]. *Vestnik SibGAU*. 2013, Vol. 52, No. 6, P. 158–163 (In Russ.).
 3. Akzigitov A. R., Statsenko N. I., Pisarev N. S., Efimova A. N., Andronov A. S. Aircraft monitoring in remote areas via the low-orbit satellite communications system IRIDIUM along with the GSM data transmission through ASC-6 telemetry terminal. *Siberian Journal of Science and Technology*. 2017, Vol. 18, No. 3, P. 552–557.
 4. Shevchuk D. V. [The time estimate message delivery system "GONETS" for various variants of construction of the orbital group]. *Radiotekhnika*. 2012, No. 11, P. 127–130 (In Russ.).
 5. Mukhin I. E., Shevtsov A. N., Shchitov A. N. [Prospects for the use of the multifunctional personal satellite communication system MSPSC GONETS]. *Infokommunikatsii i informatsionnaya bezopasnost': sostoyanie, problemy i puti resheniy a: Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Infocommunication and information security: status, problems and ways of solution: materials of the II all-Russian scientific-practical conference]. Moscow, 2015, P. 151–155 (In Russ.).
 6. Zharov A. A. [Multifunctional system for personal satellite communications "Gonets-D1M": state and prospects of development]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2013, Vol. 2, No. 6, P. 72–78 (In Russ.).
 7. Akimov A., Poleshchuk V. [Spatial accessibility and operational readiness of the low-orbital group of communication spacecraft]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2014, Vol. 2, No. 6, P. 76–81 (In Russ.).
 8. Antamoshkin O. A. [Design of highly reliable real-time systems]. *Trudy MAI*. 2011, No. 45, P. 61–63 (In Russ.).
 9. Marinich A. N., Pripotnyuk A. V., Ustinov Yu. M. [Monitoring of ships along the Northern sea route using satellite communication systems]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. Admirala S. O. Makarova*. 2016, No. 6, P. 184–205 (In Russ.).
 10. Akimov A., Shevchuk D., Danilov D. [Efficiency of information transfer in low-orbit communication system with message transfer onboard spacecraft]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2015, No. 1, P. 69–72 (In Russ.).
 11. Akimov A., Shevchuk D., Danilov D. [Efficiency of information transfer in low-orbit communication system with message transfer onboard spacecraft]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2015, No. 2, P. 72–75 (In Russ.).
 12. Tsisar L. [The best satellite communications expands standards]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 2008, No. 64, P. 40–42 (In Russ.).
 13. Bisterfel'd O. A. [The algorithm for moving data through communication channel with the segment of satellite communications]. *Nauka i obrazovanie*. 2014, No. 10, P. 41–43 (In Russ.).
 14. Kartavtsev D. V., Oblienko A. V., Oblienko M. V. [Organization of communication via satellite stations such as VSAT]. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektiv*. 2014, No. 5, P. 360–363 (In Russ.).
- Nazarov S. N. [Improving communication efficiency of mobile subscribers through the integration of cellular and satellite communication systems]. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010, No. 52, P. 53–56 (In Russ.).

Библиографические ссылки

1. Галькевич А. И. Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных. М. : Юлис, 2013. 168 с.

2. Кузовников А. В., Тестоедов Н. А., Агуреев В. А. Проблемы развития низкоорбитальной многофункциональной системы персональной спутниковой связи «ГОНЕЦ-Д1М» // Вестник СибГАУ. 2013. Т. 52, № 6. С. 158–163.
3. Мониторинг воздушных судов в высоких широтах посредством использования спутниковой связи ИРИДИУМ на основе телеметрического терминала ASC-6 / А. Р. Акзигитов, Н. И. Стаценко, Н. С. Писарев и др. // Сибирский журнал науки и технологий. 2017. Т. 18, № 3. С. 552–557.
4. Шевчук Д. В. Оценка времени доставки сообщений системой "ГОНЕЦ" при различных вариантах построения орбитальной группировки // Радиотехника. 2012. № 11. С. 127–130.
5. Мухин И. Е., Шевцов А. Н., Щитов А. Н. Перспективы применения многофункциональной системы персональной спутниковой связи МСПСС «ГОНЕЦ» // Инфокоммуникации и информационная безопасность: состояние, проблемы и пути решения : Материалы II Всеросс. науч.-практ. конф. 2015. С. 151–155.
6. Жаров А. А. Многофункциональная система персональной спутниковой связи «ГОНЕЦ-Д1М»: состояние и перспективы развития // Технологии и средства связи. 2013. № 6 (2). С. 72–78.
7. Акимов А., Полещук В. Пространственная доступность и оперативная готовность низкоорбитальной группировки космических аппаратов связи // Технологии и средства связи. 2014. № 6 (2). С. 76–81.
8. Антамошкин О. А. Проектирование высоконадежных систем реального времени // Труды МАИ. 2011. № 45. С. 61–63.
9. Маринич А. Н., Припотнюк А. В., Устинов Ю. М. Мониторинг судов на трассах северного морского пути с помощью спутниковых систем связи // Вестник гос. ун-та мор. и реч. флота им. Адмирала С. О. Макарова. 2016. № 6. С. 184–205.
10. Акимов А., Шевчук Д., Данилов Д. Оперативность передачи информации в низкоорбитальной системе связи с переносом сообщений на борту космических аппаратов // Технологии и средства связи. 2015. № 1. С. 69–72.
11. Акимов А., Шевчук Д., Данилов Д. Оперативность передачи информации в низкоорбитальной системе связи с переносом сообщений на борту космических аппаратов // Технологии и средства связи. 2015. № 2. С. 72–75.
12. Цисар Л. Лучшая спутниковая связь расширяет стандарты // Технологии и средства связи. 2008. № 64. С. 40–42.
13. Бистерфельд О. А. Алгоритм транспортировки данных по каналу связи с сегментом спутниковой связи // Наука и образование. 2014. № 10. С. 41–43.
14. Картавцев Д. В., Облиенко А. В., Облиенко М. В. Организация связи с помощью станций спутниковой связи типа VSAT // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. № 5. С. 360–363.
15. Назаров С. Н. Повышение эффективности связи подвижных абонентов посредством интеграции сотовой и спутниковой систем связи // Вестник Ульяновского гос. техн. ун-та. 2010. № 52. С. 53–56.

© Акзигитов А. Р., Писарев Н. С., Стаценко Н. И., Акзигитов Р. А., Неверов Ю. А., 2019

Акзигитов Артур Ревович – старший преподаватель; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра ПНК. E-mail: aakzigitov88@mail.ru.

Писарев Никита Сергеевич – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра ПНК. E-mail: nike0996@gmail.com.

Стаценко Николай Иванович – студент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра ПНК. E-mail: stacenkoni@mail.ru.

Акзигитов Реве Авхадиевич – доцент; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедра ПНК. E-mail: akzigitov-r@mail.ru.

Неверов Юрий Александрович – магистрант; Сибирский государственный университет науки и

технологий имени академика М. Ф. Решетнева, кафедры ПНК. E-mail: pnk-sibsau@mail.ru.

Akzigitov Artur Revovich – senior professor, lecturer; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PNK department. E-mail: aakzigitov88@mail.ru

Pisarev Nikita Sergeevich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PNK department. E-mail: nike0996@gmail.com.

Statsenko Nikolay Ivanovich – student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PNK department. E-mail: stacenkoni@mail.ru.

Akzigitov Revo Avhadievich – docent; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PNK department. E-mail: akzigitov-r@mail.ru.

Neverov Yuriy Aleksandrovich – master student; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, PNK department. E-mail: pnk-sibsau@mail.ru.