

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.09

**Соискатель:** Белявский Александр Евгеньевич

**Тема диссертации:** Методологические основы проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы

**Специальность:** 2.5.14. «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:**

На заседании 26 декабря 2023 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация полностью удовлетворяет пунктам 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Белявскому Александру Евгеньевичу ученую степень доктора технических наук.

**Присутствовали:** д.т.н., академик РАН М.А. Погосян, д.т.н., проф. В.Н. Евдокименков, к.т.н. Д.Ю. Стрелец, д.т.н., академик РАН О.М. Алифанов, д.т.н. Л.М. Гавва, д.т.н., проф. В.Г. Дмитриев, д.т.н., проф. А.А. Дудченко, д.т.н., доц. В.М. Краев, д.т.н., доц. О.В. Митрофанов, д.т.н., доц. А.М. Молчанов, д.т.н., проф. А.В. Ненарокомов, д.т.н., проф. С.Г. Парафесь, д.ф.-м.н., проф. Л.Н. Рабинский, д.т.н., проф. М.В. Силуянова, д.ф.-м.н., доц. Г.В. Федотенков, д.т.н., проф. В.В. Фирсанов, д.т.н. В.И. Шевяков.

Ученый секретарь диссертационного совета

24.2.327.09, к.т.н.

Д.Ю. Стрелец



УДС МАИ

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.09,**  
созданного на базе Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования «Московский  
авиационный институт (национальный исследовательский университет)»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
(МАИ)

**по диссертации на соискание ученой степени доктора наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26.12.2023 г., протокол №26

О присуждении **Белявскому Александру Евгеньевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методологические основы проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы» по специальности 2.5.14. «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» принята к защите 25 сентября 2023, протокол заседания № 16, диссертационным советом 24.2.327.09, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ, Московский авиационный институт), 125993, Москва, Волоколамское шоссе, 4, приказ Минобрнауки России о создании совета №1783/нк от 13.12.2022 г., приказ о внесении изменений в состав совета №1326/нк от 22.06.2023 г., приказ о внесении изменений №1986/нк от 18.10.2023 г.

**Соискатель**, Белявский Александр Евгеньевич, 12 ноября 1964 года рождения.

В 1988 году Белявский Александр Евгеньевич окончил факультет «Летательные аппараты» Московского ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции авиационного института имени С. Орджоникидзе по специальности «Автономные системы», диплом с отличием ЛВ 325001 от 05 февраля 1988 г. В 1995 году Белявский А.Е. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на специальную тему в диссертационном совете ССД 053.04.13, созданном на базе Московского авиационного института (технического университета) по специальности 05.07.03. - «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» под руководством д.т.н., профессора В.В. Малоземова, диплом КТ 008950 от 23 марта 1995 г.

В период подготовки диссертации Белявский А.Е. являлся докторантом кафедры 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

В настоящее время работает в должности доцента на кафедре 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

Диссертация «Методологические основы проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы» выполнена на кафедре 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» института №6 «Аэрокосмический» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный консультант** – доктор технических наук, профессор, Алексеев Владимир Антонович, Заслуженный машиностроитель РФ, начальник лаборатории 65 – заместитель главного конструктора, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точных приборов», профессор кафедры 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»).

#### **Официальные оппоненты:**

1. **Гаряев Андрей Борисович** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тепломассообменные процессы и установки» Национального исследовательского университета МЭИ, г. Москва.

2. **Семена Николай Петрович** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, заведующий лабораторией «Астрофизические рентгеновские детекторы и телескопы» Института космических исследований РАН, г. Москва.

3. **Финченко Валерий Семенович** – гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела 500 Акционерного общества «НПО Лавочкина», Московская область, г. Химки.

Все оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** – Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» (ПАО «РКК

«Энергия»), Московская область, г. Королев, в своем положительном отзыве, обсужденном на заседании секции «Системы терморегулирования и жизнеобеспечения» научно-технического совета РКК «Энергия» (протокол № 164 от 03.10.2023 г.), подписанном главным научным сотрудником отдела аэрогазодинамики, доктором физико-математических наук А.К. Алексеевым и утвержденным Генеральным конструктором-заместителем генерального директора, доктором технических наук, академиком РАН В.А. Соловьевым, указала, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор – Белявский Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения этой ученой степени по специальности 2.5.14 – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов».

Соискатель имеет 74 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 32 работы, из них 10 статей в рецензируемых научных журналах перечня ВАК и отечественных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, в том числе без соавторства 3; 11 статей в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Scopus, в том числе без соавторства 7; получено два патента на изобретения. Результаты работы по теме диссертации доложены на всероссийских и международных научных конференциях. Наиболее значимыми научными работами по теме диссертации являются:

**Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и в отечественных изданиях, которые входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования:**

1. Борщев Н.О., Белявский А.Е., Сорокин А.Е. Алгоритм параметрического определения теплофизических характеристик покрытий // СТИН. - 2019. - № 9. - С. 34-37.

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма параметрического определения теплофизических характеристик покрытий излучающих поверхностей РТО СОТР космических аппаратов.

2. Белявский А.Е., Новиков С.В., Сорокин А.Е., Шангин И.А. Анализ использования тепловых аккумуляторов в системах обеспечения теплового режима космических аппаратов // СТИН. - 2019. - № 1. - С. 11-14.

Личный вклад автора заключается в классификации тепловых аккумуляторов и исследовании эффективности их применения в СОТР космических аппаратов.

3. Белявский А.Е., Сорокин А.Е., Строгонова Л.Б., Шангин И.А. Выбор процессов теплоаккумуляции в системах обеспечения теплового режима космических аппаратов // Электронный научный журнал «Труды МАИ», выпуск №103, 25 декабря 2018. - Москва : МАИ. Эл № ФС 77 - 58560,

Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100502>.

Личный вклад автора заключается в исследовании процессов аккумуляции тепла с точки зрения применимости их в СОТР космических аппаратов.

4. Белявский А.Е. Эксергетический анализ систем обеспечения теплового режима космических аппаратов с тепловым аккумулятором // СТИН. - 2021. - № 9. - С. 32-34.

Автором проведено исследование распределения потоков эксергии в СОТР космических аппаратов, включающих в свой состав теплоаккумулирующие устройства.

5. Белявский А.Е. Анализ работы радиационного теплообменника системы обеспечения теплового режима лунной базы // Тепловые процессы в технике. - 2022. - Т.14. - № 3. - С. 107-215.

Автором проведено исследование влияния условий внешней среды на поверхности Луны на работоспособность низкотемпературного РТО СОТР лунной базы.

6. Белявский А.Е. Анализ количества рабочего вещества теплового аккумулятора наружного контура системы обеспечения теплового режима лунной базы // Тепловые процессы в технике. - 2022. - Т.14. - № 5. - С. 209-217.

Автором разработан алгоритм расчета количества тепла, которое необходимо отвести в тепловой аккумулятор наружного контура СОТР лунной базы в течение лунного дня для обеспечения требуемого теплового режима и проведен расчет проектных параметров фазопереходного теплового аккумулятора на основе лунного реголита с водой наружного контура СОТР лунной базы.

7. Борщев Н.О., Белявский А.Е., Сорокин А.Е. Разработка модели внешних тепловых воздействий на космический аппарат // СТИН. - 2019. - № 9. - С. - 31-34.

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма расчета внешних тепловых потоков на космический аппарат на поверхности Луны.

8. Борщев Н.О., Белявский А.Е., Сорокин А.Е. Исследование теплового режима элементов международной космической станции // СТИН. - 2020. - № 11. - С. 35-37.

Личный вклад автора заключается в проведении анализа структуры СОТР международной космической станции с целью ее модернизации для обеспечения теплового режима модуля лунной базы.

9. Строгонова Л.Б., Васин Ю.А., Сорокин А.Е., Белявский А.Е. Формирование воздушной среды замкнутых объемов космических аппаратов // СТИН. - 2019. - № 4. - С. 33-36.

Личный вклад автора заключается в анализе возможных решений задачи формирования воздушной среды модуля лунной базы.

10. Борщев Н.О., Белявский А.Е., Сорокин А.Е. Оценка влияния энергетических установок космических аппаратов на массу радиационной системы охлаждения // СТИН. - 2020. - № 2. - С. 31-33.

Личный вклад автора заключается в классификации и анализе типов энергоустановок с точки зрения использования их для обеспечения энергией СОТР лунной базы.

**Статьи в рецензируемых изданиях, индексируемых в международной системе цитирования Scopus:**

11. Belyavskii, A.E., Kudryavtseva, N.S., Sorokin, A.E. Hybrid Radiator for Spacecraft Thermal Control Systems // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is. 1. - P. 57-59.

Личный вклад автора заключается в разработке конструкции гибридного РТО на основе графита для СОТР лунной базы.

12. Belyavskii A.E. Radiant Heat Exchanger with Hybrid Structure // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is. 6. - P. 607-609.

Автором разработана математическая модель гибридного РТО на основе графита.

13. Belyavskii A.E., Kudryavtseva N.S., Sorokin A.E., Nagornov A.Y. Efficiency of Hybrid Radiant Heat Exchanger // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is.9. - P. 942-944.

Личный вклад автора заключается в анализе эффективности ребра гибридного РТО техническим предложениям по возможности ее увеличения.

14. Borshchev N.O., Belyavskii A.E., Sorokin A.E. Determination of the Thermal-Conductivity Tensor by Tikhonov Regularization in Spherical Coordinates // Russian Engineering Research. - 2020. - Vol.40. - Is.7. - P. 593-595.

Личный вклад автора заключается в разработке алгоритма определения элементов тензора теплопроводности методом регуляризации Тихонова А.Н. для определения теплопроводности гибридных структур.

15. Belyavskii A.E. Selection of the Design Parameters for Heat Stores Spacecraft Temperature Maintenance // Russian Engineering Research. - 2021. - Vol. 41. - Is. 8. - P. 745-747.

Автором проведен анализ конструкций тепловых аккумуляторов с плавящимся рабочим веществом для использования в СОТР космических аппаратов.

16. Belyavskii A.E. Heat Stores with a Melting Working Medium for Spacecraft Thermal Control Systems: Simulation // Russian Engineering Research. - 2020. - Vol. 40. - Is. 12. - P. 1135-1137.

Автором разработана математическая модель теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом для использования в СОТР лунной базы.

17. Belyavskii A.E. Heat Stores with a Melting for Spacecraft Thermal Control Systems // Russian Engineering Research. - 2021. - Vol. 41. - Is. 1. - P. 56-57.

С использованием разработанных математических моделей автором проведен выбор проектных параметров тепловых аккумуляторов в СОТР космических аппаратов.

18. Belyavskii A.E., Kudryavtseva N.S., Sorokin A.E. Radiant Heat Exchanger in the Thermal Control System of a Lunar Base Module: Thermodynamic Analysis // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is.6. - P. 613-615.

Личный вклад автора заключается в проведении термодинамического анализа работы радиационного теплообменника в составе наружного контура СОТР лунной базы.

19. Belyavskii A.E. Thermal Storage System at Lunar Base // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol.42. - Is.9. - P. 939-941.

Автором проведено моделирование теплового аккумулятора лунной базы.

20. Belyavskii A.E. Outer loop Structure of a Spacecraft Thermal Control System with Heat Stores // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is. 1. - P. 60-62.

Автором разработана новая структура наружного контура СОТР космического аппарата с использованием теплового аккумулятора.

21. Belyavskii A.E. Thermal Management of a Lunar Base Using Heat Stores // Russian Engineering Research. - 2022. - Vol. 42. - Is.12. - P. 1306-1308.

Автором разработана новая структура СОТР лунной базы с использованием теплового аккумулятора.

#### **Патенты на изобретения:**

22. Патент RU 2022 134 189 Излучающая панель гибридной структуры / Белявский А.Е., Кудрявцева Н.С., Сорокин А.Е. Опубликовано 09. 06. 2023. Бюллетень №16. Патент 2797894.

23 Патент RU 2022 134 191 Радиационный теплообменник гибридной структуры / Белявский А.Е., Кудрявцева Н.С., Сорокин А.Е. Опубликовано 23.06.2023. Бюллетень № 18. Патент 2798644.

**В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, представленные в диссертации.**

**На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:**

**1) Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» (ПАО «РКК «Энергия»), ведущая организация. Отзыв положительный.** Подписан главным научным сотрудником отдела аэрогазодинамики, доктором физико-математических наук А.К. Алексеевым и утвержден Генеральным конструктором-заместителем генерального директора, доктором технических наук, академиком РАН В.А. Соловьевым.

К работе имеются следующие замечания:

1. На рисунке 2.5 представлены источники и потребители воды, водорода и кислорода на лунной базе. В качестве потребителя воды указан тепловой аккумулятор СОТР лунной базы. Непонятно, о каком аккумуляторе идет речь, внутреннего контура, или наружного?

2. На рисунках 5.7. Зависимость плоскостной температуропроводности и плоскостной теплопроводности от температуры образца, 5.9. Зависимость внеплоскостной температуропроводности и внеплоскостной теплопроводности от температуры образца и 5.15. Зависимость внеплоскостной температуропроводности и внеплоскостной теплопроводности от температуры образца гибридной структуры, прошитого медными скрепками отсутствуют обозначения осей координат.

**2) Финченко Валерий Семенович, официальный оппонент, доктор технических наук. Отзыв положительный, заверен главным научным сотрудником АО «НПО Лавочкина» Ефановым В.В.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Чрезмерно большой по мнению оппонента общий объем книги (407 страниц) из-за:

- расширенного в разделах 1.1 – 1.3, 2 – 2 описания поэтапного освоения Луны, структуры лунной базы (ЛБ) с описанием параметров нормальных условий жизнедеятельности людей и проблемах использования в СОТР базы тепловых труб;

- избыточно подробного описания лунного рельефа (разд. 3 – 1), влияния пыли на функционирование ЛБ (разд.3.3);

- повторение одного и того же источника информации в списке литературы по 2 (4 и 153,102 и 150), 3 (100, 109 и 148) раза;



- включение в труд главы 12, касающейся анализа использования местных ресурсов для эксплуатации и развития ЛБ, вообще-то говоря не касающейся в полной мере поставленной цели диссертации (СОТР ЛБ).

2. Часть представленных графиков и рисунков (5.1, 4.5, 4.8, 4.11) следовало бы выполнить в цвете со шкалой цветности распределения температур и соответствующих линий графика.

3. Поскольку в тексте труда постоянно встречаются термины «наружный», «внешний» и «внутренний» контур СОТР, следовало бы обозначить их границы.

4. Поскольку согласно определению: **методология проектирования – это учение о структуре, логической организации, методах и средствах поиска и принятия решений, о принципах действия и составе этого объекта, наилучшим образом удовлетворяющих определенные потребности, а также составление описания, необходимого для его создания**, автору для наглядности следовало бы представить блок-схему проектирования СОТР ЛБ в лунных условиях и логические связи каждого из блоков между собой.

**3) Семена Николай Петрович**, официальный оппонент, доктор технических наук. **Отзыв положительный**, заверен заместителем директора Института космических исследований РАН, доктором физико-математических наук, член-корреспондентом РАН Лутовиновым А.А.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Структура работы имеет избыточное количество глав. Разные главы, в которых представлены структура, моделирование параметров и экспериментальные исследования одного и того же объекта, целесообразно было объединить в единую главу.

2. Текст диссертации можно сократить без ущерба для ее содержания. В качестве примера потенциально исключаемого текста можно привести фрагмент, представленный на стр. 22: «В настоящее время определена задача превращения космоса в индустриальную площадку, образующую новую экосистему обитания рабочей деятельности человека вне Земли с целью решения проблем Человечества и освоения планет и лун Солнечной системы. Луне предстоит стать внепланетной инфраструктурой земной цивилизации Земли».

3. Спорным является привлечение автором метода «Неопределенного программирования» Баодина Лю, который в настоящее время не является общепринятым и имеет достаточно трудно воспринимаемую терминологию, такую, например, как «эпистемическая неопределенность», делающую этот метод еще более сложным для восприятия и оценки.

4. Не понятным является то, зачем для функционирования СОТР на поверхности Луны автор использует двойную периодичность тепловых состояний – лунные сутки и земные сутки.

5. Судя по тексту диссертации, автор не использовал данные по прямому измерению теплового потока из реголита к поверхности Луны, проведенному в миссиях «Аполлон-15» и «Аполлон-17». Эти данные могли бы уточнить реальный тепловой баланс аккумулятора на основе реголита, предлагаемого автором.

6. В тексте диссертации приведены недостаточно данных по моделированию распределения температуры и теплового потока в ячейках теплового аккумулятора на основе реголита, что при прочтении диссертации не позволяет сделать вывод об оптимальности выбранных размеров ячейки.

**4) Горяев Андрей Борисович, официальный оппонент, доктор технических наук. Отзыв положительный, заверен заместителем начальника управления по работе с персоналом ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» Полевой Л.И.**

По диссертации имеются следующие замечания:

1. Во введении диссертации указана величина максимальной погрешности расчетов, которая на превышает 20%. Не понятно, к чему она отнесена и каким образом получена.

2. В четвертой главе диссертации предложены аналитические математические модели гибридных РТО и гибридных излучающих панелей. Следовало определить и указать области значений исходных данных моделей, при которых они дают приемлемый для практики результат.

3. В главе 4 хотелось бы видеть ответ на вопрос почему при росте ширины ребра результаты расчета эффективности ребра по двухмерной аналитической модели РТО и более сложной трехмерной модели сближаются и в итоге практически совпадают.

4. На странице 176 в математической модели теплового аккумулятора формулы для определения чисел Нуссельта необходимо дополнить критериальной зависимостью для переходного режима течения теплоносителя ( $2300 < Re < 10000$ ), в противном случае расчеты могут привести к заметной ошибке.

**5) Федеральное государственное бюджетное учреждение "Центральный научно-исследовательский институт военно-воздушных сил" министерства обороны Российской Федерации, отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан главным научным сотрудником Научно-исследовательского испытательного центра (авиационно-космической медицины и военной эргономики), Заслуженным**

деятелем науки РФ, доктором технических наук, профессором А.В. Богомоловым, заверен начальником отдела кадров ЦНИИ ВВС (Минобороны России) Ю. Кулешовой.

В качестве замечаний необходимо отметить, что в автореферате отсутствует мотивация принятия неопределенных параметров при оптимизации гибридного радиационного теплообменника СОТР лунной базы.

**6) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки государственного научного центра Российской Федерации институт медико-биологических проблем Российской академии наук**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан старшим научным сотрудником ГНЦ РФ – ИМБП РАН, кандидатом медицинских наук Д.М. Шведом. Подпись заверена заведующей отдела кадров ГНЦ РФ – ИМБП РАН Н.А. Галаниной.

В качестве замечания отмечено, что в работе не рассмотрен вопрос выбора экспертов для получения информации о неопределенных параметрах лунной среды при оптимизации СОТР в условиях эпистемической неопределенности.

**7) ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан главным научным сотрудником 2 управления ФГБУ "НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина", доктором технических наук, доцентом Б.А. Наумовым. Подпись заверена секретарем научно-технического совета ФГБУ "НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина" А.А. Кальмин.

В качестве замечания отмечено, что при в целом положительной оценке выполненной автором работы по созданию методологических основ проектирования СОТР лунной базы, разработки новой структурной схемы СОТР, теплового аккумулятора на основе реголита и гибридных конструкций на основе графита, уделено недостаточно внимания вопросам технологии изготовления пленок из кристаллов графита в виде гексагональных сетчатых слоев.

**8) АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения»**, отзыв на автореферат. **Отзыв положительный**, подписан главным конструктором АО «НИИхиммаш», начальником отделения систем жизнеобеспечения космических станций С.Н. Руковициным, начальником отдела систем водообеспечения космических станций доктором технических наук, профессором Л.С. Бобе. Отзыв утверждён Генеральным директором АО «НИИхиммаш» А.С. Циганковым.

Существенных замечаний по автореферату не представлено.

**9) Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Объединенный институт высоких температур» Российской академии наук, отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан научным сотрудником ОИВТ РАН кандидатом технических наук Н.О. Борщевым, заведующим лабораторией № 5 ОИВТ РАН кандидатом технических наук И.А. Беляевым. Подпись заверена ведущим инженером отдела кадров Ю.А. Мориной.**

К недостаткам работы отнесено:

- в третьей главе не представлена модель расчета эффективного теплового потока на элементы СОТР лунной базы, не ясно в каком приближении считался лучистый теплообмен и угловые коэффициенты переизлучения между элементами базы и СОТР;

- в четвертой главе не представлен нестационарный расчет поля температур по пространству радиатора, а только стационарный, хотя тепловые нагрузки на СОТР зависят от времени суток и нужно оценить тепловое состояние СОТР в рамках всего эксплуатационного диапазона температур до выхода температурного поля на квазипериодический режим. Также получение аналитического решения возможно только при линеаризованных теплофизических параметрах, которые являются функциями температуры, а еще и направления, а также граничных условий;

- в пятой главе нет полного описания метода идентификации коэффициента теплопроводности материала, при решении нестационарного уравнения теплопроводности коэффициент температуропроводности невозможно вынести на знак дифференцирования если он является функцией температуры. Не ясно, чем данный метод лучше методов параметрической идентификации на основе минимизации среднеквадратичной ошибки между теоретическим и экспериментальным полем температур. Нет оценки сходимости влияния некорректности постановки задачи на ее решение, нет оценки точности полученных результатов и их валидации.

**10) Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП»), отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан старшим научным сотрудником лаборатории тепловых режимов, кандидатом технических наук А.С. Титовой. Отзыв утвержден заместителем генерального директора по науке, доктором технических наук, доктором военных наук, профессором В.Ф. Кострюковым.**

Существенных замечаний по автореферату не представлено.

**11) Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «Тепловые агрегаты и системы», отзыв на автореферат. Отзыв положительный, подписан ведущим инженером**

ООО НПП «ТАИС», кандидатом технических наук И.О. Кузнецовым. Подпись И.О. Кузнецова заверена Директором-главным конструктором К.А. Гончаровым.

В качестве замечания отмечено, что разработанные новая структурная схема СОТР лунной базы, новые агрегаты и конструктивные решения недостаточно проработаны в конструктивном плане и не имеют экспериментального подтверждения.

**12) Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан старшим научным сотрудником отдела Тепловых режимов космических аппаратов и воздействия факторов космического пространства, кандидатом технических наук С.В. Залетаевым. Подпись С.В. Залетаева заверена главным ученым секретарем АО «ЦНИИмаш», доктором технических наук Ю.В. Ключниковым.

В качестве замечания отмечено, что в автореферате не приведена технология производства пленки на основе кристаллов графита из гексагональных сетчатых структур, информация о которой представляет интерес при рассмотрении вариантов конструктивного исполнения и применения гибридных панелей радиационных излучателей в изделиях РКТ.

**13) Акционерное общество «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В.Хруничева», отзыв на автореферат. Отзыв положительный,** подписан ведущим конструктором сектора проектирования и расчетов систем обеспечения тепловых режимов РН, РБ, КА, к.т.н. А.Н. Саловым. Отзыв утвержден Первым заместителем генерального конструктора КБ «Салют», д.т.н., профессором А.В. Владимировым.

В качестве замечаний отмечено:

- В третьей главе автореферата приведены результаты расчетов «удельного суммарного поглощенного РТО излучения», однако не указана величина коэффициента поглощения солнечного излучения, для которой выполнялись расчеты.

- В четвертой главе реферата представлены графики зависимости эффективности ребра гибридного РТО от ширины ребра для различных вариантов толщины графитовой пленки. Желательно было бы на этом же рисунке привести аналогичный график для традиционного ребра РТО из алюминиевого сплава.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в соответствующей сфере

исследования, компетентностью, имеющимся у них большим опытом проектирования и исследований в области систем обеспечения теплового режима космических аппаратов, в том числе, в области соответствующей паспорту специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева» - ведущая организация, является головным предприятием в области пилотируемого освоения космоса. В корпорации ведутся работы по созданию пилотируемого транспортного корабля нового поколения и эскизному проектированию новой перспективной Российской орбитальной станции, разрабатывается стратегия развертывания Российской обитаемой лунной базы. Заключение по диссертационной работе обсуждено на заседании секции «Системы терморегулирования и жизнеобеспечения» научно-технического совета РКК «Энергия» (протокол № 164 от 03.10.2023 г.), и подписано ученым, который непосредственно занимается вопросами обеспечения теплового режима космических аппаратов, долговременных космических и планетных станций. Алексей Кириллович Алексеев - крупный специалист и ученый, известный в России и за рубежом в области проектирования систем обеспечения теплового режима космических аппаратов.

Гаряев Андрей Борисович – автор более 100 научных трудов в области тепломассообмена. Занимается вопросами тепло и массопереноса, энергосбережением в теплотехнологиях.

Семена Николай Петрович – автор более 60 научных трудов в области термостатирования космических приборов и аппаратов.

Финченко Валерий Семенович – автор более 50 научных трудов в области термоаэродинамики. Занимается вопросами теплового режима космических аппаратов.

**Диссертационный совет отмечает, что диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, что на основании выполненных соискателем исследований разработана новая структурная схема СОТР лунной базы, предложены новые конструктивные решения, решена научная проблема по разработке методологических основ проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы.**

**Новизна полученных результатов заключается в том, что:**

разработана новая структурная схема СОТР модуля лунной базы, включающая в состав наружного контура тепловой аккумулятор с рабочим

веществом на основе реголита и в состав внутреннего контура теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом;

разработаны новые элементы и агрегаты для СОТР лунной базы:

– радиационный теплообменник гибридной структуры, с излучающей двухслойной панелью, наружный излучающий слой которой металлический, а внутренний слой является гибридной структурой, состоящей из пакета фольги пиролитического графита с высокой плоскостной теплопроводностью;

– излучающая панель гибридной структуры пассивной СОТР радиоэлектронной аппаратуры модуля лунной базы, с двухслойной излучающей панелью, наружный излучающий слой которой металлический, а внутренний слой является гибридной структурой, состоящей из пакета фольги пиролитического графита с высокой плоскостной теплопроводностью на которую устанавливаются тепловыделяющие элементы радиоэлектронной аппаратуры;

– тепловой аккумулятор трубчатого типа наружного контура на основе реголита с водой, претерпевающей фазовый переход;

разработаны математические модели гибридного РТО и гибридной излучающей панели с использованием теплофизических коэффициентов, полученных в результате проведенных экспериментальных исследований;

разработана математическая модель теплового аккумулятора внутреннего контура СОТР с фазопереходным рабочим веществом, с использованием принципа суперпозиции для учета скрытой теплоты фазового перехода;

разработана математическая модель ТА трубчатого типа наружного контура СОТР на основе реголита с водой для обеспечения теплового режима лунной базы в течение лунных суток с использованием принципа суперпозиции для учета скрытой теплоты фазового перехода;

разработана математическая модель новой структуры СОТР лунной базы с использованием теплоаккумулирующих устройств, получены результаты численного моделирования динамических режимов и оценки проектных параметров СОТР лунной базы с теплоаккумулирующими устройствами;

доказана целесообразность использования местных лунных ресурсов при разработке схем и новой элементной базы СОТР лунного модуля при сроке эксплуатации лунной базы свыше семи лет;

разработаны математические модели и алгоритмы, основанные на применении теории неопределенности Б. Лю с использованием генетического алгоритма оптимизации, для проектирования СОТР лунной

базы в условиях эпистемической неопределенности параметров на этапе системных предпроектных исследований, на основании которых получены новые расчетные результаты по режимам функционирования СОТР лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров, включающие проектные параметры РТО гибридной структуры, излучающей панели гибридной структуры пассивной СОТР радиоэлектронной аппаратуры модуля лунной базы, теплового аккумулятора наружного контура СОТР с рабочим веществом на основе реголита.

**Теоретическая значимость** работы обоснована тем, что:

изложены положения решения научной проблемы по разработке методологических основ проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы, включающих новую структурную схему СОТР с использованием в составе наружного контура теплового аккумулятора трубчатого типа на основе реголита, с использованием в составе внутреннего контура теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом и новых агрегатов СОТР лунной базы: РТО гибридной структуры и излучающую панель гибридной структуры;

изучены новые экспериментальные данные по теплофизическим свойствам гибридных структур и разработаны на их основе математические модели гибридного РТО и гибридной излучающей панели;

применительно к проблематике диссертации разработаны математические модели теплового аккумулятора трубчатого типа на основе реголита, теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом, новой структурной схемы СОТР лунной базы для оценки проектных параметров СОТР в результате численного моделирования динамических режимов работы;

проведена модернизация методики экономического анализа затрат с использованием комбинированного метода прогнозирования себестоимости изделий ракетно-космической техники на основе синтеза экспертного и аналогово-сопоставительного методов для технико-экономического анализа и обоснования целесообразности местных лунных ресурсов при разработке схем и новой элементной базы СОТР лунного модуля;

проведена модернизация алгоритма неопределенного программирования для проектирования СОТР лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров на этапе системных предпроектных исследований.



**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

разработаны и внедрены научные результаты по излучающей панели гибридной структуры пассивной СОТР радиоэлектронной аппаратуры лунной базы с трехслойной излучающей панелью, экспериментальным исследованием теплофизических свойств гибридных структур и разработанной на их основе математической модели гибридной излучающей панели при обосновании выбора моделей и разработке систем обеспечения теплового режима перспективных космических систем, а также при создании методик наземной отработки радиоэлектронной аппаратуры (получен акт внедрения в АО «НИИ Точных приборов»);

разработаны и внедрены научные результаты по:

- новой структурной схеме СОТР модуля лунной базы, включающей в состав наружного контура тепловой аккумулятор с рабочим веществом на основе реголита и в состав внутреннего контура тепловой аккумулятор с плавящимся рабочим веществом;

- экспериментальным исследованиям и разработке на их основе математической модели теплового аккумулятора внутреннего контура СОТР с фазопереходным рабочим веществом, с использованием принципа суперпозиции для учета скрытой теплоты фазового перехода;

- математическому моделированию новой структуры СОТР лунной базы с использованием теплоаккумулирующих устройств, численному моделированию динамических режимов и оценке проектных параметров СОТР лунной базы с теплоаккумулирующими устройствами, в АО «НИИхиммаш» при проектировании систем регенерации воды и атмосферы для Лунной базы и наземной отработке прототипов систем (получен акт внедрения);

разработаны и внедрены научные результаты по:

- математическому моделированию и разработке алгоритмов, основанных на применении теории неопределенности при проектировании СОТР лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров на этапе системных предпроектных исследований, в процессе предпроектных исследований при разработке и создании перспективных образцов тренажеров и тренажерных комплексов (получен акт внедрения в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»);

разработаны и внедрены научные результаты по:

- разработке новой структурной схемы СОТР модуля лунной базы с использованием в составе наружного контура теплового аккумулятора с

рабочим веществом на основе реголита и в составе внутреннего контура теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом;

- разработке новой конструкции РТО гибридной структуры и излучающей панели гибридной структуры пассивной СОТР радиоэлектронной аппаратуры;

- разработке математических моделей и алгоритмов неопределенного программирования для проектирования СОТР лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров на этапе системных предпроектных исследований, на кафедре 614 «Экология, системы жизнеобеспечения и безопасность жизнедеятельности» института №6 «Аэрокосмический» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (получен акт о внедрении).

**Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию на предприятиях ракетно-космической отрасли:**

разработанные методологические основы проектирования СОТР лунной базы, новая структурная схема СОТР, новые принципы использования аккумуляции тепла в теплоаккумулирующих устройствах с использованием лунного реголита, новые конструктивные схемы гибридных РТО, методология выбора проектных параметров СОТР в условиях эпистемической параметрической неопределенности могут быть рекомендованы для использования при проектировании СОТР перспективной лунной базы;

разработанная гибридная излучающая панель рекомендуется для использования в АО «НИИ Точных приборов» при проектировании пассивных СОТР тепловыделяющих блоков радиоэлектронного оборудования космических аппаратов;

радиационный теплообменник с гибридной излучающей панелью предлагается использовать в АО «НПО Лавочкина» при проектировании СОТР посадочных модулей автоматических лунных станций;

разработанная методология проектирования СОТР лунной базы в условиях эпистемической неопределенности параметров лунной среды рекомендуется к использованию в ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» при разработке и создании перспективных образцов тренажеров и тренажерных комплексов, в том числе тренажеров управления луноходом и взлетно-

посадочным лунным модулем, применение методологии позволит уточнить диапазоны изменения неопределенных проектных параметров тренажерных систем на этапе предварительного проектирования тренажеров и тренажерных комплексов для пилотируемых полетов к Луне;

новые принципы, заложенные в новую структурную схему СОТР лунной базы с использованием теплоаккумулирующих устройств, предлагается использовать в АО «НИИХиммаш» при разработке максимально замкнутой системы обеспечения жизнедеятельности лунной базы.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что:

теория построена на известных проверяемых данных с использованием апробированного математического аппарата теории теплопроводности многослойных структур, принимаемые допущения при выборе начальных условий проведенных исследований являются традиционными, а возможность их использования подтверждена многочисленными исследованиями в практике работы проектно-конструкторских организаций;

выводы по диссертационной работе подтверждаются и иллюстрируются результатами оценки проектных параметров агрегатов и СОТР на ЭВМ;

результаты экспериментов получены на сертифицированном оборудовании;

результаты численных экспериментальных исследований по определению проектных параметров гибридного РТО, гибридной излучающей панели, теплового аккумулятора трубчатого типа с рабочим веществом реголитом с водой, теплового аккумулятора пластинчатого типа с фазопереходным рабочим веществом, динамическим режимам функционирования СОТР лунной базы в течении лунных суток получены с использованием лицензионных программ MATLAB и COMSOL.

использованы полученные ранее опубликованные многочисленные теоретические и экспериментальные данные по результатам исследований теплопроводности в многослойных структурах. Приведены сравнения и верификация этих данных с теоретическими результатами и результатами экспериментов, полученных автором;

использованы современные методики сбора и обработки экспериментальных данных;

использовано сравнение аналитических расчетов с экспериментальными данными, показавшее при проведении экспериментальных исследований теплофизических свойств гибридных структур из пакета фольги пиролитического графита, что разброс полученных результатов

температуропроводности находится в пределах 0,6 % относительно среднего значения; при проведении экспериментальных исследований фазопереходных процессов в рабочем веществе теплового аккумулятора, показавших, что относительная погрешность расчетов с использованием разработанной математической модели теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом находится в диапазоне 0 – 15 %.

**Личный вклад автора состоит в том, что поставленная автором диссертационной работы научная проблема разработки методологических основ проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы решена полностью, что подтверждается результатами разработанных математических моделей, алгоритмов, экспериментальных исследований и уровнем их реализации (внедрения). Все результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Соискатель лично участвовал в экспериментальном определении теплофизических свойств гибридной структуры и в экспериментальной проверке адекватности математической модели теплового аккумулятора с плавящимся рабочим веществом натурному аналогу. Соискатель непосредственно принимал участие в получении новых научных результатов, лично участвовал в апробации результатов исследования и подготовке публикаций по выполненной работе.**

**В ходе защиты диссертации не было высказано критических замечаний, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.**

**В диссертационной работе все заимствованные материалы представлены со ссылкой на автора или источник. Тем самым работа удовлетворяет п.14 Положения о присуждении ученых степеней.**

На заседании 26 декабря 2023 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, и принял решение за **решение научной проблемы** по разработке методологических основ проектирования системы обеспечения теплового режима лунной базы, имеющей важное значение для освоения Луны, присудить Белявскому Александру Евгеньевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.5.14. – «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов», участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета  
24.2.327.09, д.т.н., академик РАН  
Погосян Михаил Асланович

Ученый секретарь диссертационного совета  
24.2.327.09, к.т.н.  
Стрелец Дмитрий Юрьевич



*Aliev*

«26» декабря 2023 г.