

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ПДС 2022.013
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ ИМЕНИ ПАТРИСА
ЛУМУМБЫ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.05.2024г., протокол № 6

О присуждении Халифе Хассану, гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Совершенствование системы охлаждения свободно-поршневого двигателя Стирлинга» по специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели в виде рукописи принята к защите 29.04.2024г., протокол № 4, диссертационным советом ПДС 2022.013 Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.; приказ от 24.07.2022 года № 416).

Соискатель Халифе Хассан 1994 года рождения, в 2019 году окончил с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" по направлению подготовки 13.04.03 «Энергетическое машиностроение».

С 2019 по 2023 гг. обучался в аспирантуре РУДН по программе подготовки научно-педагогических кадров по направлению, соответствующему научной специальности 05.04.02 Тепловые двигатели, по которой подготовлена диссертация.

В настоящее время работает в должности ведущего инженера – конструктора в ООО «Наука-Энерготех», а также по совместительству в должности ассистента базовой кафедры «Энергетическое машиностроение» Инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Диссертация выполнена на базовой кафедре «Энергетическое машиностроение» Инженерной академии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Смирнов Сергей Владимирович кандидат технических наук (05.04.02- Тепловые двигатели), доцент, доцент базовой кафедры «Энергетическое машиностроение» Инженерной академии, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы".

Официальные оппоненты:

– Куколев Максим Игоревич, гражданство РФ, доктор технических наук (05.14.04 — Промышленная теплоэнергетика), старший научный сотрудник, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, Инженерно-строительный институт, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

– Самвелов Андрей Витальевич, гражданство РФ, кандидат технических наук (05.04.03. -Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения), Генеральный директор общества с ограниченной ответственностью научно-технического центра ООО НТЦ «КриоНекс».

Официальные оппоненты дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, в своем положительном отзыве, подписанном Довгялло Александром Ивановичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Теплотехники и тепловых двигателей» и Лукачевым Сергеем Викторовичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Теплотехники и тепловых двигателей» и утвержденном первым проректором – проректором по научно-исследовательской работе Самарского университета им. Королева, доктором технических наук, доцентом, Прокофьевым Андреем Брониславовичем, указала, что диссертация Халифе Хассана является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной задачи, имеющей существенное значение для двигателестроения.

В заключение отзыва ведущей организации указано, что диссертационная работа соответствует требованиям п.2.2 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», утвержденного Ученым советом РУДН 03.07.2023г., протокол № УС-12, а ее автор, Халифе Хассан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, все по теме диссертации. Из них 6 работ, опубликованы в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Scopus», и 1 работа в рецензируемом научном издании, индексируемом в международной базе данных «Web of Science». Общий объем публикаций 7,4 п.л.

Авторский вклад 73%.

Наиболее значимые публикации:

1. A method for evaluating the heat rejection efficiency in a Lunar power plant consisting of a free-piston Stirling engine (FPSE)/ Sergey Smirnov, Mikhail Sinkevich, Yuri Antipov, Hassan Khalife // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. Vol. 313. P. 07001;
2. An Enhanced Calculation Method of the Heat Rejection System of a Free-Piston Stirling Engine (FPSE) Operating on the Moon/ Smirnov S, Sinkevich M, Antipov Y, Tsarkov I, Kupreev S, Khalife H. // Symmetry 2022, Vol. 14, Page 1168. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Vol. 14, № 6. P. 1168;
3. Design features of a power plant based on a stirling engine working on the moon / Y. A. Antipov, S. V. Smirnov, P. P. Oshchepkov, H. S. Khalife // Advances in the Astronautical Sciences : 2nd, Moscow, 25–27 июня 2019 года. – Moscow, 2021. – P. 833-847.;
4. A combined heat and power (CHP) plant consisting of a microturbine and a Stirling engine / Y. A. Antipov, S. V. Smirnov, P. P. Oshchepkov, H. S. Khalife // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 20–21 ноября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, Vol. 1047. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 12175. – DOI 10.1088/1757-899X/1047/1/012175.;
5. A calculation method of a heat rejection system in a lunar power plant consisting of a free-piston Stirling engine (FPSE) / S. V. Smirnov, M. V. Sinkevich, Y. A. Antipov, H. S. Khalife // Acta Astronautica. – 2021. – Vol. 180. – P. 46-57. – DOI 10.1016/j.actaastro.2020.12.008.;
6. Охладитель свободнопоршневого двигателя Стирлинга с линейным генератором [Текст]: пат. Рос. Федерация: 2754571 МПК F02G 1/043, F02G 1/055, H02K 33/16;/ Антипов Ю.А., Смирнов С.В., Шкарин К.В., Халифе Х. - № 2020134425; заявл. 20.10.2020; опубл. 03.09.2021;
7. Комбинированный регенеративный теплообменник двигателя Стирлинга [Текст]: пат. Рос. Федерация: 2755014 МПК F25B 9/14;/ ;/ Антипов Ю.А., Смирнов С.В., Соколов Д.А., Халифе Х., Мальдонадо П.Р.В. - № 2020123956; заявл. 20.07.2020; опубл. 09.09.2021.

На автореферат диссертации поступили положительные, не содержащие критических замечаний отзывы:

- Раскач Кирилл Федорович, гражданство РФ, доктор физико-математических наук (05.13.18), зам. руководителя Комплекса НИЦ «Курчатовский институт» и Скорлыгин Владимир Владимирович, гражданство РФ, доктор технических наук (05.14.03), вед. науч. сотрудник НИЦ «Курчатовский институт»;

В качестве замечаний по содержанию автореферата, можно отметить следующее:

1. Стр. 4, 6 и др. – не понятно, что автор имеет в виду под «математической моделью второго порядка», реализованной в среде Matlab.
 2. Стр. 5 – Название «Методология и методы исследования» имеет опосредованное отношение к следующему за названием изложению методик, использованных для решения задач диссертации, тем более, «с использованием методов расчета второго порядка»:
 3. «Получен патент на изобретение концепции конструкции охладителя СПДС с реорганизованным течением рабочего тела в охладителе» - представляется, что данное выражение некорректно по сути.
 4. Стр. 11 – «При моделировании охладителя СПДС использовалась пористая модель» — можно догадаться, о чем речь, но желательно было бы использовать более точные формулировки.
 5. Стр. 13 – пояснить обозначения на оси ординат рис.9, кроме того, неудачно выбран формат чисел на оси.
- Пикулев Алексей Александрович, гражданство РФ, начальник научно-исследовательского отдела Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»:

По автореферату имеются следующие замечания:

1. По рисунку 2 автореферата не понятно, как рабочее тело проходит по каналам охладителя, вид сверху сделал бы это более понятным.

2. В автореферате не указан метод определения (оценки) погрешности полученных экспериментальных данных.
 3. На рисунках 8-12 не приведены значения погрешности эксперимента.
 4. В автореферате не указан промежуток времени, при котором проводилось переключение потока на экспериментальном стенде (рисунок 8).
 5. В тексте автореферата имеются незначительные неточности.
- Семёнкин Александр Вениаминович, гражданство РФ, доктор технических наук (05.07.05), главный научный сотрудник АО ГНЦ «Центр Келдыша»:

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата не указаны погрешности измерений при экспериментальных исследованиях;
 2. Валидация разработанной расчетно-теоретической модели выполнена для модельной конструкции, использованной в экспериментах, но подробное сопоставление расчетных и измеренных данных для СПДС с усовершенствованным охладителем в автореферате не приведено;
 3. Не приведено подробное описание конструкции СПДС с усовершенствованным охладителем.
- Шемарова Ольга Александровна, гражданство РФ, кандидат технических наук (05.04.06), доцент кафедры Э5 факультета «Энергомашиностроение» МГТУ им Н.Э. Баумана:

В результате изучения материалов автореферата научного исследования имеются следующие замечания:

1. На рисунке 6 не указаны элементы стенда, что затрудняет его восприятие, хотя в тексте имеется краткое описание стенда с элементами.
2. Предложение «Сопла созданы на 3D принтере по формуле Витошинского» на стр. 12 недостаточно четко сформулировано для понимания.
3. На стр. 13 присутствует формулировка «течение в наружной трубе было постоянным». Необходимо пояснить что понимается под постоянным течением и каким образом оно обеспечивается?

4. Недостаточно описана методика эксперимента. В режиме №1 не указано какой промежуток времени обеспечивается при течении воздуха во внутренней трубе в прямом и обратном направлении.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией, наличием научных трудов и публикаций, соответствующих теме оппонируемой диссертации:

Куколев Максим Игоревич:

Куколев Максим Игоревич является крупным специалистом по двигателям Стирлинга. В частности, в сфере его научных интересов находится вопрос разработки двигателей Стирлинга и повышения их технико-экономических показателей, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации по тематике диссертационного исследования:

1. Дворниченко П.Ю., Куколев М.И. Термодинамическая эффективность сферической капсулы теплового накопителя энергии//Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2022. № 1 (241). С. 54-56;
2. Pitukhin E., Kukolev M., Pitukhin P., Gubaeva M. Development of a control system for a gas turbine power unit with a thermal energy storage // “Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021” 2022. С. 030027;
3. Киселев, В. Г. Металлоёмкость тепловых машин и теплоёмкость их рабочего тела / В. Г. Киселев, А. А. Калютик, М. И. Куколев // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – № 2(46). – С. 53-64. – DOI 10.5281/zenodo.3898237.

Самвелов Андрей Витальевич:

Самвелов Андрей Витальевич является крупным специалистом по охладителям, работающим по циклу Стирлинга. В частности, в его научные интересы входит разработка эффективных микрокриогенных систем на базе цикла Стирлинга, что является одним из важных аспектов диссертационного исследования соискателя.

Основные публикации по тематике диссертационного исследования:

1. Самвелов А.В., Ясев С.Г., Москаленко А.С., Старцев В.В., Пахомов О.В. Отечественная микрокриогеника: Микрокриогенные системы для фотоприёмных модулей // Фотоника – 2020. – Т.14. - № 4. – С. 332-337;
2. Самвелов А.В., Ясев С.Г., Старцев В.В., Москаленко А.С., Дектерева Е.Д., Пахомов О.В. Зависимость основных характеристик микрокриогенной системы Стирлинга для криостатирования фотоприёмных модулей от среднего давления цикла // Фотоника – 2020. – Т.14. - № 8. – С. 674-679;
3. Москаленко А.С., Самвелов А.В., Либкинд И.В., Лобашов А.В. Технология нанесения покрытия в производстве апертурных «холодных» диафрагм для фотоприёмных устройств // Фотоника – 2023. – Т.17. - № 1. – С. 8-13.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» является крупным научным центром, сотрудники которого активно занимаются проблематикой, соответствующей теме диссертационной работы Халифе Хассана, что подтверждается их научными публикациями:

1. Довгялло, А. И. Границы термоакустической неустойчивости в термоакустическом двигателе с криогенным охлаждением / Е. А. Зиновьев, Г. В. Воротников, А. И. Довгялло, С. О. Некрасова // Вестник Международной академии холода. – 2020. – № 4. – С. 20-26. – DOI 10.17586/1606-4313-2020-19-4-20-26. – EDN RXDJJV;
2. Dovgyallo, A. I. Free piston pulse tube engine: A numerical and experimental power generation estimation / A. I. Dovgyallo, S. O. Nekrasova, A. Y. Pulkina, D. V. Sarmin // Journal of Physics: Conference Series : 11, St.Petersburg, 21–23 октября 2019 года. – St.Petersburg, 2020. – P. 012100. – DOI 10.1088/1742-6596/1565/1/012100;
3. Dovgyallo, A. I. Investigation of a piston mass impact on the pulse tube engine performance using analytical and experimental methods / A. I. Dovgyallo, S. O.

- Nekrasova, E. F. Bahvalova // Case Studies in Thermal Engineering. – 2020. – Vol. 21. – P. 100684. – DOI 10.1016/j.csite.2020.100684;
4. Dovgyallo, A. I. A low-temperature thermoacoustic engine / E. A. Zinovyev, S. O. Nekrasova, G. V. Vorotnikov and A. I. Dovgyallo // 2021 International Scientific and Technical Engine Conference (EC), Samara, Russian Federation, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/EC52789.2021.10016855;
 5. Dovgyallo, A. I. Experimental Research of Impulse Turbine / A. A. Shimanov, I. A. Neverov, D. A. Uglov [et al.] // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. – Vladivostok, 2020. – P. 9271173. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271173.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Разработан метод совершенствования системы охлаждения свободно-поршневого двигателя Стирлинга (СПДС) путем реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС для улучшения эффективности теплоотвода и повышения технико-экономических показателей (ТЭП) СПДС;
2. Предложена расчетно-экспериментальная методика исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и ТЭП СПДС;
3. Доказана возможность увеличения теплоотвода в охладителе СПДС, предложенным методом совершенствования системы охлаждения СПДС. Что позволило повысить выходную мощность и КПД СПДС за счет снижения минимальной температуры рабочего тела в СПДС и возможности уменьшения габаритов охладителя при сохранении количества отводимого тепла, а, следовательно, уменьшение мертвого объема в СПДС.
4. Введено понятие реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС в зависимости от направления течения рабочего тела, которое характеризуется разделением охладителя СПДС на две группы каналов: первая группа для течения рабочего тела из регенератора в зону сжатия, приближенным к

рубашке охлаждения; вторая группа для течения рабочего тела из зоны сжатия обратно в зону расширения, удаленным от рубашки охлаждения. Создание двух групп каналов в охладителе с разной удаленностью от рубашки охлаждения позволяет охладителю поддерживать более высокие температуры поверхности, что приводит к повышению эффективности отвода тепла. Таким образом, рабочее тело, выходящее из зоны сжатия, будет оказывать минимальное влияние на температуру поверхности охладителя, взаимодействующего с наружным контуром охладителя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. С использованием разработанного метода **доказана** возможность увеличения теплоотвода в охладителе СПДС путем реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС, что позволило повысить выходную мощность и КПД СПДС.
2. **Применительно к проблематике диссертации результативно использованы** теория теплообмена, численные методы, а также расчетно-экспериментальная методика исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и ТЭП СПДС.
3. **Изложены** алгоритмы:
 - методики исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и ТЭП СПДС;
 - методики определения геометрических параметров исследуемых теплообменников, имеющих в качестве основного элемента конструкции сложенные медные ребра;
 - разработки расчетных моделей с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent для исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС на эффективность теплоотвода;
 - установления зависимости влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на ТЭП СПДС.
4. **Раскрыты** особенности конструкции системы охлаждения СПДС, влияющие на эффективность теплоотвода и ТЭП СПДС.

5. **Изучено** влияние рабочих параметров охладителя СПДС и реорганизации течения рабочего тела внутри охладителя на эффективность теплоотвода охладителя и ТЭП СПДС.
6. С использованием предложенной расчетно-экспериментальной методики исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и ТЭП СПДС **проведена модернизация** математической модели второго порядка, используемая для определения рабочих параметров охладителя СПДС, с учетом геометрических особенностей охладителя рассматриваемого СПДС (Сложенные медные ребра).

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

1. **Разработан** и принят для внедрения в программах НИОКР ООО «Наука-Энерготех» по автономным источникам питания на базе СПДС «ЭВОГРЕСС» метод совершенствования системы охлаждения СПДС путем реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС для улучшения эффективности теплоотвода и повышения ТЭП СПДС.
2. **Определены** перспективы практического использования метода совершенствования системы охлаждения СПДС за счет реализации конструкции охладителя, разделенной на два канала и включающей электромагнит на входе в охладитель со стороны зоны сжатия, что обеспечивает течение рабочего тела в необходимом канале в зависимости от направления его течения.
3. **Создан** стенд для проведения исследований влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и для валидации разработанной расчетной модели.
4. **Представлены** соотношения влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на технико-экономические показатели СПДС и конструкция охладителя СПДС с реорганизованным течением рабочего тела, обеспечивающая течения рабочего тела в необходимый канал в зависимости

от направления течения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

1. Для экспериментальных работ результаты были получены на разработанном стенде с использованием калиброванного и сертифицированного оборудования и доказана возможность использования стенда для проведения исследований влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и валидации расчетной модели охладителя.
2. Теоретические исследования базируются на использовании теории теплообмена и применении апробированных численных методов. Результаты, полученные при валидации расчётной модели охладителя СПДС, согласуются с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации.
3. Идея базируется на теории теплообмена и применении численных методов.
4. Используются опубликованные результаты экспериментальных и расчетных исследований по теме диссертации.
5. Установлено качественное совпадение результатов, полученных автором, с результатами, представленными в независимых источниках по исследованиям, которые определяют количество отводимого тепла в охладителе рассматриваемого СПДС.
6. Используются современные методики сбора и обработки регистрируемых данных и современное измерительное оборудование.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке метода совершенствования системы охлаждения СПДС путем реорганизации течения рабочего тела в охладителе с целью улучшения технико-экономических показателей СПДС;
- создании расчетно-экспериментальной методики исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС на эффективность теплоотвода и технико-экономических показателей СПДС;
- разработке методики определения геометрических параметров исследуемых

теплообменников, имеющих в качестве основного элемента конструкции сложенные медные ребра для выполнения математического моделирования индикаторного процесса СПДС в среде Matlab с использованием методов расчета второго порядка для определения рабочих параметров охладителя рассматриваемого СПДС;

- разработке испытательного стенда для проведения экспериментальных исследований с целью получения первичной оценки влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на эффективность теплоотвода и для валидации разработанной расчетной модели охладителя;
- разработке расчетных моделей процессов теплообмена и гидродинамики, исследуемых на испытательном стенде и в реальной конструкции охладителя СПДС для численного моделирования течения рабочего тела в охладителе с использованием программного обеспечения ANSYS Fluent и исследования влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе СПДС на эффективность теплоотвода;
- проведении анализа влияния разработанного метода совершенствования системы охлаждения СПДС путем реорганизации течения рабочего тела в охладителе на технико-экономические показатели СПДС;
- установленных соотношениях влияния реорганизации течения рабочего тела в охладителе на технико-экономические показатели СПДС;
- апробации результатов исследования.

Заключение диссертационного совета подготовлено доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Теплофизика», НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана Кузнецовым Александром Гавриловичем; доктором технических наук, доцентом, профессором базовой кафедры «Машиностроительные технологии» инженерной академии РУДН Мальковой Марианной Юрьевной; доктором технических наук, профессором, профессором департамента строительства инженерной академии РУДН Свинцовым Александром Петровичем.

На заседании 16.05.2024 г. диссертационный совет принял решение присудить Халифе Хассану ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета
ПДС 2022.013

Радин Ю.А.

И.о. ученого секретаря
диссертационного совета ПДС 2022.013

Малькова М.Ю.



16.05.2024