

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд
 Конкурс 2023 года «Проведение фундаментальных научных исследований и
 поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами»

Название проекта Теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах	Номер проекта 24-29-00461	
	Отрасль знания: 09	
	Основной код классификатора: 09-406 Дополнительные коды классификатора: 09-201 09-202	
	Код ГРНТИ 44.00.00	
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Хайруллин Айдар Рафаэлевич	Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +79625610754, kharullin@yandex.ru	
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет" ФГБОУ ВО "КГЭУ"		
Объем финансирования проекта в 2024 г.: 1500 тыс. руб.	Год начала проекта: 2024	Год окончания проекта: 2025
Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).		
Подпись руководителя проекта _____ /А.Р. Хайруллин/		Дата регистрации заявки 14.06.2023 г.
Подпись руководителя организации* * Либо уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа. В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. - руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки <u>прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации. Непредставление копии распорядительного документа или доверенности в случае подписания формы уполномоченным представителем организации, а также отсутствие расшифровки подписи, является основанием недопуска заявки к конкурсу.</u> _____ / _____ /		
Печать (при наличии) организации		

Форма 1. Сведения о проекте

1.1. Название проекта

на русском языке

Теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах

на английском языке

Heat-shielding characteristics of fibrous insulating materials of heat networks in changing heat and humidity conditions

1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также может внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

8. Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

27. Технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе.

Направление из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») (при возможности отнесения)

H2 Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии

1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

Энергосбережение, тепловые сети, теплоизоляция, изоляционный материал, тепловые потери, эффективная теплопроводность, коэффициент теплопроводности.

на английском языке

Energy saving, heat networks, thermal insulation, insulating material, heat losses, effective thermal conductivity, thermal conductivity coefficient.

1.4. Аннотация проекта (объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность решения указанной выше научной проблемы и научная новизна)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

Тепловые сети надземной и подземной, канальной и бесканальной прокладки – одни из основных элементов систем централизованного теплоснабжения. Ввиду распространенности тепловых сетей в Российской Федерации даже незначительное уменьшение тепловых потерь может привести к существенному энергосберегающему эффекту. Общеизвестно, что в зависимости от применяемых теплоизоляционных материалов тепловые потери могут увеличиться уже в первые годы эксплуатации. Условия эксплуатации теплоизоляционных материалов оказывают влияние на эффективность работы тепловых сетей. Известно, что проникновение влаги в теплоизоляционные материалы может приводить к увеличению тепловых потерь. При изменениях тепло-влажностных режимов окружающей среды происходит изменение теплоизоляционных характеристик. Периодическое подтопление изоляции при подземной прокладке трубопроводов приводит к ухудшению характеристик материала.

На сегодняшний день выбор теплоизоляционных материалов тепловых сетей не достаточно обоснован, поскольку не учитывает в полной мере условия их эксплуатации. Прогнозирование теплозащитных характеристик изоляций затруднено ввиду практически полного отсутствия экспериментальных данных по тепловым характеристикам изоляций в периодически меняющихся условиях эксплуатации. Ситуация усугубляется большим количеством теплоизоляционных материалов имеющихся на рынке. Редкие имеющиеся данные в научной литературе зачастую нельзя применить к современным теплоизоляционным материалам, ввиду различия производства. Отсутствие информации по данной теме, в том числе сдерживается отсутствием обоснованных методик и техник позволяющих предсказывать теплозащитные

характеристики материалов в меняющихся тепло-влажностных режимах. Теплозащитные характеристики изоляционных материалов в основном определяются на плоских образцах в соответствии с ГОСТ 7076-99. Данный метод применяется как для изоляций зданий и сооружений, так и частично для изоляций трубопроводов. Результаты, полученные на плоских образцах не всегда применимы для изоляций трубопроводных конструкций. Значения коэффициентов теплопроводности могут отличаться ввиду различий тепловых потоков в плоском (одномерный поток) и цилиндрическом образце (двухмерный поток). Другим, более сложным методом, является метод нагреваемой трубы ГОСТ 32025-2012. Данный метод предназначен для определения теплопроводности изоляций трубопроводов. Имеющаяся информация о теплопроводности теплоизоляционных материалов, в условиях увлажнения теплоизоляции, в основном получена на плоских образцах, при этом крайне мало с цилиндрическими образцами.

В проекте будет решаться научно-техническая проблема получения и систематизации информации по теплозащитным характеристикам волокнистых изоляций трубопроводных конструкций в меняющихся тепло-влажностных режимах. Научная новизна будет заключаться в выявлении взаимосвязи между теплозащитными характеристиками волокнистой изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах и их теплофизическими свойствами. В том числе разработке методик по определению теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций, в меняющихся тепло-влажностных режимах. Данная проблема требует комплексного подхода и может быть решена путем сопряженного физико-математического моделирования. Ввиду отсутствия адекватных методик для прогнозирования теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах, экспериментальные исследования изначально будут основываться на методах ГОСТ 7076-99, ГОСТ 32025-2012. Усовершенствование методик измерений будет проводиться за счет сопряженного физико-математического моделирования. В рамках численных экспериментов будут определяться необходимые условия проведения измерений, в зависимости от внешних факторов, таких как влияние одномерного и двумерного теплового потока, габаритные размеры испытательных образцов, временное и пространственное распределение температурных полей и т.д.

на английском языке

Heat networks of above-ground and underground, channel and non-channel laying are one of the main elements of district heating systems. Due to the prevalence of heat networks in the Russian Federation, even a slight decrease in heat losses can lead to a significant energy saving effect. It is well known that, depending on the heat-insulating materials used, heat losses can increase already for the first years of operation. The operating conditions of thermal insulation materials affect the efficiency of heat networks. It is known that the penetration of moisture into heat-insulating materials can lead to an increase in heat losses. With changes in the heat and humidity conditions of the environment, the thermal insulation characteristics change. Periodic flooding of insulation during underground laying of pipelines leads to a deterioration in the characteristics of the material.

To date, the choice of heat-insulating materials for heating networks is not sufficiently justified, since it does not fully take into account the conditions of their operation. Predicting the heat-shielding characteristics of insulations is difficult due to the almost complete absence of experimental data on the thermal characteristics of insulations under periodically changing operating conditions. The situation is exacerbated by the large number of thermal insulation materials available on the market. The sparse data available in the scientific literature often cannot be applied to modern thermal insulation materials due to production differences. The lack of information on this topic is also constrained by the lack of well-founded methods and techniques that make it possible to predict the heat-shielding characteristics of materials in changing heat and humidity conditions. The heat-shielding characteristics of insulating materials are mainly determined on flat samples in accordance with GOST 7076-99. This method is used both for the insulation of buildings and structures, and partially for the insulation of pipelines. The results obtained on flat specimens are not always applicable to the insulation of pipeline structures. The values of thermal conductivity coefficients may differ due to differences in heat fluxes in a flat (one-dimensional flow) and a cylindrical sample (two-dimensional flow). Another, more complex method is the heated pipe method GOST 32025-2012. This method is designed to determine the thermal conductivity of pipeline insulation. The available information on the thermal conductivity of thermal insulation materials, under conditions of thermal insulation dampening, is mainly obtained on flat samples, while very little is obtained with cylindrical samples.

The project will solve the scientific and technical problem of obtaining and systematizing information on the heat-shielding characteristics of fibrous insulation of pipeline structures in changing heat and humidity conditions. Scientific novelty will consist in revealing the relationship between the heat-shielding characteristics of fibrous insulation in changing heat and humidity conditions and their thermophysical properties. Including the development of methods for determining the heat-shielding characteristics of fibrous thermal insulation in changing heat and humidity conditions. This problem requires an

integrated approach and can be solved by conjugated physical and mathematical modeling. Due to the lack of adequate methods for predicting the heat-shielding characteristics of fibrous thermal insulation in changing heat and humidity conditions, experimental studies will initially be based on the methods of GOST 7076-99, GOST 32025-2012. Improvement of measurement methods will be carried out through conjugated physical and mathematical modeling. Within the framework of numerical experiments, the necessary conditions for carrying out measurements will be determined, depending on external factors, such as the influence of one-dimensional and two-dimensional heat flux, overall dimensions of test samples, temporal and spatial distribution of temperature fields, etc.

1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются результаты, их значимость для развития новой научной тематики)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

на русском языке

В ходе реализации проекта планируется сформировать научно-технический задел в области прогнозирования теплозащитных характеристик при эксплуатации теплоизоляции трубопроводных конструкций в условиях меняющихся тепло-влажностных режимов. Получение запланированных результатов будет достигаться путем сопряженного физико-математического моделирования. В рамках математического моделирования будет выполняться имитация работы лабораторной установки по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов, в меняющихся тепло-влажностных режимах, с целью разработки методики измерений. На математической модели лабораторной установки будут получены следующие результаты:

проанализирована локальная динамика качественной и количественной картины течения, а также скоростных полей в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

проанализирована локальная динамика температурных полей в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

проанализирована локальная динамика распространения температурных полей внутри изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определено необходимое количество точек измерений трубопроводной конструкции для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала;

установлено влияние частоты вращения наружной поверхности трубопроводной конструкции для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определены оптимальные габаритные размеры нагреваемых и охранных зон трубопроводной конструкции изоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах.

В экспериментальной части проекта будут получены следующие результаты:

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и водостойкостью, средним диаметром волокна, водопоглощением, содержанием не волокнистых включений и другими физическими свойствами волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах;

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и степенью увлажнения волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и температурой волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

определены влияния периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики;

систематизирована полученная информация и составлены рекомендации, с учётом их теплофизических свойств, для

предсказания теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций тепловых сетей приближенных к реальным условиям эксплуатации;

выявлены механизмы теплопереноса, в волокнистых теплоизоляционных материалах;

разработана методика по проведению лабораторных испытаний теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах эксплуатации.

На сегодняшний день в литературе имеются лишь разрозненные знания по теплозащитным характеристикам теплоизоляций при различных тепло-влажностных режимах. При этом работы в основном посвящены определению коэффициента теплопроводности при различной степени увлажнения материала, плотности и температуры. В литературе отсутствует систематизированная информация по взаимосвязи теплозащитных характеристик изоляции и таких ее параметров как тип изоляции, технология производства, температура, плотность, водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, водостойкость, средний диаметр волокна, содержание не волокнистых включений и т.д. Поэтому полученная систематизированная информация и разработанные методики по тематике проекта позволят занять лидирующие позиции на мировом уровне. Результаты, полученные в ходе выполнения проекта, имеют огромную значимость для экономики и социальной сферы. Полученная новая информация, в рамках реализации проекта, совместно с разработанными методиками измерений позволит прогнозировать теплозащитные характеристики изоляций трубопроводных конструкций, в меняющихся тепло-влажностных режимах, что повысит энергоэффективность тепловых сетей, увеличить их эксплуатационную надежность и долговечность. Полученная и систематизированная информация по теплозащитным характеристикам волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах может быть использована проектными организациями при проектировании тепловых сетей, в частности при технико-экономическом обосновании выбора теплоизоляции. Разработанные методики измерений могут быть использованы для проведения лабораторных испытаний теплоизоляционных материалов научными институтами, теплогенерирующими компаниями, проектными организациями, изготовителями теплоизоляций и т.д.

на английском языке

During the implementation of the project, it is planned to form a scientific and technical groundwork in the field of predicting heat-shielding characteristics during the operation of thermal insulation of pipeline structures in conditions of changing heat and humidity conditions. Obtaining the planned results will be achieved by conjugated physical and mathematical modeling. As part of mathematical modeling, the simulation of the work of a laboratory installation for measuring the heat-shielding characteristics of fibrous insulating materials in varying heat and humidity conditions will be performed in order to develop a measurement technique. On the mathematical model of the laboratory setup, the following results will be obtained:

the local dynamics of the qualitative and quantitative picture of the flow, as well as the velocity fields in the annular space around the outer surface of the insulation of the pipeline structure in varying heat and humidity conditions, was analyzed;

analyzed the local dynamics of temperature fields in the annular space around the outer surface of the insulation of the pipeline structure in changing heat and humidity conditions;

analyzed the local dynamics of the distribution of temperature fields inside the insulation of the pipeline structure in changing heat and humidity conditions;

the necessary number of measurement points of the pipeline structure for adequate temperature averaging over the surface of the insulating material is determined;

the influence of the frequency of rotation of the outer surface of the pipeline structure for the uniform distribution of temperatures during thermophysical measurements in varying heat and humidity conditions was established;

the optimal overall dimensions of the heated and protective zones of the pipeline construction of insulations in varying heat and humidity conditions were determined.

In the experimental part of the project, the following results will be obtained:

relationships between heat-shielding characteristics and water resistance, average fiber diameter, water absorption, content of non-fibrous inclusions and other physical properties of fibrous thermal insulation in changing heat and humidity conditions have been established;

the relationship between heat-shielding characteristics and the degree of moistening of fibrous thermal insulation of pipeline structures close to real conditions has been established;

the relationship between the heat-shielding characteristics and the temperature of fibrous thermal insulation of pipeline structures close to real conditions has been established;

influences of periodic full flooding of fibrous thermal insulations on their heat-shielding characteristics are determined;

the received information was systematized and recommendations were made, taking into account their thermophysical properties, for predicting the heat-shielding characteristics of fibrous thermal insulation of heat networks close to real operating conditions;

the mechanisms of heat transfer in fibrous heat-insulating materials are revealed;

a technique has been developed for conducting laboratory tests of the heat-shielding characteristics of fibrous insulating materials for heating networks in varying heat-humidity operating conditions.

To date, in the literature there is only scattered knowledge on the heat-shielding characteristics of thermal insulation under various heat and humidity conditions. At the same time, the works are mainly devoted to determining the thermal conductivity coefficient at various degrees of material moisture, density and temperature. There is no systematized information in the literature on the relationship between the heat-shielding characteristics of insulation and its parameters such as the type of insulation, production technology, temperature, density, water absorption during short-term and partial immersion, water resistance, average fiber diameter, content of non-fibrous inclusions, etc. Therefore, the systematized information obtained and the developed methods on the subject of the project will allow us to take a leading position at the world level. The results obtained during the implementation of the project are of great importance for the economy and the social sphere. The new information obtained, within the framework of the project, together with the developed measurement methods, will make it possible to predict the heat-shielding characteristics of the insulation of pipeline structures in changing heat and humidity conditions, which will increase the energy efficiency of heat networks, increase their operational reliability and durability. The obtained and systematized information on the heat-shielding characteristics of fibrous thermal insulation in changing heat and humidity conditions can be used by design organizations in the design of heat networks, in particular, in a feasibility study for the choice of thermal insulation. The developed measurement methods can be used for laboratory testing of thermal insulation materials by scientific institutes, heat generating companies, design organizations, manufacturers of thermal insulation, etc.

1.6. В состав научного коллектива будут входить (указывается планируемое количество исполнителей (с учетом руководителя проекта) в течение всего срока реализации проекта):

Несоответствие состава научного коллектива (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 12 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

4 исполнителя проекта (включая руководителя),

В соответствии с требованиями пункта 12 конкурсной документации от 2 до 4 человек, вне зависимости от того, в трудовых или гражданско-правовых отношениях исполнители состоят с организацией.

В том числе:

- 3 исполнителя в возрасте до 39 лет включительно;
- 2 аспиранта (адъюнкта) очной формы обучения;
- 0 студентов очной формы обучения.

1.7. Планируемый состав научного коллектива с указанием фамилий, имен, отчеств (при наличии) членов коллектива, их возраста на момент подачи заявки, ученых степеней, должностей и основных мест работы, формы отношений с организацией (трудовой договор, гражданско-правовой договор) в период реализации проекта

Хайруллин Айдар Рафаэлевич, руководитель проекта, 35 лет, аспирант, инженер кафедры

Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета, форма отношений с организацией в период реализации проекта - трудовой договор.

Хайбуллина Айгуль Ильгизаровна, ответственный исполнитель проекта, 35 лет, к.т.н., доцент кафедры

Энергообеспечение

предприятий, строительство зданий и сооружений Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета, форма отношений с организацией в период реализации проекта - трудовой договор.

Синявин Алексей Алесандрович, ответственный исполнитель проекта, 49 лет, заведующий лабораторией кафедры

Энергообеспечение

предприятий, строительство зданий и сооружений Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета, форма отношений с организацией в период реализации проекта - трудовой договор.

Власова Маргарита Андреевна, ответственный исполнитель проекта, 23 года, инженер кафедры Энергообеспечение

предприятий, строительство зданий и сооружений Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета, форма отношений с организацией в период реализации проекта - трудовой договор.

Соответствие профессионального уровня членов научного коллектива задачам проекта

У коллектива имеется опыт работы в области экспериментального и теоретического исследования гидродинамики, теплофизических процессов, и оптимизации технологических процессов промышленных предприятий в целом.

1. Грант РНФ по проекту №18-79-10136 «Теоретические методы моделирования и разработки энергоэффективных импортозамещающих аппаратов очистки и глубокой переработки углеводородного сырья на предприятиях топливно-энергетического комплекса» (2018-2021 гг.) (исполнитель Хайбуллина А.И.);
2. Грант РНФ по проекту 18-79-10136 «Теоретические методы моделирования и разработки энергоэффективных импортозамещающих аппаратов очистки и глубокой переработки углеводородного сырья на предприятиях топливно-энергетического комплекса», срок реализации (2021-2023 гг.) (исполнитель Хайбуллина А.И.);
3. Грант РНФ по проекту 21-79-10406 «Разработка новых моделей пористых теплообменников с повышенной энергоэффективностью на основе численного моделирования и экспериментальных исследований», срок реализации (2021-2024 гг.) (ответственный исполнитель Хайбуллина А.И., исполнитель Хайруллин А.Р.);
4. Разработаны устройства для создания пульсаций теплоносителей в теплообменных аппаратах позволяющие повысить их эффективность (Патенты РФ № 146381, 146722, 147387) (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)
5. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Расчет тепло-гидравлической эффективности каналов с насадочными элементами 2021615157, 05.04.2021. Заявка № 2021614227 от 29.03.2021. (Хайбуллина А.И.)
6. НИР (договор №1-И/2017) с ООО «Инжетех» на тему «Проведение исследований по оценке пульсационного воздействия на улучшение эксплуатационных характеристик нефтяных скважин» (2017 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
7. НИР (договор № 2-И/2017) с ООО НП ТК «ЭдНано» на тему «Проведение исследований растительного сырья и разработка решений по реализации технологии непрерывного экстрагирования» (2017 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
8. НИР (договор № 3-И/2017) с ООО «Таткабель» на тему «Определение теплопроводности электроизоляционного материала» (2017 г.) (руководитель Хайруллин А.Р.)
9. НИР (договор №403/1445-18) с ООО ИЦ «Энергопрогресс» на тему «Лабораторные исследования образцов теплоизоляционных материалов по определению коэффициентов теплопроводности» (2018 г.) (руководитель Хайруллин А.Р., исполнитель Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)
10. НИР (договор № 1-ЭО/2018 г.) с ООО «Тепличный комбинат "Майский"» на тему «Проведение исследований эффективности использования энергетических ресурсов и разработка энергетического паспорта ООО «Тепличный комбинат «Майский» (2018 г.) (исполнитель Хайбуллина А.И.)
11. НИР (договор № 0920-22) с ООО ИВЦ «Инжехим» на тему «Исследование степени извлечения белка из растительного сырья при заданных условиях экстрагирования» (2020 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
12. НИР (договор № 959/1445-21) с ООО ИЦ «Энергопрогресс» на тему «Исследование энергоэффективности теплоизоляционного цилиндра, лабораторные исследования физико-химических свойств прошивных минераловатных матов» (2021 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
13. Стипендиат Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам на тему «Численное и экспериментальное исследование процессов гидродинамики и теплообмена в пучках труб теплообменного оборудования», 2021 год (руководитель Хайбуллина А.И.)
14. Грант РНФ по проекту 23-29-00845 «Теплоперенос трубчатых теплообменных аппаратов в условиях

несимметричных и симметричных возвратно поступательных пульсаций» (2023-2024 гг.) (руководитель Хайбуллина А.И., исполнитель Хайруллин А.А.)

15. НИР (договор № 1-И/2023) с ООО ИВЦ «Инжехим» на тему «Проведение исследований по оценке возможностей извлечения целевых компонентов при экстрагировании растительного сырья» (2023 г) (исполнитель Хайруллин А.Р., исполнитель Сиявни А.А., исполнитель Хайбуллина А.И.)

Коллективом получены существенные результаты по исследованию теплофизических и гидродинамических процессов в теплообменном оборотовании.

1. Проведено исследование теплогидравлических характеристик симметричных и несимметричных пульсаций на уровне отдельных пор, с учетом сложной трехмерной структуры пористого материала. Построение трехмерной структуры высокопористых пен осуществлялась путем трехмерных тесселяций Вороного. Результаты численного исследования показали существенное отличие в структуре потока при пульсационном течении по сравнению со стационарным течением. Основные изменения структуры течения приходятся на первый полупериод пульсаций и фазы пульсаций между полупериодами пульсаций. Под воздействием пульсаций происходит постоянная перестройка потока. Течение при пульсациях более гомогенизировано. Эффект скважности пульсаций различен в зависимости от чисел Рейнольдса. Симметричные пульсаций показывают чуть лучшее усиление теплообмена 4-5% при низких числах Рейнольдса в исследованном диапазоне. Несимметричные пульсации, наоборот эффективней при высоких числах Рейнольдса. Различия в эффекте от симметричных и несимметричных пульсаций незначителен, по сравнению с величиной интенсификации теплообмена. Максимальное отличие степени интенсификации теплообмена между симметричными и несимметричными пульсациями было 5,4%. Максимальная интенсификация в 43% достигнута при скважности пульсаций 0,25, произведения амплитуды и числа Струхалея 0,344, числа Рейнольдса 55 и порозности 0.743. Увеличение произведения амплитуды и числа Струхалея приводит к увеличению степени интенсификации теплообмена независимо от порозности и режимных параметров. Увеличение чисел Рейнольдса также приводит к повышению степени интенсификации теплообмена. По данным численного исследования пульсационного течения в пене с реалистичной трехмерной структурой, впервые получены эмпирические корреляции, позволяющая прогнозировать степень усиления конвективного теплообмена, гидравлического сопротивления и теплогидравлическую эффективность. Полученные корреляции получены для диапазона чисел Рейнольдса от 10 до 55, произведения амплитуды и числа Струхалея от 0,114 до 0,344 и порозности от 0,743 до 0,954. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Сиявин А.А.)

2. Рассмотрено влияние несимметричных пульсирующих течений на динамику теплообмена и характеристики течения вокруг центрального цилиндра в 10 рядном трубном пучке. Усиление теплообмена в пульсирующем потоке в основном связано с увеличением локальной скорости потока. С увеличением частоты и амплитуды пульсаций происходит увеличение скорости потока. Увеличение скорости потока приводит к увеличению размеров вихрей между рядами трубного пучка и образованию двух дополнительных более мелких вихрей. Увеличение размера и скорости вихрей между рядами трубного пучка приводит к усилению теплообмена. Максимальное увеличение скорости наблюдается в передней и задней части цилиндра, что согласуется с увеличением теплообмена в этих областях. Максимальное эффективное увеличение теплопроводности наблюдается в местах соударения течения с цилиндром. Эффективная теплопроводность увеличивается с увеличением амплитуды пульсаций. Тем не менее, она практически не меняется при увеличении частоты пульсаций, хотя усиление теплоотдачи всегда связано с более высокой частотой. Отсюда следует, что эффективная теплопроводность не оказывает существенного влияния на усиление теплообмена. Максимальное увеличение теплоотдачи при пульсациях происходит, когда скорость потока имеет максимальное ускорение. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

3. Экспериментальным путем был исследован теплообмен в семи рядном обогреваемом коридорном пучке при наложении на поток воды межтрубного пространства противоточных низкочастотных несимметричных пульсаций. Относительный продольный и поперечный шаг соответствовал 1,3, частоты пульсаций находились в диапазоне от 0,125 до 0,5 Гц, безразмерная амплитуда от 1,25 до 4,5, осредненное по расходу число Рейнольдса от 100 до 500, число Прандтля соответствовало 5,5. Во всем исследуемом диапазоне исследования зафиксировано увеличение теплоотдачи в нестационарном течении по сравнению со стационарным. Максимальная интенсификация теплоотдачи составила 1,9. Влияние скважности пульсаций на теплообмен не исследовалось. Численным методом, для тех же режимных параметров, исследовано распределение локальной теплоотдачи для центрального цилиндра в пучке труб. Установлено, что интенсификация теплообмена в основном происходит в застойной зоне трубки пучка. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

4. Разработана математическая модель гидравлической системы пульсатор-теплообменник генераций противоточных низкочастотных пульсаций, позволяющая моделировать реалистичные формы пульсаций скорости потока. Проведены

численные расчеты с использованием модели. Расхождение полученных форм пульсаций в пучке труб от экспериментальных данных не более 11 %. Проведено численное моделирование теплообмена в канале с пучком труб, при наложении низкочастотных пульсаций, с использованием в качестве граничных условий форм пульсаций полученных посредством модели гидравлической системы пульсатор – теплообменник результаты которого показали удовлетворительное согласование с экспериментальными данными 15 %, что позволяет применять разработанный подход моделирования теплообмена в дальнейшем для подобных задач. Численным методом исследован теплообмен центрального цилиндра в пучках труб при противоточных низкочастотных пульсациях потока масла в диапазоне частот от 0,2 до 0,5 Гц, безразмерной амплитуды от 15 до 35, скважностей пульсаций от 0,25 до 0,5, осредненному по расходу числу Рейнольдса от 100 до 1000, числа Прандтля от 215 до 363. Зафиксировано увеличение теплоотдачи до 3 раз в пульсирующем течении по сравнению со стационарным. По данным численных экспериментов получена обобщающая зависимость для расчета теплоотдачи в исследованном диапазоне. Проведено численное исследование влияния вынужденных несимметричных пульсаций на теплообмен при поперечном обтекании коридорного пучка труб. При проведении численного эксперимента число Рейнольдса находилось в диапазоне от 1000 до 2000, относительная амплитуда пульсаций от 1 до 2, число Струхала от 0,77 до 1,51, число Прандтля и скважность пульсаций имели фиксированные значения 7,2 и 0,25. Установлено, что пульсации потока приводят к интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне режимных параметров. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

3. Рассмотрена влияние относительного шага трубки в пучке для различных компоновок пучков на интенсификацию теплообмена в условиях пульсирующих потоков масла при числе Рейнольдса $Re < 1000$. Относительный шаг отнесенный к диаметру цилиндра пучка труб находился в диапазоне от 1.25 до 1.75. Рассмотрено влияние пульсаций в пучках труб на теплогидравлическую эффективность при одинаковых числах Рейнольдса и теплогидравлическую эффективность при одинаковых мощностях требуемых на прокачку теплоносителя в стационарном и пульсационном течении. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых числах Рейнольдса наблюдалось для коридорного пучка с шагом 1.25. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых мощностях для коридорного пучка при относительном шаге 1.75. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

5. Проведен численный анализ теплообмена в шахматном пучке труб со стационарным и несимметричным пульсирующим потоком. Отношение поперечного и продольного расстояния к диаметру трубки пучка составляло 1,3. Число Рейнольдса Re равнялось 1100. Рассмотрено влияние числа рядов в пучке труб на интенсификацию теплообмена в пульсирующем потоке. Показано, что интенсификация теплообмена первых рядов существенней, по сравнению с последующими рядами. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

6. Проведено численное исследование, методом дискретных элементов, влияния вынужденных пульсаций масла на эффекты способствующие уменьшению загрязнений на внешней поверхности пучков труб. Оценка пульсационной методики очистки осуществлялась на основе анализа механика соударения частиц о поверхность центрального цилиндра в пучке, при стационарном и пульсационном потоке. Установлено, что наложение пульсаций усиливает касательное напряжение сдвига и скорость эрозии в лобовой и кормовой частях труб пучка, которые наиболее подвержены отложениям. Проведенный анализ подтверждает существенное влияние несимметричных пульсаций на очищающие факторы и перспективность их применения для интенсификации очистки пучков труб. (Хайбуллина А.И.)

7. Предложена модернизированная схема систем маслоснабжения насосных установок и турбоприводов, оснащенная пульсационной установкой, при этом достигнут экономический эффект за счет уменьшения расхода охлаждающей воды в маслоохладители кожухотрубного типа марки МБ-63-90. По критерию Кирпичева рассчитана эффективность пульсаций для маслоохладителя марки МБ-63-90, показано, что несимметричные пульсации обладают большей энергетической эффективностью по сравнению с симметричными пульсациями. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

8. Исследована возможность применения различных RANS моделей турбулентности для прогнозирования теплообмена стационарного течения при поперечном обтекании пучков труб. Наилучшее согласование с экспериментальными данными получено для модели переноса касательных напряжений Shear Stress Transport (SST). (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

9. Методом LES исследовался теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании рассматривались различные подсеточные модели турбулентности. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными Жукаускаса. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании локальной модели вихревой вязкости, адаптированной для пристеночных течений (Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity, WALE). (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

10. На основе математического моделирования исследован теплообмен в пористой среде при пульсирующем течении. Пористая среда была представлена в виде двухмерного канала с квадратными трубами. Принятое упрощение позволило провести многопараметрическое исследование, включающее 1458 вариантов расчета, что позволило установить взаимосвязи между геометрическими параметрами пористой среды и критериями подобия для стационарного и пульсационного течения. В результате численного эксперимента получены обобщающие зависимости для

прогнозирования теплоотдачи в пористой среде в условиях пульсирующих потоков воздуха и воды. Полученные критериальные уравнения справедливы для диапазонов числа Рейнольдса Re от 10 до 100, числа Прандтля Pr от 0,7 до 7,01, безразмерной относительной амплитуде пульсаций A/d от 1 до 3, частоте пульсаций f 0,25 до 0,75, порозности от 0,75 до 0,938. Скважность пульсаций не была включена в обобщающие зависимости. Критериальные уравнения были получены для прогнозирования интенсивности и степени интенсификации теплообмена в пульсирующем течении, отдельно для симметричных и несимметричных пульсаций. Интенсивность теплообмена пористой среды при пульсирующем течении существенно зависит от режимных и геометрических параметров пористой среды. С увеличением числа Рейнольдса интенсивность теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке увеличивается, при этом степень интенсификации теплообмена снижается. С увеличением кинематической вязкости среды теплообмен в пульсационном течении уменьшается по сравнению со стационарным течением. Поэтому интенсификация теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке воздуха меньше. При теплообмене в пористой среде при пульсирующем потоке воды степень интенсификации уменьшается с увеличением числа Прандтля. С увеличением порозности интенсивность теплообмена в пульсирующем течении снижается. Степень интенсификации теплообмена в основном увеличивается с повышением порозности, при этом интенсификация может и понижаться в зависимости от интенсивности пульсаций. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

11. Применение трех RANS моделей турбулентности для предсказания теплообмена стационарного течения в пучке труб исследовано численным методом. Численное моделирование проводилось в диапазоне числа Рейнольдса от 1000 до 10200 с шагом 400. Полученное значение числа Нуссельта сравнивались с известными экспериментальными данными. Лучшее совпадение с экспериментальными данными получено при использовании модели RNG k - ϵ с улучшенной пристеночной функцией. Отклонение значений Nu с экспериментальными данными в среднем составило около 6,3%. Максимальное отклонение 17,3% зафиксировано для числа Рейнольдса 1400. Для модели переноса сдвиговых напряжений SST Ментера среднее отклонение составило 12,4%, максимальное 79,2% при числе Рейнольдса 1000. Для модели SST решение было не стабильно при числе Re меньше 3400. С увеличением числа Рейнольдса SST модель лучше предсказывает теплообмен, при Рейнольдсе 10200 отклонение с экспериментальными данными 3,2%. При использовании модели SST k - ω среднее отклонение составило 19,1%, максимальное 55,9% при Рейнольдсе 1000. Распределение теплообмена по глубине пучка различно, в зависимости от числа Рейнольдса и модели турбулентности. Для модели RNG k - ϵ с улучшенной пристеночной функцией теплоотдача второго ряда была всегда выше первого ряда. С дальнейшим увеличением рядов теплоотдача практически не меняется. Теплоотдача седьмого ряда выше остальных рядов, что проявляется существенней с увеличением числа Рейнольдса. Рост теплоотдачи второго ряда связан с повышением турбулентности потока в пучке труб. Увеличение теплоотдачи седьмого ряда можно объяснить возникновением вихриобразования в кормовой части последнего ряда. Для моделей SST и SST k - ω похожие результаты получены только при максимальных числах Рейнольдса. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

12. Проведены экспериментальные исследования влияния пульсаций потока на теплообмен в пучке труб. Экспериментальным путем получены закономерности теплообмена в пучке труб при пульсационном режиме течения потока. Возвратно-поступательное течение в пучке труб генерировалось при помощи пульсационной системы на основе поршневого пульсатора и пневмоцилиндра. Теплообмен при стационарном течении был сравнен с известным критериальным уравнением других авторов для коридорного пучка при числе Рейнольдса меньше 1000. Различия с критериальным уравнением составило 3%. Как правило, при теплообмене с принудительными колебаниями потока увеличение амплитуды пульсаций пропорционально увеличению интенсивности теплообмена. Увеличение числа Струхала приводит к росту степени интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне. Максимальная интенсификация теплообмена составила 3,23 раза. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

13. Численным методом исследовался теплообмен в трубе при пульсирующем потоке масла. Числа Рейнольдса соответствовали 280, 350, 420. Диаметр D трубы составлял 0,014 м. Длина трубы соответствовала 100 диаметрам. Пульсации потока имели несимметричный характер. Задача решалась в двухмерной постановке. Результаты показывают, что увеличение теплоотдачи в пульсирующем течении пропорционально увеличению интенсивности пульсаций. Максимальная интенсификация теплообмена составила 10,5%. На основании данных, полученных в результате численного эксперимента, была проведена оценка уменьшения площади теплообмена маслоохладителя при пульсациях потока. Оценки снижения теплообменной поверхности маслоохладителя при пульсациях потока проводилась на кожухотрубном теплообменнике с шахматным расположением пучка трубок. Теплоноситель внутри трубок было масло, снаружи трубок вода. Необходимая площадь теплообмена для поддержания теплопроизводительности с увеличением амплитуды пульсаций и повышается с увеличением числа Рейнольдса. Уменьшение площади теплообмена с увеличением числа Рейнольдса связано с уменьшением числа Струхала. Коэффициент теплопередачи существенно зависит от теплоотдачи масла, что связано с его ламинарным течением. Поэтому процент уменьшения площади теплообмена при пульсирующем течении согласуется с процентом

интенсификации теплообмена, но не равен ему. Уменьшение площади теплообмена маслоохладителя в зависимости от режима пульсации составило от 2,57% до 8,63%. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

14. Разработан алгоритм для построения, высокопористых металлических и других, пен на языке VusialBasic.Net, основанный на методе трехмерной диаграммы Вороного. Разработанный алгоритм реализован в виде оригинального дополнительного модуля в Ansys Spaceclaim. Данный модуль позволяет генерировать пористые структуры с заданными характеристиками, диаметр фибр, порозность, диаметр ячеек, количество пор на дюйм. Для целей численного исследования выполнено построения двадцати пористых структур. Порозность сгенерированных пен находилась в диапазоне от 0,743 до 0,954, количество пор на дюйм (PPI) от 10 до 80. Для изменения порозности диаметр фибр варьировался от 0,0625 мм до 1,3 мм. Диаметр ячеек пористой среды варьировался от 0,635 мм до 5,8 мм. Полученные результаты по интенсивности теплообмена металлических пен для стационарного течения при порозности 0,954 верифицировались с чужими экспериментальными данными. Отклонения для числа Нуссельта в диапазоне числа Рейнольдса от 20 до 80, числе Прандтля 0,7 составили не более 7%. В результате численного исследования получено, что с увеличением порозности пористой среды происходит уменьшение интенсивности теплообмена. Данная динамика наблюдается при всех PPI. Гидравлическое сопротивление пористой среды увеличивается с повышением порозности независимо от числа Рейнольдса и PPI. Рост гидравлического сопротивления связан с ростом скорости при увеличении порозности. При повышении порозности диаметр фибр уменьшается, соответственно для выдерживания постоянного числа Рейнольдса скорость увеличивается. Изменение PPI не оказывает влияния на теплоотдачу пористой среды не зависимо от порозности и числа Рейнольдса. При этом с увеличением PPI происходит существенный рост гидравлических потерь. С увеличением числа Рейнольдса происходит рост, как гидравлических потерь, так и интенсивности теплообмена. Максимальной теплоотдачей (Нуссельта 5,18) во всем исследованном диапазоне обладает пористая среда с порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 80. Минимальными гидравлическими потерями обладает пористая среда с PPI 10, порозностью 0,743 и числом Re 10. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

15. Численным методом исследована эффективная теплопроводность пористых изоляционных материалов. Предложена методика конструирования изоляционного материала с заданными геометрическими характеристиками, позволяющая с достаточной точностью прогнозировать теплопроводность пористой изоляции. Конструирование вспененных пористых теплоизоляционных материалов основывалось на методе диаграммы Вороного в разработанном дополнительном модуле в Ansys Spaceclaim. Эффективная теплопроводность пористых сред определена для двадцати структур с различными геометрическими характеристиками (порозность, диаметр фибр, диаметр узла). Теплофизические свойства материала соответствовали меламину. Между собой сравнивались одна регулярная структура и три нерегулярных структуры, с разными диаметрами узлов. Отношение диаметра узла к диаметру фибр нерегулярной структуры соответствовал 1, 2 и 3. Все четыре типа структур сравнивались при одинаковых порозностях. При этом порозность каждой структуры находилась в диапазоне от 0,722 до 0,987. Необходимое значение порозности подбиралось изменением диаметра фибр. Во всем исследованном диапазоне исследованных структур диаметр фибр находился в диапазоне от 0,0489 мм до 0,1259 мм. Диаметр ячейки пористой структуры составлял 0,635 мм, количество пор на дюйм соответствовало 80. Ширина, высота и глубина расчетной области соответствовала двум диаметрам ячейки пористой среды. Для верификации численного решения эффективная теплопроводность вспененного меламин с порозностью 0,987 определялась экспериментально. Эффективная теплопроводность вспененного меламин согласно ГОСТ 7076-99. Результат численного моделирования показал удовлетворительное совпадение с экспериментальным значением эффективной теплопроводности. Отличие в значениях теплопроводности с нерегулярными структурами при порозности 0,987 составило 8,7%, 8,5%, 9,1% для структур с отношением диаметра узла к диаметру фибр нерегулярной структуры 1, 2, 3 соответственно. На основе закона сохранения энергии (уравнении Фурье) получено уравнение для прогнозирования эффективной теплопроводности пористых изоляционных материалов. Полученное уравнение позволяет прогнозировать эффективную теплопроводность с учетом конструктивных особенностей структур (длина теплопроводящих фибр, относительный объем фибр не участвующих в теплообмене и порозность). Эффективная теплопроводность рассчитанная по предложенному уравнению лучше всего согласуется с данными, численного моделирования, полученных для регулярных структур. Максимальное отличие теоретического решения с данными численного моделирования для регулярных структур составляет не более 8,1 %. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

16. Эффективная теплопроводность волокнистой теплоизоляции, с плотностью 80 и 105 кг на метр кубический, из одного и того же рулона была определена в условиях одномерного и двухмерного теплового потока экспериментальным методом. Теплопроводность, полученная в условиях одномерного и двухмерного потока для сухих образцов, сравнена с экспериментальными данными других авторов. Результаты, полученные в данной работе, совпадают с данными других авторов. Значения теплопроводности изоляции полученной двумя методами лучше совпадает между собой, по сравнению с данными других авторов. Лучшее совпадение значений теплопроводности

можно объяснить, тем что образцы подготавливались из одного и того же рулона базальтовой ваты. Таким образом, были исключены возможные различия в производственном процессе при изготовлении изоляции (использование различных связующих и т.д.). Отличие в значениях теплопроводности между двумя методами для плотности 80 и 105 кг на метр кубический составило 3 и 9% соответственно. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

1.8. Планируемый объем финансирования проекта Фондом по годам (указывается в тыс. рублей):

в 2024 г. - 1500 тыс. рублей,

в 2025 г. - 1500 тыс. рублей.

Несоответствие планируемого объема финансирования проекта (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) требованиям пункта 10 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу.

1.9. Научный коллектив по результатам выполнения проекта в ходе его реализации предполагает опубликовать в ведущих рецензируемых*** российских и зарубежных научных изданиях**** не менее**

** Приводятся данные за весь период выполнения проекта. Уменьшение количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы) по сравнению с порогом, установленным в пункте 16.2 конкурсной документации, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

*** Издания, индексируемые в библиографических зарубежных базах данных публикаций и/или Russian Science Citation Index (RSCI).

**** Фонд вправе устанавливать (изменять) перечень международных баз данных, в которых индексируются научные издания, и/или научных изданий, публикации в которых будут учитываться с повышающим коэффициентом.

В случаях принятия органами власти Российской Федерации или органами управления Фондом соответствующего решения Фонд вправе не менее чем за 8 месяцев до наступления отчетного периода в одностороннем порядке установить или изменить перечень международных баз данных, в которых индексируются научные издания, и/или научных изданий путем направления победителям конкурса соответствующего письменного уведомления.

4 публикаций,

из них

4 в изданиях, индексируемых в базах данных «Сеть науки» (Web of Science Core Collection) или «Скопус» (Scopus);

1 в изданиях, индексируемых в Russian Science Citation Index;

0 в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

Информация о научных изданиях, в которых предполагается опубликовать результаты проекта, в том числе следует указать в каких базах индексируются данные издания - «Сеть науки» (Web of Science Core Collection), «Скопус» (Scopus), RSCI, РИНЦ, иные базы, а также указать тип публикации - статья, обзор, монография, иной тип

Construction and Building Materials (Q1) (WoS, Scopus, impact factor 7,693 дата обращения 15.05.23) – 1 статья.

Energies (Q1) (WoS, Scopus) – 1 статья.

Теплоэнергетика (WoS, Scopus, RSCI) – 1 статья.

Results in Engineering (WoS, Scopus) – 1 статья.

Участие на всероссийской конференции с международным участием «XL Сибирский теплофизический семинар» 2024 г. Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (РИНЦ). – 1 доклад.

Участие на всероссийской конференции с международным участием «XLI Сибирский теплофизический семинар» 2025 г. Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (РИНЦ). – 1 доклад.

Участие на XXX международной научно технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» «The 6th 2024 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)» – 1 доклад.

Иные способы обнародования результатов выполнения проекта

1.10. Число публикаций членов научного коллектива, опубликованных в период с 1 января 2018 года до даты подачи заявки,

27, из них

27 – опубликованы в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или в Scopus,
0 – опубликованы в изданиях, индексируемых Russian Science Citation Index,
1 – опубликованы в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

1.11. Планируемое участие научного коллектива в международных коллаборациях (проектах) (при наличии)

1.12. Информация о возможности использовании результатов выполнения проекта в осуществлении хозяйственной деятельности предприятий Российской Федерации, в том числе о способе использования, о намерениях по внедрению на основании прогнозируемых результатов проекта новой или усовершенствованию производимой продукции (товаров, работ, услуг), новых или усовершенствованных применяемых технологий; о формировании по итогам реализации проекта научных и технологических заделов, обеспечивающих экономический рост и социальное развитие Российской Федерации (с приложением подтверждающих документов, при наличии)

Полученная и систематизированная информация по теплозащитным характеристикам волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах может быть использована проектными и эксплуатационными организациями при проектировании тепловых сетей, в частности при технико-экономическом обосновании выбора теплоизоляции. Разработанные методики измерений могут быть использованы для проведения лабораторных испытаний теплоизоляционных материалов научными институтами, теплогенерирующими компаниями, проектными организациями, изготовителями теплоизоляций и т.д. (письмо о сотрудничестве АО «Теплоконтроль» прикреплено файлом)
скачать...

Руководитель проекта подтверждает, что

- все члены научного коллектива (в том числе руководитель проекта) удовлетворяют пунктам 4, 6, 7, 13 конкурсной документации;
- на весь период реализации проекта руководитель проекта будет состоять в трудовых отношениях с организацией, при этом трудовой договор не будет договором о дистанционной работе, а также не будет предусматривать возможность осуществления трудовой деятельности за пределами территории Российской Федерации;
- при обнародовании результатов любой научной работы, выполненной в рамках поддержанного Фондом проекта, руководитель проекта и научный коллектив будут указывать на получение финансовой поддержки от Фонда и организацию, а также согласны с опубликованием Фондом аннотации и ожидаемых результатов проекта, соответствующих отчетов о выполнении проекта, в том числе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», использованием Фондом в некоммерческих целях представляемых в Фонд материалов, в том числе содержащих результаты выполнения проекта, с предоставлением указанных материалов органам власти Российской Федерации, институтам развития;
- помимо гранта Фонда проект не будет иметь других источников финансирования в течение всего периода практической реализации проекта с использованием гранта Фонда;
- проект не является аналогичным по содержанию проекту, одновременно поданному на конкурсы научных фондов и иных организаций;
- проект не содержит сведений, составляющих государственную тайну или относимых к охраняемой в соответствии с законодательством Российской Федерации иной информации ограниченного доступа;
- доля членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно в общей численности членов научного коллектива будет составлять не менее 50 процентов в течение всего периода практической реализации проекта;
- в установленные сроки будут представляться в Фонд ежегодные отчеты о выполнении проекта и о целевом использовании средств гранта.

Подпись руководителя проекта _____ /А.Р. Хайруллин/

Форма 2. Сведения о руководителе

2.1. Фамилия, имя, отчество (при наличии)

на русском языке

Хайруллин Айдар Рафаэлевич

на английском языке фамилия и инициалы

Khairullin A.R.

WoS ResearcherID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу www.ResearcherID.com.

<https://publons.com/researcher/F-2298-2017/>

Scopus AuthorID (при наличии)

Scopus AuthorID формируется в базе данных Scopus автоматически при появлении у автора хотя бы одной статьи в данной базе. AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных Scopus (Author Search) в результатах поиска нажать на фамилию автора.

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56347479600>

ORCID (при наличии)

Можно получить, зарегистрировавшись по адресу orcid.org.

<https://orcid.org/0000-0003-2783-5318>

SPIN-код (при наличии)

SPIN-код указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных РИНЦ в результатах поиска нажать на фамилию автора.

4319-3080

РИНЦ AuthorID (при наличии)

РИНЦ AuthorID указан в авторском профиле, который становится доступен, если при поиске автора в базе данных РИНЦ в результатах поиска нажать на фамилию автора.

https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=686873

2.2. Дата рождения (указывается цифрами – число, месяц, год)

28.04.1988

2.3. Гражданство

РОССИЯ

2.4. Ученая степень, год присуждения

В случае наличия нескольких ученых степеней, указывается та из них, которая наиболее соответствует тематике проекта.

2.5. Награды и премии за научную деятельность, членство в ведущих научных сообществах (при наличии), участие в редколлегиях ведущих рецензируемых научных изданий (при наличии), участие в оргкомитетах или программных комитетах известных международных конференций, иной опыт организации международных мероприятий

Благодарственное письмо КГЭУ за успехи в научно-исследовательской деятельности, 2023

Почетная грамота ТГК-16, 2021.

Благодарственное письмо КГЭУ за активное участие в организации и проведении круглого стола на тему "Вопросы повышения энергоэффективности на предприятиях нефтеперерабатывающих, нефтехимической промышленности, 2018.

Почетная грамота КГЭУ, 2017.

Благодарственное письмо КГЭУ, 2013.

2.6. Основное место работы на момент подачи заявки – должность, полное наименование организации (сокращенное наименование организации)

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет" (ФГБОУ ВО "КГЭУ", Республика Татарстан (Татарстан))

2.7. Область научных интересов – ключевые слова (приводится не более 15 ключевых слов)

Энергосберегающие технологии, повышение теплоотдачи, эффективные теплообменники, пульсационные технологии, нестационарный конвективный теплообмен, математическое моделирование, теплогидравлическая эффективность, пульсирующее течение, вычислительная гидродинамика, изоляционный материал, теплопроводность.

2.8. Область научных интересов – коды по классификатору Фонда

09-201 09-406

2.9. Перечень публикаций руководителя проекта (с указанием при наличии базы данных, в которой индексируется издание, например, RSCI, Web of Science Core Collection, Scopus, и т.п.), опубликованных в период с 1 января 2018 года до даты подачи заявки, подтверждающий выполнение условия пункта 9 конкурсной документации

Для лиц, находившихся в указанный в настоящем пункте период в отпусках по беременности и родам, отпусках по уходу за ребенком, а также отпусках работникам, усыновившим ребенка, допускается наличие соответствующих публикаций также в период, предшествующий 1 января 2018 года, и равный продолжительности таких отпусков. Соответствующая информация указывается справочно в настоящем пункте.

Достаточно привести ссылки на публикации в количестве, равном установленному в конкурсной документации порогу. Несоответствие количества публикаций (в том числе отсутствие информации в соответствующих полях формы), приводимое в перечне и/или численно в строке ниже, требованиям пункта 9 конкурсной документации является основанием недопуска заявки к конкурсу в соответствии с подпунктом «г» пункта 20 конкурсной документации.

на языке оригинала

1. Haibullina A., Ilyin V., Schulze M., Zinnatullin N., Hairullin A. Verbesserung des Wärmeaustausches von Rohrbündelwärmetauschern // Prozesswärme 2018(2), 89-95 p. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38640283>.
2. Haibullina A.I., Chirukhin K.V., Sabitov L.S., Hayrullin, A.R. RANS simulation for the prediction of heat transfer for staggered tube bundle in cross-flow // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2019. 570 (1), 012030 p. DOI: 10.1088/1757-899X/570/1/012030.
3. Khaibullina A.I., Khaiburullin A.R. A numerical study of heat transfer in the in-line tube bundle under pulsating fluid flow conditions // Vestnik "ISUE". Issue. 4, 2019 pp.12-21. http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/4-19-str.12-21_0.pdf
4. Haibullina, A.I., Savelyeva, A.D, Hayrullin, A.R. Numerical analysis of heat transfer in tubular type heat exchangers of transport vehicles with pulsating flow // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012164, doi:10.1088/1757-899X/918/1/012164.
5. Hayrullin A.R., Haibullina A.I., Ilyin V.K. Large-eddy simulations of heat transfer in the tube bundle // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). 720 (2021) 012037 doi:10.1088/1755-1315/720/1/012037.
6. Hayrullin A.R., Haibullina A.I., Ilyin V.K. RANS numerical simulation in in-line tube bundle: prediction of heat transfer // EESTE-2021, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 979 (2022) 012157 doi:10.1088/1755-1315/979/1/012157.
7. Haibullina A.I., Hayrullin A.R. Heat Transfer in Pulsating Laminar Flow in a Pipe: Evaluation of the Reduction in the Heat Exchange Area of Oil Cooler // ISTC-EARTHSCI IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 988 (2022) 042038 doi:10.1088/1755-1315/988/4/042038.
8. Хайруллин А.Р., Синявин А.А., Хайбуллина А.И., Ильин В.К. Конструирование вспененных пористых теплоизоляционных материалов методом диаграммы Вороного // Инженерный вестник Дона, №4 (2022), с. 487-499. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7600

8. Khairullin A.R., Sinyavin A.A., Khaibullina A.I., Ilyin V.K. Design of foamed porous heat-insulating materials using the 3D Voronoi tessellation // *Inzhenernyj vestnik Dona*, №4 (2022), p. 487-499. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7600 (перевод)
9. Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А. Теплогидравлическая эффективность пористых сред в потоке воздуха и воды при симметричных и несимметричных пульсациях // *Инженерный вестник Дона*, №4 (2022), с. 539-554.
9. Khaibullina A.I., Khairullin A.R., Sinyavin A.A. Thermal-hydraulic efficiency of porous media in air and water flow with symmetric and asymmetric pulsations // *Inzhenernyj vestnik Dona*, №4 (2022), p. 539-554. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7561 (перевод)
10. Haibullina, A., Khairullin, A., Balzamor D., Ilyin V., Bronskaya V., Khairullina L. Local Heat Transfer Dynamics in the In-Line Tube Bundle under Asymmetrical Pulsating Flow // *Energies*, 2022, 15(15), 5571 (Q1) doi.org/10.3390/en15155571
11. Khairullin, A., Haibullina, A., Sinyavin A., Balzamor D., Ilyin V., Khairullina L. Bronskaya V. Heat Transfer in 3D Laguerre – Voronoi Open-Cell Foams under Pulsating Flow // *Energies*, 2022, 15(22), 8660.(Q1) doi.org/10.3390/en15228660
12. Hayrullin, A., Haibullina, A., Sinyavin, A. Heat transport phenomena in Voronoi foam due to pulsating flow // *Transportation Research Procedia*, 2022, 63, pp. 1236–1243. doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.130
13. Hayrullin, A., Haibullina, A., Sinyavin, A. Insulation thermal conductivity heating networks during transportation thermal energy under dry and moisturizing condition: A comparative study of the guarded hot plate and guarded hot pipe method // *Transportation Research Procedia*, 2022, 63, pp. 1074–1080. doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.109
14. Hayrullin, A., Haibullina, A., Ilyin, V. Numerical heat transfer in porous media heat exchangers of transport vehicles under unsteady flow // *Transportation Research Procedia*, 2022, 63, pp. 1259–1265. doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.133
15. Hayrullin, A.R., Haibullina, A.I., Gusyachkin, A.M. Thermal Conductivity of Insulation Material: Effect of Moisture Content and Wet-Drying Cycle // *Materials Science Forum*, 2023, 1085, pp. 119–124. doi.org/10.4028/p-c1g33d

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (*например, добавляйте слово «перевод»*).

Перечень содержит 0 публикаций в изданиях, индексируемых в Russian Science Citation Index.

Перечень содержит 13 публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection, Scopus.

Перечень содержит 2 публикации в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR (принадлежность издания к Q1 в Scopus определяется по базе данных <http://www.scimagojr.com/>).

Перечень содержит 0 публикаций в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

2.10. Основные научные результаты руководителя проекта за период с 1 января 2018 года (результаты должны подтверждаться сведениями из заявки, например - публикациями)

Проведено исследование теплогидравлических характеристик симметричных и несимметричных пульсаций на уровне отдельных пор, с учетом сложной трехмерной структуры пористого материала. Построение трехмерной структуры высокопористых пен осуществлялась путем трехмерных тесселяций Вороного. Результаты численного исследования показали существенное отличие в структуре потока при пульсационном течении по сравнению со стационарным течением. Основные изменения структуры течения приходятся на первый полупериод пульсаций и фазы пульсаций между полупериодами пульсаций. Под воздействием пульсаций происходит постоянная перестройка потока. Течение при пульсациях более гомогенизировано. Эффект скважности пульсаций различен в зависимости от чисел Рейнольдса. Симметричные пульсации показывают чуть лучшее усиление теплообмена 4-5% при низких числах Рейнольдса в исследованном диапазоне. Несимметричные пульсации, наоборот эффективней при высоких числах Рейнольдса. Различия в эффекте от симметричных и несимметричных пульсаций незначителен, по сравнению с величиной интенсификации теплообмена. Максимальное отличие степени интенсификации теплообмена между симметричными и несимметричными пульсациями было 5,4%. Максимальная интенсификация в 43% достигнута при скважности пульсаций 0,25, произведения амплитуды и числа Струхала 0,344, числа Рейнольдса 55 и порозности 0.743. Увеличение произведения амплитуды и числа Струхала приводит к увеличению степени интенсификации теплообмена независимо от порозности и режимных параметров. Увеличение чисел Рейнольдса также приводит к повышению степени

интенсификации теплообмена. По данным численного исследования пульсационного течения в пене с реалистичной трехмерной структурой, впервые получены эмпирические корреляции, позволяющая прогнозировать степень усиления конвективного теплообмена, гидравлического сопротивления и теплогидравлическую эффективность. Полученные корреляции получены для диапазона чисел Рейнольдса от 10 до 55, произведения амплитуды и числа Струхала от 0,114 до 0,344 и порозности от 0,743 до 0,954.

Khairullin, A., et. all Heat Transfer in 3D Laguerre–Voronoi Open-Cell Foams under Pulsating Flow // *Energies*, 2022, 15(22), 8660 (Q1).

Hayrullin, A., Haibullina, A., Sinyavin, A. Heat transport phenomena in Voronoi foam due to pulsating flow // *Transportation Research Procedia* this link is disabled, 2022, 63, pp. 1236–1243.

Рассмотрено влияние несимметричных пульсирующих течений на динамику теплообмена и характеристики течения вокруг центрального цилиндра в 10 рядном трубном пучке. Усиление теплообмена в пульсирующем потоке в основном связано с увеличением локальной скорости потока. С увеличением частоты и амплитуды пульсаций происходит увеличение скорости потока. Увеличение скорости потока приводит к увеличению размеров вихрей между рядами трубного пучка и образованию двух дополнительных более мелких вихрей. Увеличение размера и скорости вихрей между рядами трубного пучка приводит к усилению теплообмена. Максимальное увеличение скорости наблюдается в передней и задней части цилиндра, что согласуется с увеличением теплообмена в этих областях. Максимальное эффективное увеличение теплопроводности наблюдается в местах соударения течения с цилиндром. Эффективная теплопроводность увеличивается с увеличением амплитуды пульсаций. Тем не менее, она практически не меняется при увеличении частоты пульсаций, хотя усиление теплоотдачи всегда связано с более высокой частотой. Отсюда следует, что эффективная теплопроводность не оказывает существенного влияния на усиление теплообмена. Максимальное увеличение теплоотдачи при пульсациях происходит, когда скорость потока имеет максимальное ускорение.

Haibullina, A., Khairullin, A. et. all Local Heat Transfer Dynamics in the In-Line Tube Bundle under Asymmetrical Pulsating Flow // *Energies*, 2022, 15(15), 5571 (Q1).

Численным методом исследован теплообмен центрального цилиндра в пучках труб при противоточных низкочастотных пульсациях потока масла в диапазоне частот от 0,2 до 0,5 Гц, безразмерной амплитуды от 15 до 35, скважностей пульсаций от 0,25 до 0,5, осредненному по расходу числу Рейнольдса от 100 до 1000, числа Прандтля от 215 до 363. Зафиксировано увеличение теплоотдачи до 3 раз в пульсирующем течении по сравнению со стационарным. По данным численных экспериментов получена обобщающая зависимость для расчета теплоотдачи в исследованном диапазоне.

Haibullina A.I., Sabitov L.S., Hayrullin A.R., Zinnatullin N.H. Empirical heat transfer correlations of tube bundles under pulsating flows // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018. 412 (1), 012025 p.

Проведено численное исследование влияния вынужденных несимметричных пульсаций на теплообмен при поперечном обтекании коридорного пучка труб. При проведении численного эксперимента число Рейнольдса находилось в диапазоне от 1000 до 2000, относительная амплитуда пульсаций от 1 до 2, число Струхала от 0,77 до 1,51, число Прандтля и скважность пульсаций имели фиксированные значения 7,2 и 0,25. Установлено, что пульсации потока приводят к интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне режимных параметров.

Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р. Численное исследование теплообмена в коридорном пучке труб в условиях пульсирующего потока жидкости // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*. 2019. № 4. С. 12-21

Рассмотрена влияние относительного шага трубки в пучке для различных компоновок пучков на интенсификацию теплообмена в условиях пульсирующих потоков масла при числе Рейнольдса $Re < 1000$. Относительный шаг отнесенный к диаметру цилиндра пучка труб находился в диапазоне от 1.25 до 1.75. Рассмотрено влияние пульсаций в пучках труб на теплогидравлическую эффективность при одинаковых числах Рейнольдса и теплогидравлическую эффективность при одинаковых мощностях требуемых на прокачку теплоносителя в стационарном и пульсационном течении. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых числах Рейнольдса наблюдалось для коридорного пучка с шагом 1.25. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых мощностях для коридорного пучка при относительном шаге 1.75.

Haibullina, A.I., Hayrullin, A.R., Ilyin, V.K., Savelyeva, A.D. Improving the thermal efficiency in heat exchangers of transport vehicles // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 918 (2020), 012162, DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012162

Проведен численный анализ теплообмена в шахматном пучке труб со стационарным и несимметричным пульсирующим потоком. Отношение поперечного и продольного расстояния к диаметру трубки пучка составляло 1,3. Число Рейнольдса Re равнялось 1100. Рассмотрено влияние числа рядов в пучке труб на интенсификацию теплообмена в пульсирующем потоке. Показано, что интенсификация теплообмена первых рядов существенней, по сравнению с последующими рядами.

Haibullina, A.I., Savelyeva, A.D., Hayrullin, A.R. Numerical analysis of heat transfer in tubular type heat exchangers of transport vehicles with pulsating flow // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 (2020) 012164, doi:10.1088/1757-899X/918/1/012164

Проведено численное исследование, методом дискретных элементов, влияния вынужденных пульсаций масла на эффекты способствующие уменьшению загрязнений на внешней поверхности пучков труб. Оценка пульсационной методики очистки осуществлялась на основе анализа механика соударения частиц о поверхность центрального цилиндра в пучке, при стационарном и пульсационном потоке. Установлено, что наложение пульсаций усиливает касательное напряжение сдвига и скорость эрозии в лобовой и кормовой частях труб пучка, которые наиболее подвержены отложениям. Проведенный анализ подтверждает существенное влияние несимметричных пульсаций на очищающие факторы и перспективность их применения для интенсификации очистки пучков труб.

Хайбуллина А.И., Зиннатуллин Н.Х., Ильин В.К. Повышение эффективности работы теплообменного оборудования использованием пульсационных методов очистки Известия высших учебных заведений // Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 49-57.), Липагина А.Д., Хайбуллина А.И., Синявин А.А., Ильин В.К. Эффективность очистки пучка труб низкочастотным пульсационным потоком с твердыми включениями // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2020. № 5. С. 14-25.

Предложена модернизированная схема систем маслоснабжения насосных установок и турбоприводов, оснащенная пульсационной установкой, при этом достигнут экономический эффект за счет уменьшения расхода охлаждающей воды в маслоохладители кожухотрубного типа марки МБ-63-90. По критерию Кирпичева рассчитана эффективность пульсаций для маслоохладителя марки МБ-63-90, показано, что несимметричные пульсации обладают большей энергетической эффективностью по сравнению с симметричными.

Haibullina A.I., Sabitov L.S., Hayrullin A.R., Ilyin V.K. Energy efficiency of pulsating flows at heat-transfer enhancement in a shell-and-tube water oil cooler // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018. 412 (1), 012026 p. DOI: 10.1088/1757-899X/412/1/012026; Хайбуллина А.И., Ильин В.К.

Методом LES исследовался теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании рассматривались различные подсеточные модели турбулентности. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными Жукаускаса. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании локальной модели вихревой вязкости, адаптированной для пристеночных течений (Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity, WALE).

Hayrullin A.R., Haibullina A.I., Ilyin V.K. Large-eddy simulations of heat transfer in the tube bundle // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES).

На основе математического моделирования исследован теплообмен в пористой среде при пульсирующем течении. Пористая среда была представлена в виде двумерного канала с квадратными трубами. Принятое упрощение позволило провести многопараметрическое исследование, включающее 1458 вариантов расчета, что позволило установить взаимосвязи между геометрическими параметрами пористой среды и критериями подобия для стационарного и пульсационного течения. В результате численного эксперимента получены обобщающие зависимости для прогнозирования теплоотдачи в пористой среде в условиях пульсирующих потоков воздуха и воды. Полученные критериальные уравнения справедливы для диапазонов числа Рейнольдса Re от 10 до 100, числа Прандтля Pr от 0,7 до 7,01, безразмерной относительной амплитуде пульсаций A/d от 1 до 3, частоте пульсаций f 0,25 до 0,75, порозности от 0,75 до 0,938. Сквозность пульсаций не была включена в обобщающие зависимости. Критериальные уравнения были получены для прогнозирования интенсивности и степени интенсификации теплообмена в пульсирующем течении, отдельно для симметричных и несимметричных пульсаций. Интенсивность теплообмена пористой среды при пульсирующем течении существенно зависит от режимных и геометрических параметров пористой среды. С увеличением числа Рейнольдса интенсивность теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке увеличивается, при этом степень интенсификации теплообмена снижается. С увеличением кинематической вязкости

среды теплообмен в пульсационном течении уменьшается по сравнению со стационарным течением. Поэтому интенсификация теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке воздуха меньше. При теплообмене в пористой среде при пульсирующем потоке воды степень интенсификации уменьшается с увеличением числа Прандтля. С увеличением порозности интенсивность теплообмена в пульсирующем течении снижается. Степень интенсификации теплообмена в основном увеличивается с повышением порозности, при этом интенсификация может и понижаться в зависимости от интенсивности пульсаций.

Hayrullin, A., Haibullina, A., Ilyin, V. Numerical heat transfer in porous media heat exchangers of transport vehicles under unsteady flow //Transportation Research Procedia this link is disabled, 2022, 63, pp. 1259–1265

Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Синявин А.А. Теплогидравлическая эффективность пористых сред в потоке воздуха и воды при симметричных и несимметричных пульсациях // Инженерный вестник Дона. 2022. № 4 (88). С. 539-554.

Применение трех RANS моделей турбулентности для предсказания теплообмена стационарного течения в пучке труб исследовано численным методом. Численное моделирование проводилось в диапазоне числа Рейнольдса от 1000 до 10200 с шагом 400. Полученное значение числа Нуссельта сравнивались с известными экспериментальными данными. Лучшее совпадение с экспериментальными данными получено при использовании модели RNG k-эпсилон с улучшенной пристеночной функцией. Отклонение значений Nu с экспериментальными данными в среднем составило около 6,3%. Максимальное отклонение 17,3% зафиксировано для числа Рейнольдса 1400. Для модели переноса сдвиговых напряжений SST Ментера среднее отклонение составило 12,4%, максимальное 79,2% при числе Рейнольдса 1000. Для модели SST решение было не стабильно при числе Re меньше 3400. С увеличением числа Рейнольдса SST модель лучше предсказывает теплообмен, при Рейнольдсе 10200 отклонение с экспериментальными данными 3,2%. При использовании модели SST k-омега среднее отклонение составило 19,1%, максимальное 55,9% при Рейнольдсе 1000. Распределение теплообмена по глубине пучка различно, в зависимости от числа Рейнольдса и модели турбулентности. Для модели RNG k-эпсилон с улучшенной пристеночной функцией теплоотдача второго ряда была всегда выше первого ряда. С дальнейшим, увеличением рядов теплоотдача практически не меняется. Теплоотдача седьмого ряда выше остальных рядов, что проявляется существенней с увеличением числа Рейнольдса. Рост теплоотдачи второго ряда связан с повышением турбулентности потока в пучке труб. Увеличение теплоотдачи седьмого ряда можно объяснить возникновением вихриобразования в кормовой части последнего ряда. Для моделей SST и SST k-омега похожие результаты получены только при максимальных числах Рейнольдса.

Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р., Ильин В.К., Синявин А.А., Бальзамов Д.С. Выбор модели турбулентности для моделирования теплообмена в пучках труб // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 11. С. 91-94.

Проведены экспериментальные исследование влияния пульсаций потока на теплообмен в пучке труб.

Экспериментальным путем получены закономерности теплообмена в пучке труб при пульсационном режиме течения потока. Возвратно-поступательное течение в пучке труб генерировалось при помощи пульсационной системы на основе поршневого пульсатора и пневмоцилиндра. Теплообмен при стационарном течении был сравнен с известным критериальным уравнением других авторов для коридорного пучка при числе Рейнольдса меньше 1000. Различия с критериальным уравнением составило 3%. Как правило, при теплообмене с принудительными колебаниями потока увеличение амплитуды пульсаций пропорционально увеличению интенсивности теплообмена. Увеличение числа Струхаля приводит к росту степени интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне. Максимальная интенсификация теплообмена составила 3,23 раза.

А.И. Хайбуллина, А.Р. Хайруллин, Н.И.Сафиуллина, Д.М. Латыпова, Е.Д. Трошина Экспериментальное исследование теплообмена в пучке труб при пульсациях потока // Инженерный вестник Дона, №11 (2021)

ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7304

Численным методом исследовался теплообмен в трубе при пульсирующем потоке масла. Числа Рейнольдса соответствовали 280, 350, 420. Диаметр D трубы составлял 0,014 м. Длина трубы соответствовала 100 диаметрам. Пульсации потока имели несимметричный характер. Задача решалась в двухмерной постановке. Результаты показывают, что увеличение теплоотдачи в пульсирующем течении пропорционально увеличению интенсивности пульсаций. Максимальная интенсификации теплообмена составила 10,5%. На основании данных, полученных в результате численного эксперимента, была проведена оценка уменьшения площади теплообмена маслоохладителя при пульсациях потока. Оценки снижения теплообменной поверхности маслоохладителя при пульсациях потока проводилась на кожухотрубном теплообменнике с шахматным расположением пучка трубок. Теплоноситель внутри трубок было масло, снаружи трубок вода. Необходимая площадь теплообмена для поддержания теплопроизводительности с увеличением амплитуды пульсаций и повышается с увеличением числа Рейнольдса. Уменьшение площади теплообмена с увеличением числа Рейнольдса связано с уменьшением числа Струхаля.

Коэффициент теплопередачи существенно зависит от теплоотдачи масла, что связано с его ламинарным течением. Поэтому процент уменьшения площади теплообмена при пульсирующем течении согласуется с процентом интенсификации теплообмена, но не равен ему. Уменьшение площади теплообмена маслоохладителя в зависимости от режима пульсации составило от 2,57% до 8,63%.

Haibullina A.I., Hayrullin A.R. Heat transfer in pulsating laminar flow in a pipe: evaluation of the reduction in the heat exchange area of oil cooler В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science", ISTC EarthScience 2022 - Chapter 3." 2022. С. 042038.

Эффективная теплопроводность волокнистой теплоизоляции, с плотностью 80 и 105 кг на метр кубический, из одного и того же рулона была определена в условиях одномерного и двухмерного теплового потока экспериментальным методом. Теплопроводность, полученная в условиях одномерного и двухмерного потока для сухих образцов, сравнена с экспериментальными данными других авторов. Результаты, полученные в данной работе, совпадают с данными других авторов. Значения теплопроводности изоляции полученной двумя методами лучше совпадает между собой, по сравнению с данными других авторов. Лучшее совпадение значений теплопроводности можно объяснить, тем что образцы подготавливались из одного и того же рулона базальтовой ваты. Таким образом, были исключены возможные различия в производственном процессе при изготовлении изоляции (использование различных связующих и т.д.). Отличие в значениях теплопроводности между двумя методами для плотности 80 и 105 кг на метр кубический составило 3 и 9% соответственно.

Hayrullin, A., Haibullina, A., Sinyavin, A. Insulation thermal conductivity heating networks during transportation thermal energy under dry and moisturizing condition: A comparative study of the guarded hot plate and guarded hot pipe method //Transportation Research Procedia this link is disabled, 2022, 63, pp. 1074–1080

2.11. Общее число публикаций в ведущих рецензируемых** российских и зарубежных научных изданиях за период с 1 января 2018 года,**

**** Издания, индексируемые в библиографических зарубежных базах данных публикаций и/или Russian Science Citation Index (RSCI).

20, из них:

0 - опубликовано в изданиях, индексируемых Russian Science Citation Index;

14 - опубликовано в изданиях, индексируемых в Web of Science Core Collection или Scopus,

Указание количества публикаций, опубликованных в перечисленных базах данных, не является обязательным.

в том числе 2 в изданиях, входящих в первый квартиль (Q1) по импакт-фактору JCR Science Edition или JCR Social Sciences Edition, по SJR;

1 - опубликована в изданиях, индексируемых в иных зарубежных библиографических базах данных.

2.12. Дополнительный список из 5 наиболее значимых публикаций руководителя проекта

(монографии, результаты интеллектуальной деятельности, имеющие правовую охрану, публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях (в т.ч. публикации в изданиях, индексируемых в системах цитирования Russian Science Citation Index, Web of Science Core Collection, Scopus). Приводится не более 5 публикаций, при наличии публикации в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» указывается ссылка на нее (обязательно для публикаций в индексируемых изданиях), указывается, при наличии, импакт-фактор научного издания (по JCR Science Edition, JCR Social Sciences Edition или SJR))

Пункт не является обязательным к заполнению. Могут приводиться публикации, свидетельствующие о научной квалификации и достижениях руководителя проекта, за исключением публикаций, указанных в п. 2.9 настоящей формы.

на языке оригинала

Для русскоязычных названий сведения приводятся на русском языке и в переводе на английский язык. При этом должно быть понятно, что речь идет об одном и том же документе (например, добавляйте слово «перевод»).

2.13. Опыт выполнения научных проектов (указываются наименования фондов (организаций), их местонахождение (страна), форма участия (руководитель или исполнитель), номера, названия проектов и сроки выполнения за последние 5 лет)

В том числе проектов, финансируемых РФ (при наличии):

Исполнитель Гранта РНФ №23-29-00845 «Теплоперенос трубчатых теплообменных аппаратов в условиях несимметричных и симметричных возвратно поступательных пульсаций» (2023-2024 гг.)

Исполнитель Гранта РНФ №21-79-10406 «Разработка новых моделей пористых теплообменников с повышенной энергоэффективностью на основе численного моделирования и экспериментальных исследований», срок реализации (2021-2024 гг.)

2.14. Планируемое участие в научных проектах (в любом качестве) в 2024 году

Общее количество – 2, из них:

руководство – 1, участие в качестве исполнителя – 1,

а именно:

Исполнитель Гранта РНФ №23-29-00845 «Теплоперенос трубчатых теплообменных аппаратов в условиях несимметричных и симметричных возвратно поступательных пульсаций» (2023-2024 гг.)

Руководитель заявляемого Гранта РНФ «Теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах» (2024-2025 гг.)

(указываются в том числе грантодатели или заказчики проектов и источник финансирования, например – государственное задание учредителя, гранты РФФИ, ФПИ, РНФ, иных фондов или иных организаций, государственный контракт (заказчик, программа), иной хозяйственный договор, иные гранты и субсидии).

2.15. Доля рабочего времени, которую планируется выделить на руководство данным проектом в случае победы в конкурсе Фонда -

35 процентов.

Имеется в виду – от полной занятости в рамках трудовых или гражданско-правовых правоотношений, т.е. занятость в свободное от основной работы время также должна учитываться.

2.16. Предполагаемая форма трудовых отношений¹ с организацией, через которую будет осуществляться финансирование:

Организация будет являться основным местом работы² (характер работы – не дистанционный): да;

Трудовой договор по совместительству³ (характер работы – не дистанционный): нет.

¹ В соответствии с пунктом 8 конкурсной документации трудовой договор с руководителем проекта не может быть договором о дистанционной работе и предусматривать возможность осуществления трудовой деятельности за пределами территории Российской Федерации.

Исчисление продолжительности рабочего времени должно осуществляться исходя из еженедельного графика работы (за исключением (ст. 104 ТК РФ) работников, занятых на круглосуточных непрерывных работах, а также на других видах работ, где по условиям производства (работы) не может быть соблюдена установленная ежедневная или еженедельная продолжительность рабочего времени).

Работа в режиме гибкого рабочего времени (ст. 102 ТК РФ) должна обеспечивать отработку работником суммарного количества рабочих часов в течение рабочего дня или недели.

Руководитель проекта может на момент подачи заявки не являться работником организации, но, в случае победы в конкурсе, должен заключить с ней трудовой договор. В случае, если руководитель проекта не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.

² Указывается для случаев, когда руководитель проекта планирует, что во время реализации проекта организация будет являться его основным местом работы (в том числе и не по гранту РНФ). Данный пункт указывается для случаев внутреннего совместительства (ст. 60.1 ТК РФ) и совмещения должностей (ст. 60.2 ТК РФ).

³ Указывается для случаев, когда руководитель проекта планирует, что реализация проекта будет осуществляться им по внешнему совместительству, а организация не будет для него являться основным местом работы. РНФ обращает внимание, что расположение основного места работы в ином, удаленном от места расположения организации субъекте Российской Федерации, может повлечь за собой проверки фактического режима рабочего времени в период реализации проекта.

2.17. Опыт образовательной деятельности за последние 5 лет (указывается информация о руководстве аспирантами, адъюнктами, интернами, ординаторами, разработке и чтении новых образовательных курсов в российских и зарубежных вузах)

2.18. Почтовый адрес

улица Декабристов д. 205, кв. 24, г. Казань, республика Татарстан ; почтовый индекс: 420034

2.19. Контактный телефон

+79625610754

2.20. Электронный адрес (E-mail)

kharullin@yandex.ru

2.21. Участие в проекте:

Руководитель проекта

2.22. Файл с дополнительной информацией *(резюме, другая дополнительная информация, которая, по мнению руководителя проекта, может быть полезна при проведении экспертизы данного проекта)*

Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

С условиями конкурса Фонда (в том числе, с пунктами 6 и 7 конкурсной документации) ознакомлен и согласен. Подтверждаю свое участие в проекте.

Фамилия, имя и отчество	Хайруллин Айдар Рафаэлевич
Данные документа, удостоверяющего личность***** (серия, номер, сведения о дате и органе выдачи)	Внимание! Данное поле заполняется вручную в печатном экземпляре заявки. Заполнение обязательно!
Адрес проживания	улица Декабристов д. 205, кв. 24, г. Казань, республика Татарстан ; почтовый индекс: 420034
Оператор персональных данных	Российский научный фонд

Я выражаю согласие***** на обработку указанным выше оператором персональных данных, внесенных в настоящую форму мною лично.

Обработка Российским научным фондом (адрес: г. Москва, ул. Солянка, д. 14, строение 3) указанных выше персональных данных может осуществляться **посредством** их сбора, систематизации, накопления, хранения, уточнения, использования, блокирования, распространения на официальном сайте Российского научного фонда, передачи и уничтожения **с целью** проведения экспертизы заявок на конкурсы, проводимые Российским научным фондом, экспертизы проектов и программ, финансируемых Российским научным фондом, подготовки аналитических материалов по конкурсам, долговременного сохранения документированной информации об участниках программ, получивших финансирование Российского научного фонда, общедоступного раскрытия информации о руководителях программ и проектов, финансируемых Российским научным фондом. Указанная обработка моих данных может осуществляться в течение 75 лет со дня заполнения настоящей формы в печатной форме. Хранение настоящей формы может быть поручено ООО «РАЙСВОЛФ» (107150, Москва, ул. Бойцовая, д. 22), оказывающему Российскому научному фонду услуги архивного хранения документов. Настоящее согласие может быть отозвано посредством направления на указанный выше адрес оператора персональных данных заявления с требованием о прекращении обработки персональных данных. Заявление должно содержать номер документа, удостоверяющего личность субъекта персональных данных; сведения о дате выдачи указанного документа и выдавшем его органе, а также собственноручную подпись субъекта персональных данных.

***** Непредставление данных документа, удостоверяющего личность, является основанием недопуска заявки к конкурсу.

***** Заполнение является обязательным в соответствии с требованиями Федерального закона от 27 июля 2006 г. №152-ФЗ «О персональных данных».

Подпись руководителя проекта _____ /А.Р. Хайруллин/

Дата подписания « ____ » _____ 2023 г.

Форма 3. Сведения об организации

собираются автоматически на основе регистрационных данных организации, через которую будет осуществляться финансирование ("Форма Т")

3.1. Полное наименование *(приводится в соответствии с регистрационными документами)*
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский государственный энергетический университет"

3.2. Сокращенное наименование
ФГБОУ ВО "КГЭУ"

3.3. Наименование на английском языке
Federal state budgetary educational institution of higher education "KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY"

3.4. Организационно-правовая форма *(указывается по ОК ОПФ)*
Федеральные государственные бюджетные учреждения

3.5. Форма собственности *(указывается по ОКФС)*
Федеральная собственность

3.6. Ведомственная принадлежность
Министерство науки и высшего образования РФ

3.7. ИНН, КПП, ОГРН, ОКТМО
1656019286, 165601001, 1021603065637, 92701000

3.8. Адрес
420066 г.Казань ул.Красносельская, 51

3.9. Фактический адрес
420066 г.Казань ул.Красносельская, 51

3.10. Субъект Российской Федерации
Республика Татарстан (Татарстан)

3.11. Должность, фамилия, имя, отчество *(при наличии)* **руководителя организации**
Ректор, Абдуллазянов Эдвард Юнусович

3.12. Контактный телефон
+78435194202

3.13. Электронный адрес *(E-mail)*
kgeu@kgeu.ru

Руководитель организации подтверждает, что:

- ознакомлен с условиями конкурса Фонда и согласен на финансирование проекта, в случае его поддержки, через организацию;
- согласен с пунктами 8, 14, 31-35 конкурсной документации, иными условиями конкурса;
- подтверждает сведения о руководителе проекта, изложенные в данной заявке;
- организация исполняет обязательства по уплате страховых взносов и налогов (при наличии), платежеспособна, не находится в процессе ликвидации, не признана несостоятельной (банкротом), на ее имущество не наложен арест и ее экономическая деятельность не приостановлена;

- в случае признания заявки победителем организация берет на себя следующие обязательства:
 - заключить с членами научного коллектива гражданско-правовые или трудовые (срочные трудовые) договоры (**трудовой договор с руководителем проекта не может быть договором о дистанционной работе**, трудовые договоры с руководителем проекта и членами научного коллектива не могут предусматривать возможность осуществления трудовой деятельности за пределами территории Российской Федерации);
Если таковые не заключены ранее. В случае, если член научного коллектива не является гражданином Российской Федерации, организацией должны быть выполнены все процедуры, предусмотренные законодательством Российской Федерации при трудоустройстве иностранных граждан.
 - по поручению руководителя проекта выплачивать членам научного коллектива вознаграждение за выполнение работ по проекту;
 - ежегодно в установленные сроки представлять отчет о целевом использовании гранта Российского научного фонда.

Руководитель организации гарантирует, что:

- вознаграждение за выполнение работ по реализации проекта будет ежегодно получать каждый член научного коллектива;
Лица, не являющиеся налоговыми резидентами Российской Федерации, могут осуществлять работы по проекту на безвозмездной основе (за исключением руководителя проекта).
- общий размер ежегодного вознаграждения членов научного коллектива в возрасте до 39 лет включительно не будет меньше 35 процентов от суммы ежегодного вознаграждения всех членов научного коллектива;
- общее число членов научного коллектива (вместе с руководителем проекта) будет составлять от 2 до 4 человек, при этом членом научного коллектива не будет являться работник организации, в непосредственном административном подчинении которого находится руководитель проекта;
- научному коллективу будет предоставлено помещение и обеспечен доступ к имеющейся экспериментальной базе для осуществления научного исследования.

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), печать (при ее наличии) организации.

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/_____
М.П.

Форма 4. Содержание проекта

4.1. Научная проблема, на решение которой направлен проект

Тепловые сети надземной и подземной, канальной и бесканальной прокладки – одни из основных элементов систем централизованного теплоснабжения. Ввиду распространенности тепловых сетей в Российской Федерации даже незначительное уменьшение тепловых потерь может привести к существенному энергосберегающему эффекту. Повышение энергоресурсоэффективности тепловых сетей тесно связано с применяемыми изоляционными материалами. Общеизвестно, что в зависимости от применяемых теплоизоляционных материалов тепловые потери могут увеличиться уже в первые годы эксплуатации. Условия эксплуатации теплоизоляционных материалов оказывают влияние на эффективность работы тепловых сетей. Известно, что проникновение влаги в теплоизоляционные материалы может приводить к увеличению тепловых потерь. При изменениях тепло-влажностных режимов окружающей среды происходит изменение теплоизоляционных характеристик. Периодическое подтопление изоляции (прохождение циклов намокание-сушка) при подземной прокладке трубопроводов приводит к ухудшению их характеристик.

Научная проблема, которая рассматривается в проекте, связана с прогнозированием теплозащитных характеристик волокнистых изоляций трубопроводных конструкций в меняющихся тепло-влажностных режимах, с целью повышения эффективности транспортировки тепловой энергии.

4.2. Научная значимость и актуальность решения обозначенной проблемы

На сегодняшний день выбор теплоизоляционных материалов тепловых сетей не достаточно обоснован, поскольку не учитывает в полной мере условия их эксплуатации. Прогнозирование теплозащитных характеристик изоляций затруднено ввиду практически полного отсутствия экспериментальных данных по тепловым характеристикам изоляций в периодически меняющихся условиях эксплуатации. Ситуация усугубляется большим количеством теплоизоляционных материалов имеющихся на рынке. Редкие имеющиеся данные в научной литературе, зачастую нельзя применить к современным теплоизоляционным материалам, ввиду различия производства. Отсутствие информации по данной теме, в том числе сдерживается отсутствием обоснованных методик и техник позволяющих предсказывать теплозащитные характеристики материалов в меняющихся тепло-влажностных режимах. Теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов при меняющихся тепло-влажностных режимах зависят от таких параметров как: тип изоляции, технология производства, температура, плотность, водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, водостойкость, средний диаметр волокна и т.д. Поэтому ввиду большого количества перечисленных факторов, на сегодняшний день существует нехватка данных по влиянию частичного и полного намокания теплоизоляционных материалов на их теплозащитные характеристики. В свою очередь на рынке появляются новые теплоизоляционные материалы, при этом данные о влиянии частичного или полного намокания на их теплоизоляционные свойства отсутствуют. В литературе, практически нет ни каких данных о влиянии циклов намокание-сушка на их основные характеристики теплоизоляционных материалов.

Теплозащитные характеристики изоляционных материалов в основном определяются на плоских образцах в соответствии с ГОСТ 7076-99. Данный метод применяется как, для изоляций зданий и сооружений, так и частично для изоляций трубопроводов. Результаты, полученные на плоских образцах по ГОСТ 7076-99 не всегда применимы для изоляций трубопроводных конструкций. Значения коэффициентов теплопроводности могут отличаться ввиду различий тепловых потоков в плоском (одномерный поток) и цилиндрическом образце (двухмерный поток). Другим, более сложным методом, является метод определения эффективной теплопроводности по методу нагреваемой трубы ГОСТ 32025-2012. Данный метод предназначен специально для определения теплопроводности изоляций трубопроводов. Имеющаяся информация о теплопроводности теплоизоляционных материалов в основном получена на плоских образцах, при этом крайне мало работ, в которых применяется метод ГОСТ 32025-2012, особенно в условиях увлажнения теплоизоляции. Применимость выше упоминаемых государственных стандартов для условий нестационарного теплового потока не обоснована, поскольку данные стандарты разработаны для стационарного теплового потока. Очевидно, что необходимо определить границы применимости ГОСТов 7076-99, 32025-2012 и разработать методики позволяющие прогнозировать теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов для нестационарных условий.

На сегодняшний день в литературе имеются лишь разрозненные знания по теплозащитным характеристикам

теплоизоляций при различных тепло-влажностных режимах. При этом работы в основном посвящены определению коэффициента теплопроводности при различной степени увлажнения материала, плотности и температуры. В литературе отсутствует систематизированная информация по взаимосвязи теплозащитных характеристик изоляции и таких ее параметров как тип изоляции, технология производства, температура, плотность, водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, водостойкость, средний диаметр волокна, содержанием не волокнистых включений и т.д. Поэтому, полученная систематизированная информация и разработанные методики по тематике проекта позволят занять лидирующие позиции на мировом уровне. Результаты, полученные в ходе выполнения проекта, имеют огромную научную значимость и являются весьма актуальными. Поскольку полученная новая информация, в рамках реализации проекта, совместно с разработанными методиками измерений позволит прогнозировать теплозащитные характеристики изоляций трубопроводных конструкций, в условиях меняющихся тепло-влажностных режимов, что повысит энергоэффективность тепловых сетей, увеличит их эксплуатационную надежность и долговечность. Выявленные механизмы теплопереноса, в волокнистых теплоизоляционных материалах, расширят фундаментальные знания.

В рамках проекта будет решаться научно-техническая проблема получения и систематизации информации по теплозащитным характеристикам волокнистых изоляций трубопроводных конструкций в меняющихся тепло-влажностных режимах. Научная новизна будет заключаться в выявлении взаимосвязи между теплозащитными характеристиками, волокнистой изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах и их теплофизическими свойствами (температура, водостойкость, средний диаметр волокна, водопоглощение и т.д.). В том числе разработке методик измерений по определению теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляция в меняющихся тепло-влажностных режимах приближенных к реальным условиям эксплуатации. Данная проблема требует комплексного подхода и может быть решена путем сопряженного физико-математического моделирования. Ввиду отсутствия адекватных методик, для прогнозирования теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах, экспериментальные исследования изначально будут основываться на методах ГОСТ 7076-99, ГОСТ 32025-2012. Усовершенствование методик измерений будет проводиться за счет сопряженного физико-математического моделирования. В рамках численных экспериментов будут определяться необходимые условия проведения измерений, в зависимости от внешних факторов, такие как влияние одномерного и двумерного теплового потока, габаритные размеры испытательных образцов, временное и пространственное распределение температурных полей и т.д.

4.3. Конкретная задача (задачи) в рамках проблемы, на решение которой направлен проект, ее масштаб и комплексность

Получение и систематизация информации по теплозащитным характеристикам волокнистых изоляций трубопроводных конструкций. Выявление взаимосвязи между теплозащитными характеристиками, волокнистой изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах и их теплофизическими свойствами (температура, водостойкость, средний диаметр волокна, водопоглощение и т.д.). В том числе разработке методик измерений по определению теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляция в меняющихся тепло-влажностных режимах приближенных к реальным условиям эксплуатации. Расширение фундаментальных знаний в области нестационарного теплопереноса для нерассмотренных ранее условий.

4.4. Научная новизна исследований, обоснование того, что проект направлен на развитие новой для научного коллектива тематики***, обоснование достижимости решения поставленной задачи (задач) и возможности получения предполагаемых результатов**

***** В том числе, на определение объекта и предмета исследования, составление плана исследования, выбор методов исследования.

Научная новизна будет заключаться в выявленных взаимосвязях между теплозащитными характеристиками волокнистой изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах и их теплофизическими свойствами (температура, водостойкость, средний диаметр волокна, водопоглощение и т.д.). В том числе разработке методик измерений по определению теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляция в меняющихся тепло-влажностных режимах приближенных к реальным условиям эксплуатации. В частности научная новизна будет заключаться в следующем:

проанализирована локальная динамика качественной и количественной картины течения, а также скоростных полей в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

проанализирована локальная динамика температурных полей в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности

изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

проанализирована локальная динамика температурных полей внутри изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

установлено влияние частоты вращения наружной поверхности лабораторной трубопроводной конструкции для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и водостойкостью, средним диаметром волокна, водопоглощением, содержанием неволокнистых включений и другими физическими свойствами волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах;

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и степенью увлажнения волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

установлены взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и температурой волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

определено влияние периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики;

выявлены механизмы теплопереноса, в волокнистых теплоизоляционных материалах в меняющихся тепло-влажностных режимах.

Несмотря на то, что у коллектива есть некоторый опыт определения эффективной теплопроводности электроизоляционных теплоизоляционных материалов в стационарных условиях, тематика заявленного проекта является новой для коллектива, поскольку в работе рассматривается нестационарный теплоперенос в изоляционных конструкциях при различных тепло-влажностных режимах.

Достижимость решения поставленной задачи подтверждается следующим:
экспериментальные исследования будут отталкиваться от существующих государственных стандартов по определению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов;

использованием стандартных методик и измерительных приборов с соответствующей точностью, оценкой погрешности измерений, согласованием ряда тестовых экспериментальных данных с данными других авторов;

использованием проверенного современного программного обеспечения при проведении математического моделирования;

использованием современных средств обработки и анализа данных;

соответствием ожидаемых результатов экспериментальных исследований физическим процессам теплопереноса в волокнистых теплоизоляционных материалах;

у коллектива имеется серьёзный задел решения нестационарных задач, экспериментальными и численными методами, в рамках однофазного теплообмена, что пересекается с тематикой проекта.

Отличительной чертой заявки является что в ней используется не только экспериментальные методы, но и методы математического моделирования, что безусловно усиливает заявку и шансы на выполнение поставленных задач в проекте.

4.5. Современное состояние исследований по данной проблеме, основные направления исследований в мировой науке и научные конкуренты

Государственные стандарты для определения эффективной теплопроводности изоляционных материалов разработаны

для стационарных условий окружающей среды. Однако теплозащитные характеристики изоляционных материалов могут существенно измениться под воздействием окружающей среды (Karamanos et al., 2008; Parracha et al., 2022; Zhou et al., 2019) (цитируемый список литературы приведен в конце данного раздела). Следовательно, это приведет к отклонениям при проектировании тепловых сетей, уменьшит их энергоэффективность и долговечность. Соответственно, крайне важно точное определение эффективной теплопроводности изоляционных материалов при различных температурах и увлажнении влаги, что привлекает интерес многих исследователей.

В статье (Abdou and Budaiwi, 2013) экспериментальным методом было исследовано влияние влажности на теплопроводность волокнистых изоляционных материалов при различных температурах изоляции. Исследование проводилось для стекловаты, минеральной ваты и каменной ваты при разных значениях плотности. Значения температуры изоляции находились в диапазоне от 14 до 34°C, содержание влаги от 0 до 46.6%. Увеличение температуры и содержание влаги всегда приводит к росту теплопроводности при всех плотностях. Максимальное увеличение теплопроводности наблюдается для минеральной ваты. Увеличение теплопроводности может достигать 446% при увеличении содержания влаги на 15%. Авторами (Jerman and Černý, 2012) показано, что при увлажнении минеральной ваты теплопроводность может увеличиться до 24 раз. В работе (Hedlin, 1988) показано, что даже при небольшом увлажнении 1% изоляции из стекловаты происходит рост тепловых потерь. В статье (D'Alessandro et al., 2018) также дано описание изменения теплопроводности различных изоляционных материалов. Увлажнение проводилось в климатической камере. Образец из минеральной ваты адсорбировал очень небольшое количество воды около 2%. При этом колебания теплопроводности составляли около 3%, что не попадает в точность метода эксперимента. В другой статье (McFadden, 1988) экспериментальным методом было установлено, что теплопроводность стекловаты может увеличиться на 300% при увеличении содержания влаги на 3%. В статье (Chyu et al., 1997) исследована эффективность изоляции труб из стекловолокна, используемых в системах централизованного теплоснабжения и охлаждения, подвергающихся воздействию подземных вод. Авторами статьи установлено, что теплопроводность изоляции может увеличиться от 14 до 19 раз в зависимости от температуры окружающей воды. Авторами работы (Zhu et al., 2015) экспериментальным методом исследовался вопрос работы систем трубопроводов с волокнистой изоляцией в условиях конденсации влаги. Установлено, что теплопроводность изоляции систематически возрастает при проникновении водяного пара. Теплопроводность влажной изоляции может увеличиться до 3.51 при содержании влаги 15.1%.

(Wijeysundera et al., 1993) предложили аналитический метод определения эффективной теплопроводности при water vapor transfer through flat insulations material. Авторами показано что эффективная теплопроводность изоляции может повысится от 1.5 до 15 раз по сравнению с сухим состоянием. (Alvey et al., 2017) экспериментальным методом определяли теплопроводность различных изоляционных материалов в условиях различной humidity levels. Влияние влаги на thermal performance было не значительно для extruded polystyrene foam. Тепловые характеристики polyurethane foam ухудшились by less than 10%, aerogel blankets by less than 5%. (Li et al., 2020) исследовали эффект freeze-thaw cycle на теплопроводность polyphenolic and polyurethane insulation boards. Теплопроводность polyphenolic изоляционного материала увеличилась в 1.5 раза after 50 freeze-thaw cycles. Теплопроводность polyurethane insulation увеличилась только 1.02 раза при тех же условиях. (Cai et al., 2014) измеряли теплопроводность of pipe phenolic insulation при конденсации влаги. Теплопроводность phenolic insulation увеличилась в 1.4 раза при содержании влаги 4.9% по объему.

При измерении теплопроводности изоляция труб при увлажнении (Cai et al., 2014) выделяют четыре метода: метод затопления, метод распыления/нагнетания, метод лабораторного предварительного кондиционирования и метод кондиционирования окружающей среды с использованием метода холодной поверхности/трубы. Главный вывод заключается в том, что не существует единого способа измерения теплопроводности мокрой изоляции труб при попадании влаги. Большинство стационарных методов во влажных условиях кажутся неадекватными, поскольку энтальпийный поток возникает из-за перераспределения водяного конденсата в системах изоляции. (Cai et al., 2014) в своих исследованиях использовали психрометрическую камеру с устанавливаемыми тепло-влажностными режимами. Такая методика является достаточной точной и близка к реальному приложению. Но весь испытательный аппарат занимает большое пространство, большое количество времени на строительство, контроль и калибровка, а оборудование требует высоких затрат на техническое обслуживание и больших капиталовложений. Как отмечают авторы (Cai et al., 2014), на сегодняшний день все еще существуют проблемы в измерении теплопроводности изоляции, при попадании влаги. Главные аспекты, которые должны быть должным образом рассмотрены, являются неравномерность температур поверхности труб, отсутствие информации о тепловых характеристиках герметиков для швов и влагостойкость, перераспределение в радиальных конфигурациях изоляции труб системы. В работе (Wang et al.,

2022) изучались изменения эффективной теплопроводности восьми распространенных строительных изоляционных материалов (стекловата, каменная вата, кремнеземное аэрогелевое покрытие, пенополистирол, экструдированный пенополистирол, фенольная пена, пенокерамика и пеностекло) в зависимости от температуры (в диапазоне 20–60 градусов) и относительной влажности (в диапазоне 0–100 процентов). Результаты показывают, что эффективная теплопроводность строительных теплоизоляционных материалов увеличивалась примерно линейно с повышением температуры с максимальными темпами роста от 3,9 до 22,7 % в исследованном интервале температур. Из-за структурных особенностей материалов возрастающая теплопроводность разных материалов меняется в зависимости от относительной влажности. Максимальные темпы роста теплопроводности с влажностью составили от 8,2 до 186,7 %

Среди проведенного литературного обзора можно выделить двух авторов Abdou и Cai, работы которых наиболее близки к теме проекта и имеют системный характер. Abdou провел масштабные исследования по определению теплопроводности при различной температуре и увлажнении изоляции. Однако в работах Budaiwi исследовались изоляционные материалы, применяющиеся в строительном секторе. Поэтому все исследования были выполнены на плоских образцах в условиях одномерного теплового потока и в диапазоне температур от 10 до 50 градусов, что ограничивает эти исследования применительно к тепловым сетям. Изоляция тепловых сетей подвергается более существенному перепаду температур и находится в условиях двухмерного теплового потока. В системах центрального теплоснабжения температура теплоносителя в подающих магистралях при повышенном температурном графике может достигать 180 градусов, а наружная температура воздуха во многих регионах страны понижается до минус 30 градусов. В работах Cai исследованы тепловые потери цилиндрической изоляции в условиях частичного выпадения конденсата на поверхностях изоляции. Однако исследования тепловых потерь, в меняющихся тепло-влажностных режимах проводились применительно к системам охлаждения. Следует отметить, что данные по эффективной теплопроводности, полученная в работах Abdou и Cai, будут использованы в данном проекте для верификации результатов. Предложенные методики измерений Abdou и Cai будут взяты во внимание при составлении собственных при исследовании теплозащитных характеристик изоляционных материалов в меняющихся тепло-влажностных режимах.

Из приведенного выше анализа видно, что предыдущие ученые провели много исследований влияния температуры и влажности на эффективную теплопроводность строительных изоляционных материалов. Тем не менее, данные по тепловым характеристикам даже строительных изоляционных материалов не имеют заверченный характер (исследования по данной тематике продолжаются (Wang et al., 2022)). Аналогичных исследований применительно к тепловым сетям существенно меньше (Hung Anh and Pásztor, 2021). Полученная информация в меняющихся тепло-влажностных режимах по изоляционным материалам применительно к строительному сектору, имеет важное значение, все же она не применима в полной мере к тепловым сетям, ввиду различия эксплуатационных условий.

На сегодняшний день в литературе имеются лишь разрозненные знания по теплозащитным характеристикам теплоизоляций при различных тепло-влажностных режимах. При этом работы в основном посвящены определению коэффициента эффективной теплопроводности при различной степени увлажнения материала, плотности и температуры. В литературе отсутствует систематизированная информация по взаимосвязи теплозащитных характеристик изоляции и таких ее параметров как тип изоляции, технология производства, температура, плотность, водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, водостойкость, средний диаметр волокна, содержанием не волокнистых включений и т.д. Эффективная теплопроводность одна из основных характеристик изоляционного материала. Однако не менее важным свойством материала является его плотность в условиях эксплуатации, которая может существенно измениться в условиях попадания влаги. Даже незначительное увеличение плотности материала приведет к существенным тепловым потерям, в связи уменьшением толщины материала. Информация о влиянии меняющихся тепло-влажностных режимах на плотность материала в условиях эксплуатации также имеет очень ограниченный характер. Очевидно, что теплозащитные характеристики волокнистых изоляционных материалов при меняющихся тепло-влажностных режимах зависят от таких параметров как: тип изоляции, технология производства, температура, плотность, водопоглощение при кратковременном и частичном погружении, водостойкость, средний диаметр волокна и т.д. Поэтому ввиду большого количества перечисленных факторов, на сегодняшний день существует нехватка данных по влиянию частичного и полного намокания теплоизоляционных материалов на их теплозащитные характеристики. В свою очередь на рынке появляются новые теплоизоляционные материалы, при этом данные о влиянии частичного или полного намокания на их теплоизоляционные свойства отсутствуют. В литературе, практически нет ни каких данных о влиянии циклов намокание-сушка на их основные характеристики теплоизоляционных материалов.

1. Abdou A., Budaiwi I. The variation of thermal conductivity of fibrous insulation materials under different levels of moisture content // Construction and Building Materials. 2013. (43). C. 533–544.
2. Alvey J. B., Patel J., Stephenson L. D. Experimental study on the effects of humidity and temperature on aerogel composite and foam insulations // Energy and Buildings. 2017. (144). C. 358–371.
3. Cai S., Cremaschi L., Ghajar A. J. Pipe insulation thermal conductivity under dry and wet condensing conditions with moisture ingress: A critical review // HVAC&R Research. 2014. № 4 (20). C. 458–479.
4. Chyu M. C., Zeng X., Ye L. The effect of moisture content on the performance of polyurethane insulation used on a district heating and cooling pipe 1997. № 103 (1). C. 1136.
5. D'Alessandro F. [и др.]. Experimental assessment of the water content influence on thermo-acoustic performance of building insulation materials // Construction and Building Materials. 2018. (158). C. 264–274.
6. Hedlin C. Heat flow through a roof insulation having moisture contents between 0 and 1% by volume, in summer 1988. № 2 (94). C. 579–594.
7. Hung Anh L. D., Pásztor Z. An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials // Journal of Building Engineering. 2021. (44). C. 102604.
8. Jerman M., Černý R. Effect of moisture content on heat and moisture transport and storage properties of thermal insulation materials // Energy and Buildings. 2012. (53). C. 39–46.
9. Karamanos A., Hadiarakou S., Papadopoulou A. M. The impact of temperature and moisture on the thermal performance of stone wool // Energy and Buildings. 2008. № 8 (40). C. 1402–1411.
10. Li Y. [и др.]. Study on Water Absorption and Thermal Conductivity of Tunnel Insulation Materials in a Cold Region under Freeze-Thaw Conditions // Advances in Materials Science and Engineering. 2020. (2020). C. e5301968.
11. McFadden T. Thermal Performance Degradation of Wet Insulations in Cold Regions // Journal of Cold Regions Engineering. 1988. № 1 (2). C. 25–34.
12. Parracha J. L. [и др.]. Impact of natural and artificial ageing on the properties of multilayer external wall thermal insulation systems // Construction and Building Materials. 2022. (317). C. 125834.
13. Wang Y. [и др.]. Experimental study on the influence of temperature and humidity on the thermal conductivity of building insulation materials // Energy and Built Environment. 2022. C. S2666123322000186.
14. Wijesundera N. E. [и др.]. Effective Thermal Conductivity of Flat-Slab and Round-Pipe Insulations in the Presence of Condensation // Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes. 1993. № 2 (17). C. 55–77.
15. Zhou S. [и др.]. Weathering of Roofing Insulation Materials under Multi-Field Coupling Conditions // Materials. 2019. № 20 (12). C. 3348.
16. Zhu W., Cai S., Cremaschi L. Thermal performance and moisture accumulation of fibrous mechanical pipe insulation systems operating at below-ambient temperature in wet conditions with moisture ingress // Science and Technology for the Built Environment. 2015. № 6 (21). C. 862–875.

4.6. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты *(объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам)*

В рамках данного проекта планируются как экспериментальные, так и численные исследования.

Для определения физико-химических свойств будет применяться стандартные методики. Плотность прошивных матов будет определяться согласно ГОСТ 17177-94, модуль кислотности согласно ГОСТ 17177-94, водопоглощение согласно ГОСТ 17177-94, водостойкость согласно ГОСТ 4640-2011, средний диаметр волокна согласно ГОСТ 17177-94, содержание не волокнистых включений согласно ГОСТ 17177-94.

В ходе экспериментальных исследований планируются измерения эффективной теплопроводности в условиях одномерного и двухмерного теплового потока в плоском и цилиндрическом образце изоляционного материала. Экспериментальное определение эффективной теплопроводности изоляционных материалов, для одномерного теплового потока в плоском образце, будет основано на методе нагреваемой плиты согласно ГОСТ 7076-99. Для проведения измерений по ГОСТ 7076-99 у коллектива имеется стандартное лабораторное оборудование - измеритель теплопроводности ИТС-1 (доп. Файл 1). При определении теплозащитных характеристик теплоизоляционных материалов подвергшихся затоплению материал будет погружаться в воду на определенное время, после чего высушиваться в сушильном шкафу, далее будет определяться его плотность и теплопроводность, затем цикл будет повторяться.

Определение эффективной теплопроводности изоляционных материалов для двухмерного теплового потока в цилиндрическом образце, изначально будут отталкиваться от метода нагреваемой трубы согласно ГОСТ 32025-2012.

Измерения теплопроводности будут проводиться на экспериментальном оборудовании (доп. Файл 1). При руководстве ГОСТом 32025 измерения проводятся на нагреваемой изнутри испытательной трубе, с охранными зонами по торцам испытательной трубы для компенсации потерь тепла в осевом направлении. Нагрев испытательной трубы диаметром 89 мм осуществляется электроконтактным методом. Температура исследуемых материалов определяется с помощью датчиков температур расположенных непосредственно на испытательной трубе и на наружной поверхности материала. Датчики температур располагаются в рабочей зоне трубы, непосредственно на поверхности трубы. Датчики располагаются на равномерном расстоянии друг от друга со смещением по винтовой линии на 90 градусов. Аналогичным методом в рабочей зоне располагаются датчики на поверхности исследуемого материала. Для компенсации потерь тепла в осевом направлении температура поверхности трубы в охранных зонах поддерживается такой же, как в рабочей зоне. Для этого нагрев охранных зон регулируется отдельно от нагрева рабочей зоны. Контроль температуры поверхности трубы в охранных зонах осуществлялся двумя термопарами, расположенными со смещением друг от друга на 180 градусов в каждой из зон. Температура с приборов измерений считывается с помощью измерителя регулятора ТРМ138. Температура нагревательного элемента в рабочем участке и охранных зонах поддерживается постоянной с помощью измерителя регулятора ТРМ138. Все показания с приборов измерений передаются на компьютер, на котором осуществляется архивация всех данных и управление параметрами эксперимента. При определении теплопроводности в условиях температур выше 40 градусов, наружная поверхность образца нагревается, с помощью обогреваемой оболочки. Нагреваемая оболочка покрывается слоем изоляции. Нагрев оболочки осуществляется электроконтактным методом. Наличие дополнительного наружного покровного слоя необходимо для компенсаций потерь тепла в окружающую среду, что позволяет устанавливать необходимую температуру изоляционного материала.

У коллектива имеется вторая экспериментальная установка для определения эффективной теплопроводности согласно ГОСТ 32025-2012 (Доп. файл 1). Экспериментальная установка состоит из несущего корпуса и установленной в ней нижней половины цилиндрической измерительной камеры. Днище камеры покрыто ряд медных трубок от 30 до 40 шт. Трубки формируют теплообменную поверхность для нагрева/охлаждения внешней поверхности испытываемой изоляции. Внутри нижней части установки устанавливается привод измерительной трубы. При проведении измерения будет рассмотрена возможность вращения нагревательной труб вокруг своей оси. Для охлаждения контрольно-измерительного комплекса на правой стороне нижней части установки имеются две вентиляционные решетки. Верхняя часть установки состоит из корпуса и установленной в него верхней половины цилиндрической измерительной камеры, днище верхней камеры также покрыто рядом медных трубок от 30 до 40 шт. для нагрева/охлаждения внешней поверхности испытываемой изоляции. Нагрев и охлаждение трубок верхней и нижней части будет осуществляться термостатированием. Подача теплоносителя необходимой температуры будет осуществляться посредством термостата жидкостного низкотемпературного. Измерительная труба состоит из стальной трубы диаметром 219 мм и длиной 1120 мм, левой и правой опоры. Измерительная труба разделяется с помощью зазоров на измерительную зону (длина 600 мм) и охранные зоны 2 (длина 150 мм) с каждой стороны. Для центрирования изоляции во время монтажа труба оснащена двумя опорными дисками, а для фиксации изоляции имеются монтажные шпильки – по четыре с каждой стороны измерительной зоны. Для снижения тепловых потерь во время испытаний с каждой стороны измерительной зоны имеются заглушки. Измерительный комплекс построен на базе сенсорного панельного контроллера. Контроллер осуществляет сбор данных с периферийных датчиков, управляет тепло-влажностным режимом измерительной камеры и трубы, анализирует данные и вычисляет эффективную теплопроводность теплоизоляции, тепловые потери и другие параметры.

Организация измерительной сети установки осуществляется следующим образом: аналоговые первичные преобразователи через многоканальные модули ввода данных подключаются к сети обмена данными RS485, который также подключен к контроллеру. Связь между локальной микросетью измерительной трубы и общей сетью осуществляется бесконтактно с помощью преобразователей RS485-WiFi (необходимость передачи данных через RS485-WiFi обусловлена вращением нагревательной трубы). Температура внешней поверхности изоляции измеряется с помощью высокоточных инфракрасных датчиков температуры, толщина слоя изоляции в точке измерения температуры вычисляется по показаниям лазерных сенсоров расстояния, которые установлены на внешней стенке измерительной камеры. Температура внутренней поверхности изоляции измеряется с помощью безкорпусных термопар присоединенных к поверхности измерительной трубы.

Планируемые параметры проведения экспериментальных исследований в условиях двухмерного теплового потока:
измерение эффективной теплопроводности: от 0.015 до 0.06 Вт/мК;
толщина изоляции: от 40 до 100 мм;

температура в измерительной камере: от -20 С0 до 100 С0;
температура нагрева внутренней трубы: до 140 С0;
влажность в измерительной камере: до 95%;
степень увлажнения изоляции при частичном увлажнении: до 15% (масс.);

В рамках проекта планируются рассмотреть волокнистые теплоизоляционные материалы, используемые в тепловых сетях. В ограниченных рамках данного проекта не представляется возможным рассмотреть огромное количество изоляционных материалов применяемых на практике. Поэтому в рамках проекта будут рассматриваться только самые распространенные изоляционные материалы тепловых сетей, в частности будут рассмотрены прошивные маты различных производителей с плотностью от 80 до 100 кг на метр кубический.

Математическое моделирование будет проводиться на основе уравнений гидродинамики (уравнения Навье-Стокса и неразрывности), конвективного теплообмена (уравнения Фурье-Кирхгофа). Уравнения Навье-Стокса будут разрешаться в явном виде и возможно использованием моделей турбулентности в зависимости от режима течения. Решение уравнений Навье-Стокса в явном виде требует существенных вычислительных ресурсов и возможно только при ламинарных течениях (учитывая вычислительные возможности коллектива). Дискретизация уравнений в частных производных будет выполняться методом конечных объемов. Математическое моделирование будет проводиться с использованием коммерческого пакета AnsysFluent. В рамках численного исследования будут моделироваться тепло-влажностные режимы экспериментальной установки, в частности тепловые и скоростные поля в обогреваемой камере, распределение температур на поверхности и в слое изоляции. Математическое моделирование позволит подобрать оптимальные конструктивные параметры и тепловые режимы экспериментальной установки для проведения измерений изоляционных материалов в меняющихся тепло-влажностных режимах. Полученные в ходе математического моделирования результаты будут верифицироваться на экспериментальном оборудовании.

План работ на первый год

В рамках первого года планируется построение математической модели лабораторной установки трубопроводной конструкции по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов, в меняющихся тепло-влажностных режимах, с целью разработки методики измерений. В ходе математического моделирования планируются получение следующих результатов:

получение информации о временной и пространственной, качественной и количественной картине течения скоростных полей, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о локальной динамике температурных полей, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о локальной динамике температурных полей, внутри изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о необходимом количестве точек измерений на внешней поверхности изоляции нагреваемой трубы, для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала;

получение информации о влиянии частоты вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определение оптимальных габаритных размеров нагреваемых и охранных зон нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах.

В рамках первого года также планируется проведение экспериментальных исследований по определению влияния периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики.

Конкретные ожидаемые результаты к концу первого года

К концу первого года будут получены следующие результаты:

построенная математическая модель лабораторной установки конструкции изоляции трубопровод по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получены и проанализированы контуры скоростных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных температурных режимах;

получены и проанализированы контуры скоростных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных частотах вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры;

получены и проанализированы контуры температурных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных температурных режимах;

получены и проанализированы контуры температурных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных частотах вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры;

получена и проанализирована информация о необходимом количестве точек измерений на внешней поверхности изоляции нагреваемой трубы, для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала;

получена информация о влиянии частоты вращения нагреваемой трубы внутри нагреваемой камеры для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определены оптимальные габаритные размеры нагреваемых и охранных зон нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определено влияние периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики, результаты будут представлены в виде графических зависимостей плотности и эффективной теплопроводности материалов в зависимости от количества циклов периодического затопления и высушивания.

План работ на второй год

В экспериментальной части проекта планируются получение следующих результатов:

установление взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и водостойкостью, средним диаметром волокна, водопоглощением, содержанием не волокнистых включений и другими физическими свойствами волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах;

установление взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и степенью увлажнения волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

установление взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и температурой волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям;

систематизация полученной информации и составление рекомендаций для предсказания теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций тепловых сетей, с учётом их теплофизических свойств, приближенных к реальным условиям эксплуатации;

выявление механизмов теплопереноса, в волокнистых теплоизоляционных материалах;

разработка методики по проведению лабораторных испытаний теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах эксплуатации.

Конкретные результаты к концу второго года

установленные взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и водостойкостью, средним диаметром волокна, водопоглощением, содержанием не волокнистых включений и другими физическими свойствами волокнистых теплоизоляций в меняющихся тепло-влажностных режимах (результаты будут представлены в виде графических зависимостей с текстовыми пояснениями к ним);

установленные взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и степенью увлажнения волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям (результаты будут представлены в виде графических зависимостей с текстовыми пояснениями к ним);

установленные взаимосвязи между теплозащитными характеристиками и температурой волокнистых теплоизоляций трубопроводных конструкций приближенных к реальным условиям (результаты будут представлены в виде графических зависимостей с текстовыми пояснениями к ним);

полученная информация будет систематизирована с составленными рекомендациями для предсказания теплозащитных характеристик волокнистых теплоизоляций тепловых сетей приближенных к реальным условиям эксплуатации;

выявленные механизмы теплопереноса, в волокнистых теплоизоляционных материалах;

разработанные методики по проведению лабораторных испытаний теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов тепловых сетей в меняющихся тепло-влажностных режимах эксплуатации.

Планируются эксперименты с участием лабораторных животных:

нет

4.7. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту, наличие опыта совместной реализации проектов (указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

У коллектива имеется опыт работы в области экспериментального и теоретического исследования гидродинамики, теплофизических процессов, и оптимизации технологических процессов промышленных предприятий в целом.

1. Грант РНФ по проекту №18-79-10136 «Теоретические методы моделирования и разработки энергоэффективных импортозамещающих аппаратов очистки и глубокой переработки углеводородного сырья на предприятиях топливно-энергетического комплекса» (2018-2021 гг.) (исполнитель Хайбуллина А.И.);
2. Грант РНФ по проекту 18-79-10136 «Теоретические методы моделирования и разработки энергоэффективных импортозамещающих аппаратов очистки и глубокой переработки углеводородного сырья на предприятиях топливно-энергетического комплекса», срок реализации (2021-2023 гг.) (исполнитель Хайбуллина А.И.);
3. Грант РНФ по проекту 21-79-10406 «Разработка новых моделей пористых теплообменников с повышенной энергоэффективностью на основе численного моделирования и экспериментальных исследований», срок реализации (2021-2024 гг.) (ответственный исполнитель Хайбуллина А.И., исполнитель Хайруллин А.Р.);
4. Разработаны устройства для создания пульсаций теплоносителей в теплообменных аппаратах позволяющие повысить их эффективность (Патенты РФ № 146381, 146722, 147387) (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)
5. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Расчет тепло-гидравлической эффективности каналов с насадочными элементами 2021615157, 05.04.2021. Заявка № 2021614227 от 29.03.2021. (Хайбуллина А.И.)
6. НИР (договор №1-И/2017) с ООО «Инжетех» на тему «Проведение исследований по оценке пульсационного воздействия на улучшение эксплуатационных характеристик нефтяных скважин» (2017 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
7. НИР (договор № 2-И/2017) с ООО НП ТК «ЭдНано» на тему «Проведение исследований растительного сырья и разработка решений по реализации технологии непрерывного экстрагирования» (2017 г.) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
8. НИР (договор № 3-И/2017) с ООО «Таткабель» на тему «Определение теплопроводности электроизоляционного материала» (2017 г.) (руководитель Хайруллин А.Р.)

9. НИР (договор №403/1445-18) с ООО ИЦ «Энергопрогресс» на тему «Лабораторные исследования образцов теплоизоляционных материалов по определению коэффициентов теплопроводности» (2018 г.) (руководитель Хайруллин А.Р., исполнитель Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)
10. НИР (договор № 1-ЭО/2018 г.) с ООО "Тепличный комбинат "Майский" на тему «Проведение исследований эффективности использования энергетических ресурсов и разработка энергетического паспорта ООО «Тепличный комбинат «Майский» (2018 г.) (исполнитель Хайбуллина А.И.)
11. НИР (договор № 0920-22) с ООО ИВЦ «Инжехим» на тему «Исследование степени извлечения белка из растительного сырья при заданных условиях экстрагирования» (2020 г) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
12. НИР (договор № 959/1445-21) с ООО ИЦ «Энергопрогресс» на тему "Исследование энергоэффективности теплоизоляционного цилиндра, лабораторные исследования физико-химических свойств прошивных минераловатных матов" (2021 г) (исполнитель Хайруллин А.Р., Синявин А.А.)
13. Стипендиат Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам на тему "Численное и экспериментальное исследование процессов гидродинамики и теплообмена в пучках труб теплообменного оборудования", 2021 год (руководитель Хайбуллина А.И.)
14. Грант РФФИ по проекту 23-29-00845 «Теплоперенос трубчатых теплообменных аппаратов в условиях несимметричных и симметричных возвратно поступательных пульсаций» (2023-2024 гг.) (руководитель Хайбуллина А.И., исполнитель Хайруллин А.А.)
15. НИР (договор № 1-И/2023) с ООО ИВЦ «Инжехим» на тему «Проведение исследований по оценке возможностей извлечения целевых компонентов при экстрагировании растительного сырья» (2023 г) (исполнитель Хайруллин А.Р., исполнитель Синявин А.А., исполнитель Хайбуллина А.И.)

Коллективом получены существенные результаты по исследованию теплофизических и гидродинамических процессов в теплообменном оборудовании.

1. Проведено исследование теплогидравлических характеристик симметричных и несимметричных пульсаций на уровне отдельных пор, с учетом сложной трехмерной структуры пористого материала. Построение трехмерной структуры высокопористых пен осуществлялась путем трехмерных тесселяций Вороного. Результаты численного исследования показали существенное отличие в структуре потока при пульсационном течении по сравнению со стационарным течением. Основные изменения структуры течения приходятся на первый полупериод пульсаций и фазы пульсаций между полупериодами пульсаций. Под воздействием пульсаций происходит постоянная перестройка потока. Течение при пульсациях более гомогенизировано. Эффект скважности пульсаций различен в зависимости от чисел Рейнольдса. Симметричные пульсации показывают чуть лучшее усиление теплообмена 4-5% при низких числах Рейнольдса в исследованном диапазоне. Несимметричные пульсации, наоборот эффективней при высоких числах Рейнольдса. Различия в эффекте от симметричных и несимметричных пульсаций незначительны, по сравнению с величиной интенсификации теплообмена. Максимальное отличие степени интенсификации теплообмена между симметричными и несимметричными пульсациями было 5,4%. Максимальная интенсификация в 43% достигнута при скважности пульсаций 0,25, произведения амплитуды и числа Струхала 0,344, числа Рейнольдса 55 и порозности 0.743. Увеличение произведения амплитуды и числа Струхала приводит к увеличению степени интенсификации теплообмена независимо от порозности и режимных параметров. Увеличение чисел Рейнольдса также приводит к повышению степени интенсификации теплообмена. По данным численного исследования пульсационного течения в пене с реалистичной трехмерной структурой, впервые получены эмпирические корреляции, позволяющая прогнозировать степень усиления конвективного теплообмена, гидравлического сопротивления и теплогидравлическую эффективность. Полученные корреляции получены для диапазона чисел Рейнольдса от 10 до 55, произведения амплитуды и числа Струхала от 0,114 до 0,344 и порозности от 0,743 до 0,954. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

2. Рассмотрено влияние несимметричных пульсирующих течений на динамику теплообмена и характеристики течения вокруг центрального цилиндра в 10 рядном трубном пучке. Усиление теплообмена в пульсирующем потоке в основном связано с увеличением локальной скорости потока. С увеличением частоты и амплитуды пульсаций происходит увеличение скорости потока. Увеличение скорости потока приводит к увеличению размеров вихрей между рядами трубного пучка и образованию двух дополнительных более мелких вихрей. Увеличение размера и скорости вихрей между рядами трубного пучка приводит к усилению теплообмена. Максимальное увеличение скорости наблюдается в передней и задней части цилиндра, что согласуется с увеличением теплообмена в этих областях. Максимальное эффективное увеличение теплопроводности наблюдается в местах соударения течения с цилиндром. Эффективная теплопроводность увеличивается с увеличением амплитуды пульсаций. Тем не менее, она практически не меняется при увеличении частоты пульсаций, хотя усиление теплоотдачи всегда связано с более высокой частотой. Отсюда

следует, что эффективная теплопроводность не оказывает существенного влияния на усиление теплообмена. Максимальное увеличение теплоотдачи при пульсациях происходит, когда скорость потока имеет максимальное ускорение. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

3. Экспериментальным путем был исследован теплообмен в семи рядном обогреваемом коридорном пучке при наложении на поток воды межтрубного пространства противоточных низкочастотных несимметричных пульсаций. Относительный продольный и поперечный шаг соответствовал 1,3, частоты пульсаций находились в диапазоне от 0,125 до 0,5 Гц, безразмерная амплитуда от 1,25 до 4,5, осредненное по расходу число Рейнольдса от 100 до 500, число Прандтля соответствовало 5,5. Во всем исследуемом диапазоне исследования зафиксировано увеличение теплоотдачи в нестационарном течении по сравнению со стационарным. Максимальная интенсификация теплоотдачи составила 1,9. Влияние скважности пульсаций на теплообмен не исследовалось. Численным методом, для тех же режимных параметров, исследовано распределение локальной теплоотдачи для центрального цилиндра в пучке труб. Установлено, что интенсификация теплообмена в основном происходит в застойной зоне трубки пучка. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

4. Разработана математическая модель гидравлической системы пульсатор–теплообменник генераций противоточных низкочастотных пульсаций, позволяющая моделировать реалистичные формы пульсаций скорости потока. Проведены численные расчеты с использованием модели. Расхождение полученных форм пульсаций в пучке труб от экспериментальных данных не более 11 %. Проведено численное моделирование теплообмена в канале с пучком труб, при наложении низкочастотных пульсаций, с использованием в качестве граничных условий форм пульсаций полученных посредством модели гидравлической системы пульсатор–теплообменник результаты которого показали удовлетворительное согласование с экспериментальными данными 15 %, что позволяет применять разработанный подход моделирования теплообмена в дальнейшем для подобных задач. Численным методом исследован теплообмен центрального цилиндра в пучках труб при противоточных низкочастотных пульсациях потока масла в диапазоне частот от 0,2 до 0,5 Гц, безразмерной амплитуды от 15 до 35, скважностей пульсаций от 0,25 до 0,5, осредненному по расходу числу Рейнольдса от 100 до 1000, числа Прандтля от 215 до 363. Зафиксировано увеличение теплоотдачи до 3 раз в пульсирующем течении по сравнению со стационарным. По данным численных экспериментов получена обобщающая зависимость для расчета теплоотдачи в исследованном диапазоне. Проведено численное исследование влияния вынужденных несимметричных пульсаций на теплообмен при поперечном обтекании коридорного пучка труб. При проведении численного эксперимента число Рейнольдса находилось в диапазоне от 1000 до 2000, относительная амплитуда пульсаций от 1 до 2, число Струхала от 0,77 до 1,51, число Прандтля и скважность пульсаций имели фиксированные значения 7,2 и 0,25. Установлено, что пульсации потока приводят к интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне режимных параметров. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

3. Рассмотрена влияние относительного шага трубки в пучке для различных компоновок пучков на интенсификацию теплообмена в условиях пульсирующих потоков масла при числе Рейнольдса $Re < 1000$. Относительный шаг отнесенный к диаметру цилиндра пучка труб находился в диапазоне от 1.25 до 1.75. Рассмотрено влияние пульсаций в пучках труб на теплогидравлическую эффективность при одинаковых числах Рейнольдса и теплогидравлическую эффективность при одинаковых мощностях требуемых на прокачку теплоносителя в стационарном и пульсационном течении. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых числах Рейнольдса наблюдалось для коридорного пучка с шагом 1.25. Максимальное значение теплогидравлической эффективности при одинаковых мощностях для коридорного пучка при относительном шаге 1.75. (Хайбуллина А.И., Хайруллин А.Р.)

5. Проведен численный анализ теплообмена в шахматном пучке труб со стационарным и несимметричным пульсирующим потоком. Отношение поперечного и продольного расстояния к диаметру трубки пучка составляло 1,3. Число Рейнольдса Re равнялось 1100. Рассмотрено влияние числа рядов в пучке труб на интенсификацию теплообмена в пульсирующем потоке. Показано, что интенсификация теплообмена первых рядов существенней, по сравнению с последующими рядами. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

6. Проведено численное исследование, методом дискретных элементов, влияния вынужденных пульсаций масла на эффекты способствующие уменьшению загрязнений на внешней поверхности пучков труб. Оценка пульсационной методики очистки осуществлялась на основе анализа механика соударения частиц о поверхность центрального цилиндра в пучке, при стационарном и пульсационном потоке. Установлено, что наложение пульсаций усиливает касательное напряжение сдвига и скорость эрозии в лобовой и кормовой частях труб пучка, которые наиболее подвержены отложениям. Проведенный анализ подтверждает существенное влияние несимметричных пульсаций на очищающие факторы и перспективность их применения для интенсификации очистки пучков труб. (Хайбуллина А.И.)

7. Предложена модернизированная схема систем маслоснабжения насосных установок и турбоприводов, оснащенная пульсационной установкой, при этом достигнут экономический эффект за счет уменьшения расхода охлаждающей воды в маслоохладителе кожухотрубного типа марки МБ-63-90. По критерию Кирпичева рассчитана эффективность пульсаций для маслоохладителя марки МБ-63-90, показано, что несимметричные пульсации обладают большей

энергетической эффективности по сравнению с симметричными пульсациями. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

8. Исследована возможность применения различных RANS моделей турбулентности для прогнозирования теплообмена стационарного течения при поперечном обтекании пучков труб. Наилучшее согласование с экспериментальными данными получено для модели переноса касательных напряжений Shear Stress Transport (SST). (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

9. Методом LES исследовался теплообмен при поперечном обтекании коридорного десяти рядного пучка труб. При моделировании рассматривались различные подсеточные модели турбулентности. Число Рейнольдса Re было 2400. Локальные характеристики теплообмена восьмого ряда сравнены с экспериментальными данными Жукаускаса. Лучшее совпадение с данными эксперимента получено при использовании локальной модели вихревой вязкости, адаптированной для пристеночных течений (Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity, WALE). (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

10. На основе математического моделирования исследован теплообмен в пористой среде при пульсирующем течении. Пористая среда была представлена в виде двумерного канала с квадратными трубами. Принятое упрощение позволило провести многопараметрическое исследование, включающее 1458 вариантов расчета, что позволило установить взаимосвязи между геометрическими параметрами пористой среды и критериями подобия для стационарного и пульсационного течения. В результате численного эксперимента получены обобщающие зависимости для прогнозирования теплоотдачи в пористой среде в условиях пульсирующих потоков воздуха и воды. Полученные критериальные уравнения справедливы для диапазонов числа Рейнольдса Re от 10 до 100, числа Прандтля Pr от 0,7 до 7,01, безразмерной относительной амплитуде пульсаций A/d от 1 до 3, частоте пульсаций f 0,25 до 0,75, порозности от 0,75 до 0,938. Скажность пульсаций не была включена в обобщающие зависимости. Критериальные уравнения были получены для прогнозирования интенсивности и степени интенсификации теплообмена в пульсирующем течении, отдельно для симметричных и несимметричных пульсаций. Интенсивность теплообмена пористой среды при пульсирующем течении существенно зависит от режимных и геометрических параметров пористой среды. С увеличением числа Рейнольдса интенсивность теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке увеличивается, при этом степень интенсификации теплообмена снижается. С увеличением кинематической вязкости среды теплообмен в пульсационном течении уменьшается по сравнению со стационарным течением. Поэтому интенсификация теплообмена в пористой среде при пульсирующем потоке воздуха меньше. При теплообмене в пористой среде при пульсирующем потоке воды степень интенсификации уменьшается с увеличением числа Прандтля. С увеличением порозности интенсивность теплообмена в пульсирующем течении снижается. Степень интенсификации теплообмена в основном увеличивается с повышением порозности, при этом интенсификация может и понижаться в зависимости от интенсивности пульсаций. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

11. Применение трех RANS моделей турбулентности для предсказания теплообмена стационарного течения в пучке труб исследовано численным методом. Численное моделирование проводилось в диапазоне числа Рейнольдса от 1000 до 10200 с шагом 400. Полученное значение числа Нуссельта сравнивались с известными экспериментальными данными. Лучшее совпадение с экспериментальными данными получено при использовании модели RNG k - ϵ с улучшенной пристеночной функцией. Отклонение значений Nu с экспериментальными данными в среднем составило около 6,3%. Максимальное отклонение 17,3% зафиксировано для числа Рейнольдса 1400. Для модели переноса сдвиговых напряжений SST Ментера среднее отклонение составило 12,4%, максимальное 79,2% при числе Рейнольдса 1000. Для модели SST решение было не стабильно при числе Re меньше 3400. С увеличением числа Рейнольдса SST модель лучше предсказывает теплообмен, при Рейнольдсе 10200 отклонение с экспериментальными данными 3,2%. При использовании модели SST k - ω среднее отклонение составило 19,1%, максимальное 55,9% при Рейнольдсе 1000. Распределение теплообмена по глубине пучка различно, в зависимости от числа Рейнольдса и модели турбулентности. Для модели RNG k - ϵ с улучшенной пристеночной функцией теплоотдача второго ряда была всегда выше первого ряда. С дальнейшим, увеличением рядов теплоотдача практически не меняется. Теплоотдача седьмого ряда выше остальных рядов, что проявляется существенней с увеличением числа Рейнольдса. Рост теплоотдачи второго ряда связан с повышением турбулентности потока в пучке труб. Увеличение теплоотдачи седьмого ряда можно объяснить возникновением вихриобразования в кормовой части последнего ряда. Для моделей SST и SST k - ω похожие результаты получены только при максимальных числах Рейнольдса. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

12. Проведены экспериментальные исследование влияния пульсаций потока на теплообмен в пучке труб. Экспериментальным путем получены закономерности теплообмена в пучке труб при пульсационном режиме течения потока. Возвратно-поступательное течение в пучке труб генерировалось при помощи пульсационной системы на основе поршневого пульсатора и пневмоцилиндра. Теплообмен при стационарном течении был сравнен с известным критериальным уравнением других авторов для коридорного пучка при числе Рейнольдса меньше 1000. Различия с критериальным уравнением составило 3%. Как правило, при теплообмене с принудительными колебаниями потока увеличение амплитуды пульсаций пропорционально увеличению интенсивности теплообмена. Увеличение числа

Струхалю приводит к росту степени интенсификации теплообмена во всем исследованном диапазоне. Максимальная интенсификация теплообмена составила 3,23 раза. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

13. Численным методом исследовался теплообмен в трубе при пульсирующем потоке масла. Числа Рейнольдса соответствовали 280, 350, 420. Диаметр D трубы составлял 0,014 м. Длина трубы соответствовала 100 диаметрам. Пульсации потока имели несимметричный характер. Задача решалась в двухмерной постановке. Результаты показывают, что увеличение теплоотдачи в пульсирующем течении пропорционально увеличению интенсивности пульсаций. Максимальная интенсификация теплообмена составила 10,5%. На основании данных, полученных в результате численного эксперимента, была проведена оценка уменьшения площади теплообмена маслоохладителя при пульсациях потока. Оценки снижения теплообменной поверхности маслоохладителя при пульсациях потока проводилась на кожухотрубном теплообменнике с шахматным расположением пучка трубок. Теплоноситель внутри трубок было масло, снаружи трубок вода. Необходимая площадь теплообмена для поддержания теплопроизводительности с увеличением амплитуды пульсаций и повышается с увеличением числа Рейнольдса. Уменьшение площади теплообмена с увеличением числа Рейнольдса связано с уменьшением числа Струхалю. Коэффициент теплопередачи существенно зависит от теплоотдачи масла, что связано с его ламинарным течением. Поэтому процент уменьшения площади теплообмена при пульсирующем течении согласуется с процентом интенсификации теплообмена, но не равен ему. Уменьшение площади теплообмена маслоохладителя в зависимости от режима пульсации составило от 2,57% до 8,63%. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И.)

14. Разработан алгоритм для построения, высокопористых металлических и других, пен на языке VisualBasic.Net, основанный на методе трехмерной диаграммы Вороного. Разработанный алгоритм реализован в виде оригинального дополнительного модуля в Ansys Spaceclaim. Данный модуль позволяет генерировать пористые структуры с заданными характеристиками, диаметр фибр, порозность, диаметр ячеек, количество пор на дюйм. Для целей численного исследования выполнено построения двадцати пористых структур. Порозность сгенерированных пен находилась в диапазоне от 0,743 до 0,954, количество пор на дюйм (PPI) от 10 до 80. Для изменения порозности диаметр фибр варьировался от 0,0625 мм до 1,3 мм. Диаметр ячеек пористой среды варьировался от 0,635 мм до 5,8 мм. Полученные результаты по интенсивности теплообмена металлических пен для стационарного течения при порозности 0,954 верифицировались с чужими экспериментальными данными. Отклонения для числа Нуссельта в диапазоне числа Рейнольдса от 20 до 80, числе Прандтля 0,7 составили не более 7%. В результате численного исследования получено, что с увеличением порозности пористой среды происходит уменьшение интенсивности теплообмена. Данная динамика наблюдается при всех PPI. Гидравлическое сопротивление пористой среды увеличивается с повышением порозности независимо от числа Рейнольдса и PPI. Рост гидравлического сопротивления связан с ростом скорости при увеличении порозности. При повышении порозности диаметр фибр уменьшается, соответственно для выдерживания постоянного числа Рейнольдса скорость увеличивается. Изменение PPI не оказывает влияния на теплоотдачу пористой среды не зависимо от порозности и числа Рейнольдса. При этом с увеличением PPI происходит существенный рост гидравлических потерь. С увеличением числа Рейнольдса происходит рост, как гидравлических потерь, так и интенсивности теплообмена. Максимальной теплоотдачей (Нуссельта 5,18) во всем исследованном диапазоне обладает пористая среда с порозностью 0,743 и числом Рейнольдса 80. Минимальными гидравлическими потерями обладает пористая среда с PPI 10, порозностью 0,743 и числом Re 10. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

15. Численным методом исследована эффективная теплопроводность пористых изоляционных материалов. Предложена методика конструирования изоляционного материала с заданными геометрическими характеристиками, позволяющая с достаточной точностью прогнозировать теплопроводность пористой изоляции. Конструирование вспененных пористых теплоизоляционных материалов основывалось на методе диаграммы Вороного в разработанном дополнительном модуле в Ansys Spaceclaim. Эффективная теплопроводность пористых сред определена для двадцати структур с различными геометрическими характеристиками (порозность, диаметр фибр, диаметр узла). Теплофизические свойства материала соответствовали меламину. Между собой сравнивалась одна регулярная структура и три нерегулярных структуры, с разными диаметрами узлов. Отношение диаметра узла к диаметру фибр нерегулярной структуры соответствовал 1, 2 и 3. Все четыре типа структур сравнивались при одинаковых порозностях. При этом порозность каждой структуры находилась в диапазоне от 0,722 до 0,987. Необходимое значение порозности подбиралось изменением диаметра фибр. Во всем исследованном диапазоне исследованных структур диаметр фибр находился в диапазоне от 0,0489 мм до 0,1259 мм. Диаметр ячейки пористой структуры составлял 0,635 мм, количество пор на дюйм соответствовало 80. Ширина, высота и глубина расчетной области соответствовала двум диаметрам ячейки пористой среды. Для верификации численного решения эффективная теплопроводность вспененного меламин с порозностью 0,987 определялась экспериментально. Эффективная теплопроводность вспененного меламин согласно ГОСТ 7076-99. Результат численного моделирования показал удовлетворительное совпадение с экспериментальным значением эффективной теплопроводности. Отличие в значениях теплопроводности с нерегулярными структурами при

порозности 0,987 составило 8,7%, 8,5%, 9,1% для структур с отношением диаметра узла к диаметру фибр нерегулярной структуры 1, 2, 3 соответственно. На основе закона сохранения энергии (уравнении Фурье) получено уравнение для прогнозирования эффективной теплопроводности пористых изоляционных материалов. Полученное уравнение позволяет прогнозировать эффективную теплопроводность с учетом конструктивных особенностей структур (длина теплопроводящих фибр, относительный объем фибр не участвующих в теплообмене и порозность). Эффективная теплопроводность рассчитанная по предложенному уравнению лучше всего согласуется с данными, численного моделирования, полученных для регулярных структур. Максимальное отличие теоретического решения с данными численного моделирования для регулярных структур составляет не более 8,1 %. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

16. Эффективная теплопроводность волокнистой теплоизоляции, с плотностью 80 и 105 кг на метр кубический, из одного и того же рулона была определена в условиях одномерного и двухмерного теплового потока экспериментальным методом. Теплопроводность, полученная в условиях одномерного и двухмерного потока для сухих образцов, сравнена с экспериментальными данными других авторов. Результаты, полученные в данной работе, совпадают с данными других авторов. Значения теплопроводности изоляции полученной двумя методами лучше совпадает между собой, по сравнению с данными других авторов. Лучшее совпадение значений теплопроводности можно объяснить, тем что образцы подготавливались из одного и того же рулона базальтовой ваты. Таким образом, были исключены возможные различия в производственном процессе при изготовлении изоляции (использование различных связующих и т.д.). Отличие в значениях теплопроводности между двумя методами для плотности 80 и 105 кг на метр кубический составило 3 и 9% соответственно. (Хайруллин А.Р., Хайбуллина А.И., Синявин А.А.)

4.8. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

У коллектива имеется экспериментальное оборудование для определения эффективной теплопроводности изоляционных материалов в условиях одномерного и двухмерного теплового потока. В частности имеется стандартное измерительное оборудование Телпограф, ИТС-1, также имеются 2 экспериментальные установки для исследования теплозащитных характеристик изоляционных материалов (доп. Файл 1).

Имеется прецизионный портативный измеритель температуры МИТ 2.05М с платиновыми преобразователями с точностью 0.01 градус. МИТ 2.05М будет использован для калибровки температурных датчиков. Имеются лабораторные принадлежности (аналитические весы, микроскоп бинокулярный, мензурки, штативы и т.д.) для определения теплофизических свойств изоляционных материалов. Расчетная станция для проведения численных исследований (Intel Core i9-13900K, 24 ядра, оперативная память 128 Гб). Имеется лицензионное программное обеспечение ANSYS Fluent.

4.9. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки (экспедиции) по проекту)

В рамках первого года планируется построение математической модели лабораторной установки трубопроводной конструкции по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов, в меняющихся тепло-влажностных режимах, с целью разработки методики измерений. В ходе математического моделирования планируются получение следующих результатов:

получение информации о временной и пространственной, качественной и количественной картине течения скоростных полей, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о локальной динамике температурных полей в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о локальной динамике температурных полей внутри изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получение информации о необходимом количестве точек измерений на внешней поверхности изоляции нагреваемой трубы, для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала;

получение информации о влиянии частоты вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определение оптимальных габаритных размеров нагреваемых и охранных зон нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах.

В рамках первого года также планируется проведение экспериментальных исследований по определению влияния периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики.

Участие на всероссийской конференции с международным участием «XL Сибирский теплофизический семинар» 2024 г. Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (РИНЦ). – 1 доклад (Хайруллин А.Р.).

Участие на XXX международной научно технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» «The 6th 2024 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)» – 1 доклад (Власова М.А.).

4.10. Планируемое на первый год содержание работы каждого члена научного коллектива (включая руководителя проекта)

В рамках первого года планируется построение математической модели лабораторной установки трубопроводной конструкции по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов, в меняющихся тепло-влажностных режимах, с целью разработки методики измерений. В ходе математического моделирования планируются получение следующих результатов:

получение информации о временной и пространственной качественной и количественной картине течения скоростных полей, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах (Хайруллин А.Р. Власова М.А.);

получение информации о локальной динамике температурных полей, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах (Хайбуллина А.И. Власова М.А.);

получение информации о локальной динамике температурных полей, внутри изоляции трубопроводной конструкции в меняющихся тепло-влажностных режимах (Хайбуллина А.И. Синявин А.А.);

получение информации о необходимом количестве точек измерений на внешней поверхности изоляции нагреваемой трубы, для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала (Хайруллин А.Р.);

получение информации о влиянии частоты вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах (Хайруллин А.Р., Синявин А.А.);

определение оптимальных габаритных размеров нагреваемых и охранных зон нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах (Хайруллин А.А., Синявин А.А., Хайбуллина А.И., Власова М.А.).

Проведение экспериментальных исследований по определению влияния периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики (Хайруллин А.А., Синявин А.А., Хайбуллина А.И., Власова М.А.).

4.11. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы)

К концу первого года будут получены следующие результаты:

построенная математическая модель лабораторной установки конструкции изоляции трубопровод по измерению теплозащитных характеристик волокнистых изоляционных материалов, в меняющихся тепло-влажностных режимах;

получены и проанализированы контуры скоростных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных температурных режимах;

получены и проанализированы контуры скоростных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных частотах вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры;

получены и проанализированы контуры температурных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных температурных режимах;

получены и проанализированы контуры температурных полей и их анализ, в кольцевом пространстве вокруг наружной поверхности изоляции в меняющихся тепло-влажностных режимах при различных частотах вращения нагреваемой трубы внутри климатической камеры;

получена и проанализирована информация о необходимом количестве точек измерений на внешней поверхности изоляции нагреваемой трубы, для адекватного осреднения температуры по поверхности изоляционного материала;

получена информация о влиянии частоты вращения нагреваемой трубы внутри нагреваемой камеры для равномерного распределения температур при проведении теплофизических измерений в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определены оптимальные габаритные размеры нагреваемых и охранных зон нагреваемой трубы в меняющихся тепло-влажностных режимах;

определенно влияния периодического полного затопления волокнистых теплоизоляций на их теплозащитные характеристики, результаты будут представлены в виде графических зависимостей плотности и эффективной теплопроводности материалов в зависимости от количества циклов периодического затопления и высушивания.

4.12. Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Термостат жидкостный низкотемпературный для термостатирования температуры воздуха в камерах экспериментальной установки при определении эффективной теплопроводности теплоизоляций.

Ноутбук для управления, мониторинга и архивации данных с экспериментального оборудования.

4.13. Файл с дополнительной информацией 1

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если руководитель проекта оценивает данную информацию существенной для эксперта.

[Скачать...](#)

4.14. Файл с дополнительной информацией 2 (если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. Один файл в формате pdf, до 3 Мб.

Подпись руководителя проекта _____ /А.Р. Хайруллин/

Форма 5. Запрашиваемое финансирование на 2024 год

5.1. Планируемые расходы по проекту

№ п.п.	Направления расходования средств гранта	Сумма расходов (тыс.руб.)
	ВСЕГО	1500
	Вознаграждение членов научного коллектива (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии), без лиц категории «вспомогательный персонал»)	900
	Вознаграждение лиц категории «вспомогательный персонал» (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии))	0
1	Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии))	900
2	Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта <small>Не более 15 процентов от суммы гранта.</small>	0
3	Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (включая обучение работников, монтажные, пуско-наладочные и ремонтные***** работы) <small>***** Не связанные с осуществлением текущей деятельности организации.</small>	410
4	Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования	0
5	Иные расходы для целей выполнения проекта	40
6	Накладные расходы организации <small>Не более 10 процентов от суммы гранта.</small>	150

5.2. Расшифровка планируемых расходов

№ п.п.	Направления расходования средств гранта, расшифровка
1	<p>Итого вознаграждение (с учетом страховых взносов и налогов (при наличии)) <small>(указывается сумма вознаграждения (включая руководителя проекта, членов научного коллектива и иных исполнителей, привлекаемых к выполнению работ по проекту), включая установленные законодательством Российской Федерации гарантии, отчисления по страховым взносам на обязательное пенсионное страхование, на обязательное медицинское страхование, на обязательное социальное страхование на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством, на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний)</small> Руководитель проекта, Хайруллин Айдар Рафаэлевич, аспирант - 225 тыс. руб. Исполнитель проекта Хайбуллина Айгуль Ильгизаровна, к.т.н., доцент - 225 тыс. руб. Исполнитель проекта Синявин Алексей Александрович, зав. лаб. - 225 тыс. руб. Исполнитель проекта Власова Маргарита Андреевна, аспирант - 225 тыс. руб.</p>
2	<p>Оплата научно-исследовательских работ сторонних организаций, направленных на выполнение научного проекта <small>(приводится перечень планируемых договоров (счетов) со сторонними организациями с указанием предмета и суммы каждого договора)</small></p>
3	<p>Расходы на приобретение оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования <small>(представляется перечень планируемых к закупке оборудования и иного имущества, необходимых для проведения научного исследования (в соответствии с п. 4.12 формы 4))</small></p>

Термостат жидкостный низкотемпературный:

Диапазон регулирования температуры –30...+100 С

Нестабильность поддержания установленной температуры ± 0.1 С

Неоднородность температурного поля в рабочем объёме термостата ± 0.1 С

Мощность охлаждения при –30 °С не менее 100 Вт

Ориентировочная стоимость 350 тыс. руб.

Согласно запросу цены произведенным в апреле 2023 года коллективом проекта, термостат с подобными характеристиками (КРИО-ВТ-04) стоил 350 тыс. руб.

Ноутбук для управления, мониторинга и архивации данных с экспериментального оборудования (процессор не менее 6 ядер, оперативная память не мене 16 ГБ).

Ориентировочная стоимость согласно ценам в DNS 60 тыс. руб.

- 4 Расходы на приобретение материалов и комплектующих для проведения научного исследования (представляется расшифровка запланированных материалов и комплектующих (в соответствии с п. 4.12 формы 4))

- 5 Иные расходы для целей выполнения проекта

(приводятся иные затраты на цели выполнения проекта, в том числе на командировки, оплату услуг связи, транспортных услуг, расходы не расшифровываются)

Командировки на конференции по тематике проекта - 40 тыс. руб.

Участие на всероссийской конференции с международным участием «XL Сибирский теплофизический семинар» 2024 г. Новосибирск, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (РИНЦ). – 1 доклад (Хайруллин А.Р.).

Участие на XXX международной научно технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» «The 6th 2024 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)» – 1 доклад (Власова М.А.).

Подпись руководителя проекта _____ /А.Р. Хайруллин/

Подпись руководителя организации (уполномоченного представителя, действующего на основании доверенности или распорядительного документа), **печать** (при ее наличии) **организации.**

В случае подписания формы уполномоченным представителем организации (в т.ч. – руководителем филиала) к печатному экземпляру заявки прилагается копия распорядительного документа или доверенности, заверенная печатью организации.

_____/_____/

М.П.