



УТВЕРЖДАЮ:

Директор по научной работе и инновациям
Национального исследовательского Томского
политехнического университета,
доктор технических наук,
Степанов Игорь Борисович
2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диссертация «Характеристики работы водяного теплового насоса в условиях образования льда на поверхности трубки испарителя» выполнена в НОЦ И. Н. Бутакова инженерной школы энергетики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Салум Амер обучался в очной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Срок окончания аспирантуры – 2019 год.

В 2014 г. окончил магистратуру в университете «Аль Баас» по направлению «Энергетика» с оценкой «очень хорошо».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по истории и философии науки (технические науки), иностранному языку (английский) и специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика выдана в 2019 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель:

Кузнецов Гений Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-образовательный центр И.Н.Бутакова, профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение

Общая характеристика работы

Диссертация Салума Амера представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены результаты экспериментальных исследований, совокупность которых можно квалифицировать как новые научные достижения в области тепловых насосов. Разработана методика экспериментального исследования процессов теплопереноса в окрестности трубок испарителя и конденсатора теплонасосной установки в условиях образования льда на поверхности трубок испарителя. Определены основные характеристики процесса теплообмена в условиях кристаллизации воды. Во время работы теплового насоса определены температуры поверхности трубки испарителя, конденсатора и воды, находящейся в их области, при разных начальных значениях температуры источника теплоты.

Проведён анализ особенностей применения природных поверхностных вод в условиях, соответствующих климату большей части территории России и Сирии в осенний, зимний и весенний период года. Рассмотрены два варианта источника низкопотенциальной теплоты: пресная вода и насыщенный солью водный раствор. Исследовано влияние слоя льда, образующегося на поверхности трубки испарителя, на эффективность теплового насоса. Определен коэффициент преобразования ТНУ при низких температурах воды.

Экспериментально изучено влияние течения, возникающего в воде вблизи трубки испарителя в результате термогравитационной конвекции, на процесс образования льда на поверхности трубки.

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния начальной температуры воды в области трубки конденсатора на характеристики процесса кристаллизации воды на поверхности трубки испарителя. Исследован нагрев воды при работе конденсатора ТНУ при начальных температурах воды в контуре обогрева (291, 298, 301 К).

Определена минимальная длина трубки испарителя, необходимая для испарения фреона в условиях кристаллизации воды на части внешней её поверхности.

Представлены результаты математического моделирования процесса теплообмена между трубкой испарителя и водой в условиях термогравитационной конвекции и кристаллизации воды на поверхности трубки. Разработана двумерная математическая модель теплопереноса между водой и поверхностью трубки испарителя в условиях образования льда. Рассчитаны поля температур, толщины льда на поверхности трубки испарителя при различном её расположении в водной среде. Построены поля скоростей и линий тока вблизи стенки трубки испарителя в разные моменты времени. Проведено сравнение тепловых потоков, рассчитанных с учетом и без учета влияния конвективных течений и процессов фазового перехода на теплообменной поверхности трубки испарителя. Выполнено сравнение теоретических и экспериментальных результатов исследования.

Разработаны рекомендации (и методика работы) по повышению эффективности работы теплонасосных установок при образовании льда на поверхностях трубок испарителя.

Полученные результаты и сформулированные выводы обладают единством изложения результатов выполненных исследований. Оформление и стиль написания диссертации отвечают требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Актуальность темы исследования.

Актуальность проведенных исследований подтверждается необходимостью разработки новых альтернативных источников энергии вместо традиционных углеводородных топлив. Большая часть территории РФ расположена в климатических условиях с продолжительностью отопительного сезона не менее 8 месяцев в году. Как правило, это регионы с относительно невысокой плотностью населения, что вызывает проблемы при разработке и реализации централизованных систем генерации, транспорта и распределения тепловой энергии. В таких условиях расходуется больше топлива для обеспечения нормативных показателей вследствие значительных потерь теплоты при ее транспортировке удаленным потребителям. Возможным решением этой проблемы является реализация эффективных локальных систем отопления в удаленных объектах теплопотребления, использование тепловых насосов.

Применение тепловых насосов в суровых климатических условиях России накладывает ряд ограничений по выбору источника низкопотенциальной теплоты. Наиболее простая и, соответственно, экономически более выгодная в реализации конструкция тепловых насосов с использованием теплоты окружающего воздуха не эффективна ввиду критически низких температур в отопительный сезон. Тепловые насосы, работающие от низкопотенциальной теплоты грунта и грунтовых вод, требуют высоких капитальных затрат на организацию контура отбора теплоты, проведение масштабных земляных работ. Вследствие этого срок их окупаемости становится несоизмеримым по сравнению с полученной экономией энергоресурсов. Наиболее рациональным и экономически оправданным для условий российского климата является тип тепловых насосов, использующий тепловую энергию открытых водных источников, широко распространенных на территории страны. Температура воды в водоемах, даже в зимний период подо льдом, как правило, не опускается ниже 275 К.

Однако эксплуатация теплового насоса с водяным контуром отбора теплоты в зимний период имеет ряд особенностей. Для эффективного теплоотбора разница между температурой воды в водоеме и хладагентом, циркулирующем в контуре теплового насоса, должна быть не менее 5 К. Температура фреона не должна опускаться ниже температуры

кристаллизации воды, что приведет к образованию льда на трубках испарителя. Эффективность теплообмена в таких условиях существенно падает. Но на основании проведенного анализа литературы, можно сделать вывод, что до настоящего времени не проводились систематические исследования работы тепловых насосов в условиях кристаллизации воды на теплообменных поверхностях трубок испарителя.

Исследование проведено в рамках программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров (Госзадание «Наука» 8.13264.2018/8.9, проект ВИУ-ИШЭ-300/2018).

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Личный вклад автора состоит в формулировке базовой гипотезы исследования, постановке и планировании экспериментов, выборе методов, алгоритмов и средств регистрации, проведении серий опытов, обработке результатов, оценке систематических и случайных погрешностей, анализе и обобщении полученных результатов, расчете значений коэффициента производительности теплонасосной установки в условиях образования льда на поверхностях трубок испарителя, решены задачи конвективного теплопереноса в испарителе теплового насоса при образовании слоя льда на поверхности трубки испарителя, выполнен анализ теплопередачи от водного источника к испарителю, разработке рекомендаций использования полученных результатов, формулировке защищаемых положений и выводов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных в ходе экспериментальных исследований результатов подтверждается оценками систематических и случайных погрешностей выполненных измерений, повторяемостью опытов при идентичных начальных значениях параметров, а также сравнением теоретических и экспериментальных данных.

Новизна результатов проведенных исследований

Научная новизна полученных автором результатов заключается в следующем: впервые экспериментально установлены значения температур в основных узлах водяной теплонасосной установки (поверхности трубки теплообменника-испарителя, в водной среде вблизи поверхности трубки испарителя и конденсатора), зарегистрированы толщины слоя льда на поверхности трубки испарителя, определены условия и время образования и плавления льда. Установлено влияние кристаллизации воды на стенках трубки испарителя на эффективность работы теплового насоса. Выполнена оценка воздействия термогравитационной конвекции, возникающей вследствие разности температур различных слоев воды в водоеме при работе теплового насоса, на временные характеристики процессов кристаллизации воды и таяния льда на поверхности трубки испарителя, погруженного в водный источник низкопотенциальной теплоты. Определены минимальные длины трубки испарителя, достаточные для работы теплового насоса при определённой толщине льда на части рабочей поверхности испарителя. Экспериментальные исследования процесса работы ТНУ в условиях образования льда на поверхности теплообменника испарителя теплового насоса позволяют сделать вывод: лёд на трубке испарителя оказывает значительное влияние на тепловой режим камеры испарителя. Показано, что при частичном покрытии льдом трубок испарителя ТН нагревает воду в конденсаторе только до температуры 315 К. Установлено, что при нагреве воды, омывающей трубку конденсатора до высокой температуры, фреон в ней перестаёт конденсироваться, что приводит к повышению его температуры в испарителе до 273 К. В таких условиях образовавшийся лёд плавится. Полученные результаты позволили сделать вывод о возможности эксплуатации водяного теплового насоса в условиях периодического образования и таяния льда на поверхности трубки испарителя, цикл работы которого можно разделить на две стадии: 1 стадия - нагрев воды в конденсаторе с коэффициентом производительности около 1,8 (зависит от температуры воды в водоеме), и образование льда на поверхности трубки испарителя; 2 стадия - удаление льда с поверхности трубки испарителя при поддержании максимально

возможной температуры воды вблизи трубки конденсатора, равной температуре конденсации хладагента при заданном давлении в системе теплового насоса.

Решены задачи нестационарного теплопереноса в воде, окружающей трубки испарителя ТНУ, в условиях образования льда на их поверхности.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Установлены условия эксплуатации водяного теплового насоса с достаточной эффективностью в условиях образования льда на поверхностях испарителя, погруженного в водоем с непроточной водой при низкой температуре. Выявлена зависимость характеристик работы водяного теплового насоса от температуры воды как источника низкопотенциальной теплоты и температуры теплоносителя в системе обогрева здания. Разработан алгоритм расчета минимальной длины трубки испарителя, достаточной для работы теплового насоса в условиях образования льда на части поверхности испарителя.

Материалы диссертации могут быть использованы в образовательной деятельности: при подготовке магистров по направлениям «Промышленная теплоэнергетика».

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационных исследований были представлены на следующих семинарах и конференциях: «International Youth Scientific Conference», Томский политехнический университет (г. Томск, 2017 г.), V Международный молодежный форум «Интеллектуальные энергосистемы», Томский политехнический университет (г. Томск, 2017 г.), Heat and Mass Transfer in the Thermal Control System of Technical and Technological Energy Equipment, (г. Томск, 2018), Международная научная конференция «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития», (г. Томск, 2018)

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

Результаты диссертационных исследований опубликованы в 7 печатных работах, в том числе четыре – в журналах, рекомендованных ВАК РФ: «Промышленная энергетика», «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики», «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов». две – в журнале, индексируемом базами данных «Scopus» и «Web of Science» : «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов». Опубликованы три работы в издании «MATEC Web of Conferences».

Статьи в журналах из перечня рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Салум, А. Особенности использования геотермальной энергии с применением теплонасосных установок в условиях низких температур воздуха / А. Салум, В. И. Максимов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 2. – С. 115–123.
2. Салум, А. Математическое моделирование процессов теплопереноса при работе теплонасосных систем использования геотермальной энергии / А. Салум, В. И. Максимов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 4. – С. 126–135.
3. Салум, А. Нестационарность процесса выработки теплоты при работе тепловых насосов в зимних условиях / А. Салум, В. И. Максимов // Промышленная энергетика. – 2019. – № 3. – С. 46–53.
4. Салум, А. Работа водяного теплового насоса в условиях образования льда на поверхности трубки испарителя / А. Салум, В. И. Максимов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – № 3–4. – С. 41–49.
5. Saloum, A. Efficiency evaluation for the heat pump system in sharp continental climate/ A. Saloum, V. Maksimov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 110. – P. 1–5.

6. Saloum, A. Convection influence on ice formation process on the evaporator heat pump pipes/ A. Saloum, V. Maksimov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 141. – P. 1–5.
7. Saloum, A. An experimental study of the effect of water bodies temperature on water heat pump performance/ A. Saloum, V. Maksimov // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 194. – P. 1–4.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика, пунктам из паспорта специальности:

1. Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в промышленных теплоэнергетических устройствах и использующих тепло системах и установках.
2. Теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса в тепловых системах и установках, использующих тепло. Совершенствование методов расчета тепловых сетей и установок с целью улучшения их технико-экономических характеристик, экономии энергетических ресурсов.
3. Разработка теоретических аспектов и методов интенсивного энергосбережения в тепловых технологических системах.

Диссертация «Характеристики работы водяного теплового насоса в условиях образования льда на поверхности трубки испарителя» Салума Амера рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика.

Заключение принято на заседании научного семинара Научно-образовательного центра И.Н.Бутакова федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании – 21 чел. Результаты голосования: «за» – 21 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 23 от 22 марта 2019 г.



(Председатель научного семинара:
Борисов Борис Владимирович
Доктор физико-математических наук,
Научно-образовательный центр И.Н.Бутакова, Профессор)



(Секретарь научного семинара:
Савостьянова Людмила Викторовна
Кандидат технических наук)

