

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.18 Стрижака Павла Александровича на диссертацию Салума Амера на тему «Характеристики работы водяного теплового насоса в условиях образования льда на поверхности трубки испарителя» по специальности «05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Анализ международной и отечественной периодической литературы в направлении развития блоков, агрегатов и систем промышленной теплоэнергетики показывает, что применение водяных тепловых насосов (ТНУ) для нагрева жидкости вместо и/или совместно с системами, получающими тепловую энергию при сжигании органического топлива, экологически и экономически обосновано. Известные результаты исследований показывают, что источником энергии могут быть воздушные потоки, тепло из недр земли, а также природные водоёмы. Водяные тепловые насосы подразделяются на два вида: с открытым и замкнутым контуром. Для каждой категории имеются условия работы, при которых можно существенно интенсифицировать процессы тепломассопереноса. Известно, что в теплонасосной установке, в которой не используется промежуточный теплообменник с антифризом, снижаются затраты на конструкцию и эксплуатацию установки. При прямом контакте между фреоновой трубкой и водой происходит образование льда на теплообменных поверхностях испарителя. К сожалению, пока не исследованы интегральные характеристики эксплуатации теплового насоса в подобных условиях. Как следствие, можно сделать вывод о том, что **тема диссертационной работы Салума Амера, целью которой является установление основных закономерностей процессов образования и таяния льда на поверхности трубок испарителя водяного теплового насоса, функционирующего в условиях относительно низких температур воды в непроточном водном источнике теплоты, и анализ эффективности работы ТНУ при изменении интенсивности теплообмена в результате образования льда на поверхности трубки испарителя, безусловно, актуальна.**

Диссертация Салума Амера выполнена на 158 страницах, состоит из введения, пяти глав и заключения. Работа включает 54 рисунка, 12 таблиц и список литературы, состоящий из 161 наименования.

Во введении автор обосновывает актуальность проводимых исследований, формулирует цель и задачи диссертационной работы. Приводится описание научных положений, выносимых на защиту, подчеркивается их новизна и практическая ценность, а также комментируется краткое содержание работы.

В первой главе приведены общие сведения о тепловых насосах, описаны стадии процессов технологической переработки теплоты низкопотенциального источника для нагрева воды, рассмотрены параметры, влияющие на эксплуатацию теплового насоса. Проанализированы различные источники низкопотенциальной теплоты, представлены температурные показатели воды в озёрах и реках Сирии и Российской Федерации в разные сезоны. Рассмотрены наиболее типичные хладагенты, используемые в контуре теплового насоса. Проведен анализ содержания публикаций, в которых рассмотрены процессы кристаллизации воды на теплообменных поверхностях испарителя и теплообмена между водой и стенками трубок с температурой ниже 273 К.

Во второй главе приведено описание использованной в экспериментах теплонасосной экспериментальной установки, методики проведения опытов и обработки полученных результатов. В этой главе также приведены результаты экспериментов по регистрации температуры воды вблизи поверхности трубки испарителя и конденсатора, а также последних.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований влияния течения, возникающего в воде вблизи трубки испарителя в результате термогравитационной конвекции, на процесс кристаллизации воды на поверхности трубки. Проведено сравнение характеристик теплопереноса между водой в области трубки испарителя и хладагентом с полученными экспериментальными данными. Обоснована необходимость учета термогравитационного течения, возникающего в непроточном водоеме в

холодный период года, при определении параметров теплообмена между трубкой с фреоном и водой. Установлены условия и интегральные характеристики процессов образования и таяния льда.

В четвертой главе 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, равных 291 К, 298 К и 301 К, соответственно.

Пятая глава включает результаты математического моделирования процесса теплообмена между трубкой испарителя и водой в условиях термогравитационной конвекции и кристаллизации воды на поверхности трубки. Рассчитаны поля температур при разном расположении трубок испарителя, толщин льда на их поверхности, построены поля скоростей и линий тока вблизи поверхности трубки испарителя в разные моменты времени. Проведено сравнение тепловых потоков, вычисленных с и без учета влияния конвективных течений и процессов фазового перехода на теплообменной поверхности трубки испарителя. Выполнено сравнение теоретических и экспериментальных результатов исследования.

В заключении сформулированы основные выводы и прокомментированы результаты диссертационных исследований.

Содержание автореферата соответствует рецензируемой диссертации.

Научная новизна рецензируемой диссертации состоит в следующем:

- Создана база данных с характеристиками процессов теплопереноса в условиях кристаллизации воды на поверхностях трубок испарителя водяного теплового насоса: зависимости температуры поверхности трубок испарителя и конденсатора, толщины льда, температуры теплоносителя от времени и др.

- На основании сформированной базы данных 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 значения длины трубки испарителя, достаточные для работы теплового насоса при определённой толщине льда на части рабочей поверхности испарителя.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что установлены условия эксплуатации водяного теплового насоса при образовании льда на поверхностях теплообменника испарителя, погруженного в водоем с непроточной водой при низкой температуре. Определены характеристики работы водяного теплового насоса в зависимости от температуры воды, как источника низкопотенциальной теплоты и температуры теплоносителя в системе обогрева здания.

Достоверность результатов обеспечивается их стабильным соответствием при многократном воспроизведении в одних и тех же условиях, использованием аттестованных методик, статистической обработкой экспериментальных данных и анализом погрешностей измерений.

При комментировании **личного вклада автора** диссертации сформулированы важные пояснения, которые дают понять масштабы проделанной работы и выделить результаты, которые получены непосредственно соискателем.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации дает основание для формулирования нескольких **замечаний и рекомендаций**:

1. При анализе результатов исследований мирового научного сообщества используются групповые ссылки, которые могут превышать даже 10

источников при одном упоминании. При таком подходе размывается конкретика описываемых факторов и эффектов. Следует более конкретно ссылаться на ранние работы и иллюстрировать отличия с объяснением возможных причин.

2. При формулировании физической и математической моделей нет ссылок на результаты проведенных экспериментов (связь этих разделов не прослеживается) и не приводятся обоснования причин выбора системы уравнений и программного комплекса для выполнения моделирования. Рационально приводить такие обоснования, так как в настоящее время широко применяются различные пакеты моделирования, с применением которых можно было решить поставленные задачи.
3. Целесообразным является проведение теоретического или экспериментального анализа влияния проточной воды на характеристики процесса образования и таяния льда.
4. Практически на всех приведенных зависимостях температуры и толщин льда от времени можно видеть немонотонные участки и флуктуации. В тексте диссертации анализу этих закономерностей уделено мало внимания. Целесообразно пояснить причины их проявления. Они связаны с особенностями расчетной сетки, либо с другими факторами и эффектами.
5. В тексте диссертации и автореферата имеются опечатки при написании окончаний слов и использовании знаков препинания, а также в размерностях. Также осложняет чтение диссертации использование индексов в обозначениях на двух языках (русский и английский).

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Салума Амера. Их можно расценивать в качестве рекомендаций автору для учета в дальнейшей научной работе.

По теме диссертации автором опубликованы 7 работ, из них 4 – в рецензируемых изданиях из списка ВАК («Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», «Промышленная энергетика»,

«Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики») и 2 – в рецензируемых изданиях, индексируемых базами Scopus («Matec Web of Conferences»). Результаты исследований докладывались на всероссийских и международных конференциях, перечисленных в автореферате и рукописи диссертации.

Диссертационная работа Салума Амера удовлетворяет требованиям п. 8 Порядка присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области повышения эффективности работы тепловых насосов, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – «Промышленная теплоэнергетика».

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.18,
профессор Исследовательской школы физики
высокоэнергетических процессов
Томского политехнического университета,
доктор физико-математических наук, профессор
Стрижак Павел Александрович

Подпись П.А. Стрижака заверяю
Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета
Ананьева Ольга Афанасьевна

почтовый адрес 634034, г. Томск, ул. Усова, 7, учебный корпус № 8, ауд. 263
электронный адрес pavelspa@tpu.ru
номер телефона +7 (3822) 606-102, 701-777, вн. 1910

14 мая 2019 г.