

АННОТАЦИЯ

на диссертационную работу PhD-докторанта

Джамашевой Риты Адировны

на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности

6D072400 – Технологические машины и оборудование

«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ИЗЛУЧЕНИЯ В НЕБЕСНУЮ СФЕРУ»

Целью работы является повышение энергоэффективности, устойчивости работы холодильной системы путем излучения тепловой энергии в атмосферу и снижения давления конденсации в жаркий период времени

На основе проведенного литературного анализа и в соответствии с целью решались следующие задачи:

Задачи работы:

1. Анализ способов охлаждения конденсаторов и принципиальных схем снижения давления конденсации холодильной машины.
2. Расчетно-теоретический анализ энергоэффективности холодильной машины при снижении давления конденсации путем отвода тепловой энергии излучением в атмосферу в зависимости от климатических условий.
3. Расчет, разработка и изготовление экспериментальной холодильной системы с дополнительным жидкостным конденсатором, с отводом теплового излучения в атмосферу для снижения давления конденсации холодильной машины.
4. Проведение экспериментальных исследований холодильной системы с конденсатором воздушного охлаждения и с дополнительным жидкостным конденсатором в различных метеорологических условиях.
5. Разработка компьютерной модели холодильной системы с отводом тепла от дополнительного жидкостного конденсатора, тепловым излучением в атмосферу.
6. Проведение экономического анализа эффективности холодильной системы с конденсатором воздушного охлаждения и дополнительным жидкостным конденсатором, с отводом тепла излучением в атмосферу.

Научная новизна:

- разработана методика определения основных характеристик и суточного энергопотребления холодильных систем с комбинированным узлом, где в жаркие летние дни происходит отвод тепла конденсации за счет теплового излучения в атмосферу;

- разработаны алгоритм модели теплового баланса комбинированного узла и компьютерная модель расчета холодильной системы с дополнительным жидкостным конденсатором, с отводом энергии теплового излучения в

атмосферу с учетом климатических условий региона;

- получены формулы для расчета минимального объема аккумулятора холода, минимальной площади радиатора, энергопотребления компрессора при одновременном использовании КЖО и КВО и формулы для определения количества электроэнергии, потребляемое холодильной системой.

Практическая ценность работы:

- разработан метод расчета и компьютерная модель позволяющие производить проектирование установок для охлаждения конденсатора с использованием теплового излучения в атмосферу (Приложение Б).

- предложены результаты оценки области эффективного применения установки для охлаждения конденсатора, обусловленные регионом расположения объекта охлаждения (Приложение А).

- разработаны рациональные конструкции: установка для охлаждения пищевых продуктов с помощью последовательных конденсаторов и теплового излучения (патент на полезную модель с использованием теплового излучения №4408 от 05.04.2019г. «Установка для охлаждения молока» Приложение В)

Объект исследования: Парокомпрессионная холодильная машина с комбинированно включенными конденсаторами, в которой теплота конденсации хладагента отводится в виде теплового излучения в атмосферу.

Предметом исследовательской работы является процесс понижения давления конденсации, охлаждения теплоносителя в радиаторе и их влияние на энергоэффективность и экономичность холодильной системы.

Апробация практических результатов. Основные результаты диссертационной работы представлены на международных научно-практических конференциях, проведенных в Казахстане и за рубежом, обсуждены на расширенном заседании кафедры «Машины и аппараты производственных процессов» АТУ. Основная часть теоретических и экспериментальных исследований и практических разработок проведена в Алматинском технологическом университете и в «Одесской национальной академии пищевых продуктов» во время стажировки докторанта.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе Алматинского технологического университета при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Машины и аппараты производственных процессов», «Холодильные машины и системы кондиционирования» (Приложение Е).

Разработанные рекомендации методика и модель используются в ТОО «Тениз» при разработке холодильных систем с тепловым излучением в атмосферу. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования представлен в приложении (Приложение Г). А также результаты работы использованы при разработке промышленной экспериментальной установке в проекте АР09258901/ГФ на 2021-2023 г.г. «Исследование и разработка комбинированных холодильных систем с радиационным охлаждением для промышленного холодоснабжения и кондиционирования воздуха» (Приложение Д).

Научные положения, выносимые на защиту:

- предложена теория эффективного применения теплового излучения в атмосфере для охлаждения жидкостного конденсатора;
- эффективный способ, доказывающий возможность снижения давления конденсации с использованием охлажденного теплоносителя тепловым излучением в атмосфере с учетом климатических условий региона и дополнительным жидкостным конденсатором;
- система уравнений элементов холодильной системы позволяющая определить энергозатраты и экспериментальная модель, описывающая зависимость удельных затрат энергии при охлаждении последовательно расположенными конденсаторами

Актуальность темы:

С ростом технического прогресса возобновляемые источники энергии является особенно актуальными, так как традиционные источники энергии - уголь, газ, нефть не бесконечны, в связи с их истощением, а также их влиянием на экологический баланс планеты, на здоровье и безопасность человечества.

В связи с актуальными проблемами ведущим приоритетом модернизации технологического оборудования является снижение энергопотребления холодильных машин путем повышения их энергетической эффективности.

Президент Касым-Жомарт Токаев на проведенном совещании о создании рабочей группы по вопросам развития электроэнергетической отрасли дал поручение разработать Концепцию по низкоуглеродному развитию Казахстана до 2050 года с включением мер по "зеленому росту" и глубокой декарбонизации национальной экономики. Распоряжение Премьер-Министра Республики Казахстан от 29 декабря 2020 года. Правительство также работает над Национальным проектом по развитию электроэнергетики, готовится энергобаланс страны до 2035 года.

Глава государства сказал: «...Ранее мы определили цель довести этот показатель до 10 % к 2030 году. С учетом новых реалий и текущей положительной динамики ставлю задачу увеличить долю ВИЭ в электрогенерации до 15 % к 2030 году» .

На предприятиях пищевой промышленности в регионах с жарким летним климатом и сухим воздухом в конденсаторе с воздушным охлаждением холодильной машины происходит значительное повышение температуры и как следствие повышение давления. Это характерно для континентального климата Средне Азиатского региона в том числе и Казахстана. Выбор направления диссертационной работы разработки холодильной системы с более эффективным способом охлаждения конденсатора с применением возобновляемого источника энергии.

Для понижения давления конденсации совместно с конденсатором воздушного охлаждения (КВО) предлагается применять дополнительную установку с тепловым излучением в атмосферу.

Одним из способов решения данной проблемы является

последовательная установка воздушного и жидкостного конденсаторов охлаждаемого тепловым излучением в атмосферу и естественной конвекцией.

Существует множество схем холодильных установок с использованием РО, возможность использования которых зависит от климатических особенностей зоны расположения охлаждаемого объекта, а также от требуемого температурного режима. В работе предлагается при помощи разработанной ранее модели оценить возможный уровень энергосбережения в системе хладоснабжения за счет использования РО при её работе в различных городах. Подобные исследования ранее не проводились

В условиях жаркого летнего климата возникает проблема, связанная с повышением давления конденсации в пароконденсационных холодильных машинах (ПКХМ), вызывающая в свою очередь снижение холодильного коэффициента и повышение расхода электроэнергии компрессором. Например: В южных регионах с континентальным климатом (например, на юге Казахстана) температура атмосферного воздуха в отдельные дни достигает 45°C. С учетом нагрева воздуха солнечной радиацией, температура конденсации в КВО может достигать 60°C и выше.

Для повышения эффективности ПКХМ предлагается последовательно с конденсатором воздушного охлаждения устанавливать конденсатор жидкостного охлаждения.

Диссертационная работа выполнена в рамках проекта 0118РК00535 по гранту КН МНВО РК АР5130918/ГФ «Исследование и разработка научно-инженерных основ для применения радиационного охлаждения в системах холодоснабжения и кондиционирования» на 2018-2020 г.г., проекта АР09258901/ГФ «Исследование и разработка комбинированных холодильных систем с радиационным охлаждением для промышленного холодоснабжения и кондиционирования воздуха» на 2021-2023 г.г., а также индивидуальным планом докторанта.

Оценка современного состояния решаемой научной проблемы.

Наряду с ростом населения, развитием промышленности и стремлением людей к более комфортной окружающей среде, в 21 веке наблюдается бурный спрос на электроэнергию в холодильной сфере. Современная традиционная технология охлаждения сталкивается с проблемами большого энергопотребления и парникового эффекта, вызванного выбросами парниковых газов при производстве электроэнергии и утечке хладагентов в окружающую среду.

Физическое явление охлаждения объектов в ночное время ниже температуры приземного слоя воздуха носит название Эффективного излучения Земли. Поверхность предмета, расположенная горизонтально при определенных погодных условиях (безоблачной ночью наблюдается максимальный эффект) и отсутствии приходящего излучения способна излучать больше тепловой энергии, чем получать обратно от внешних источников. В результате ее температура может поддерживаться ниже температуры окружающего воздуха. Подводя теплоноситель к излучающей поверхности, можно осуществлять его охлаждение. Используемый в работе

данный эффект охлаждения, с помощью которого будет поддерживаться температура теплоносителя близкая к ночному воздуху называется радиационным охлаждением (РО).

Радиационное охлаждение за счет теплового инфракрасного излучения в атмосферу – экологически чистый, альтернативный способ производства холода.

Казахстан, занимает лидирующую позицию в мире по выбросу парниковых газов на единицу ВВП. Поэтому наша республика активно включилась в решение этой проблемы и внедрила систему торговли квотами на выбросы углекислого газа. Значительная часть выбросов углеводородов приходится на сектор энергетики, в свою очередь холодильные машины потребляют порядка 20% мирового уровня электроэнергии. Холодильные машины и системы кондиционирования воздуха имеют значительный уровень потребления электроэнергии на промышленных предприятиях, в коммерческих зданиях так и в частных домах. При этом увеличивается распространенность холодильного оборудования и систем кондиционирования воздуха, а также происходит рост цен на энергоносители.

Основанием для разработки темы явилась необходимость устранения выявленных технических недостатков технологического холодильного оборудования таких как, возрастание давления конденсации, повышение степени сжатия компрессора, увеличение потребления электроэнергии, нарушение устойчивости работы и в итоге уменьшение срока службы компрессора, дефицит и высокая стоимость пресной воды, замерзание воды в зимнее время.

Исходными данными к выполнению работы явились результаты научных исследований, анализы, разработки и предварительные расчетные данные по совершенствованию технологического оборудования для снижения давления конденсации и понижения расхода электроэнергии компрессора. Известные системы охлаждения, в которых радиационное охлаждение применяется для охлаждения промежуточного теплоносителя, и дальнейшее использование его для понижения температуры охлаждаемого объекта, имеют недостатки такие как высокая стоимость системы в связи с большим количеством теплоносителя в системе, низкая экономичность, большой аккумулятор холода и т.д.

Обоснованием необходимости проведения научно-исследовательской работы послужила недостаточная изученность технологических процессов и оборудования для понижения давления конденсации, охлаждения теплоносителя в радиаторе и их влияние на энергоэффективность и экономичность холодильной системы, отсутствие научно-обоснованных решений, позволяющих увеличить производительность и технологическую эффективность оборудования.

Сведения о планируемом научно – техническом уровне разработки.

Результаты проведенных исследований позволят создать энергосберегающую установку, состоящей из экспериментального узла с РО и холодильной машины с последовательно включенными конденсаторами

воздушного и жидкостного охлаждения, с учетом особенностей климатических условий, а также методики инженерного расчета, основанный на фундаментальных законах термодинамики. Это свидетельствует о высоком научно – техническом уровне разработки и является новым, перспективным направлением развития холодильной техники.

Сведения о патентных исследованиях.

Был проведен патентный поиск систем хладоснабжения, совмещающих в себе возможность использования теплового и парокомпрессионной холодильной машины, по базам данных Казахстана, России, СССР, США, стран Евросоюза с глубиной поиска 50 лет. Недостатком известных холодильных установок является их низкая экономичность в периоды, когда холод вырабатывается путем естественной циркуляции хладагента, то есть с отключенными компрессорами. Проведенный анализ позволил сделать заключение, что предлагаемая установка является энергосберегающей и позволяет повысить технологическую эффективность рассматриваемого процесса. В данной работе проведена разработка и исследование холодильной системы с КВО и дополнительным жидкостным конденсатором охлаждаемым отводом тепла конденсации радиационным охлаждением и естественной конвекцией.

Сведения о метрологическом обеспечении научно – исследовательской работы. При проведении исследований использовались поверенные, откалиброванные приборы. Методики выполнения измерений и класс точности приборов соответствуют «Закону об обеспечении единства измерений».

Личный вклад автора.

Автором проведен анализ существующих установок с использованием теплового излучения в атмосферу, обоснована актуальность, разработана экспериментальная установка и проведены исследования.

Автор участвовал в разработке методики и алгоритма расчета, в компьютерном моделировании и в разработке запатентованных установок.

1. Проведенный анализ способов охлаждения конденсаторов и принципиальных схем снижения давления конденсации холодильной машины показал, что с помощью последовательно включенными КВО и КЖО можно снизить давление конденсации, тем самым повысится устойчивость работы и в итоге увеличивается срок службы компрессора. Способ разработки энергоэффективных установок для охлаждения конденсаторов с использованием альтернативных источников энергии можно считать одним из наиболее перспективных направлений развития энергосберегающих видов технологических машин и оборудования.

2. Проведен расчетно-теоретический анализ влияния снижения давления конденсации, путем использования естественного холода и энергии теплового излучения в атмосферу на эффективность холодильной машины в зависимости от климатических условий. В пиковое время нагрузки на узел конденсации $\tau_{\text{охл}}$, температура конденсации снижается в жидкостном теплообменнике на среднюю величину $\Delta t_{\text{к.то.}} = 10\text{К}$, и значения энтальпии в точках 2, 2', 3, 3'

будут соответствовать пониженному значению температуры конденсации на 10К (по экспериментальным данным), и соответственно снижению давления p_k на $3 \cdot 10^5$ Па (для R134a). Средняя температура при использовании жидкостного конденсатора $T_k = +30^\circ\text{C}$. Потребляемая мощность установки в этом случае составляет $\sim 0,3$ кВт. При работе установки в течение 2 часов потребляется 0,6 кВт.

При 2 часах максимальной температуры в сутки экономия энергии составляет около $1 - 0,6 = 0,4$ кВтч в сутки.

При использовании этой конструкции с подключенным жидкостным теплообменником экономия энергии составляет $90 \cdot 0,4 = 36$ кВтч в течение примерно 90 дней в летние месяцы.

Экспериментальная установка, рассматриваемая в данном исследовании, разрабатывается для применения в условиях резко-континентального климата. Исследование проведено в городе Алматы. Данный город расположен на 43° северной широты. Климат города отличается значительным суточным изменением температуры воздуха, превышающим 10°C . Для проведения расчетов использованы данные о температуре атмосферного воздуха (рисунок 9)

3. Разработана и изготовлена экспериментальная установка для охлаждения конденсатора. Экспериментальная установка ХМ с ПК включает в себя стандартную холодильную машину с компрессором, и в добавок к ней после конденсатора воздушного охлаждения подключен конденсатор жидкостного охлаждения, который в свою очередь связан с аккумулятором холода. В качестве теплоносителя используется раствор пропиленгликоля 40% (температура застывания -26°C). Допускается в эксперименте использовать и воду, но её необходимо будет сливать в холодное время года.

В установке используется малый поршневой герметичный компрессор Wansheng WQ15HF (Китай) с холодопроизводительностью $Q_0 = 332,9$ Вт при температуре кипения $t_0 = -23,3^\circ\text{C}$ и температуре конденсации $t_c = +54,4^\circ\text{C}$ (низкотемпературный режим работы по стандарту ASHRAE LT). По всем характеристикам данный компрессор является точным аналогом компрессора Secop (Danfoss) SC15F.

В качестве конденсатора воздушного охлаждения КВО используется ребристо-трубный теплообменник Kaideli FNHM 12/4 (Китай) с площадью теплообменной поверхности 4 м². Его вентилятор потребляет 30 Вт, а номинальная сбрасываемая тепловая мощность составляет 1200 Вт.

Конденсатор жидкостного охлаждения КЖО представляет собой цилиндрическую металлическую ёмкость диаметром 220 мм и высотой 625 мм, изготовленную из ресивера модели GVN VLR.33b.21.B6.C6.F4 (Турция). Внутри ёмкости навита спираль из медной трубы с наружным диаметром 9,52 мм, длиной 7 м. Площадь теплообменной поверхности спирали $0,2$ м². Хладагент подается внутрь спирали из медной трубы. Теплоноситель заполняет пространство между ёмкостью и спиралью.

Все элементы, кроме радиатора расположены внутри помещения. Радиатор расположен на улице (рисунок 15).

Температура кипения: -10°C
Температура конденсации: $+29^{\circ}\text{C}$
Перегрев: 10°C ;
Переохлаждение: 5°C ;
Температура атмосферного воздуха: $+25^{\circ}\text{C}$;
Температура атмосферного воздуха пиковая: $+35^{\circ}\text{C}$;

В программе «CoolPack» по расчету:

Температура нагнетания: $+75^{\circ}\text{C}$;
Холодопроизводительность: 688 Вт ;
Теоретическая работа сжатия хладагента: 123 Вт ;
Полный КПД компрессора: 65%
Электрическая мощность электродвигателя компрессора: 189 Вт ;
Теплота конденсации: 811 Вт ;
Массовый расход хладагента: $0,0043\text{ кг/с}$
Объемный расход хладагента: $0,000447\text{ м}^3/\text{с} = 1,61\text{ м}^3/\text{час}$

4. В ходе эксперимента установлено, что температура конденсации может быть снижена с $+35,6$ до $+31,4^{\circ}\text{C}$ за счет включения КЖО при низкой температуре воздуха, подаваемого в КВО (менее $+30^{\circ}\text{C}$). При высокой температуре воздуха, подаваемого в КВО, температура конденсации может быть снижена с $+48,5$ до $+38,3^{\circ}\text{C}$ за счет включения КЖО.

Включение КЖО приводит к увеличению электрической мощности N_e , потребляемой установкой, так как включается насос Н2. снижение давления конденсации, приводит к увеличению холодопроизводительности компрессора Q_0 , что вызывает рост холодильного коэффициента установки ε .

5. Проведено моделирование холодильной установки при помощи которой определены параметры основных элементов системы, а также снижение суточного энергопотребление на $6,5\%$ по сравнению с обыкновенными ПКХМ (с 421 Вт до 385 Вт , т.е. на 36 Вт). Разработана компьютерная модель холодильной системы с конденсатором воздушного охлаждения с отводом тепла от дополнительного жидкостного конденсатора, тепловым излучением в атмосферу.

6. Проведено экономический анализ эффективности холодильной системы с конденсатором воздушного охлаждения при применении дополнительного конденсатора, охлаждаемого тепловым излучением в атмосферу.

В связи с международными стандартами принято, что приемлемым сроком окупаемости решение повышающее энергоэффективность допустимым является срок до 7 лет, в нашем случае при общей стоимости установки стоимость дополнительного конденсатора и с аккумулятором холода составляет $4\ 270\ 044\ \text{тг.}$, что в пересчете получается снижение потребления энергии и срок окупаемости $4,6$ года.

Срок окупаемости установки с дополнительным жидкостным конденсатором и тепловым излучением в атмосферу составил 4,6 года.

Установка является безопасной для окружающей среды, поскольку не выделяет в атмосферу вредных веществ.

Публикации. Теоретические и экспериментальные исследования нашли отражение в 20 научных публикациях, в том числе 4 статей в журналах с нулевым импакт-фактором, входящих в базы данных Web Of Science и Scopus; 2 статьи в журнале рекомендуемой Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан; 14 публикаций в материалах международных научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора, теоретического расчета, экспериментальных исследований, компьютерного моделирования и их обсуждения с выводами, технико-экономической эффективности и заключения.

Список использованных источников включает в себя 101 наименование. Работа изложена на 115 страницах компьютерного текста, содержит 23 таблиц, 34 рисунков и 6 приложения.

