

На правах рукописи



АЛЬ-ОКБИ АХМЕД КХАЛИЛЬ КАРИМ

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ Г. БАГДАД
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА ПРИ
КОНДИЦИОНИРОВАНИИ ВОЗДУХА**

2.4.5 – Энергетические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ваньков Юрий Витальевич

Официальные оппоненты: **Велькин Владимир Иванович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии, ФГАОУ ВО УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, профессор.
Кириченко Анна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», доцент.

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»**

Защита состоится «25» марта 2025 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.2.310.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51, ауд. Д. - 224, тел/факс (843) 519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с указанием контактных данных и заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 420066 г. Казань, ул. Красносельская, 51, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.310.02

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» и на официальном сайте КГЭУ <http://www.kgeu.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зиганшин Ш. Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В Ираке летом, из-за высоких температур, достигающих 50 °С увеличивается потребность в кондиционировании воздуха. Использование кондиционеров, приводит к существенному увеличению потребления электроэнергии. В жаркий период года более 51% выработанной электроэнергии расходуется на работу кондиционирования. Увеличение нагрузки отрицательно сказывается на энергетической системе, надежности и стабильности энергоснабжения. Происходят ежедневные перебои электроснабжения, длящиеся до 16 часов. Увеличивается расход топлива на электростанциях, что приводит к возрастанию выбросов парниковых газов и загрязнению окружающей среды.

Перебои с электроснабжением заставляют потребителей использовать альтернативные источники электроэнергии. Ими служат местные генераторы, имеющие меньший КПД по сравнению с крупными электрическими станциями, что приводит к потреблению большего количества первичных энергоресурсов. При этом возрастает нагрузка на окружающую среду (увеличиваются выброс парниковых газов, шумовое загрязнение городской застройки), повышается стоимость энергоснабжения домохозяйств.

Наиболее широко используемыми для кондиционирования воздуха, являются парокompрессионные системы. Они отличаются высокой производительностью, простотой установки, несложностью и удобством обслуживания, однако обладают и существенным недостатком - потребляют большое количество электроэнергии.

Повышение эффективности энергоснабжения путем использования тепловой энергии солнечного излучения в гибридных парокompрессионных системах в климатических условиях г. Багдада является актуальной задачей. Ее решение приведет к существенному снижению потребления электрической энергии компрессорами кондиционеров, что повысит надежность энергоснабжения, сократит потребление первичного топлива, снизит выбросы парниковых газов, уменьшит шумовое загрязнение городской среды за счет исключения необходимости использования местных дизель-генераторов.

Степень разработанности темы

В настоящее время наблюдается рост исследований по использованию тепловой энергии солнца в системах охлаждения.

M. Khalaji Assadi в работе объединил тепловой коллектор из U-образной системы вакуумных трубок с кондиционерами воздуха различной мощности от 2,93 кВт до 7,034 кВт. Результаты показали, что сочетание солнечного коллектора с системой кондиционирования воздуха и компрессором постоянного тока позволяет снизить потребление энергии на 45%. *Li Huang* с соавторами исследовали комбинированную систему солнечного отопления и охлаждения с двумя воздушными тепловыми насосами. Ими установлено, что производительность системы увеличилась более чем на 40%, а средний

холодильный коэффициент (*COP*) находился в пределах между 0,68 и 0,76. Годовая экономия электроэнергии составила 41,1% от потребления электроэнергии на охлаждение и отопление зданий. *S.M. Xu* с соавторами представили исследование абсорбционной системы охлаждения, работающей от солнечной энергии, с технологией накопления химической энергии в *LiBr-H₂O*. Результаты показали, что холодильный коэффициент установки составляет 0,753 при охлаждении воздухом и 0,756 при охлаждении водой, а удельная плотность накопления энергии составила 368,5 МДж/м³. *Mehmet Bilgili* провел исследование солнечной электрической парокомпрессионной холодильной системы (*SE-VCR*) в городе Адана (Турция). Система состоит из фотоэлектрической солнечной панели, электрического аккумулятора, двигателя постоянного тока, инвертора. *Anita Preisler* с соавторами исследовали систему испарительного охлаждения с осушителем на солнечной энергии. Результаты показали, что система с осушителем на солнечной энергии экономит 73,9% электрической энергии зимой и 18,2% летом по сравнению с традиционной системой.

Остаются неисследованными вопросы оценки влияния подводимого от солнечного коллектора тепла на параметры гибридного цикла, использования аккумулирования солнечной тепловой энергии для работы устройств кондиционирования в ночное время, эффекта для энергетической системы города при использовании солнечной энергии в системах кондиционирования.

Цель диссертационной работы: Повышение эффективности системы энергоснабжения г. Багдад путем использования тепловой энергии солнечного излучения в системах кондиционирования воздуха.

Задачи исследования:

1. Оценить потребление электроэнергии в системах кондиционирования воздуха Ирака и для г. Багдад с определением негативного влияния на систему энергоснабжения.
2. Обосновать эффективность гибридного цикла кондиционирования воздуха с использованием солнечной энергии.
3. Разработать экспериментальный стенд и получить экспериментальные данные по кондиционированию воздуха с использованием солнечной энергии.
4. Оценить эффект от аккумулирования тепла при работе гибридной системы кондиционирования в ночное время.
5. Оценить эффекты (энергетический, экологический, экономический) от внедрения гибридных систем кондиционирования воздуха для системы энергоснабжения г. Багдад.

Научная новизна:

1. Впервые получены данные, обосновывающие перебои с электроснабжением г. Багдад увеличением потребления электроэнергии системами кондиционирования воздуха в жаркий период года (4 170 МВт/ч от производства электроэнергии для г. Багдад и 13 900 МВт/ч от производства электроэнергии для Ирака).

2. Теоретически обоснована схема совмещения солнечного теплового коллектора с парокомпрессионным холодильным циклом, обеспечивающая энергосбережение.

3. Получены новые экспериментальные данные, доказывающие энергосберегающий эффект от совмещения солнечного коллектора с парокомпрессионным кондиционером. Потребление электрической энергии снизилось на (57 – 67 %).

4. Проведена оценка эффекта (энергосберегающего, экологического, экономического) для энергосистемы и потребителей г. Багдада при внедрении кондиционеров с гибридным циклом.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в обосновании причин нестабильности электроснабжения Ирака в летний период. Разработке решений по уменьшению энергопотребления путем модификации технологических схем кондиционирования с использованием нетрадиционных источников энергии. Оценке энергосберегающего, экологического и экономического эффектов при внедрении гибридных систем кондиционирования воздуха в г. Багдад.

Методология и методы диссертационного исследования.

В теоретической части работы применялись термодинамические методы анализа. Расчеты выполнялись на апробированном программном обеспечении. Экспериментальные исследования проводились с использованием поверенного оборудования, оценка неопределенности измерений проводилась по стандартным методикам.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты оценки повышения эффективности энергосистемы г. Багдада при использовании солнечных коллекторов в системах кондиционирования городских потребителей.

2. Энергосберегающая гибридная система кондиционирования воздуха, совмещающая солнечный тепловой коллектор с парокомпрессионной системой.

3. Теоретические и экспериментальные данные, демонстрирующие преимущества использования гибридной системы кондиционирования в условиях города Багдад.

4. Энергосберегающий эффект использования аккумулятора тепловой энергии при работе гибридной системы кондиционирования в ночное время.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5. – Энергетические системы и комплексы в части пунктов:

п.2 - Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.

п.3 - Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.

п.6 - Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.

п.7 - Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Достоверность полученных автором данных подтверждается сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований с результатами других авторов, использованием поверенных средств и утвержденных методик измерения.

Публикации. Основные результаты представлены в 13-ти публикациях, из них 4 статьи опубликованы в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования *Scopus* и *Web of Science*; 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК; 5 статей в сборниках входящих в международные научной конференции; 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023666533; 1 заявка на изобретение № 2024114278.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-технической конференции «*Smart energy system 2019*» «*SES – 2019*» г. Казань; Международной научно-технической конференции «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021» «*SUSE-2021*» г. Казань; Международной научно-технической конференции «*Energy system research 2021*» «*ESR – 2021*» г. Иркутск; Международной научно-технической конференции «XIII семинар вузов по теплофизике и энергетике», 2023 г. Нижний Новгород; Международной научно-технической конференции «*The 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*» г. Москва.

Объем и структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключение, рекомендации по дальнейшим исследованиям, список литературы и

приложении. Диссертация изложена на 184 страницах, включая 72 рисунков, 49 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 140 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обоснована актуальность темы исследования. Отмечается, что для г. Багдад эта работа представляет собой серьезный практический шаг для решения проблемы перебоев в подаче электроэнергии, чрезмерного потребления электроэнергии и снижения загрязнения окружающей среды.

Чрезмерное потребление электрической энергии кондиционерами в летнее время приводит к следующим проблемам: перерывам в электроснабжении; перерасходу топлива на электростанциях и увеличению выбросов и парниковых газов; во время перебоев электроснабжения, население вынуждено использовать местные дизель-генераторы, которые помимо занимаемой ими площади и шума, генерируют выхлопные газы; увеличению ежемесячной платы домохозяйств за электроэнергию; дополнительной ежемесячной плате за использование местных дизель-генераторов.

Одним из вариантов решения вышеуказанных проблем является использование тепловой энергии солнца для замещения части электрической энергии в цикле работы систем кондиционирования. Традиционная система, реализующая парокомпрессионный холодильный цикл, состоит из испарителя, компрессора, конденсатора и расширительного клапана. Компрессор является основной частью системы и потребляет большое количество электроэнергии для создания в системе давления, необходимого для перемещения хладагента по магистрали.

Гибридная система кондиционирования воздуха отличается от традиционной системы добавлением солнечного теплового коллектора за компрессором (Рис.1).

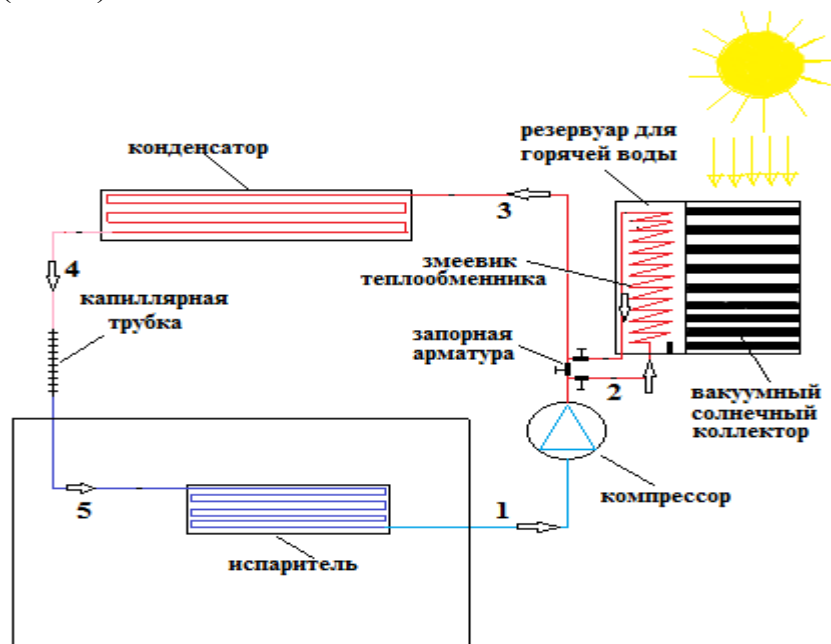


Рис. 1. Схема гибридной системы кондиционирования воздуха

Установка, реализующая гибридный холодильный цикл, состоит из шести основных частей: испарителя, компрессора, солнечного теплового коллектора, теплового аккумулятора, конденсатора и расширительного устройства. Содержит три вентиля для управления направлением потока хладагента. Коллектор поглощает солнечную радиацию, энергия которой идет на нагрев теплоносителя (воды) в баке, который в свою очередь посредством змеевикового теплообменника повышает температуру и давление хладагента, поступающего в конденсатор.

Во второй главе представлено математическое моделирование гибридной системы кондиционирования воздуха, использующей солнечную тепловую энергию, добавляемую к холодильному циклу за компрессором, с помощью змеевика теплообменника, установленного внутри теплового аккумулятора. Рассмотрены особенности идеальных и реальных термодинамических циклов разрабатываемого устройства. Показана разница между реальным и идеальным парокомпрессионным холодильным циклом и предлагаемой гибридной системы (Рис.2).

Тепловые параметры рассчитывались по следующим формулам:

Количество поглощенной тепловой энергии в испарителе Q_0 (кВт) находится по формуле (1):

$$Q_0 = m r^\circ (h_1 - h_5) \quad (1)$$

где h – энтальпии в соответствующих точках цикла (кДж/кг), $m r^\circ$ – массовый расход хладагента (кг/с).

Затем насыщенный пар, выходящий из испарителя, поступает в компрессор, повышающий его давление и температуру до перегретого состояния (точка 2).

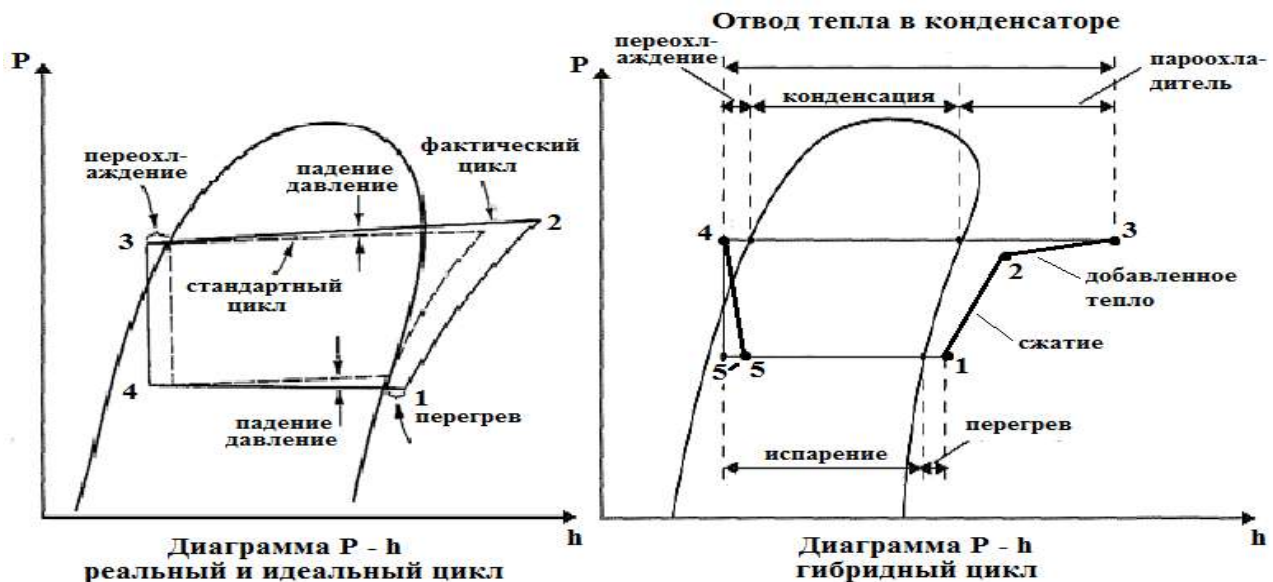


Рис. 2. Циклы идеальной, реальной и гибридной парокомпрессионной систем

Работа компрессора l_k (кВт) определяется по формуле (2):

$$l_k = m_r^\circ (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Для сравнения работы традиционной и гибридной систем

кондиционирования после компрессора установлена запорная арматура. Она управляет направлением движения хладагента через солнечный тепловой коллектор или непосредственно в конденсатор.

На выходе из теплообменника температура и давление хладагента повышается до значений, соответствующих точке (3).

Количество добавленной в цикл солнечной тепловой энергии $Q_{с.к}$ (кВт) находится по выражению (3):

$$Q_{с.к.} = m_r \cdot (h_3 - h_2) \quad (3)$$

Подведенное количество теплоты $Q_{с.к}$ повышает температуру и давление хладагента перед конденсатором. Повышение температуры в конденсаторе аналогично увеличению площади теплообмена, при этом обеспечивается конденсация хладагента в первых двух третях конденсатора. Это обеспечивает выход хладагента из конденсатора в 100% жидком состоянии и улучшает холодопроизводительность.

Количество отведенного тепла Q (кВт) в конденсаторе находится по формуле (4):

$$Q = m_r \cdot (h_3 - h_4) \quad (4)$$

Расширительное устройство представляет собой капиллярную трубку, снижающую давление хладагента от давления в конденсаторе до давления испарителя для возврата его в испаритель в жидком состоянии при низком давлении и низкой температуре (точка 5).

Расчет параметров рабочего тела в характерных точках цикла проводился для хладагента *R-410A* в программе *CoolPack*. Тепловые параметры рассчитывались по следующим уравнениям:

$$\mathcal{E} = Q_o / l_k \quad (5)$$

$$N_{эл} = I * V * PF \quad (6)$$

$$EER = Q_o / N_{эл} \quad (7)$$

$$SEER = EER / 0.9 \quad (8)$$

где \mathcal{E} – холодильный коэффициент, $N_{эл}$ – потребляемая компрессором мощность (кВт), I – Тока (А), V – Напряжение (В), PF – Коэффициент мощности, EER – коэффициент энергоэффективности, $SEER$ – сезонный коэффициент энергоэффективности.

В третьей главе описывается гибридная система кондиционирования воздуха, использующая в своей работе солнечную тепловую энергию включающая испытательный стенд и контрольно-измерительные приборы. Описан метод совмещения кондиционера воздуха работающего по парокомпрессионному циклу с солнечным тепловым коллектором вакуумного трубчатого типа.

Экспериментальная установка состоит из четырех основных частей:

1. Помещения для проведения испытаний объемом 30 м³ (4 x 2,5 x 3 м).
2. Кондиционера сплит-системы холодопроизводительностью 7,034 кВт.
3. Вакуумного солнечного теплового коллектора трубчатого типа.
4. Комплекта измерительных, датчиков и регистратора данных (ноутбук).

Внутренний блок представляет собой испаритель, установленный внутри помещения с контрольно-измерительными приборами и персональный компьютер. Наружный блок содержит компрессор, конденсатор и расширительный клапан, соединенный с солнечным тепловым коллектором установленными снаружи здания.

Компрессор производства *ZHUHAI LANDA*, используемый в традиционном холодильном цикле имел холодопроизводительность 7,034 кВт. С целью экономии электрической энергии за счет использования солнечной энергии во время испытаний он был заменен компрессором меньшей холодопроизводительности 4,44 кВт производства *HIGHLY*. Запорная арматура, установленная после компрессора, позволяет исследовать характеристики работы системы в традиционном парокомпрессионном холодильном цикле и в режиме работы гибридной системы с добавлением солнечного теплового коллектора.

В процессе проведения исследований солнечный тепловой коллектор имел ориентацию на юг с углом наклона 45 градусов.

При проведении экспериментов использовались поверенные приборы и датчики. Система заправлена хладагентом *R-410A*.

Испытания проводились в г. Багдад. Измеренные данные анализировались в программе *CoolPack*. Программа позволяет проводить расчет тепловых параметров и проводить сравнение разных режимов работы стенда с точки зрения производительности и энергопотребления.

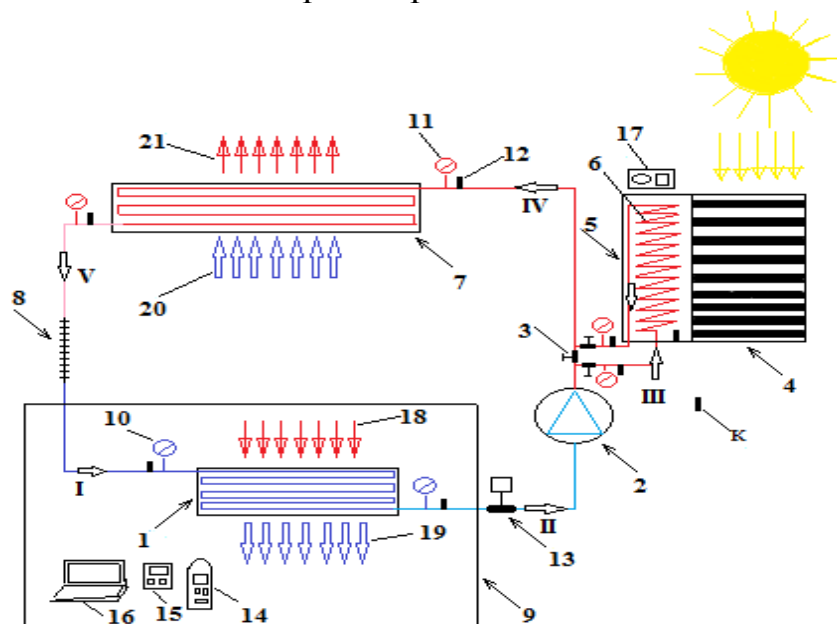


Рис. 3. Принципиальная схема солнечной системы охлаждения. I – V Направление движения теплоносителя в системе; 1 – Испаритель; 2 – компрессор; 3 – запорная арматура; 4 – вакуумный солнечный коллектор; 5 – резервуар горячей воды; 6 – змеевик; 7 – конденсатор с воздушным охлаждением; 8 – капиллярная трубка; 9 – кондиционируемое помещение; 10 – манометр низкого давления; 11 – манометр высокого давления; 12 – датчики температуры; 13 – турбинный расходомер; 14 – цифровой измеритель мощности; 15 – регистратор данных; 16 – персональный компьютер; 17 – цифровой фотометр; 18 – теплый воздух из помещения; 19 – охлажденный воздух; 20 – всасываемый наружный воздух; 21 – выдуваемый подогретый воздух

В четвертой главе обсуждаются данные, полученные при экспериментальных исследованиях режимов работы стенда и их обработки. Полученные результаты показали ряд положительных эффектов от сочетания классического кондиционера с вакуумным солнечным коллектором, установленным после компрессора.

Исследования производительности и энергопотребления разработанной системы проводились в четырех режимах – с солнечным тепловым коллектором (два режима) и без него (два режима). Первый режим представляет собой традиционную систему компрессионного холодильного цикла с компрессором холодопроизводительностью 7,034 кВт; второй режим гибридную компрессионную холодильную систему с компрессором холодопроизводительностью 7,034 кВт; третий режим традиционную систему компрессионного холодильного цикла с уменьшенной мощностью компрессора холодопроизводительностью 4,44 кВт; четвертый режим систему гибридного компрессионного холодильного цикла с уменьшенной мощностью компрессора холодопроизводительностью 4,44 кВт.

На рисунке 4 представлена потребляемая мощность компрессора. Из него следует, что потребляемая компрессором энергия в первом и втором режимах, выше, чем в третьем и четвертом, причина в том, что компрессор, используемый в цикле, имеет большие габариты по сравнению с третьим и четвертым режимами и затрачивает большее количество энергии, для выполнения необходимой работы в цикле. В третьем и четвертом режимах он потребляет меньше энергии, поскольку используемый компрессор имеет небольшие размеры, а добавленная в цикл тепловая энергия позволяет снизить работу компрессора на втором и четвертом режимах.

На рисунке 5 показана мощность конденсатора в период максимума нагрузки с 11 до 16 часов дня. Видно, что мощность, отводимая от конденсатора в первом и втором режимах выше, чем в третьем и четвертом, причина в том, что размер компрессора был больше, но тепло, поступающее в систему через солнечный тепловой коллектор на втором и четвертом режимах приводило к увеличению температуры и давления газообразного хладагента перед его поступлением в конденсатор, что способствовало выделению большего количества тепла.

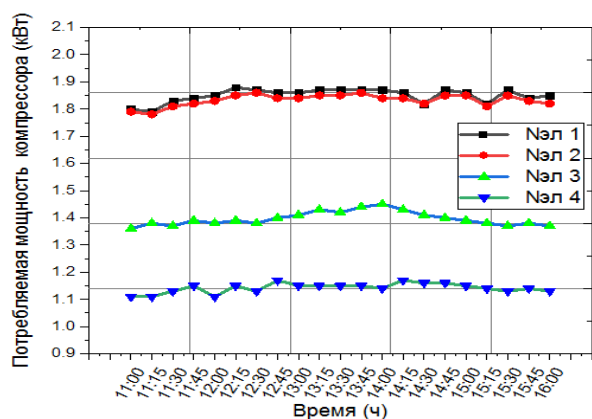


Рис. 4. Потребляемая мощность компрессора

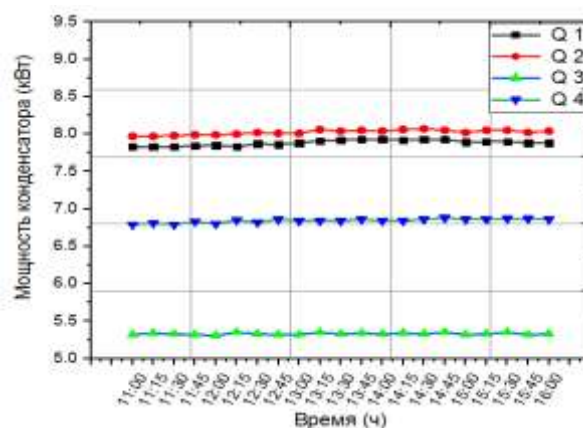


Рис. 5. Мощность конденсатора во время работы

На рисунке 6 Холодопроизводительность испарителя видно, что холодопроизводительность системы с солнечным тепловым коллектором в первом и втором режимах выше, чем в третьем и четвертом режимах. Причина в больших размерах компрессора, но тепло, добавляемое солнечным коллектором во втором и четвертом режиме, усиливает процесс конденсации в конденсаторе, что повышает производительность испарителя.

На рисунке 7 показано изменение холодильных коэффициентов для четырех режимов с течением времени. Из графика видно, что холодильный коэффициент в четвертом режиме выше, чем в первом, втором и третьем режимах за счет тепла, добавляемого через солнечный тепловой коллектор, что привело к увеличению холодопроизводительности системы, что в свою очередь увеличило холодильный коэффициент.

На рисунках 8 и 9 видно, что коэффициент энергоэффективности и сезонный коэффициент энергоэффективности системы во втором и четвертом режиме выше, чем в первом и третьем. Причина – улучшение холодопроизводительности во втором и четвертом режиме в результате применения солнечного теплового коллектора.

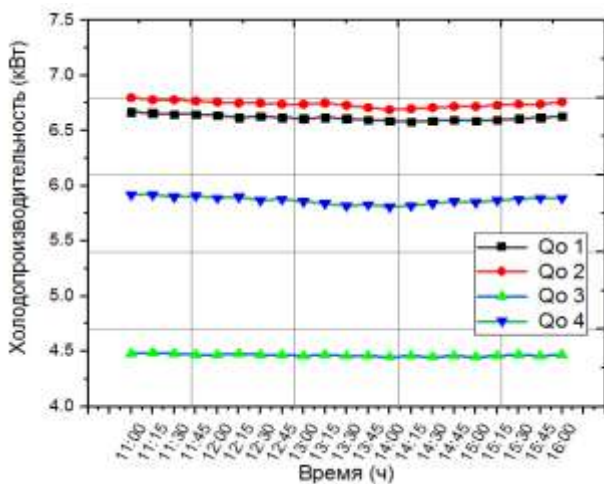


Рис. 6. Холодопроизводительность испарителя с течением времени

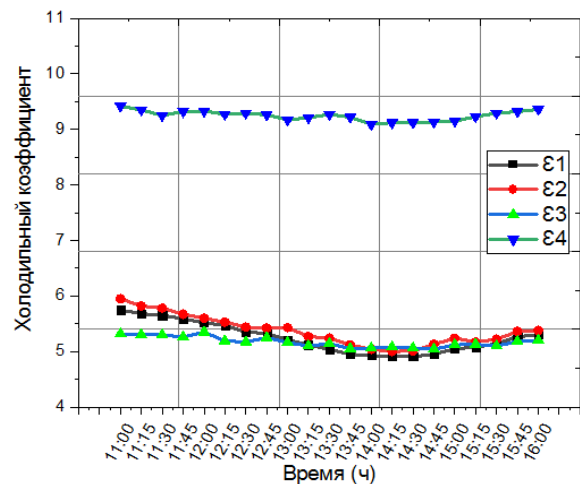


Рис. 7. Холодильный коэффициент в период эксплуатации

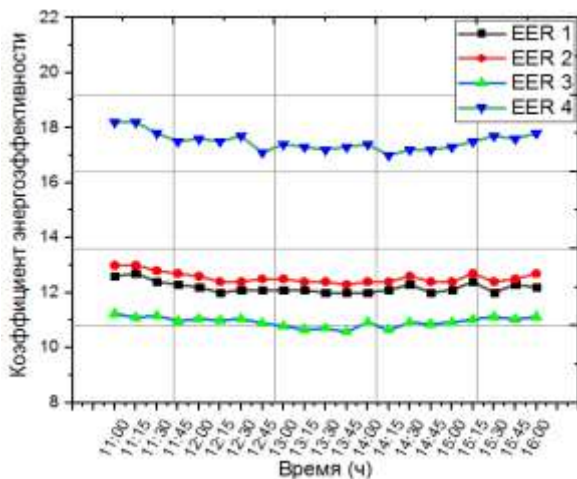


Рис. 8. Коэффициент энергоэффективности за период эксплуатации

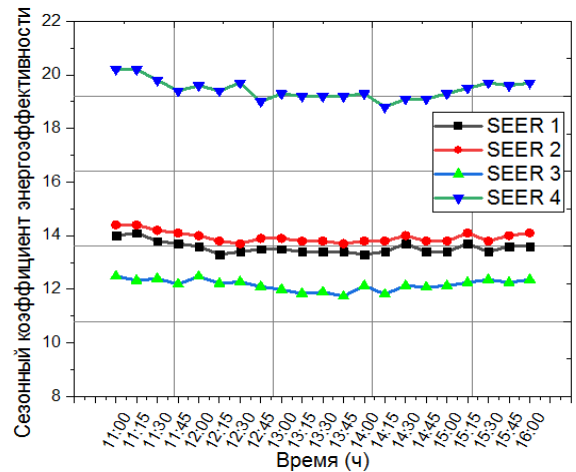


Рис. 9. Сезонный коэффициент энергоэффективности

На рисунке 10 представлено количество тепловой энергии, добавляемой в систему с течением времени. Количество тепловой энергии, поглощаемой системой охлаждения от теплообменника солнечного теплового коллектора в четвертом режиме больше, чем во втором. Это объясняется тем, что уменьшение мощности компрессора привело к уменьшению объемного расхода, давления и температуры хладагента, что позволило поглощать большее количество тепловой энергии.

Для сохранения эффективности работы гибридной системы в ночное время определен размер теплового аккумулятора и необходимое количество теплоносителя. Количество запасенного тепла в аккумуляторе оценивалась по количеству тепловой энергии, поступающей в гибридную систему кондиционирования воздуха в течении светового дня.

На рисунке 11 представлена интенсивность солнечной радиации, падающей на солнечный тепловой коллектор в период испытаний.

На рисунке 12 показана температура воды в аккумуляторе тепла в период испытаний для второго и четвертого режимов

Чтобы определить необходимый объем воды в резервуаре и количество тепловой энергии, добавляемую в систему от солнечного коллектора воспользуемся уравнениями (9) и (10).

$$Q_{с.к.} = m_r \cdot (h_3 - h_2) = m_w \cdot c_{p_w} \cdot (t_2 - t_1) \quad (9)$$

$$m_w = \frac{V_w \cdot \rho}{T} \quad (10)$$

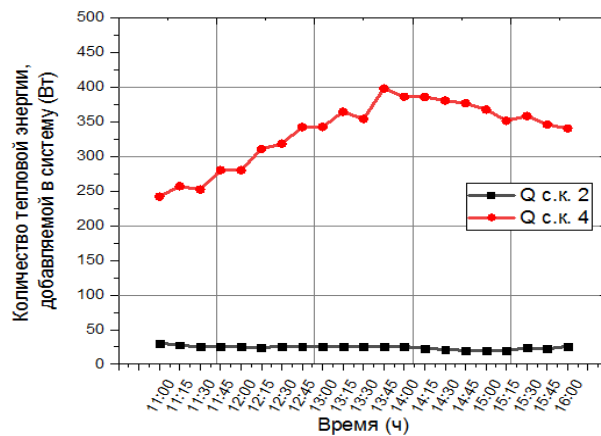


Рис. 10. Количество тепловой энергии, добавляемой в систему.

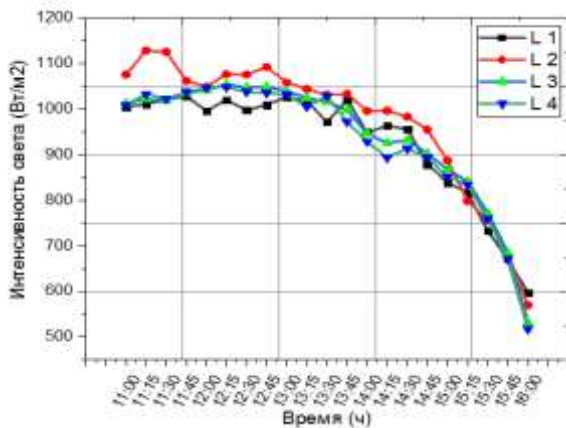


Рис. 11. количество солнечной радиации

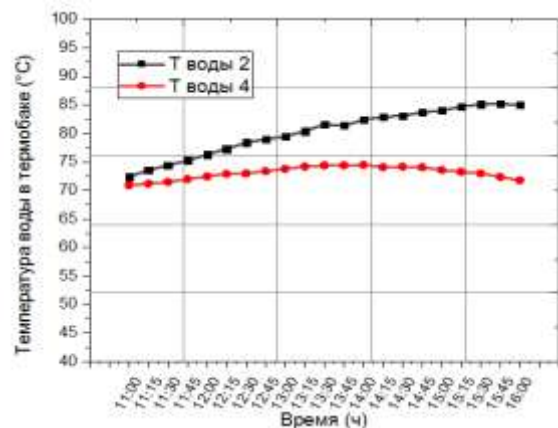


Рис. 12 Температура воды в термобаке

Тепловая энергия, подаваемая в гибридную систему кондиционирования воздуха, рассчитывалась по уравнению (3).

Обозначения величин в формулах:

$Q_{с.к}$ – тепловая энергия солнца добавляемая в систему (кВт), $m\dot{w}^\circ$ – массовый расход воды (кг/с), $ср_w$ – удельная теплоемкость воды 4,179 (кДж/кг·°C), ρ – плотность воды 1000 (кг/м³), t_1 – минимальная температура, которую должна иметь вода в тепловом аккумуляторе рассчитывается как сумма температуры хладагента на выходе из компрессора плюс пять градусов, для обеспечения процесса добавления тепловой энергии в систему (°C), t_2 – максимальная температура, достигаемая водой (°C), T - время.

По формуле (11) рассчитан объем воды в баке V_w (м³), который необходимо подвести в систему в при отсутствии солнца в ночное время

$$V_w = Q_{с.к.} * \frac{12 * 3600}{\rho * ср_w * (t_2 - t_1)} \quad (11)$$

где - 12 в числителе формулы (11) часы работы системы в отсутствии солнечного излучения, остальные обозначения те же.

В таблице 2 представлены результаты расчета тепловой нагрузки, необходимой для подачи от теплоаккумулирующей емкости в темное время суток.

Таблица 2. Результаты расчета количества тепла и объем теплоаккумулирующей емкости

Тип режима работы	Рабочие часы	$Q_{с.к.}$ кВт	t_2 °C	t_1 °C	V_w Литр
Второй режим	13:30	0,0254	81.6	58.8	11.5
	13:45	0,0253	81.4	61.2	13.0
	14:00	0,0254	82.4	61.1	12.3
Четвертый режим	13:30	0,3539	74.4	59.4	244
	13:45	0,3976	74.4	59.6	278
	14:00	0,3860	74.5	60.1	277

Количество воды, необходимое в баке для сохранения тепловой энергии от солнечного коллектора и подачи ее в систему во второй половине суток, имеет обратно-пропорциональную зависимость от температуры воды в баке. По мере повышения температуры в баке количество воды, необходимое для нагрева, уменьшается, и наоборот. Для определения максимального объема воды, необходимого для хранения в резервуаре, принимается наименьшая температура, достигаемая водой в резервуаре при максимальной потребляемой мощности.

Например, для температуры воды t_2 65, 82, 95 °C:

$$V_w = (0,397 * 12 * 3600) / (1000 * 4.179 * (65 - 60,1)) = 839 L$$

$$V_w = (0,397 * 12 * 3600) / (1000 * 4.179 * (82 - 60,1)) = 188 L$$

$$V_w = (0,397 * 12 * 3600) / (1000 * 4.179 * (95 - 60,1)) = 118 L$$

Эти расчеты показывают, что солнечный тепловой коллектор способен обеспечить теплом гибридную систему кондиционирования при максимальной потребности в тепловой энергии после заката солнца, если температура воды достигнет 82 °С и выше.

В пятой главе проведена оценка энергосберегающего, экологического экономического и эффектов от совмещения солнечного теплового коллектора с традиционной системой кондиционирования воздуха.

В таблице №3 приведены оценка энергосбережения, холодопроизводительности Q_o , мощности конденсатора Q , потребляемой мощности компрессора $N_{эл}$ в кВт, холодильного коэффициента \mathcal{E} , коэффициента энергоэффективности EER , результаты сравнения работы системы кондиционирования в разных режимах друг с другом в процентах рассчитанные по выражению (12):

$$ПИ = \left(1 - \frac{П1}{П}\right) * 100 \% \quad (12)$$

где ПИ – в данном случае величина, показывающая на сколько процентов параметр в текущем режиме (П), был больше (знак «+») или меньше (знак «-») относительно параметра в первом режиме; П1 параметр первого режима; П параметр текущего режима.

Таблица 3. Показатели параметров в 14:00 часов

Параметры	1 режим	2 режим	3 режим	4 режим	П.И. % 1-2	П.И. % 1-3	П.И. % 1-4	П.И. % 3-4
Q_o кВт	6,59	6,69	4,45	5,81	+ 1,49	- 48,09	- 13,39	+ 23,41
Q кВт	7,93	8,04	5,33	6,84	+1,37	- 48,78	-15,89	+ 22,07
$N_{эл}$ кВт	1,87	1,84	1,45	1,14	- 1,63	- 28,96	- 64,04	- 27,19
\mathcal{E}	4,93	5,04	5,06	9,09	+ 2,18	+ 2,57	+ 45,8	+ 44,33
EER	12	12,4	10,92	17,4	+ 3,22	- 9,89	+ 31	+ 37,24

Оценка экономии электроэнергии при внедрении гибридных систем кондиционирования в городе Багдад. Эксперименты, сравнивающие четыре режима работы традиционной и гибридной системы, показали, что синтез солнечного теплового коллектора с традиционной системой охлаждения позволяет снизить потребление электроэнергии на 64%.

Согласно отчету Министерства электроэнергетики и возобновляемых источников энергии Ирака, уровень потребления электроэнергии в системах кондиционирования воздуха в летнее время в городе Багдад составляет 51.1%.

Средняя выработка электроэнергии в г. Багдаде летом = 8160 МВт/ч

Электрическая энергия, потребляемая системами кондиционирования воздуха, летом составляет:

$$N_{эл} = 8\ 160 \text{ МВт/ч} * 51.1\% = 4\ 170 \text{ МВт/ч}$$

При оснащении всех систем кондиционирования г.Багдада солнечными коллекторами потребление электрической энергии ими снизится на 64 %. Новый показатель потребления электроэнергии кондиционерами с гибридной системой в г. Багдаде составит:

показатель потребления электроэнергии кондиционерами с гибридной системой в г. Багдаде составит:

$$N_{эл} = N_{эл} * (1 - 0,64\%)$$

$$= 4\,170 \text{ МВт/ч} * (1 - 0,64\%) = 1\,501 \text{ МВт/ч}$$

Оценим сокращение потребления ископаемого топлива, потребляемого электростанциями города Багдад при внедрении гибридных систем. Согласно отчету Министерства электроэнергии и возобновляемых источников энергии Ирака, количество ископаемого топлива, потребляемого на электростанциях в городе Багдад, составляет 30% от общего количества топлива, потребляемого всем Ираком (таблица 4).

Таблица 4. Доли расхода топлива на электростанциях на работу систем кондиционирования воздуха

Расход топлива на электростанциях	расход природного газа (т.у.т./ч)	расход мазута (т.у.т./ч)	расход сырой нефти (т.у.т./ч)	расход мазута + сырой нефти (т.у.т./ч)
общее потребление в Ираке	4838	893	1176	2070
доля расхода топлива для города Багдада составляет 30% от общего потребления	1451	58,8	74,4	133,5
Топливо, потребляемое традиционными системами кондиционирования воздуха в г. Багдаде, составляет 51.1% от всего расхода топлива	741,5	30	38,02,9	68,2
Потребление при внедрении гибридных систем кондиционирования в г. Багдад	266,94	10,8	16,45	24,55

Доля топлива, затрачиваемого на производство электроэнергии города Багдад, составляет 30% от общего объема топлива, расходуемого Ираком, из которых 51,1% расходуется на выработку электроэнергии для работы устройств кондиционирования воздуха.

В Багдаде около 13 000 частных дизель-генераторов потребляющих в летние месяцы топливо в количестве 20–35 л/кВА. В случае внедрения в работу систем кондиционирования солнечных коллекторов произойдет снижение потребления электроэнергии на 64%. Этого достаточно для обеспечения надежности электроснабжения и отказа от местных дизельных генераторов, что означает 100% снижение расхода топлива на выработку электроэнергии в них.

Увеличение потребления электроэнергии в летнее время связано с интенсивной работой кондиционеров из-за высоких температур, что приводит к увеличению выбросов углекислого и токсичных газов. В настоящее время Ирак выбрасывает больше парниковых газов, чем в 1990 г. Энергосбережение за счет использования возобновляемых источников энергии уменьшает антропогенную

нагрузку на окружающую среду. На рисунке 11 представлены значения выбросов диоксида углерода электростанций в Ираке. На город Багдад приходится 30% выбросов от электростанций всего Ирака.

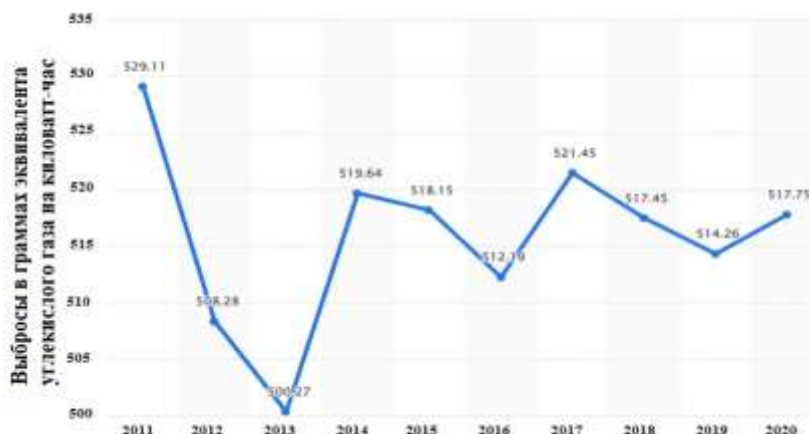


Рис. 11. Интенсивность выбросов электростанций в Ираке с 2011 по 2020 год (в граммах эквивалента диоксида углерода на киловатт-час)

Интенсивность выбросов от производства электроэнергии в Багдад:

$$517,75 \text{ ppm} * 0,3 = 155,325 \text{ ppm}$$

Выбросы от кондиционеров в Багдаде:

$$155,325 \text{ ppm} * 0,511 = 79,4 \text{ ppm}$$

Количество выбросов при внедрении гибридных систем кондиционирования:

$$79,4 \text{ ppm} * 0,36 = 28,6 \text{ ppm}$$

Исключение необходимости работы дизельных генераторов означает 100% сокращение выбросов парниковых газов, производимых ими. В Таблице 5 представлены средние значения концентрации газов, выбрасываемых местными дизельными станциями г. Багдада в августе и октябре. Допустимые концентрации газов от небольших дизельных генераторов показаны в верхней строке Таблицы 5, а измеренные значения показаны в двух нижних строках.

Таблица 5. Выбросы от местных дизель-генераторных установок

Максимально допустимые часовые концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых дизель-генераторами, согласно иракскому стандарту		CO ppm	NO _x ppm	SO ₂ ppm	H ₂ S ppm	TSP ppm
			0.26	0.05	0.14	0.005
Концентрации выбросов от местных генераторов	В августе	4.25	5.98	3.40	Не измеряется	0.48
	В октябре	2.95	3.90	2.44		0.32

Дизельные генераторы, создают значительный шум, особенно когда с них снимаются ограждения и навесы для улучшения охлаждения. Согласно «Закону о контроле над шумом» Ирака от 2015 года, предельные уровни шума в жилых районах не должны превышать следующие значения: от 55 до 60 дБА днем и 45–50 дБА ночью, в зависимости от источника шума (например, местные ремесла и

промышленные мастерские). Результаты исследований шума представлены в таблице 6.

Таблица 6. Уровень шума соседних дизелей

Минимальный уровень звукового давления (дБА) на расстоянии (м)	Максимальный уровень звукового давления (дБА) на расстоянии (м)	Примечания
63,1 <i>dBA</i> на расстоянии 10 м с корпусом	89,2 <i>dBA</i> на расстоянии 10 м без корпуса	Размер генераторных установок не указан
74,86 <i>dBA</i> на расстоянии 50 м	98,91 <i>dBA</i> на расстоянии 5 м	Состояние корпуса недоступно
69 <i>dBA</i> на расстоянии 15 м	103 <i>dBA</i> на расстоянии 1 м	Ни количество, ни номинал, ни состояние корпуса отсутствуют.
63–65 <i>dBA</i> на расстоянии 50 м	105–109 <i>dBA</i> на месте генератора	Количество генераторных установок мощностью 250 кВА отсутствует. Все агрегаты без корпусов

В Таблице 7 представлены тарифы на электроэнергию, установленные Федеральным министерством электроэнергетики в сентябре 2020 года.

Таблица 7. Тарифы на электроэнергию, установленные Федеральным министерством электроэнергетики в сентябре 2020 года

Тип клиента	Потребление энергии (кВтч) в месяц	Тариф (\$/кВтч)
Жилой	1–1500	0.83
	1501–3000	2.92
	3001–4000	6.67
	более чем 4001	10.00

Ежемесячные тарифы на дизельное топливо делятся на два типа (табл. 8). Стандартные тарифы на ограниченное время устанавливаются местными компаниями и применяются ко всем производителям, при этом предлагается услуга премиум-класса, обеспечивающая круглосуточное электроснабжение.

Таблица 8. Тарифы на электроэнергию, установленные Федеральным министерством электроэнергетики в сентябре 2020 года

Тип тарифа		Лето	Весна и осень	Зима	Стоимость топлива для операторов (центы \$/литр)
Стандартный	Тарифы (доллары \$/ампер)	10	7.5	5	34
	Часы работы в день	10	3 – 10		
Премиум	Тарифы (доллары \$/ампер)	21	12.5		59
	Часы работы в день	24			

Использование гибридных систем кондиционирования воздуха не только обеспечит экономию электрической энергии, повысит надежность энергоснабжения, но и снизит расход на электростанциях ископаемого топлива, уменьшит выбросы парниковых газов, а также устранил необходимость использования местных дизель-генераторов.

Для населения города произойдет снижение ежемесячной платы примерно на 82% за потребление электроэнергии, а также расходов за использование местных дизель-генераторов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Использование гибридных систем кондиционирования воздуха в регионах с субтропическим климатом является идеальным решением для повышения стабильности энергоснабжения в летний период. Их применение снизит затраты энергии и загрязнение окружающей среды.

2. Системы кондиционирования, совмещенные с солнечным тепловым коллектором, обеспечивают повышение их производительности в пределах 39 – 46 процентов при снижении потребления электрической энергии диапазоне от 58 до 65 процентов по сравнению с парокомпрессионными системами.

3. Внедрение гибридных систем кондиционирования воздуха в г. Багдад, снизит потребление электроэнергии с 4170 МВт/ч до 1501 МВт/ч., что приведет к повышению надежности энергоснабжения, исключению необходимости использования местных дизель-генераторов.

4. Снижение потребления электрической энергии системами кондиционирования воздуха приведет к снижению расхода топлива на электростанциях г. Багдада на 563 т.у.т./ч (478,6 т.у.т./ч природного газа, 19,8 т.у.т./ч мазута, 21,57 т.у.т./ч сырой нефти и 43,65 т.у.т./ч мазута + сырой нефти), исключит расход топлива, затрачиваемого на местные дизель-генераторы.

5. Снижение расхода топлива на электростанциях и дизель-генераторах окажет положительное влияние на окружающую среду позволит сократить выбросы вредных парниковых газов от 79,4 ppm до 28,6 ppm.

6. Дополнительным эффектом отказа от использования местных дизель-генераторов будет уменьшение шумового загрязнения.

Направления дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы. Рекомендуется разработать гибридные солнечные системы кондиционирования воздуха для замены традиционных, поскольку они считаются зелеными, перспективными, привлекательными и экологически чистыми системами, в связи с чем предлагается следующее:

1. Разработка гибридной системы кондиционирования воздуха с использованием компрессора с регулируемой скоростью.

2. Использование системы фотоэлектрических солнечных батарей с коллекторами для управления системой.

3. Использование пневматической спринклерной системы водяного охлаждения в конденсаторе.

4. Провести исследование системы с использованием других хладагентов (*R-1234ze (E)*, *R-134a* и *R-410A*).

Основные материалы диссертации опубликованы в работах:

Статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ:

1. Аль-Окби А.К., Ваньков Ю.В. Парокомпрессионная система кондиционирования воздуха с солнечным тепловым коллектором. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023;25(5):101-114. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-5-101-114>

2. Аль-Окби А.К., Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г. Апробация гибридной системы кондиционирования воздуха в условиях субтропического климата (на примере города Багдад) // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2023. Т. 15. № 4 (60). С. 69-85.

Статьи в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science:

3. Vankov YV, Al-Okbi AK, Hasanen MH. *Solar hybrid air conditioning system to use in Iraq to save energy*. InE3S Web of Conferences 2019 (Vol. 124, p. 01024). EDP Sciences. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912401024>

4. Al-Okbi A, Vankov Y, Hussain HM. *A hybrid air conditioning system using solar energy to save electrical energy with improving performance*. InE3S Web of Conferences 2021 (Vol. 288, p. 01066). EDP Sciences. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801066>

5. Al-Okbi A, Vankov Y, Kadhim H. *Improving performance of direct expansion air conditioning systems while reducing electricity consumption through using hybrid energy*. InE3S Web of Conferences 2021 (Vol. 289, p. 01014). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128901014>

6. Al-Okbi, A.K., Vankov, Y.V., Ziganshin, S.G. and Ali, A.H.H., 2024, February. *Investigating the Performance of Solar Thermal Assisted Air Conditioning System Under the Summer Season of Baghdad, Iraq*. In 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE) (pp. 1-7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/REEPE60449.2024.10479838>

Заявка на патент на изобретение:

7. Устройство для охлаждения помещения / А. К. Аль-Окби, Ю.В. Ваньков, Е.В. Измайлова, А.Р. Загретдинов // пат. № Рос. Федерация. №2024114278; заявл. 24.05.2024.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023666533. «Программа расчета характеристик традиционных и гибридных систем кондиционирования воздуха» /Аль-Окби Ахмед Кхалиль Карим (IQ), Ваньков Юрий Витальевич (RU), Измайлова Евгения Вячеславовна (RU). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.08.2023г.

Формат 60×84/16. Гарнитура
Таймс. Бумага офсетная №1
Печать RISO.
Уч.-изд.л.1,2. Тираж 100 экз.

Дата выхода в печать 21.01.2025
ЦЕНТР ПЕЧАТИ «Линк»
г. Казань, ул. Карла Маркса, 53.