

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний факультет

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
магістерської дисертації

галузь знань 14 – Електрична інженерія

спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

освітній рівень магістр

кваліфікація 2143.2 Інженер-електрик в енергетичній сфері

на тему Дослідження можливості застосування сонячних колекторів
для системи холодопостачання приміщень.

Виконавець:

студент II курсу, групи 141м-16-3

(підпис)

Карчинський А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
Проекту	Ципленков Д.В.		
розділів:			
Розділ 1	Ципленков Д.В.		
Розділ 2	Ципленков Д.В.		
Розділ 3	Ципленков Д.В.		
Розділ 4	Тимошенко Л.В.		

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтроль	Ципленков Д.В.		
---------------	----------------	--	--

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

(підпис)

Шкрабець Ф.П.

(прізвище, ініціали)

" _____ " _____ січня _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

студенту групи 141м-16-3 Карчинському А.І.
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Дослідження можливості застосування сонячних
колекторів для системи холодопостачання приміщень.

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31 жовтня 2017 р № 1806-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень сонячні системи кондиціонування повітря.

Предмет досліджень застосування колекторів і абсорбційних холодильних установок
для холодопостачання приміщень.

Мета НДР дослідження можливості застосування сонячних колекторів для холодопо -
стачання приміщень.

Вихідні дані для проведення роботи Офісне приміщення знаходиться в м. Дніпро -
площа 80 м²; висота приміщення - 4.5 м.

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна складається в обґрунтуванні використання в якості джерела теплоти
для абсорбційних холодильних установок можливе використання геліоколекторних систем.

Практична цінність роботи полягає в тому, що найбільшого ефекту при застосуванні геліоколекторних систем для охолодження приміщень в пропонованому комплексі можна досягти з використанням вакуумних колекторів.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

Результати роботи повинні бути апробовані на конференції.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Підготовчий. Збір матеріалів для дисертації.	10.09.17 – 30.09.17
Проведення огляду літературних джерел з тематики традиційного кондиціонування приміщень та сонячного холодопостачання приміщень.	02.10.17 – 26.10.17
Аналіз схем сонячного кондиціонування та вибір типової схеми для умов заданого об'єкту. Розрахунок потужності кондиціонеру.	28.10.17 – 29.11.17
Розрахунок складових системи сонячного кондиціонування повітря для офісного приміщення. Висновки. Оформлення пояснювальної записки.	02.12.17 – 16.01.18

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект застосування пропонованих систем, особливо для великих приміщень, дозволяє істотно зменшити витрати електроенергії на охолодження приміщень у порівнянні з класичними системами і застосовувати такі системи для віддалених автономних об'єктів.

Соціальний ефект створення систем дозволяє поліпшити екологічну обстановку і створити додаткові робочі місця з обслуговування такої техніки.

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав

_____ (підпис)

Ципленков Д.В.

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Карчинський А.І.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК

22.01.2018

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка магистерской диссертации состоит из: 105 стр., 26 табл., 20 рисунков, 34 литературных источников.

Тема диссертации: исследование возможности применения солнечных коллекторов для холодоснабжения помещений.

В первом разделе произведен обзор литературных источников по тематике традиционных систем кондиционирования и солнечных систем холодоснабжения, которые находят применение для систем охлаждения помещений зданий.

Во втором разделе диссертации дана история развития абсорбционной холодильной машины, ее классификация. Произведен расчет мощности кондиционера для заданного офисного помещения. Описана технология получения холода в АБХМ.

В третьем разделе сделан расчет гелиоколлекторной системы кондиционирования воздуха. Для гелиосистемы проведено сравнение двух видов коллекторов – плоских и вакуумных. Разработана функциональная схема солнечного хладоснабжения.

В технико-экономическом обосновании выполнялись расчеты капитальных затрат на новое оборудование, которое было выбрано для внедрения солнечной системы кондиционирования. Определена годовая экономия от внедрения данного проекта.

Научная новизна работы состоит в обосновании использования в качестве источника теплоты для абсорбционных холодильных установок возможно использование гелиоколлекторных систем.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНЫЙ КОНДИЦИОНЕР, КОЛЛЕКТОР, АБСОРБЦИОННАЯ ХОЛОДИЛЬНАЯ МАШИНА, ХОЛОДОСНАБЖЕНИЕ, АБСОРБЕНТ, СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ, СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА.

ABSTRACT

Explanatory note of the master's thesis consists of: 105 page, 26 table, 20 figures, 34 literary sources.

Theme of the dissertation: research of the possibility of using solar collectors for cooling of premises.

The first section reviews the literature on traditional air conditioning systems and solar cooling systems, which are used for cooling systems in buildings.

In the second section of the thesis is given the history of the development of the absorption refrigerating machine, its classification. The calculation of the power of the air conditioner for a given office space is made. The technology of obtaining cold in an absorption refrigerating machine is described.

In the third section the calculation of the solar collector system of air conditioning is made. For the solar system, two types of collectors, flat and vacuum, were compared. The functional scheme of solar cooling supply is developed.

In the feasibility study, capital expenditures were calculated for new equipment that was selected for the introduction of the solar air-conditioning system. The annual savings from the implementation of this project have been determined.

Scientific novelty of the work is to justify the use of solar collector systems as a source of heat for absorption refrigeration plants.

Key words: SOLAR AIR-CONDITIONER, COLLECTOR, ABSORPTION REFRIGERATION MACHINE, REFRIGERATION, ABSORBENT, SOLAR RADIATION, AIR CONDITIONING SYSTEM.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з: 105 стор., 26 табл., 20 рисунків, 34 літературних джерел.

Тема дисертації: дослідження можливості застосування сонячних колекторів для холодопостачання приміщень.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел з тематики традиційних систем кондиціонування і сонячних систем холодопостачання, які знаходять застосування для систем охолодження приміщень будівель.

У другому розділі дисертації дана історія розвитку абсорбційної холодильної машини, її класифікація. Зроблено розрахунок потужності кондиціонера для заданого офісного приміщення. Описано технологію одержання холоду в АБХМ.

У третьому розділі зроблений розрахунок геліоколекторної системи кондиціонування повітря. Для геліосистеми проведено порівняння двох видів колекторів - плоских і вакуумних. Розроблено функціональну схему сонячного холодопостачання.

У техніко-економічному обґрунтуванні виконувалися розрахунки капітальних витрат на нове обладнання, яке було вибрано для впровадження сонячної системи кондиціонування. Визначено річну економію від впровадження даного проекту.

Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні використання в якості джерела теплоти для абсорбційних холодильних установок можливе використання геліоколекторних систем.

Ключові слова: СОНЯЧНИЙ КОНДИЦІОНЕР, КОЛЕКТОР, АБСОРБЦІЙНА ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА, ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ, АБСОРБЕНТ, СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ, СИСТЕМА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	10
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ОБЗОР СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И СОЛНЕЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	13
1.1 Классификация систем кондиционирования.....	13
1.2 Обзор схем солнечного охлаждения абсорбционного типа.....	21
1.3 Схемы солнечного охлаждения с замкнутым и разомкнутым термодинамическим циклами.....	25
1.4 Солнечные и комбинированные системы автономного тепло- и холодоснабжения.....	28
1.5 Солнечные осушительно-испарительные системы.....	30
1.6 Потенциал солнечной энергетики Украины.....	35
Выводы по разделу 1.....	40
2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ КОНДИЦИОНЕРА.....	41
2.1 Требования к системам кондиционирования воздуха.....	41
2.1.1 Санитарно–гигиенические и акустические требования.....	42
2.1.2 Технологические требования к системам кондиционирования воздуха.....	43
2.1.3 Конструктивно–компоновочные и эксплуатационные требования к системам кондиционирования воздуха.....	43
2.1.4 Эстетические требования.....	44
2.1.5 Экологические требования к системам кондиционирования воздуха.....	44
2.1.6 Экономические требования.....	45
2.1.7 Требования к энергосбережению в системах обеспечения микроклимата.....	45
2.2 Тепловой баланс помещения.....	46
2.2.1 Тепловой баланс расчетного помещения.....	46

2.2.2 Теплопритоки от солнечной радиации.....	48
2.2.3 Теплопритоки от оборудования.....	48
2.2.4 Теплопритоки от людей, находящихся в помещении.....	50
2.2.5 Расчет влаговыделений в помещении.....	51
2.2.6 Расчет мощности электродвигателя вентилятора.....	52
2.3 Работа абсорбционной холодильной машины.....	54
2.3.1 История вопроса.....	54
2.3.2 Классификация абсорбционных холодильных машин.....	55
2.3.3 Технология получения холода в АБХМ.....	58
Выводы по разделу 2.....	61
3 РАСЧЕТ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ	
ВОЗДУХА.....	62
3.1 Выбор абсорбционной холодильной машины.....	62
3.2 Расчет системы с термосифонным коллектором.....	64
3.2.1 Термосифонные солнечные коллекторы.....	64
3.2.2 Нахождение объема бака.....	67
3.2.3 Определение среднего количества солнечной энергии, которое поступает на солнечный коллектор за день.....	69
3.2.4 Потребное количество энергии для нагрева воды за месяц....	73
3.2.5. Необходимая площадь гелиоустановки в каждом месяце....	74
3.3 Расчет системы с плоским коллектором.....	76
3.3.1 Расчет плоских коллекторов.....	79
3.4 Сравнительный анализ систем с разными типами коллекторов....	81
3.5 Определение энергопотребления мощности инвертора.....	82
3.5.1 Определение необходимого количества солнечных батарей..	85
3.5.2 Выбор аккумуляторов.....	87
Выводы по разделу 3.....	88
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ.....	90
4.1 Введение	90
4.2 Расчет капитальных затрат.....	91

4.3 Расчет эксплуатационных затрат.....	93
4.4 Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования.....	98
Выводы по разделу 4.....	100
ВЫВОДЫ.....	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ...	103

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СКВ	система кондиционирования воздуха
СНиП	строительные нормы и правила
АХСУ	абсорбционная холодильная солнечная установка
СК	солнечный коллектор
НИО	непрямой испарительный охладитель
АБР	абсорбер
ДБР	десорбер
ГРД	градирня
ГС	гелиосистема
Т/О	теплообменник
ПИО	прямой испарительный охладитель
АСС	альтернативная солнечная система
ГРД/т	градирня технологического назначения
ПП	прозрачное покрытие
ТНУ	теплонасосная установка
ТТ	тепловые трубы
АБХМ	абсорбционная холодильная машина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время проблема сохранения энерго-ресурсов, как страны, так и мира достаточно актуальна. Благодаря развитию технологий ученые достигли достаточно высоких результатов в этом направлении, но до сих пор остаются довольно большие проблемы в использовании солнца, как источника энергии. И еще меньше разработок существует для использования солнечной энергии для охлаждения.

Причем эта проблема, возможно, более актуальна, чем использование солнечной энергии для отопления, т.к. в районах с высокой активностью солнца люди больше страдают от жары, чем от холода. И в данных районах, энергии на кондиционирование (в год) затрачивается гораздо больше, чем на отопление.

На сегодняшний день разработано и изобретено несколько различных способов преобразования солнечного тепла в холод. Как правило, они все основаны на простых физических процессах, таких как: испарение, кипение, теплопоглощение.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является исследование возможности применения солнечных коллекторов для холодоснабжения помещений.

Основные задачи исследования:

- выполнить обзор литературных источников по системам солнечного кондиционирования;
- разработать научные основы и принципы функционирования кондиционеров на базе солнечной энергии;
- смоделировать солнечную систему холодоснабжения;
- провести анализ технико-экономической эффективности внедрения абсорбционного кондиционера.

Методология и методы исследования, применяемые в диссертационной работе, включают в себя общенаучные теоретические методы исследования: анализа, синтеза, абстрагирования, моделирования, системного анализа.

Объект исследования – солнечные системы кондиционирования воздуха.

Предмет исследования – применение коллекторов и абсорбционных холодильных установок для холодоснабжения помещений.

Научная новизна работы состоит в следующем:

– обосновано, что в качестве источника теплоты для абсорбционных холодильных установок возможно использование гелиоколлекторных систем.

Практическая ценность работы состоит в том, что наибольшего эффекта при применении гелиоколлекторных систем для охлаждения помещений в предлагаемом комплексе можно достичь с использованием вакуумных коллекторов.

Экономический эффект – применение предлагаемых систем, особенно для больших помещений, позволяет существенно уменьшить затраты электроэнергии на охлаждение помещений по сравнению с классическими системами и при этом менять такие системы для удаленных автономных объектов.

Социальный эффект – создание систем позволяет улучшить экологическую обстановку и создать дополнительные рабочие места по обслуживанию такой техники.

Апробация работы материалы работы представлены на:

– VIII Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наукова весна-2017» (ДВНЗ «НГУ», 29-30 березня 2017 р.) – доклад «Солнечные тепловые кондиционеры»;

– международной научно-практической конференции «Енергоефективність та енергозбереження 2017» (ДВНЗ «НГУ», 16-17 ноября 2017 г.) – доклад «Investigation of the possibility of use solar collectors for the system of cold supply in premise».

РАЗДЕЛ 1

ОБЗОР СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ И СОЛНЕЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

1.1 Классификация систем кондиционирования

Кондиционирование воздуха - это создание и автоматическое поддержание (регулирование) в закрытых помещениях всех или отдельных параметров (температуры, влажности, чистоты, скорости движения воздуха) на определенном уровне с целью обеспечения оптимальных метеорологических условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей или ведения технологического процесса.

Кондиционирование воздуха осуществляется комплексом технических средств, называемым системой кондиционирования воздуха [1] (СКВ). В состав СКВ входят технические средства забора воздуха, подготовки, т.е. придания необходимых кондиций (фильтры, теплообменники, увлажнители или осушители воздуха), перемещения (вентиляторы) и его распределения, а также средства хладо- и теплоснабжения, автоматики, дистанционного управления и контроля. СКВ больших общественных, административных и производственных зданий обслуживаются, как правило, комплексными автоматизированными системами управления.

Автоматизированная система кондиционирования поддерживает заданное состояние воздуха в помещении независимо от колебаний параметров окружающей среды (атмосферных условий).

Основное оборудование системы кондиционирования для подготовки и перемещения воздуха агрегируется (компонуются в едином корпусе) в аппарат, называемый кондиционером. Во многих случаях все технические средства для кондиционирования воздуха скомпонованы в одном блоке или в двух блоках, и тогда понятия "СКВ" и "кондиционер" однозначны.

Прежде чем перейти к классификации систем кондиционирования, следует отметить, что общепринятой классификации СКВ до сих пор не существует и связано это с многовариантностью принципиальных схем, технических и функциональных характеристик, зависящих не только от технических возможностей самих систем, но и от объектов применения (кондиционируемых помещений).

Современные системы кондиционирования могут быть классифицированы по следующим признакам [2]:

- по основному назначению (объекту применения): комфортные и технологические;
- по принципу расположения кондиционера по отношению к обслуживаемому помещению: центральные и местные;
- по наличию собственного (входящего в конструкцию кондиционера) источника тепла и холода: автономные и неавтономные;
- по принципу действия: прямоточные, рециркуляционные и комбинированные;
- по способу регулирования выходных параметров кондиционированного воздуха: с качественным (однотрубным) и количественным (двухтрубным) регулированием;
- по степени обеспечения метеорологических условий в обслуживаемом помещении: первого, второго и третьего класса;
- по количеству обслуживаемых помещений (локальных зон): однозональные и многозональные;
- по давлению, развиваемому вентиляторами кондиционеров: низкого, среднего и высокого давления.

Кроме приведенных классификаций, существуют разнообразные системы кондиционирования, обслуживающие специальные технологические процессы, включая системы с изменяющимися во времени (по определенной программе) метеорологическими параметрами.

Комфортные СКВ предназначены для создания и автоматического поддержания температуры, относительной влажности, чистоты и скорости движения воздуха, отвечающих оптимальным санитарно-гигиеническим требованиям для жилых, общественных и административно-бытовых зданий или помещений.

Технологические СКВ предназначены для обеспечения параметров воздуха, в максимальной степени отвечающих требованиям производства. Технологическое кондиционирование в помещениях, где находятся люди, осуществляется с учетом санитарно-гигиенических требований к состоянию воздушной среды.

Центральные СКВ снабжаются извне холодом (доставляемым холодной водой или хладагентом), теплом (доставляемым горячей водой, паром или электричеством) и электрической энергией для привода электродвигателей вентиляторов, насосов и пр.

Центральные СКВ расположены вне обслуживаемых помещений и кондиционируют одно большое помещение, несколько зон такого помещения или много отдельных помещений. Иногда несколько центральных кондиционеров обслуживают одно помещение больших размеров (производственный цех, театральный зал, закрытый стадион или каток).

Центральные СКВ [3] оборудуются центральными неавтономными кондиционерами, которые изготавливаются по базовым (типовым) схемам компоновки оборудования и их модификациям.

Центральные СКВ обладают следующими преимуществами:

- 1) возможностью эффективного поддержания заданной температуры и относительной влажности воздуха в помещениях;
- 2) сосредоточением оборудования, требующего систематического обслуживания и ремонта, как правило, в одном месте (подсобном помещении, техническом этаже и т.п.);
- 3) возможностями обеспечения эффективного шумо- и виброгашения.

С помощью центральных СКВ при надлежащей акустической обработке воз-

духоводов, устройстве глушителей шума и гасителей вибрации можно достигнуть наиболее низких уровней шума в помещениях и обслуживать такие помещения, как радио - и телевизионные студии и т.п.

Несмотря на ряд достоинств центральных СКВ, надо отметить, что крупные габариты и проведение сложных монтажно-строительных работ по установке кондиционеров, прокладке воздуховодов и трубопроводов часто приводят к невозможности применения этих систем в существующих реконструируемых зданиях.

Местные СКВ [4] разрабатывают на базе автономных и неавтономных кондиционеров, которые устанавливаются непосредственно в обслуживаемых помещениях.

Достоинством местных СКВ является простота установки и монтажа.

Такая система может применяться в большом ряде случаев:

- в существующих жилых и административных зданиях для поддержания теплового микроклимата в отдельных офисных помещениях или в жилых комнатах;
- во вновь строящихся зданиях для отдельных комнат, режим потребления холода в которых резко отличается от такого режима в большинстве других помещений, например, в серверных и других насыщенных тепловыделяющей техникой комнатах административных зданий. Подача свежего воздуха и удаление вытяжного воздуха при этом выполняется, как правило, центральными системами приточно-вытяжной вентиляции;
- во вновь строящихся зданиях, если поддержание оптимальных тепловых условий требуется в небольшом числе помещений, например, в ограниченном числе номеров-люкс небольшой гостиницы;
- в больших помещениях как существующих, так и вновь строящихся зданий: кафе и ресторанах, магазинах, проектных залах, аудиториях и т.д.

Автономные СКВ [5] снабжаются извне только электрической энергией, например, кондиционеры сплит-систем (рис. 1.1...1.3), шкафные кондиционеры и т.п.



Рисунок 1.1 – Фрагмент центрального кондиционера



Рисунок 1.2 – Чиллер с водяным охлаждением конденсатора



Рисунок 1.3 – Чиллер с воздушным охлаждением конденсатора

Такие кондиционеры имеют встроенные компрессионные холодильные машины, работающие, как правило, на фреоне-22 [6].

Автономные системы охлаждают и осушают воздух, для чего вентилятор продувает рециркуляционный воздух через поверхностные воздухоохладители, которыми являются испарители холодильных машин, а в переходное и зимнее время они могут производить подогрев воздуха с помощью элек-

трических подогревателей или путем реверсирования работы холодильной машины по циклу так называемого "теплового насоса" [7].

Наиболее простым вариантом, представляющим децентрализованное обеспечение в помещениях температурных условий, можно считать применение кондиционеров сплит-систем.

Неавтономные СКВ [8] подразделяются на:

- воздушные, при использовании которых в обслуживаемое помещение подается только воздух (мини-центральные кондиционеры, центральные кондиционеры);
- водовоздушные, при использовании которых в кондиционируемые помещения подводятся воздух и вода, несущие тепло или холод, либо то и другое вместе (системы чиллеров-фанкойлов, центральные кондиционеры с местными доводчиками и т.п.).

Однозональные центральные СКВ применяются для обслуживания больших помещений с относительно равномерным распределением тепла, влаговывделений, например, больших залов кинотеатров, аудиторий и т.д. Такие СКВ, как правило, комплектуются устройствами для утилизации тепла (теплоутилизаторами) или смесительными камерами для использования в обслуживаемых помещениях рециркуляции воздуха.

Многозональные центральные СКВ применяют для обслуживания больших помещений, в которых оборудование размещено неравномерно, а также для обслуживания ряда сравнительно небольших помещений. Такие системы более экономичны, чем отдельные системы для каждой зоны или каждого помещения. Однако с их помощью не может быть достигнута такая же степень точности поддержания одного или двух заданных параметров (влажности и температуры), как автономными СКВ (кондиционерами сплит-систем и т.п.).

Прямоточные СКВ полностью работают на наружном воздухе, который обрабатывается в кондиционере, а затем подается в помещение.

Рециркуляционные СКВ, наоборот, работают без притока или с частичной подачей (до 40%) свежего наружного воздуха или на рециркуляционном воздухе (от 60 до 100%), который забирается из помещения и после его обработки в кондиционере вновь подается в это же помещение.

Классификация кондиционирования воздуха по принципу действия на прямоточные и рециркуляционные обуславливается, главным образом, требованиями к комфортности, условиями технологического процесса производства либо технико-экономическими соображениями.

Центральные СКВ с качественным регулированием метеорологических параметров представляют собой широкий ряд наиболее распространенных, так называемых одноканальных систем, в которых весь обработанный воздух при заданных кондициях выходит из кондиционера по одному каналу и поступает далее в одно или несколько помещений.

При этом регулирующий сигнал от терморегулятора, установленного в обслуживаемом помещении, поступает непосредственно на центральный кондиционер.

СКВ с количественным регулированием подают в одно или несколько помещений холодный и подогретый воздух по двум параллельным каналам. Температура в каждом помещении регулируется комнатным терморегулятором, воздействующим на местные смесители (воздушные клапаны), которые изменяют соотношение расходов холодного и подогретого воздуха в подаваемой смеси.

Двухканальные системы используются очень редко из-за сложности регулирования, хотя и обладают некоторыми преимуществами, в частности, отсутствием в обслуживаемых помещениях теплообменников, трубопроводов тепло-холодоносителя; возможностью совместной работы с системой отопления, что особенно важно для существующих зданий, системы отопления которых при устройстве двухканальных систем могут быть сохранены.

Недостатком таких систем являются повышенные затраты на тепловую изоляцию параллельных воздуховодов, подводимых к каждому обслуживаемому помещению.

Двухканальные системы так же как и одноканальные, могут быть прямоточными и рециркуляционными.

Кондиционирование воздуха, согласно СНиП по степени обеспечения метеорологических условий [9] подразделяются на три класса:

Первый класс - обеспечивает требуемые для технологического процесса параметры в соответствии с нормативными документами.

Второй класс - обеспечивает оптимальные санитарно-гигиенические нормы или требуемые технологические нормы.

Третий класс - обеспечивает допустимые нормы, если они не могут быть обеспечены вентиляцией в теплый период года без применения искусственного охлаждения воздуха.

По давлению, создаваемому вентиляторами центральных кондиционеров, СКВ подразделяются на системы низкого давления (до 100 кг/м^2), среднего давления (от 100 до 300 кг/м^2) и высокого давления (выше 300 кг/м^2).

Типы кондиционеров [10]:

- Сплит-системы (настенные, напольно-потолочные, колонного типа, кассетного типа, многозональные с изменяемым расходом хладагента);
- напольные кондиционеры и кондиционеры сплит-системы с приточной вентиляцией;
- системы с чилерами и фанкойлами;
- крышные кондиционеры;
- шкафные кондиционеры;
- прецизионные кондиционеры;
- центральные кондиционеры.

1.2 Обзор схем солнечного охлаждения абсорбционного типа

Разработка абсорбционных систем солнечного охлаждения [11] проводилась в двух направлениях. Первое направление связано с использованием непрерывно действующих охлаждающих систем, аналогичных по конструкции и действию обычным газовым или паровым установкам. В этих системах энергия от системы коллектор – аккумулятор – дополнительный источник подается к генератору в тех случаях, когда требуется охлаждение помещения. Второе направление связано с использованием систем периодического действия, аналогичных по принципу действия промышленным пищевым холодильникам "АЙСИ - болл" фирмы "Кросли", которые использовались много лет назад в сельских местностях до их электрификации и до изобретения компрессионных холодильников. Системы охлаждения периодического действия, насколько нам известно, не получили применения для кондиционирования воздуха и поэтому не были детально исследованы с точки зрения их возможного применения для кондиционирования воздуха с помощью солнечной энергии.

Современный опыт показывает, что непрерывные абсорбционные циклы могут быть реализованы при использовании плоских коллекторов. Схема одного из возможных решений такой системы приведена на рисунке 1.4. Ограниченный рабочий интервал температур плоских коллекторов накладывает определенные ограничения на выбор промышленной установки, допуская лишь использование систем, работающих на водном растворе бромида лития. При работе машин на бромиде лития требуется вода для охлаждения абсорбера и конденсатора, в связи с чем, по-видимому, понадобятся градирни. Использование охлаждающих систем на водном растворе аммиака, которые в настоящее время широко производятся промышленностью, затруднительно, поскольку в генераторе такой системы необходимо поддерживать высокие температуры.

Известны немногочисленные попытки создания абсорбционных систем

охлаждения с плоскими коллекторами (рис. 1.4). Разработка специальных систем охлаждения для работы на солнечной энергии позволит понизить рабочие температуры генератора, улучшить режим работы в заданном интервале температур и повысить эффективность использования энергии, поступающей от коллектора в генератор. Если размер коллектора определять исходя не из требований обеспечения тепловой нагрузки, а по условиям охлаждения, то возможно удастся создать систему охлаждения с более высоким, чем обычно, КПД. Например, можно использовать двухступенчатые испарители для снижения требований к подводимой энергии. Таким образом, условия работы и ограничения, накладываемые на систему, работающую за счет солнечной энергии, могут привести к созданию систем охлаждения, существенно отличающихся от соответствующих систем, работающих на обычном топливе.

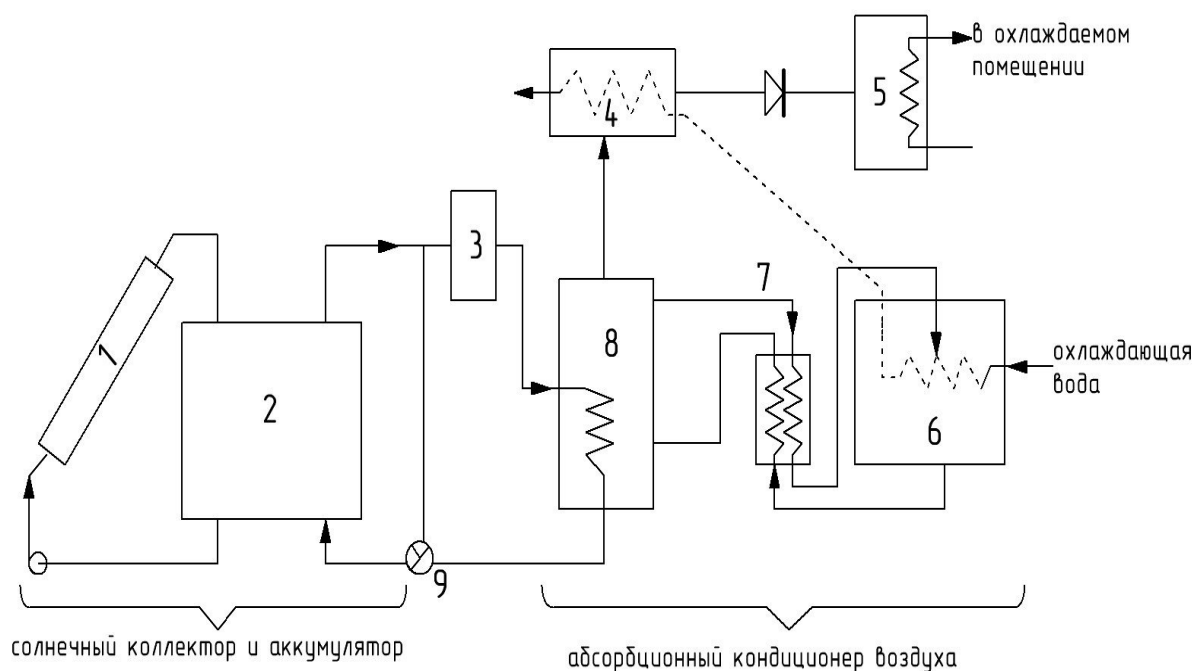


Рисунок 1.4 – Схема абсорбционной системы кондиционирования воздуха с использованием солнечной энергии:

- 1 – коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – дополнительный источник энергии;
 4 – конденсатор; 5 – испаритель; 6 – абсорбер; 7 – теплообменник;
 8 – генератор; 9 – трехпозиционный кран

Абсорбционное охлаждение непрерывного действия с использованием солнечной энергии представляет собой технически осуществимый метод солнечного охлаждения. В Висконсинском университете была экспериментально проверена работа модифицированного серийного кондиционера воздуха на бромиде лития, в генератор которого вместо пара подавалась горячая вода от солнечного водонагревателя. Характеристики этой экспериментальной установки были изучены как при кратковременной работе, так и при непрерывном действии в течение ряда "полных" суток.

Другим типом солнечного охлаждения является абсорбционное охлаждение периодического действия. Известные на сегодня работы, посвященные таким циклам, в основном связаны с исследованием возможности применения подобных холодильников для хранения пищевых продуктов, а не для охлаждения помещений. Однако результаты этих работ могут быть взяты за основу для решения проблем кондиционирования воздуха, поскольку применение упомянутых циклов обеспечивает потенциальную возможность решения проблемы аккумуляции энергии. В этих циклах выделение хладагента из абсорбента происходит на стадии регенерации, когда хладагент конденсируется и аккумулируется. На стадии охлаждения хладагент испаряется и поглощается вновь. Простейшая схема такого процесса показана на рисунке 1.5. Генератор и абсорбер так же, как конденсатор и испаритель, совмещены в одном элементе, выполняющем соответственно две функции.

Таким образом, имеет место отдельное аккумулятирование хладагента и абсорбента. Модификация этого простого цикла состоит во введении пар испарителей, конденсаторов или других устройств, что может обеспечить практически непрерывный режим охлаждения при более высоком КПД.

В периодических циклах (рис. 1.5) в качестве систем хладагент – абсорбент использовались растворы $\text{NH}_3\text{-HO}$ и $\text{NH}_3\text{-NaSCN}$. В более поздних устройствах в качестве абсорбента применялся раствор NaSCN в NH_3 , а в качестве хладагента NH_3 .

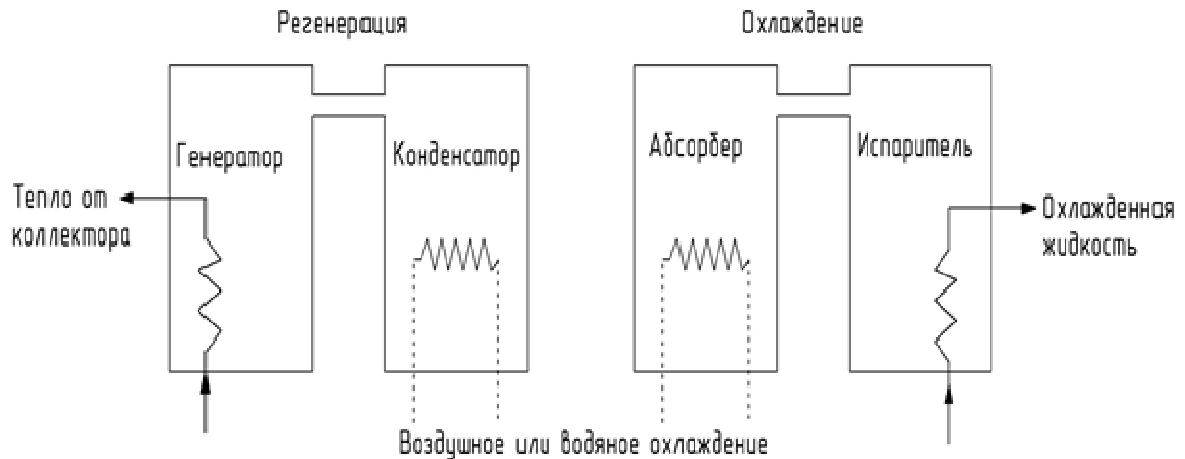


Рисунок 1.5 – Схема периодического абсорбционного цикла охлаждения.

Слева – цикл регенерации, справа – цикл охлаждения

Эта система была исследована Блитасом и Дэниелсом, а также Сарджентом и Бэкманом. Было установлено, что такая система имеет хорошие термодинамические свойства при производстве льда.

Чиннаппа, а также Свортмен и Свамнатан провели экспериментальное исследование режимов работы системы периодического действия на водном растворе аммиака, в которой в качестве источника энергии использовались плоские коллекторы. Абсорбер и генератор представляли собой разделенные емкости. Генератор являлся составной частью плоского коллектора, в которой раствор хладагент-абсорбент циркулировал в трубах за счет термосифонного эффекта и движения пузырьков. При примерно одинаковых по времени циклах регенерации и охлаждения (5 – 6 ч каждый) удалось получить полный коэффициент полезного действия порядка 0,06 при изменении температуры генератора в процессе регенерации от комнатной до 99°C. Температуры в испарителе были ниже 0°C. При использовании охлаждающей воды с температурой - 30°C эффективное охлаждение на единицу площади поверхности коллектора экспериментальной установки составляло в ясные дни от 50 до 85 кДж/м².

1.3 Схемы солнечного охлаждения с замкнутым и разомкнутым термодинамическим циклами

Совпадение графиков поступления солнечной радиации и потребности в охлаждении в течение суток и года благоприятствует применению солнечных холодильных установок.

Солнечные холодильные установки можно условно разделить на две группы: с замкнутым и разомкнутым термодинамическим циклами [12]. Первая группа представляет собой абсорбционные и парожекторные холодильные установки, использующие в качестве источников тепла солнечные коллекторы. Основным ограничением использования абсорбционных водоаммиачных и фреоновых парожекторных холодильных установок является сложность конструкции солнечных коллекторов, способных выдержать высокие давления хладагента, а также необходимость создания относительно высоких температур (95 ... 120 °С) для разделения абсорбента и хладагента в абсорбционных установках. Ведутся разработки абсорбционных солнечных холодильных установок с твердым абсорбентом (например, аммиачно-хлористый кальций) для хранения продуктов. Недостатком этих установок является снижение со временем холодопроизводительности из-за деградации абсорбента. Ведется также поиск новых хладагентов для парожекторных солнечных холодильных установок, где обычно используют фреоны, в связи с ограничением выпуска фторуглеродов необходим поиск новых хладагентов для этих установок.

В практике хладоснабжения чаще всего используют абсорбционные солнечные холодильные установки (АХСУ) с открытым термодинамическим циклом. Основными элементами АХСУ являются испаритель-абсорбер и регенератор. Простейший регенератор (десорбер) представляет собой открытую наклонную плоскость, принимающую солнечное излучение (рис. 1.6). Установка работает следующим образом. Водный раствор бромистого лития подается в регенератор, в котором нагревается до 45 °С. За счет испарения

воды повышается его концентрация. Крепкий раствор подается в абсорбер, где он поглощает водяные пары, выделяющиеся в испарителе. При этом вода в испарителе охлаждается до $5...15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подается потребителю холода. Теплота абсорбции отводится охлаждающей водой, протекающей по трубам абсорбера, а воздух, выделившийся в абсорбере из солевого раствора, удаляется вакуум-насосом. В испарителе-абсорбере поддерживается остаточное давление $800 \dots 1000\text{ Па}$. Установка АХСУ-300, разработанная Институтом технической теплофизики АН СССР, смонтирована в Ашхабаде для охлаждения воздуха в жилых домах. В качестве регенератора была использована плоская кровля зданий.

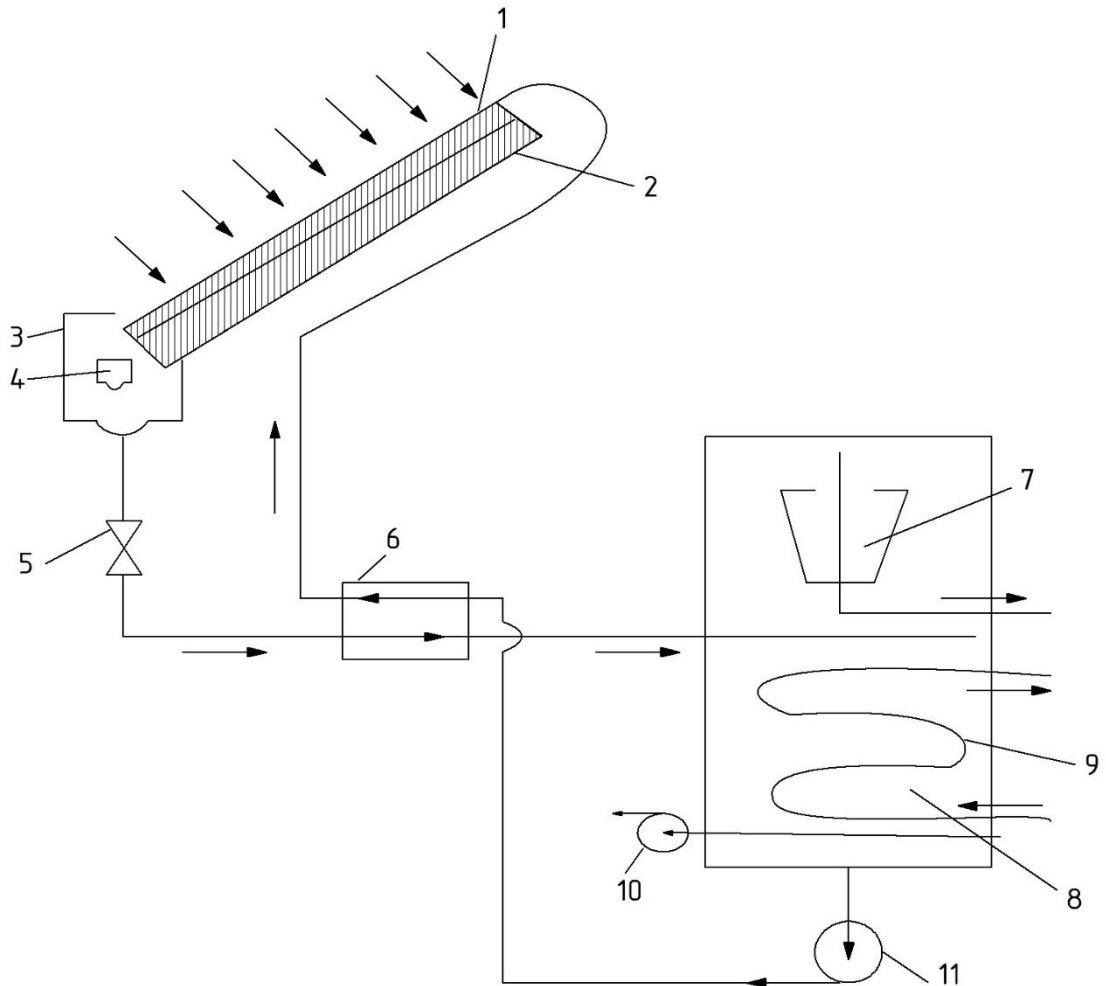


Рисунок 1.6 Принципиальная схема АХСУ открытого типа:

1 – коллектор; 2 - теплоизоляция; 3 – сливная емкость; 4 - регулятор; 5 – вентиль; 6 - теплообменник; 7 – испаритель; 8 – абсорбер; 9 – теплообменник абсорбера; 10 – вакуум-насос; 11 – насос перекачки раствор

Недостатком открытого регенератора является засорение раствора бромистого лития, а также возможность смыва его дождями. Для устранения этого в настоящее время применяют регенераторы, закрытые стеклом. Однако в таких регенераторах падает интенсивность испарения и поэтому дальнейшим совершенствованием АХСУ явилось применение воздушных десорберов-регенераторов типа вентиляторной градирни, и использование для нагрева слабого раствора солнечных коллекторов. К недостаткам АХСУ можно отнести наличие аппаратов с вакуумом, что значительно усложняет их эксплуатацию. Наиболее простыми из установок солнечного хладоснабжения являются солнечно-испарительные (рисунок 1.7). Работает установка следующим образом. Разбавленный раствор абсорбента подается в регенератор открытого или застекленного типа, где нагревается. При этом за счет испарения воды повышается его концентрация. Нагретый концентрированный раствор после регенератора охлаждается в теплообменнике водой из градирни. Наружный воздух, поступающий с помощью насоса в контактную камеру, обрабатывается концентрированным раствором абсорбента (хлористого лития) и осушается. Затем осушенный воздух поступает во вторую контактную камеру, где адиабатически увлажняется и охлаждается. Для снижения стоимости солнечно-испарительного охлаждения и повышения эффективности ее работы в условиях влажного климата можно применить двухступенчатую схему осушки. В этом случае добавляется еще одна камера осушения, в которой используют дешевый абсорбент – хлористый кальций, стоимостью на два порядка меньше, чем хлористый литий.

При этом также уменьшается площадь регенератора, так как для раствора хлористого кальция температура регенерации существенно ниже. Для повышения тепловой эффективности установок солнечного охлаждения теплота, отводимая от концентрированного раствора, используется для нужд горячего водоснабжения.

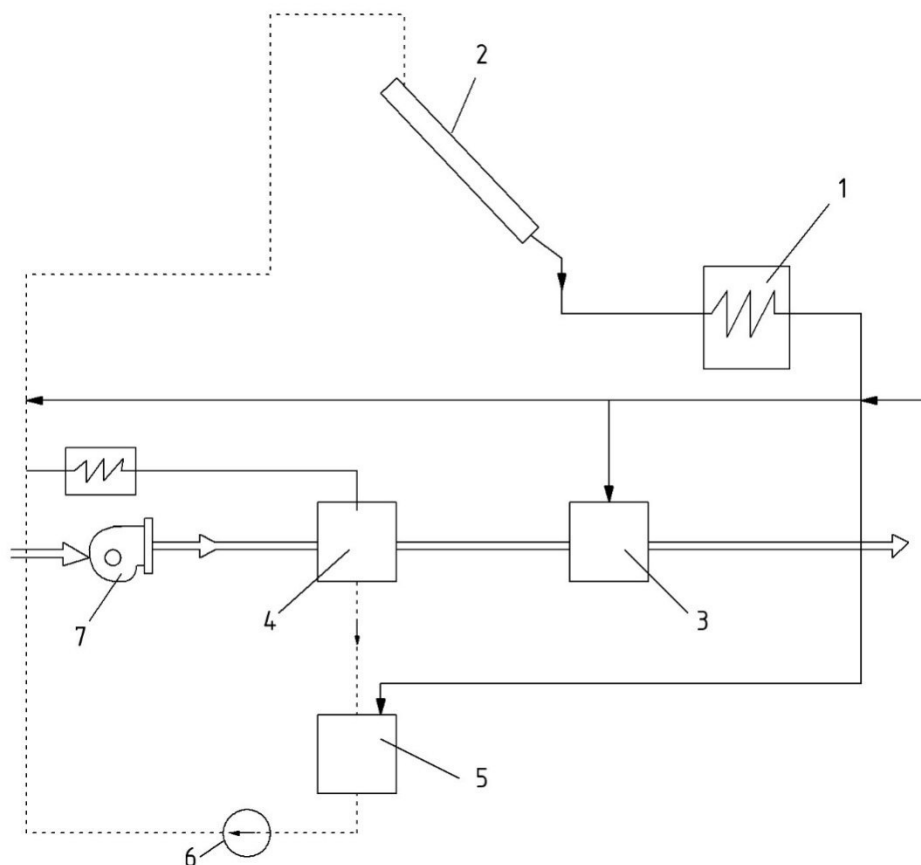


Рисунок 1.7 Принципиальная схема солнечной установки для охлаждения воздуха:

- 1 – теплообменник; 2 – регенератор (СК);
 3 – камера адиабатического охлаждения; 4 – камера осушения;
 5 – бак с раствором абсорбента; 6 – насос; 7 - вентилятор

1.4 Солнечные и комбинированные системы автономного тепло- и холодоснабжения

На рисунке 1.8 приведен вариант схемы, реализующей цикл альтернативной системы кондиционирования воздуха. Схема включает две части: предварительного осушения воздуха и испарительного охлаждения. В осушительной части солнечная энергия, необходимая для регенерации абсорбента, обеспечивается гелиосистемой, а охлаждение абсорбера – градирней.

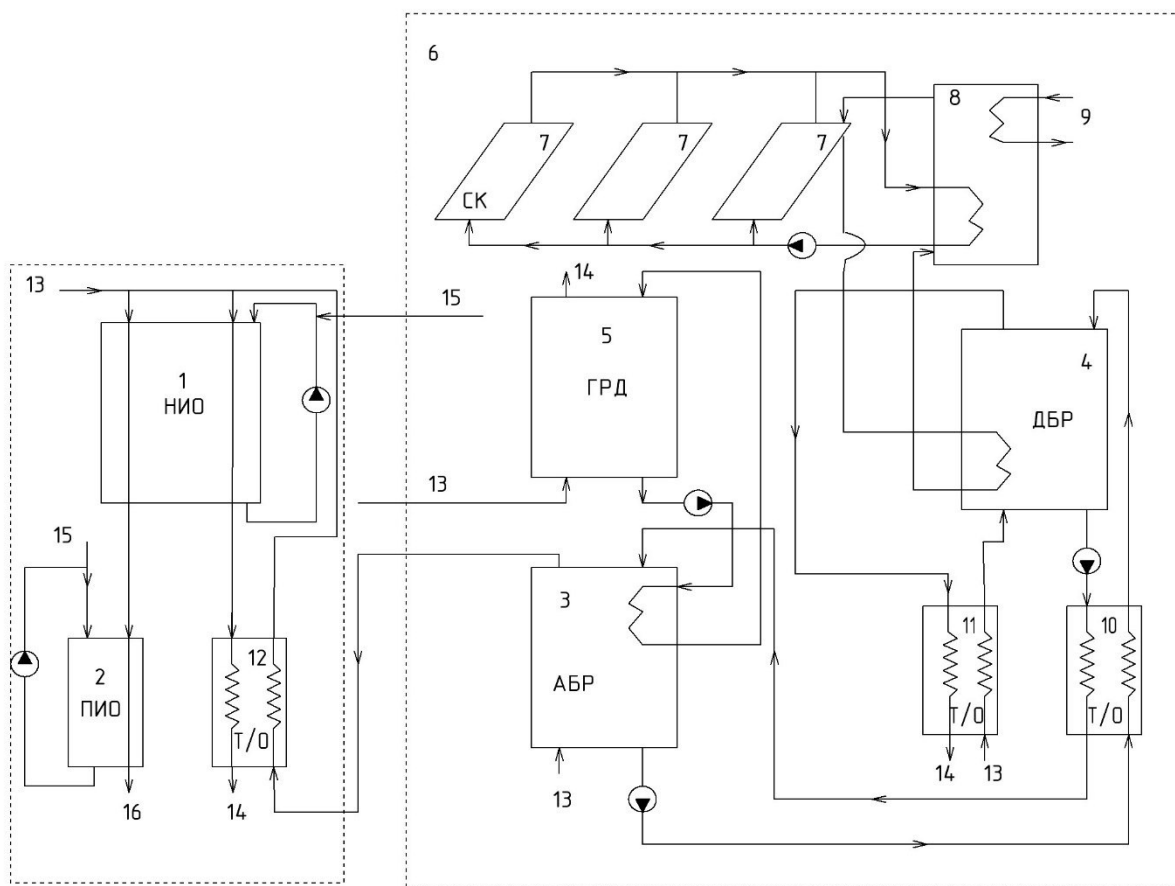


Рисунок 1.8 Вариант схемы, реализующей цикл альтернативной системы кондиционирования воздуха с гелиосистемой (солнечной энергией):

- 1, 2 – не прямой и прямой испарительные охладители;
 3, 4 – абсорбер (АБР) и десорбер (ДБР); 5 – градирня (ГРД);
 6 – гелиосистема (ГС); 7 – солнечный коллектор (СК); 8 – бак-аккумулятор;
 9 – дополнительный греющий источник; 10...12 – регенеративные теплообменники; 13 – наружный воздух; 14 – выброс воздушного потока в атмосферу; 15 – подпитка системы водой; 16 – подача воздуха в помещение

Альтернативная система кондиционирования воздуха состоит из абсорбера 3 (осушитель воздуха), десорбера 4 (солнечная регенерация абсорбента), комбинированного испарительного охладителя 1–2 и регенеративных теплообменников. Воздушный поток 13 (свежий наружный воздух) при осушении в абсорбере снижает свое влагосодержание x_g и, соответственно, температуру точки росы t_{dp} (естественный предел испарительного охлаждения),

что обеспечивает значительный потенциал охлаждения. В качестве испарителя используется разработанный аппарат непрямого испарительного охлаждения (НИО), решенный по совмещенной схеме в виде многоканальной насадки с чередующимися «влажными» каналами (взаимодействуют вспомогательный воздушный поток и водяная пленка, рециркулирующая через аппарат) и «сухими» каналами (основной воздушный поток, охлаждаемый при неизменном влагосодержании). Испарительное охлаждение воды во «влажных» каналах обеспечивает бесконтактное охлаждение основного воздушного потока в «сухих» каналах НИО через тонкую теплопроводную разделяющую стенку. В схеме показан комбинированный охладитель в составе НИО (первая ступень охлаждения – непрямо испарительный охладитель) и прямо испарительный охладитель (ПИО) в качестве второй ступени.

Особый интерес представляет регенеративная схема, обеспечивающая высокую эффективность процесса. На рисунке 1.8 она представляет собой совместную работу НИО 1 и теплообменника Т/О 12. Если учесть, что регенеративная схема потенциально может обеспечить охлаждение поступающего в испарительный охладитель воздуха до температуры точки росы, то, с учетом предварительного осушения его в абсорбере, уровень охлаждения может быть весьма существенным.

Разработанная альтернативная система кондиционирования воздуха обеспечивает получение комфортных параметров воздуха испарительными методами его термовлажностной обработки без использования холодильных агентов и при любых исходных климатических параметрах. Сравнительно с парокомпрессионным кондиционером она снижает расход энергии до 50 % и является экологически чистой.

1.5 Солнечные осушительно-испарительные системы

Эффективность испарительного охлаждения ограничена климатическими условиями. Оно достаточно эффективно только в условиях сухого и жаркого климата. Предварительное осушение воздуха снимает климатиче-

ские ограничения эффективного использования процесса испарительного охлаждения. Одним из таких решений являются солнечные сорбционные системы, вызывающие высокий интерес исследователей.

Используются как адсорбционные, так и абсорбционные системы. Выполненный авторами предварительный анализ позволил выделить в качестве перспективных, с точки зрения возможности «солнечного» обеспечения их работоспособности, абсорбционные системы [12, 13]. Такие системы работоспособны на более низком температурном уровне регенерации абсорбента и теплообменные аппараты пленочного типа, входящие в их состав, обладают более низким уровнем аэродинамического сопротивления, что в целом, позволяет снизить энергозатраты. Абсорбционные системы, основанные на осушительно-испарительном охлаждении и термовлажностной обработке воздуха, являются одной из немногих альтернатив парокомпрессионной технике и обеспечивают возможность решения задач осушения воздуха, охлаждения сред и термовлажностной обработки воздуха в системах кондиционирования (СКВ). Работоспособность таких систем может обеспечиваться, в частности, солнечной энергией. Энергозатратность в таких системах ниже, а экологическая чистота выше, чем в традиционных системах, основанных на использовании парокомпрессионной техники. Альтернативная солнечная система АСС (рисунок 1.9 и 1.10) включает, в составе осушительного блока, абсорбер-осушитель 1 и десорбер-регенератор 3, и, как правило, для охлаждения абсорбера используется градирня технологического назначения ГРД/т (6), а для подвода тепла к десорберу – солнечная система с плоскими солнечными коллекторами СК (10). Работа осушительно-испарительного охладителя осуществляется по следующей схеме. Блок осушения наружного воздуха включает абсорбер-осушитель, десорбер-восстановитель концентрации абсорбента и теплообменник 4, обслуживаемый градирней. Осушенный воздух поступает в испарительный охладитель (воздухоохладитель на рис. 9, либо продуктовую градирню (6А) на рисунке 1.10). Вариантным решением является схема с получением как охлажденного воздуха, так и холодной воды,

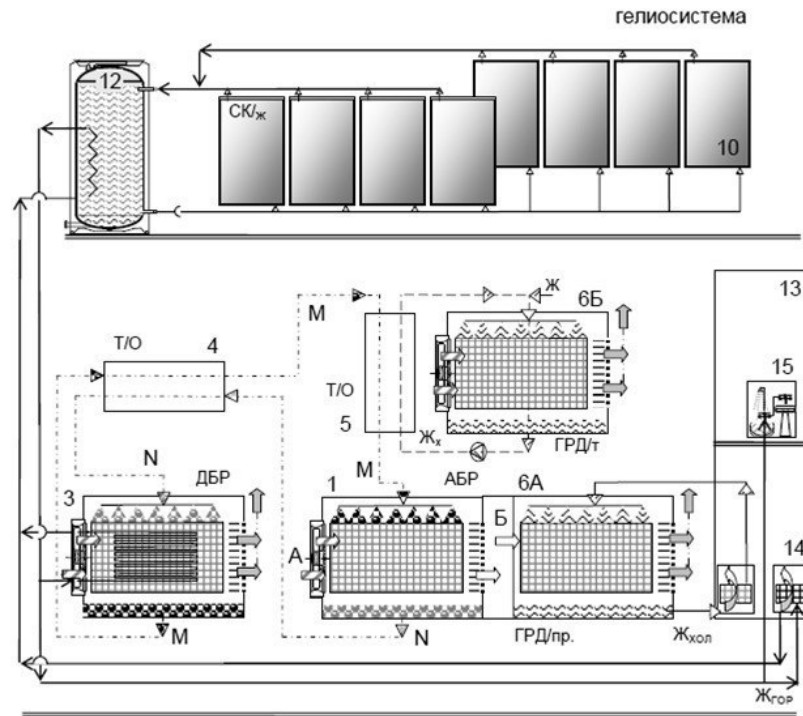


Рисунок 1.9 Принципиальная схема солнечной системы кондиционирования воздуха с использованием испарительного воздухоохладителя

в охладительном контуре:

- 1 – абсорбер; 2 – испарительный охладитель; 3 – десорбер;
 4, 5 – теплообменники; 6 – градирня технологическая ГРД/т;
 7 – теплонасосная установка ТНУ; 8 и 9 – испаритель и конденсатор ТНУ,
 соответственно; 10 – солнечный коллектор; 12 – бак-теплоаккумулятор;
 13 – помещение; 14 – водо-воздушный теплообменник; 15 – санузел

поступающей в расположенные в помещении водо-воздушные теплообменники (14). Тепломасообменные аппараты осушительного контура могут включать в состав насадочной части теплообменники, как это видно на схемах на примере десорбера 3. Разработанные солнечные коллекторы основаны на использовании полимерных материалов. Исследования, выполненные ранее показали, что такой коллектор может выполняться без традиционного воздушного зазора между теплоприемником (абсорбером) и прозрачным покрытием ПП, поскольку ПП, решенное в виде многоканальной плиты сотовой структуры с воздухом, находящемся в его каналах, может выполнять

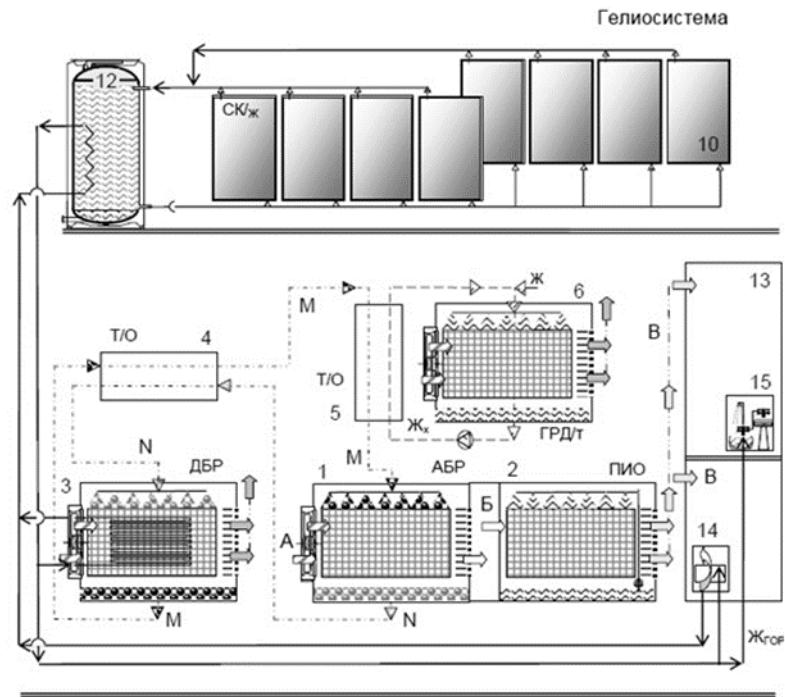


Рисунок 1.10 Принципиальная схема солнечной системы кондиционирования воздуха с использованием градирни в охлаждающем контуре:

А – наружный воздух; Б – осушенный в абсорбере воздух; В – воздушный поток после термовлажностной обработки в ИО; М, N – крепкий и слабый растворы абсорбента; Р – воздушный поток из помещения (рециркуляционный воздушный контур)

функции традиционного воздушного зазора с точки зрения подавления тепловых потерь, связанных с конвективными воздушными потоками. В этом случае расчет СК/П должен учитывать наличие ребер-перегородок в структуре многоканальной полимерной плиты прозрачного покрытия, что сказывается на пропускательной способности покрытия. Осушительно-испарительный охладитель обеспечивает получение комфортных параметров воздуха для любых климатических регионов мира только с помощью испарительного охлаждения, не прибегая к парокомпрессионному охлаждению. Это позволяет снизить энергозатраты на 25-35% и существенно повысить экологическую чистоту новых решений.

На рис. 1.11 представлена принципиальная схема преобразования солнечной энергии в холод для системы кондиционирования воздуха в офисном или бытовом помещении.

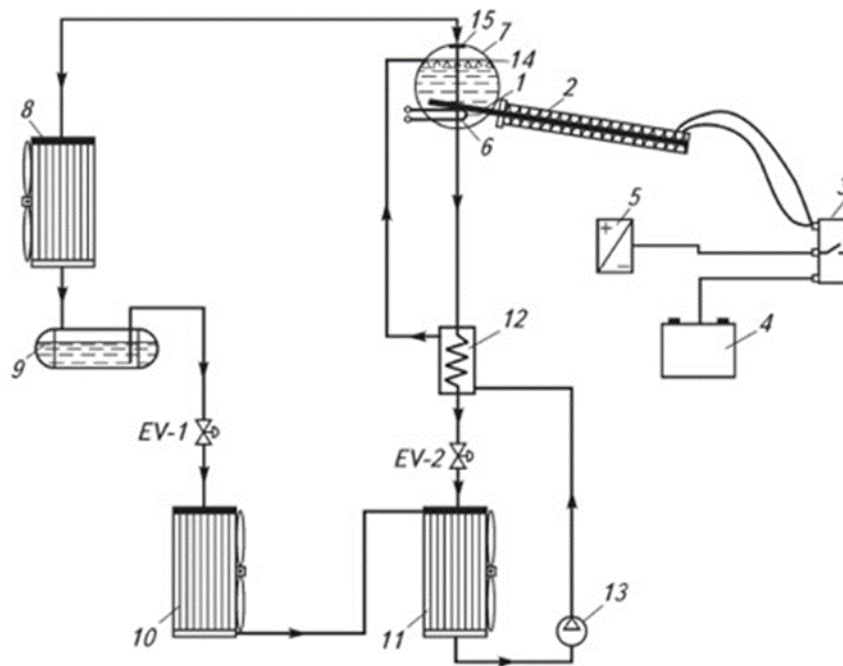


Рисунок 1.11 – Принципиальная схема абсорбционной установки и кондиционирования воздуха на солнечной энергии:

1 – солнечный коллектор; 2 – фотоэлектрическая панель; 3 – контроллер;
 4 – аккумулятор; 5 – инвертор; 6 – электрический нагреватель; 7 – генератор (кипятильник); 8 - конденсатор; 9 – ресивер; 10 – испаритель; 11 – абсорбер;
 12 – теплообменник; 13 – насос крепкого раствора; 14 – распылитель;
 15 – каплеуловитель; EV-1, EV-2 – регулирующие вентили

Система состоит из солнечного коллектора 1, от которого тепловая энергия солнца с помощью ТТ передается непосредственно к раствору в генераторе (кипятильнике) 7 холодильной машины. Коллектор 1 совмещен с фотоэлектрической панелью 2, подключенной через контроллер 3 к аккумулятору 4 и инвертору 5, к которому, в свою очередь, подключен электрический нагреватель 6 в генераторе 7 АХМ. Нагреватель 6 обеспечивает работу холодильной машины в ночное время и пасмурные дни. Основные аппараты

холодильной машины: конденсатор 8, испаритель (воздухоохладитель) 10 и абсорбер 11 имеют воздушное охлаждение.

В предложенной схеме использован комбинированный солнечный коллектор, состыкованный с кипятильником, конструкция которого позволяет просто и быстро производить монтаж холодильной машины непосредственно на месте эксплуатации. Отличительной особенностью рассматриваемой установки является применение в качестве рабочего вещества смеси бромистый литий–метанол. Результаты исследования работы АХМ с таким раствором, показавшие, что в них может быть получена температура кипения метанола до $-18,6$ °С при максимальной температуре раствора в генераторе 85 °С и минимальной температуре в абсорбере $22,8$ °С. Для систем кондиционирования воздуха не нужна такая низкая температура кипения: экспериментально доказано, что для создания комфортных условий в помещении достаточно иметь температуру кипения метанола $10...12$ °С. Давление паров хладагента соответствует температуре греющего источника для выбранной смеси.

Например, для смеси вода–бромистый литий необходима температура греющего источника $75...85$ °С, при этом давление паров воды будет $0,031...0,046$ МПа; для смеси бромистый литий–метанол достаточно иметь температуру греющего источника $65...75$ °С, а давление паров метанола – $0,09...0,115$ МПа. Раствор бромистый литий–метанол имеет преимущество и перед смесью R22 – DME_TEG (диметиловый эфир тетраэтиленгликоля – $C_{10}H_{22}O_5$).

Так как установка будет использовать солнечную энергию, то нужно оценить солнечный потенциал для заданного объекта.

1.6 Потенциал солнечной энергетики Украины

География Украины раскрывает большой потенциал для развития рынка солнечной энергетики, таким образом, можно сказать, что потенциал сол-

нечной энергетики в Украине является достаточно высоким для широкого применения солнечного оборудования (рис. 1.12).

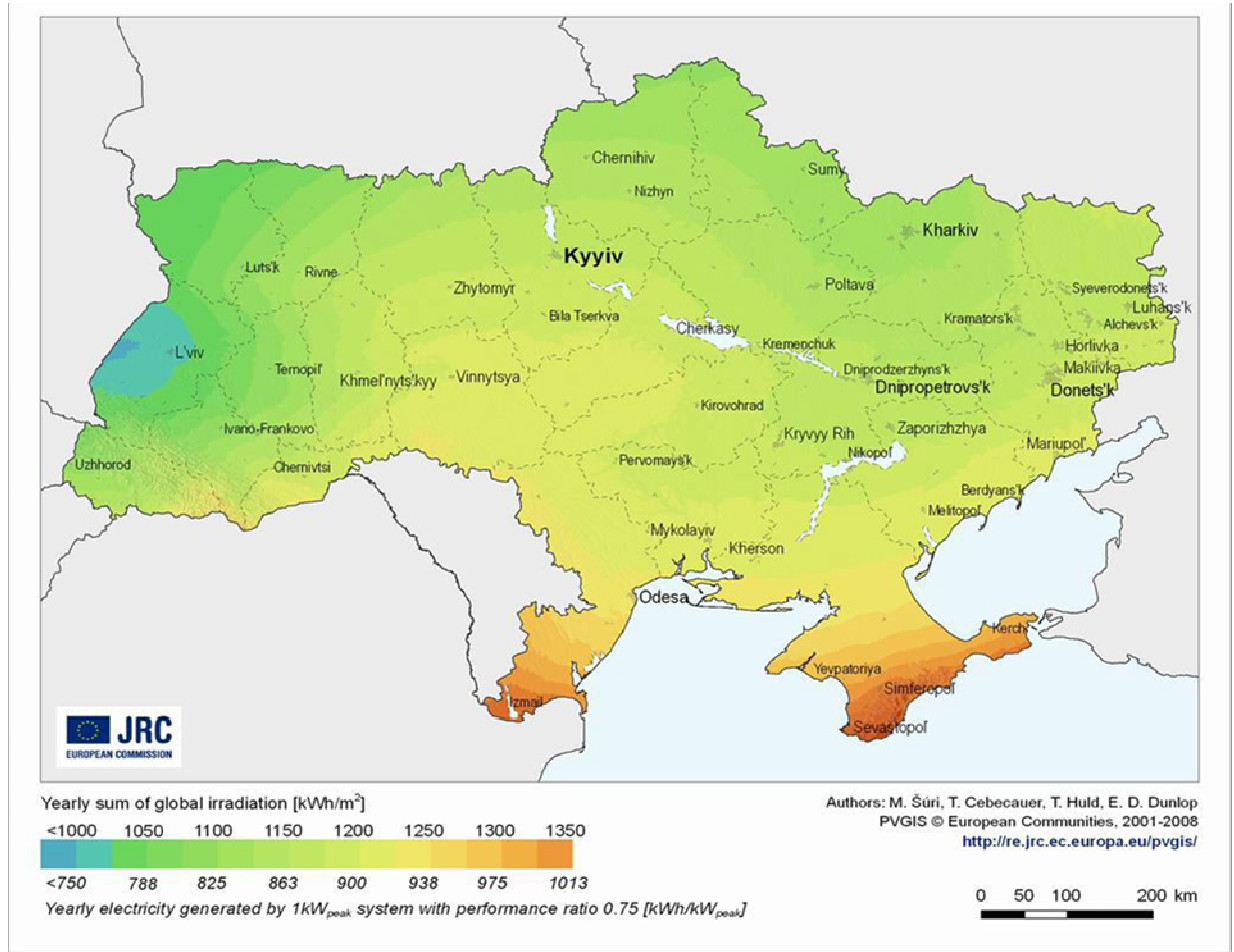


Рисунок 1.12 – Глобальная иррадиация на территории Украины

Возможность использования солнечного излучения увеличивается в направлении с северо-запада (1070 Вт/м²) на юго-восток (1440 Вт/м²) с самым высоким потенциалом на Крымском полуострове. Период времени для эффективного использования солнечных коллекторов в южных областях Украины составляет 7 месяцев (с апреля по октябрь), в северных областях - 5 месяцев (с мая по сентябрь). Фотоэлектрическое оборудование может эффективно работать в течение года. В настоящий момент, солнечные коллекторы для нагревания воды широко используются в южной части Украины, и их количество растет с каждым днем. Согласно Национальному агентству по энергосбережению и энергоэффективности (ранее НАЭР), потенциал солнеч-

ной энергетики Украины намного выше, чем в Германии, и технически возможно, что доля солнечной энергетики достигнет 10 % энергетического баланса Украины уже к 2030 году.

Несмотря на то, что оборудование для производства солнечной энергии все еще является довольно дорогим, в мире наблюдается стойкая тенденция к уменьшению издержек на производство такого оборудования [15].

Приведенные энергетические показатели из поступление солнечной радиации (таблица 1.1) есть базовыми при внедрении солнечного энергетического оснащения и рекомендуются к использованию в первую очередь проектировщиками объектов солнечной энергетики для выбора типа оснащения (солнечные тепловые, фотоэлектрические установки) и для установления их оптимальной мощности и срока эффективной эксплуатации оснащения в конкретной местности.

Таблица 1.1 Суммарный годовой потенциал солнечной энергии на территории Украины [16].

№ п/п	Область	Потенциал солнечной энергии МВт*ч/год		
		Общий потенциал (*10 ⁹)	Технический потенциал (*10 ⁷)	Целесообразно-экономический потенциал (*10 ⁵)
1	2	3	4	5
1	Винницкая	30,8	14,8	2,3
2	Волынская	21,8	10,5	1,6
3	Днепропетровская	37,6	18	2,8
4	Донецкая	33	15,8	2,5
5	Житомирская	32,3	15,5	2,4
6	Закарпатская	15,5	7,5	1,2

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4	5
7	Запорожская	34,8	16,7	2,6
8	Ивано- Франковская	16,4	7,9	1,2
9	Киевская	31,5	15,5	2,4
10	Кировоградская	28,8	13,8	2,2
11	Луганская	34	16,3	2,5
12	Львовская	25,4	12,2	1,9
13	Николаевская	32,5	15,6	2,4
14	Одесская	45,4	21,8	3,4
15	Полтавская	31,9	15,3	2,4
16	Ровенская	21,8	10,5	1,6
17	Сумская	26	12,5	2,0
18	Тернопольская	16,3	7,8	1,2
19	Харьковская	35,4	17	2,7
20	Херсонская	38,4	18,4	2,9
21	Хмельницкая	24,3	11,6	1,8
22	Черкасская	24,2	11,6	1,8
23	Черновицкая	9,6	4,6	0,7
24	Черниговская	34,2	16,4	2,6
25	АР Крым	36,5	17,5	2,7
	Всего	718,4	345,1	53,8

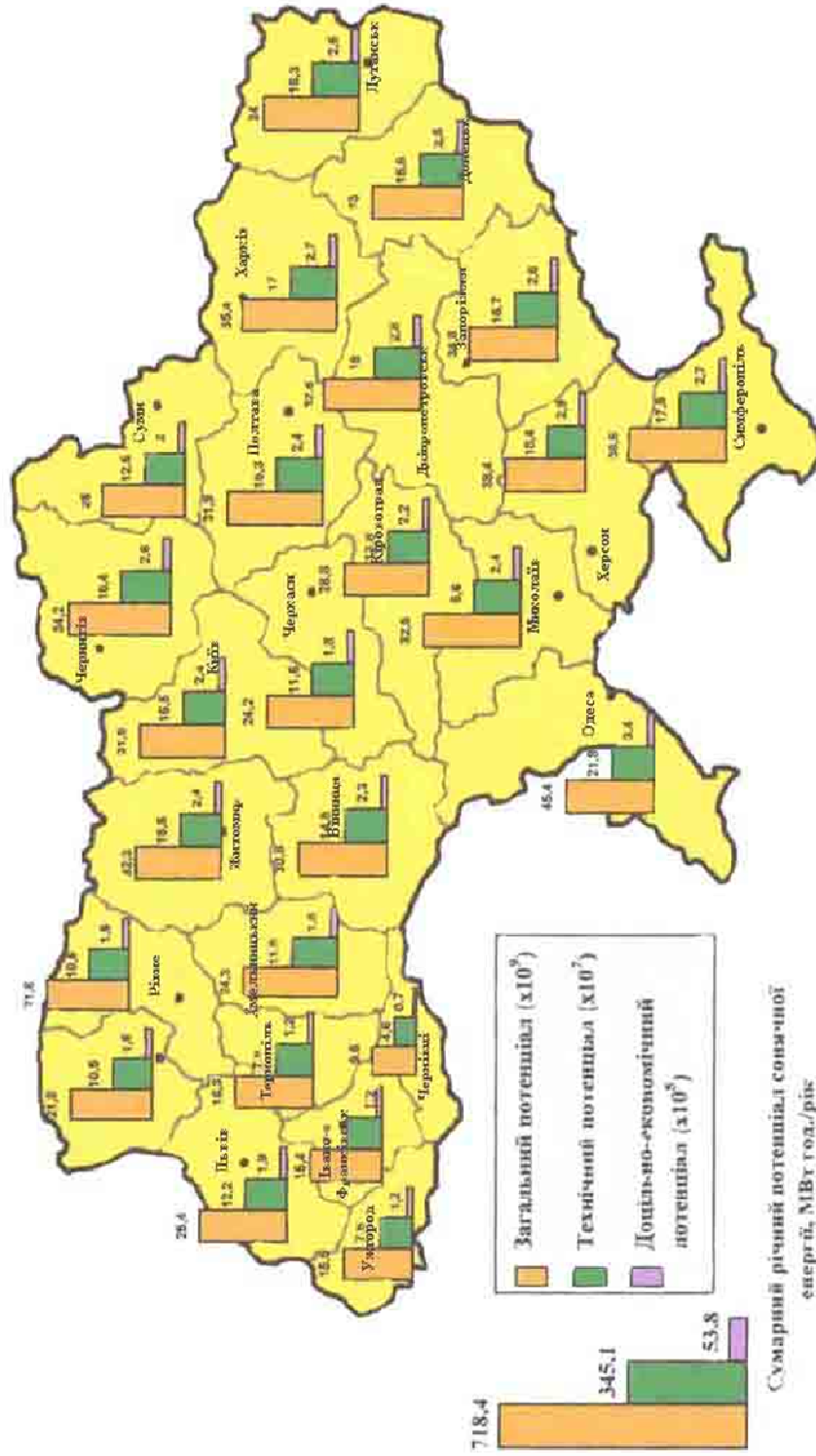


Рисунок 1.13 – Суммарний годовий потенциал солнечной энергии на территории Украины

Выводы по разделу 1

1. На основании обзора литературных источников был проведен анализ систем кондиционирования, которые находят применение для систем охлаждения помещений офисных зданий.

2. На основании данного анализа было определено, что с целью уменьшения потребления электроэнергии возможно применение схем солнечного охлаждения абсорбционного типа.

3. Использование в качестве рабочего вещества для абсорбционной холодильной машины раствора бромистый литий – метанол дает возможность выпускать холодильные машины с уменьшенными габаритными размерами и массой.

4. В летнее время в климатических условиях в системах кондиционирования воздуха с целью экономии энергии использование солнечной энергии для охлаждения воздуха достаточно эффективно.

5. На основе анализа существующих схем солнечного охлаждения для условий г. Днепр была выбрана схема абсорбционного действия.

6. С целью практического применения рассчитаем СКВ на основе системы солнечного охлаждения по принципу абсорбции для офисного помещения – площадь 80 м^2 ; высота помещения – 4.5 м, а также сформулируем требования к системам кондиционирования воздуха.

РАЗДЕЛ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ КОНДИЦИОНЕРА

2.1 Требования к системам кондиционирования воздуха

Воздух как фактор жизнедеятельности человека следует рассматривать с двух позиций: как среда, вдыхаемая человеком, и как среда, окружающая человека, с которой поверхность человеческого организма постоянно находится в контакте. Роль воздуха состоит в снабжении человека кислородом, удалении влаги из организма при выдыхании, обеспечении процесса теплообмена человека с окружающей средой.

С помощью кондиционирования можно полностью устранить или свести к минимуму действие таких вредных факторов, как избыточная теплота (конвенционная, вызывающая повышение температуры воздуха, и лучистая); избыточные водяные пары – влага; газы и пары химических веществ токсичного или раздражающего действия; токсичная и нетоксичная пыль; радиоактивные вещества.

Источники образования факторов вредности:

Избыточная теплота. Взрослый человек в спокойном состоянии и при нормальных микроклиматических условиях выделяет в окружающую среду 85 – 120 Вт, из которых в среднем 20% – конвекцией; 55% – излучением и 25% – испарением влаги. Количество выделяемой человеком теплоты изменяется в зависимости от физических нагрузок и температуры воздуха в помещении. В помещениях, где бывает много людей, тепловыделения создают неблагоприятные условия, вредно отражаются на самочувствии, здоровье и работоспособности людей.

Влаговыведения. Количество выделяемого организмом человека водяного пара при умеренной температуре воздуха и небольшой физической нагрузке составляет 40 – 75 г/ч. При высокой температуре среды выделение влаги может возрасти до 150 г/ч. Избыточное содержание водяных паров в

воздухе может возникнуть в помещении здания общественного назначения, а также в цехах и отделах промышленных предприятий.

Газовыделение. Содержание газов и пыли не должно превышать предельно допустимых концентраций согласно нормативных документов.

Современные требования, предъявляемые к системам кондиционирования воздуха зданий и сооружений:

2.1.1 Санитарно–гигиенические и акустические требования

Оптимальными микроклиматическими условиями являются такие сочетания параметров воздуха рабочей зоны, которые обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма при их длительном и систематическом воздействии на человека.

В соответствии с санитарно–гигиеническими требованиями в обслуживаемых помещениях системы кондиционирования воздуха должны обеспечивать:

- заданные внутренние условия температуры;
- относительную влажность;
- газовый состав;
- чистоту и подвижность воздуха.

Наиболее благоприятная температура в общественных и административно–бытовых помещениях должна быть 20 – 22 °С, допустимые колебания в теплый период – от 20 до 28 °С, в холодный и переходной периоды – от 18 до 22 °С.

Относительная влажность считается оптимальной в диапазоне от 30 до 60 % в теплый период и 30–45 % в холодный и переходной периоды. Верхняя допустимая граница относительной влажности – 65 %. Чтобы разрушить создаваемую телом человека оболочку газовых выделений, необходимо организовать движение воздушной среды. Однако чрезмерно увеличивать скорость движения воздушной среды недопустимо из–за возникающего чувства дискомфорта и возможности простудных заболеваний. При температуре воздуха

20 – 25 °С допустимой скоростью движения воздуха является 0,2 – 0,3 м/с – для легкой работы.

Воздушные потоки направляются из помещений с более высокими требованиями к параметрам воздушной среды в сторону помещений с менее высокими требованиями.

Уровень шума от работающего оборудования не должна превышать допустимые значения. Уровень шума современных кондиционеров для жилых и общественных зданий не превышает 25 дБ(А). Это значение находится за порогом слышимости для большинства людей.

2.1.2 Технологические требования к системам кондиционирования воздуха

Состояние воздушной среды технологических помещений является необходимым, а часто и решающим условием для стабильной и долговременной работы многих электронных устройств. Одним из требований бесперебойной работы оборудования является поддержание оптимальных параметров температуры, чистоты и влажности воздуха. Эти параметры обеспечиваются системами кондиционирования, к которым предъявляются следующие требования: надежность, точность поддержания температуры, поддержание заданной влажности и запыленность воздуха.

Самое главное требование к системе кондиционирования помещений – надежность. Один из самых опасных врагов оборудования – пыль. Она быстро аккумулируется на заряженных частях оборудования и оседает внутри оборудования. Это ведет к уменьшению срока службы оборудования и преждевременному выходу его из строя.

2.1.3 Конструктивно–компоновочные и эксплуатационные требования к системам кондиционирования воздуха

В эту группу показателей включаются удобство монтажа системы, габариты оборудования, занимаемые строительные площади, расход материалов при монтаже.

В эксплуатационные требования входит:

- сокращение площадей помещений для оборудования систем кондиционирования воздуха и их элементов;
- обеспечение минимальных затрат времени на монтаж, испытания и наладку систем с возможностью позонного ввода их в эксплуатацию;
- увязка работ по сооружению конструкции зданий с монтажом систем кондиционирования;
- звуко– и виброизоляция движущегося оборудования от элементов строительных конструкций, а также противопожарные мероприятия

2.1.4 Эстетические требования

Архитектура здания и его планировка имеют непосредственное влияние на выбор системы кондиционирования воздуха. В условиях застройки центральной исторической части городов требования к сохранению исторического облика памятников архитектуры должны быть высокими. Недопустимо размещение на фасаде здания наружных блоков системы кондиционирования.

2.1.5 Экологические требования к системам кондиционирования воздуха

Воздушная среда современных зданий имеет многокомпонентный химический состав, зависящий от степени загрязнения атмосферного воздуха и мощности внутренних источников загрязнения. К ним, в первую очередь, относятся продукты жизнедеятельности человека, продукты неполного сгорания бытового газа и продукты деструкции полимерных материалов, входящих в состав отделочных и строительных материалов, предметов личного и домашнего обихода. Токсические вещества действуют на организм человека не изолированно, а в сочетании с различными факторами: температурой, влажностью воздуха, электромагнитными полями, ионно–озонным режимом помещений, радиоактивным фоном.

С одной стороны система кондиционирования предназначены для создания комфортного климата внутри помещений и должны поддерживать чистоту воздуха в обслуживаемой зоне помещения. С другой стороны любые нарушения в эксплуатации и обслуживании системы могут при определенных обстоятельствах привести к обратному эффекту и оказать негативное влияние на здоровье людей и состояние окружающей среды.

2.1.6 Экономические требования

Экономические требования предусматривают эффективность системы кондиционирования воздуха, которая определяется высокой надежностью всех элементов системы, заданной обеспеченностью, устойчивостью и управляемостью системы. Эффективность определяется комплексными показателями, важной составляющей которых является минимум приведенных затрат.

2.1.7 Требования к энергосбережению в системах обеспечения микроклимата

Системы кондиционирования воздуха вносят значительный «вклад» в потребление энергии в процессе эксплуатации зданий. Мировой опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий различного назначения показывает, что сокращение затрат энергии в основном достигается за счет следующих факторов [17]:

- применения регулируемых систем кондиционирования, позволяющих оптимизировать подачу и потребление энергии;
- устройства локальных систем, позволяющих сократить кондиционируемые площади и объемы здания, предотвратить распространение технологических вредных выделений и обеспечить их эффективную очистку;
- использования утилизации тепла.

Далее определим тепловой баланс помещения для нахождения нужной мощности охлаждения.

2.2 Тепловой баланс помещения

2.2.1 Тепловой баланс расчетного помещения

Тепловой баланс расчетного помещения составляется для определения избытков или недостатков тепла, которые должна компенсировать система кондиционирования воздуха. В помещении, в котором поддерживается постоянный (стационарный, неменяющийся во времени) тепловой режим, должен наблюдаться тепловой баланс.

$$\Sigma Q = 0 \text{ или } Q_{\text{пост}} - Q_{\text{пот}} = 0 \text{ или } Q_{\text{изб}} = 0.$$

Даже если бы в помещении не было систем обеспечения микроклимата, то есть систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, баланс тепла все равно бы соблюдался, просто баланс существовал бы при температурах внутреннего воздуха, неприемлемых для человека. Наличие системы кондиционирования воздуха позволяет обеспечить тепловой баланс при требуемой температуре внутреннего воздуха. Таким образом, если при расчетной температуре внутреннего воздуха баланс не наблюдается, то есть имеют место избытки или недостатки теплоты, СКВ должна скорректировать баланс, введя в помещение точно такое же количество теплоты, но с противоположным знаком.

Таким образом, для определения расчетной тепловой (холодильной или отопительной) способности системы следует произвести расчет избытков теплоты в помещении путем суммирования всех теплопоступлений и теплопотерь с учетом знака (теплопотери учитываются со знаком "минус"). Отметим, что термины теплопоступлений и теплопотери отражают лишь направление

потоков теплоты: теплопоступления – это поток теплоты внутрь помещения, а теплопотери – поток теплоты из помещения [18].

Учитывая наличие знака "минус" перед значением тепловых потерь, результат суммирования теплопоступлений и теплопотерь может оказаться как положительным, так и отрицательным. В первом случае говорят об избытках теплоты в помещении, а во втором случае – о недостатках теплоты.

Если в помещении выделяется влага, что обычно и бывает в жилых и общественных зданиях (влага поступает от людей), то избытки и недостатки теплоты в помещении подсчитываются отдельно. Для жилых и общественных зданий характерно наличие водяной системы отопления с местными нагревательными приборами. Такая система является постоянно действующей и работает круглые сутки, в отличие от систем дежурного отопления промышленных зданий, которые могут отключаться в рабочее время (в первую очередь это касается систем воздушного отопления). Поэтому обычно при составлении таблицы теплового баланса общественных зданий предполагается, что система отопления будет работать, и тепловые поступления от нее включаются в одну из колонок графы "теплопоступления". Тепловой же баланс для промышленного здания обычно составляется без учета теплопоступлений от отопления.

Теплопотери через ограждения имеют место только в холодный и переходный период года, а поступления теплоты от солнечной радиации обычно учитывается только в теплый период года. Кроме того, если теплопоступления от солнечной радиации через остекление больше расчетных теплопоступлений от освещения, то при подсчете избытков теплоты учитываются только они, а если меньше – только теплопоступления от освещения.

Данная экспресс–методика в основном используется для разработки СКВ на базе несложного (в проектном отношении) климатического оборудования, такого, как: кондиционеры сплит–систем, а также кондиционеры оконного типа и моноблочного исполнения.

Для подбора необходимого по холодопроизводительности кондиционера надо рассчитать тепло, поступающее в помещение от солнечной радиации, освещения, людей, оргтехники и т. д.

2.2.2 Теплопритоки от солнечной радиации

Теплопритоки, возникающие за счет разности температур внутри помещения и наружного воздуха, а также солнечной радиации Q_1 , рассчитываются по формуле:

$$Q_1 = V \cdot q_{уд}, \text{ Вт},$$

где $V = S \cdot h$ – объем помещения;

$S = 80 \text{ м}^2$ – площадь помещения;

$h = 4,5 \text{ м}$ – высота помещения;

$q_{уд}$ – удельная тепловая нагрузка, принимается:

$30\text{--}35 \text{ Вт/м}^3$ – если нет солнца в помещении,

35 Вт/м^3 – среднее значение,

$35\text{--}40 \text{ Вт/м}^3$ – если большое остекление с солнечной стороны.

Тогда объем помещения составит:

$$V = 360 \text{ м}^3,$$

а теплопритоки от солнечной радиации составят:

$$Q_1 = 12,6 \text{ кВт}.$$

2.2.3 Теплопритоки от оборудования

Определим теплопритоки, возникающие за счет находящейся в нем оргтехники Q_2 .

Теплопоступления от оборудования зависят в первую очередь от потребляемой мощности и частоты использования. Для различных видов офисного оборудования величина теплопоступлений будет следующая (с учетом частоты использования):

Таблица 2.1 Теплопоступления от различного оборудования

Вид оборудования	Теплопоступления, Вт	Коэффициент одновременности использования
Компьютер (системный блок + монитор)	300	0,8–1,0
Лазерный принтер	400	0,3–0,6
Копировальный аппарат	500	0,1–0,6

В общем случае величина теплопоступлений от электрооборудования определяется по формуле:

$$Q_2 = Q_{об} = N \cdot K_1 \cdot K_2, \text{ Вт},$$

где $N = 3400$ – потребляемая мощность, Вт;

K_1 – коэффициент перехода электроэнергии в тепловую (100–80%), принимаем $K_1 = 80 \%$;

K_2 – коэффициент использования оборудования (30–80%), принимаем $K_2 = 75 \%$.

Следовательно теплопритоки от оборудования составят:

$$Q_2 = 3400 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 2040 \text{ Вт} = 2,04 \text{ кВт}.$$

2.2.4 Теплопритоки от людей, находящихся в помещении

Теплопритоки, возникающие от людей, находящихся в помещении Q_3 .

$$Q_3 = q \cdot n, \text{ Вт,}$$

где $q = 130$ – удельные тепlopоступления от одного человека, Вт;

$n = 18$ – количество людей в помещении.

Следовательно получим:

$$Q_3 = 130 \cdot 18 = 2340 \text{ Вт} = 2,34 \text{ кВт.}$$

Найдем суммарное количество тепlopоступлений, кВт;

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ кВт.}$$

Подставляя значения, получим результат :

$$Q = 12,6 + 2,04 + 2,34 = 16,98 \text{ кВт.}$$

К подсчитанным теплопритокам прибавляется 20% на неучтенные теплопритоки:

$$Q_{\text{общ}} = (12,6 + 2,04 + 2,34) \cdot 1,2 = 20,38 \text{ кВт.}$$

В случае использования в помещении дополнительного тепловыделяющего оборудования (электроплит, производственного оборудования и т. п.) соответствующая тепловая нагрузка должна быть также учтена в данном расчете.

Гарантированные 18 – 20°C

Перепад температур воздуха снаружи и внутри помещения не должен быть слишком большим. Так, если на улице 35–40 °С, то в помещении желательно поддерживать температуру не ниже 25–27°C. Но такие рекомендации подходят не всем, ведь для некоторых людей комфортная температура не превышает 20°C.

Поскольку типовой расчет делается с небольшим запасом, то на практике кондиционер сможет эффективно охлаждать помещение при температуре наружного воздуха до 30–33 °С, однако при увеличении температуры до 35 – 40°C его мощности уже будет недостаточно. Поэтому тем, кто «любит похолоднее» можно посоветовать увеличить мощность Q_1 на 20 – 30% .

2.2.5 Расчет влаговыделений в помещении

Источниками влаговыделений в основных помещениях гражданских зданий являются люди, в столовых и ресторанах – горячая пища, технологическое оборудование.

Влаговыделения от людей, кг/час:

$$W = w \cdot n,$$

где $w = 0,15$ – выделения влаги одним человеком, кг/час;

$n = 18$ – количество людей в помещении.

Следовательно:

$$W = 0,15 \cdot 18 = 2,7 \text{ кг/час.}$$

2.2.6 Расчет мощности электродвигателя вентилятора

Значение потребляемой кондиционером мощности позволяет определить, можно ли его подключать к обычной розетке или же нужно тянуть отдельный кабель к электросети. В современных домах электропроводка и розетки рассчитаны на ток до 16А, но если дом старый, то максимальный ток не должен превышать 10А. Для безопасной работы потребляемый сплит-системой ток должен быть на 30% меньше максимально допустимого, то есть в розетку можно включать оборудование, рабочий ток которого не превышает 7–11 А, что соответствует потребляемой мощности 1,5–2,4 кВт (заметим, что при таком энергопотреблении мощность охлаждения кондиционера будет лежать в диапазоне 4,5–9 кВт). Необходимо учитывать, что в квартирах к одному кабелю подключается несколько розеток, поэтому для расчета фактической нагрузки нужно суммировать мощности всех электроприборов, подключенных к розеткам одной линии. На рис. 2.1 приведен график нагрузки на электросеть в течении года.

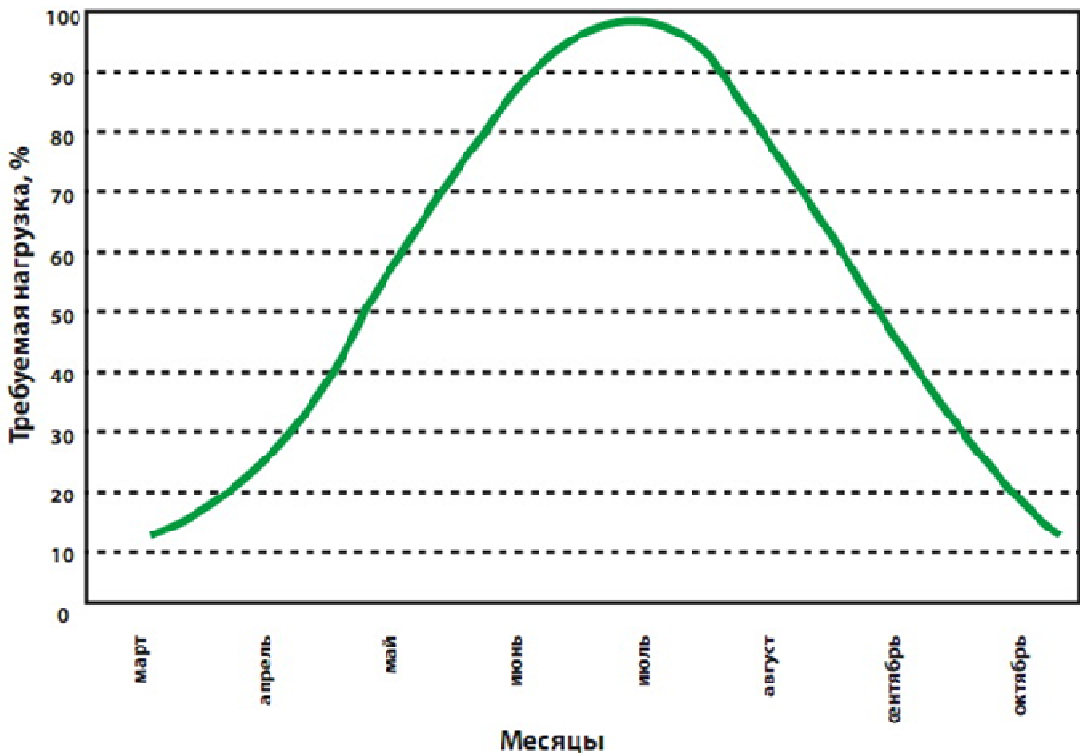


Рисунок 2.1 – График нагрузки кондиционирования

Потребляемая кондиционером мощность примерно в 3 раза меньше мощности охлаждения, то есть бытовой кондиционер мощностью 2,5 кВт потребляет всего около 800 Вт.

Точный выбор мощности кондиционера очень важен. Недостаточная мощность может проявиться только в жаркую погоду. Избыточная мощность тоже ни к чему хорошему не приводит. Мощный кондиционер создает сильный поток холодного воздуха – создаются не совсем комфортные условия. Кондиционер будет чаще включаться и выключаться, что приведет к повышенному износу компрессора. Наконец, с экономической точки зрения, кондиционер будет дороже.

Мощность (кВт) электродвигателя вентилятора определяют по формуле:

$$P = 1.1 \dots 1.6 \times \left(\frac{Q \times H}{1000 \times \eta_1 \times \eta_2} \right),$$

где $Q = 0,1$ – производительность вентилятора, м³/с;

$H=150$ – давление, Па;

$\eta_1 = 0,9$ – КПД вентилятора;

$\eta_2 = 0,85$ – КПД передачи.

В итоге после подстановки получаем:

$$P = 1.3 \times \left(\frac{0,1 \times 150}{1000 \times 0,9 \times 0,85} \right) = 0,035 \text{ кВт.}$$

2.3 Работа абсорбционной холодильной машины

2.3.1 История вопроса

Первая абсорбционная холодильная машина была создана во Франции в 1859 году и запатентована в 1860 Фердинандом Карре (Ferdinand Carre). В качестве рабочего тела использовалась смесь аммиака и воды. Из-за высокой токсичности аммиака такие холодильные машины в то время не получили широкого распространения для домашнего применения и использовались для промышленного производства льда.

В установках кондиционирования воздуха абсорбционный холодильный цикл начал использоваться более пятидесяти лет назад.

В производственных процессах, в которых требовалось поддержание низких температур, стали применяться аммиачно-водяные АБХМ.

В конце 1950-х годов была создана первая двухступенчатая бромистолитиевая абсорбционная холодильная машина. Позже бромистолитиевые АБХМ стали использоваться не только для охлаждения помещений, но и в качестве источника горячей воды.

В 1960-х годах началось активное продвижение газодобывающими компаниями технологий, предусматривающих использование природного газа. При продвижении на рынок АБХМ, работающих на природном газе, отмечались такие их достоинства, как низкие эксплуатационные затраты и лучшая производительность. Однако совершенствование компрессоров, повышение эффективности электродвигателей, устройств управления позволили повысить эффективность компрессорных холодильных машин и снизить стоимость их эксплуатации. Кроме того, свою роль в замедлении распространения АБХМ на природном газе сыграл энергетический кризис 1970-х годов.

В 1987 году был подписан так называемый «Монреальский Протокол» по веществам, разрушающим озоновый слой, который ограничил применение хладагентов на основе хлорфторуглерода (CFC) и гидрохлорфторуглерода

(HCFC). При этом непрерывно возрастала стоимость электрической энергии. В то же время стоимость природного газа оставалась достаточно стабильной, а сама технология абсорбционного охлаждения совершенствовалась. Перечисленные факторы способствовали очередному повышению интереса потребителей к АБХМ.

Холодильный цикл трехступенчатой абсорбционной холодильной машины с тремя конденсаторами и тремя генераторами был запатентован в 1985 году. Альтернативный цикл трехступенчатой абсорбционной холодильной машины с двойным конденсатором был запатентован в 1993 году. В настоящее время существуют прототипы трехступенчатых абсорбционных холодильных машин, эффективность которых превышает эффективность двухступенчатых на 30–50 %.

2.3.2 Классификация абсорбционных холодильных машин

Абсорбционная холодильная машина – пароконденсационная холодильная установка. В этой установке хладагент испаряется за счет его поглощения (абсорбции) абсорбентом. Процесс испарения происходит с поглощением теплоты. Затем пары хладагента за счет нагрева (внешним источником тепловой энергии) выделяются из абсорбента и поступают в конденсатор, где за счет повышенного давления конденсируются.

АБХМ бывают прямого и непрямого нагрева, одноступенчатые, двухступенчатые и трехступенчатые. В машинах прямого нагрева источником тепла может быть газ или другое топливо, сжигаемое непосредственно в установке. В машинах непрямого нагрева используется пар или другой теплоноситель, посредством которого теплота переносится от источника. В качестве источника может выступать бойлер, или, например, использоваться тепловая энергия, являющаяся побочным продуктом технологического процесса. Кроме того, существуют комбинированные (гибридные) системы, в состав которых входят АБХМ и когенераторные установки на природном газе, обеспечивающие выработку тепловой и электрической энергии; использование гиб-

ридных установок позволяет оптимизировать нагрузку на систему энергообеспечения и обеспечить экономию энергетических ресурсов.

Существуют бромистолитиевые и аммиачные АБХМ. В бромистолитиевых АБХМ в качестве хладагента используется вода, а в качестве абсорбента – бромид лития LiBr . В аммиачных АБХМ в качестве хладагента используется аммиак NH_3 , а в качестве абсорбента – вода. В настоящее время наибольшее распространение получили бромистолитиевые АБХМ.

Компонент системы, поглощаемый абсорбентом в процессе абсорбции, носит название абсорбат. Соответственно, абсорбент – жидкая фаза, поглощающая абсорбат в процессе абсорбции.

Одноступенчатые абсорбционные холодильные машины

В одноступенчатых АБХМ («single effect», в литературе иногда используется термин «одноконтурные») хладагент последовательно перемещается через четыре основных компонента машины – испаритель, абсорбер, десорбер и конденсатор. Холодильный цикл одноступенчатой АБХМ представлен на рисунке 2.2. Он очень похож на холодильный цикл парокомпрессионной холодильной машины.

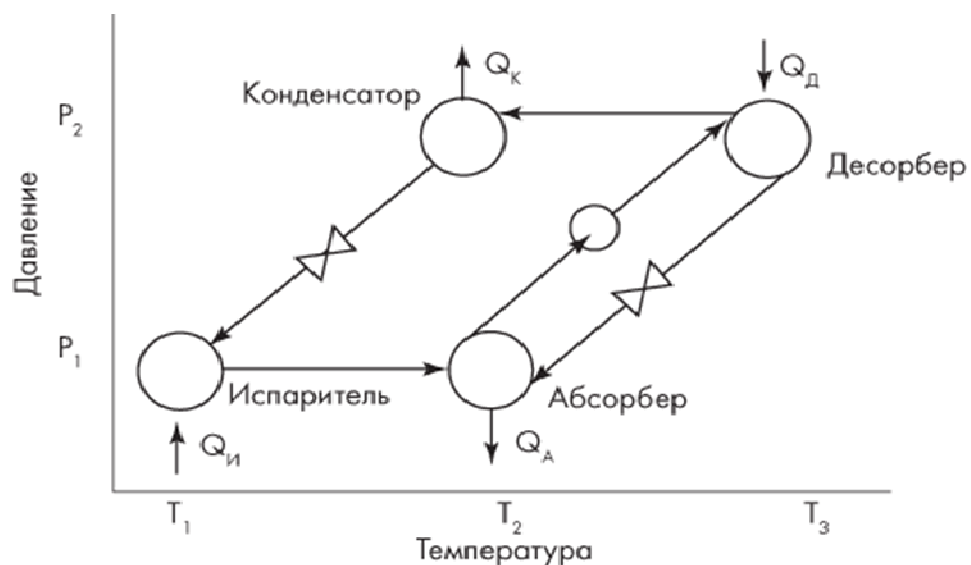


Рисунок 2.2 – Холодильный цикл одноступенчатой абсорбционной холодильной машины

Схема одноступенчатой АБХМ представлена на рис. 2.3. Хладагент испаряется при понижении давления в испарителе 1. Этот процесс идет с поглощением теплоты. В отличие от парокомпрессионной холодильной машины, процесс понижения давления в испарителе происходит не за счет работы компрессора, а за счет объемного поглощения (абсорбции) хладагента жидким абсорбентом в абсорбере 2. Затем абсорбент с поглощенным им хладагентом (бинарный раствор) поступает в десорбер 3. В десорбере бинарный раствор нагревается за счет горения газа, паром и т. д., в результате чего происходит выделение хладагента из абсорбента. Обедненный абсорбент из десорбера возвращается в абсорбер [19]. Хладагент поступает под большим давлением в конденсатор 4, где переходит в жидкую фазу с выделением теплоты, а затем через расширительный клапан 5 поступает в испаритель, после чего начинается новый цикл.

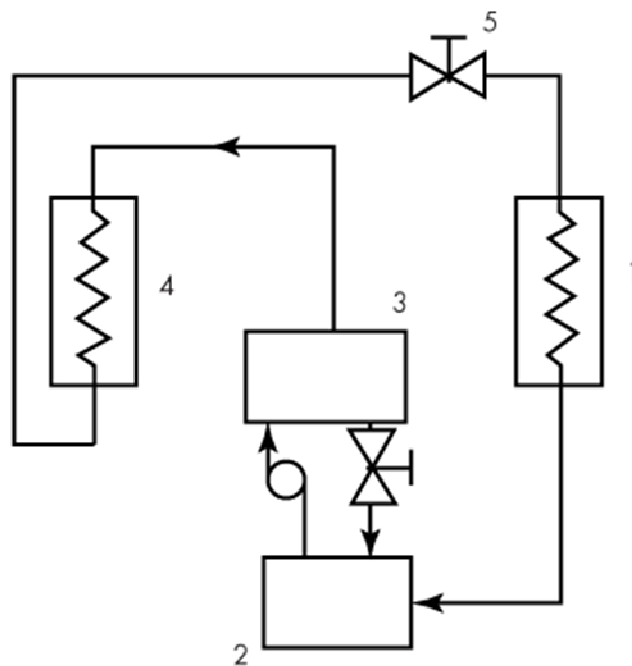


Рисунок 2.3 Схема одноступенчатой абсорбционной холодильной машины:

- 1 – испаритель; 2 – абсорбер; 3 – десорбер; 4 – конденсатор;
5 – расширительный клапан

Изменение концентрации хладагента в абсорбере и десорбере сопровождается изменением температуры насыщения. Для снижения потерь энергии

при циркуляции абсорбента между абсорбером и десорбером устанавливается рекуперативный теплообменник.

Идеальная одноступенчатая АБХМ могла бы обеспечить холодильный эффект, равный количеству тепловой энергии, подведенной к генератору, однако из-за термодинамических потерь в реальных установках холодильный эффект всегда будет ниже, чем затраты тепловой энергии.

Коэффициент полезного действия одноступенчатых АБХМ относительно низок, что несколько ограничивает их область применения.

В настоящее время одноступенчатые АБХМ часто устанавливаются в тех зданиях, где имеются легкодоступные источники сбросного тепла. Машины этого типа используются в составе систем кондиционирования воздуха и в качестве источника охлажденной воды для различных технологических процессов. Установочная мощность одноступенчатых АБХМ составляет, как правило, от 25 кВт до 5 МВт.

2.3.3 Технология получения холода в АБХМ

Если информацию о солнечном тепловом кондиционере можно считать новизной, то, об абсорбционных холодильных машинах известно давно, и специалисты считают, что именно они должны применяться при проектировании зданий общественного значения с кондиционированием воздуха. Они бесшумны в работе и не создают вибраций.

Главное, только они способны добывать холод из теплых солнечных лучей. Оказывается, что в таком агрегате объединены два антагонистических понятия – тепло и холод, солнце и кондиционер.

Чтобы удостовериться в том, что действительно можно холод получить из тепла, давайте, не вникая особо в физику процессов холодильной машины, попытаемся разобраться в сути вопроса. Вначале интересный факт. Почти в 70% японских зданий, кондиционеры работают, используя холод, полученный из тепла в абсорбционных бромисто–литиевых холодильных машинах (АБХМ).

Температура кипения воды равна $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, и если подвести теплоноситель, превышающий температуру кипения, вода будет кипеть, а теплоноситель охлаждаться. Температура кипения воды такова при нормальном атмосферном давлении в 1 бар (на поверхности земли).

Из физики мы знаем, что вода обладает определенными свойствами, когда она может кипеть при низкой температуре, при сниженном давлении в объеме, где она находится. Если давление понизить до 0,007 бар (почти вакуум), то вода начнет кипеть уже при температуре всего $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При таких условиях, достаточно подвести теплоноситель с температурой, например, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, и с помощью этого теплоносителя вода закипела бы, как от пламени газовой горелки, а теплоноситель бы этот охладился, например, до температуры $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, подобно тому, как охлаждаются под кипящим чайником продукты сгорания газа. Теплоноситель, охлажденный от 10 до $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, называют хладоносителем, и его можно с успехом использовать, например, в системах кондиционирования [20].

В испарителе же АБХМ (рисунок 2.4) происходят именно такие процессы. В качестве холодильного агента в этой машине используются не фреоны, а как в чайнике – обыкновенная вода, которая кипит в испарителе, давление внутри которого близко к абсолютному вакууму.

В АБХМ применяется раствор бромистого лития в воде. Особенностью этого раствора является его способность жадно поглощать (по-научному – «абсорбировать») водяной пар. Если в одном объеме с испарителем распылить концентрированный раствор бромистого лития, называемый абсорбентом, то вакуум в этом объеме сохранится, поскольку пар перейдет в раствор.

Чтобы абсорбент не потерял свою способность поглощать, тепло передается оборотной воде, циркулирующей через змеевик абсорбера, и отводится в атмосферу через градирню. Кроме того, чтобы поддержать абсорбционную способность раствора на постоянно высоком уровне, нужно из него выпарить лишний пар и это делается в генераторе при помощи тепловой энергии стороннего источника.

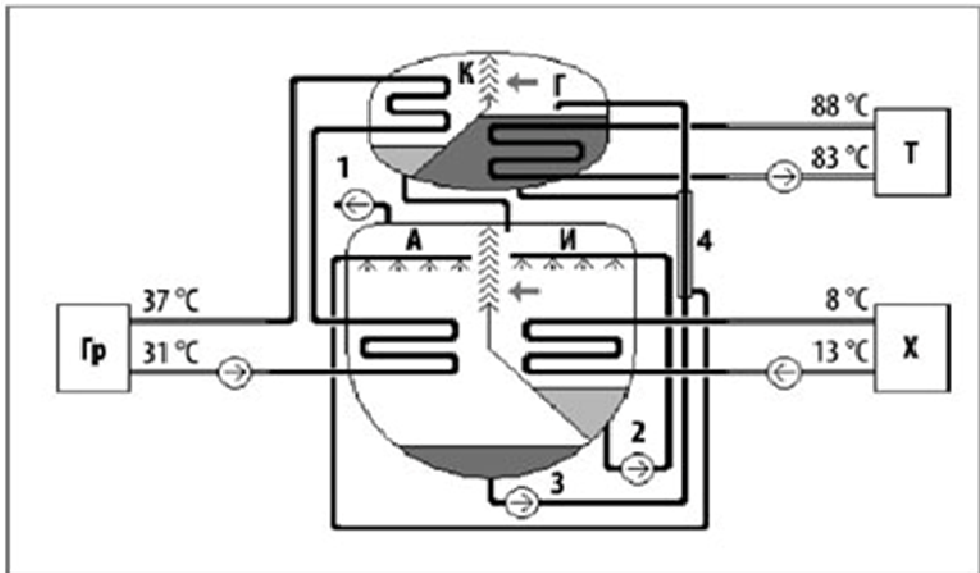


Рисунок 2.4 – Схема АБХМ:

(А – абсорбер, И – испаритель, Г – генератор, К – конденсатор
 (1 – вакуум–насос, 2 – водяной насос холодильного агента,
 3 – насос абсорбента, 4 – теплообменник), Х – потребитель холода,
 Т – источник тепла, Гр – градирня

Вот здесь мы и подошли к ответу на вопрос, как в абсорбционной бромисто–литиевой холодильной машине при помощи тепла производится холод. В качестве стороннего источника тепловой энергии 83 – 88 °С может применяться любой источник энергии – тепло солнечной энергии. То есть, холод мы можем производить без электрической энергии только в АБХМ.

Другой областью эффективного применения АБХМ являются здания с когенерационными установками, вырабатывающими электрическую и тепловую энергию. Если в таких зданиях применять для кондиционирования компрессорные холодильные машины, то в летнее время тепловую энергию придется сбрасывать в окружающую среду, и когенерация в этом случае не будет эффективной. В то же время, комплект оборудования «когенерационная установка + АБХМ», называемый тригенерацией, обеспечит высокий уровень использования энергии топлива.

Выводы по разделу 2

На основании исходных данных офисного помещения расположенного в г. Днепр, был выполнен расчет теплопотерь помещения, которые составляют 20380 Вт. То есть определена необходимая максимальная холодильная мощность. Также обоснована структура и работа солнечной системы кондиционирования воздуха. Описана технология получения холода в абсорбционной холодильной машине.

РАЗДЕЛ 3

РАСЧЕТ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА

3.1 Выбор абсорбционной холодильной машины

Необходимая холодильная мощность – 21 кВт (рассчитана в предыдущем разделе).

Следует заметить, что, несмотря на ряд положительных свойств, необходимо иметь в виду, что холодильный коэффициент АБХМ в обычном исполнении равен 0,7, это значит, что с 1 кВт потребляемой тепловой энергии можно получить только 0,7 кВт холода, и при этом, 1,7 кВт будет передано в окружающую среду.

Из этого следует, что нам потребуется тепловой энергии:

$$P_{\text{теп.треб}} = \frac{21}{0,7} = 30 \text{ кВт.}$$

Перейдем к выбору абсорбционного теплового насоса.

Выбираем АБХМ LT-1 [21].

АБХМ на горячей воде применяются для охлаждения технологических процессов, промышленного и бытового кондиционирования воздуха. АБХМ на горячей воде широко используются при промежуточном охлаждении воздуха, подаваемого на всасывание газовых турбин, при высокой температуре наружного воздуха для повышения эффективности газовых турбин. Такие машины часто применяются в случаях, когда на промышленном или коммерческом объекте есть источник горячей воды (например, котельная).

АБХМ на горячей воде обычно используются в следующих отраслях: химическая, фармацевтическая, бумажная, текстильная, сталелитейная промышленности, электростанции, гостиницы, больницы, рестораны, технопарки, офисы, учебные заведения, музеи и т.д.

Компания Thermax производит АБХМ в широком диапазоне мощностей, работающих на горячей воде, рассчитанных на горячую воду низких, средних и высоких температур.

Технические характеристики:

Холодильная мощность: 25 кВт

Температура охлажденной воды: до 3,5 °С.

Температура горячей воды: от 75 °С до 120 °С.

Холодильный коэффициент: 0,65 – 0,72.

Таблица 3.1 – Характеристики выбранной АБХМ

Модель	Ед. изм.	LT-1
Холодопроизводительность	кВт	25
Контур охлажденной воды		
Количество проходов (испаритель)		6
Потеря давления	м. вод. ст.	6,4
Диаметр подключения	мм	40
Контур охлаждающей воды		
Количество проходов (абсорбер)		4
Количество проходов (конденсатор)		2
Потеря давления	м. вод. ст.	1,5
Диаметр подключения	мм	50
Контур горячей воды		
Количество проходов (генератор)		4
Потеря давления	м. вод. ст.	1,5
Диаметр подключения	мм	40
Габаритные размеры		
Длина	мм	1950
Ширина	мм	950
Высота	мм	2150
Вес	т	1
Пространство для обслуживания	мм	1200

Продолжение табл. 3.1

Электропитание		
Насос абсорбента	кВт(А)	1(3,4)
Насос хладагента	кВт(А)	0,1(0,55)
Вакуумный насос	кВт(А)	0,55(1,8)
Общее потребление	кВт	2,05
Напряжение питания	380 В (+-10%), 50 Гц (+-5%), 3 фазы + нейтраль	

Примечание:

- 1) Температура охлажденной воды (вход/выход): 12/7 °С.
- 2) Температура охлаждающей воды (вход/выход): 29,4/ 36,4 °С.
- 3) Температура горячей воды (вход/выход): 80/75 °С.
- 4) Минимальная температура охлажденной воды на выходе: 3,5 °С.
- 5) Минимальная температура охлаждающей воды на входе: 20 °С.
- 6) Оборудование внутренней установки: необходимо поддержание температуры в помещении от 5 до 45 °С.
- 7) Максимально допустимое давление в системах охлажденной, охлаждающей, горячей воды: 8 кг/см².
- 8) Все соединения водяных патрубков должны соответствовать классу 150 ASME B 16,5.
- 9) Техническая документация основана на стандарте JIS B 8622 Японского комитета промышленных стандартов.

3.2 Расчет системы с термосифонным коллектором

3.2.1 Термосифонные солнечные коллекторы

Использование энергии Солнца приобретает все большую популярность. Это объясняется нестабильностью цен на рынке углеводородов и экологической чистотой гелиоэнергетики. Однако выработка электроэнергии при помощи солнечных батарей обладает низким коэффициентом полезного действия (он не превышает двадцати процентов). Поэтому далеко не везде строительство солнечных электростанций экономически целесообразно. А вот применение солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения

куда более эффективно. При подобном способе использования солнечного тепла поглощается практически вся его энергия.

Гелиосистемы, используемые для обогрева и снабжения горячей водой, делятся на два типа: сезонные и круглогодичные. Термосифонный солнечный коллектор работает только в те времена года, когда температура воздуха на улице является положительной, то есть летом и в переходные периоды. Это связано с тем, что солнечные коллекторы находятся снаружи здания, и при отрицательной температуре вода будет замерзать. Подобное развитие событий можно предотвратить путем использования более устойчивых к морозам теплоносителей, но это усложнит систему и увеличит ее стоимость. Поэтому сезонный солнечный коллектор отличаются от своих круглогодичных аналогов большей простотой и меньшей ценой. Однако, несмотря на свою простоту, сезонная гелиосистема требует правильной установки. Поэтому лучше приобретать сезонные гелиосистемы у фирм, которые предлагают услугу по ее установке и подключению и настройке контролеров для гелиосистем [22].

Энергия Солнца является бесплатной, поэтому можно существенно сэкономить на счетах за горячую воду.

Возможность получать горячую воду в летний период, когда нередко различные ремонтно-профилактические работы и отключения горячего водоснабжения.

Независимость от подвоза топлива. Даже если из-за форс-мажорных обстоятельств (таких как авария на газопроводе) подвоз топлива окажется нарушен, то сезонный солнечный водонагреватель позволит обеспечивать дом теплой водой длительное время.

Виды сезонных гелиосистем

Открытые сезонные гелиоустановки или термосифонная система (рисунк 3.1) отопления. В таких системах вода движется под воздействием силы тяжести. Это предопределяет установку подобных систем выше точки разбора воды. Обычно открытые гелиосистемы устанавливаются на крыше дома. Такая система является самой простой и способна функционировать

даже при обесточивании насоса (однако при этом будет отсутствовать терморегуляция подаваемой воды).

Гелиосистемы, работающие под давлением. Эти гелиосистемы можно включать непосредственно в магистраль водоснабжения. При этом установку данного типа можно устанавливать в любом месте, имеющем достаточный уровень освещения.

Сезонные солнечные коллекторы – гелиосистемы которые применяются в течении сезона, в котором температура воздуха не опускается до 0 °С. Если основное потребление горячей воды происходит в период апреля по октябрь, когда нет минусовых температур, то целесообразно применение термосифонных (самотечных) систем. Такие системы нашли широчайшее применение в летних кафе, детских лагерях, санаториях, базах отдыха, на дачах и прочее.

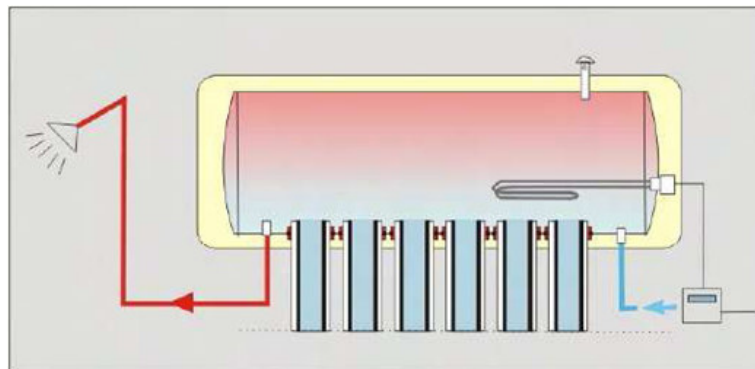


Рисунок 3.1 – Термосифонная система

Как правило, эти системы, которые имеют на выходе горячую воду, стекающую самотеком. Это связано со следующей конструкцией.

В таких системах вода из водопровода (или выше расположенного резервуара) подается в бак коллектора до полного его заполнения, после чего датчик перекрывает подачу в бак. За счет такой подачи в баке не создается давления даже при подведении к нему водопроводной воды. Под эффектом термосифонной гравитации (горячая вода поднимается вверх, а холодная опускается) вода нагревается от солнца и выходит из бака уже без давления.

Существуют напорные (рисунок 3.2) сезонные системы.

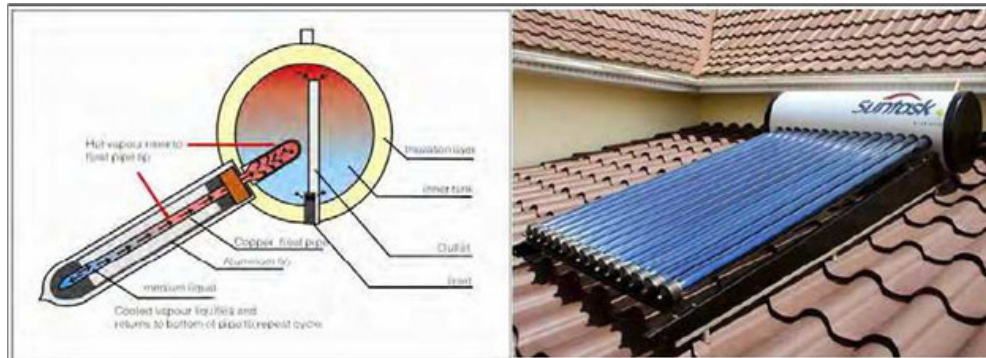


Рисунок 3.2 – Напорная система

Излучаемая солнцем энергия не только бесплатна и неистощима, но и в миллионы раз экологически чище любого доступного человечеству типа энергии. За каждые 8 минут Солнце поставляет столько энергии, сколько все человечество расходует за целый год жизнедеятельности. Вся потребность людей в потреблении энергии на 200 лет вперед может быть заменена на солнечную энергию, достигающую земной поверхности за одни только сутки. Если обратиться к числам, то можно подсчитать, что каждый день солнце посылает нам примерно 960 миллионов киловатт чистой энергии для потребления, а это значит, что в недалеком будущем человечество не сможет обойтись без использования такого мощного и доступного энергетического сырья. Применение солнечного тепла и света – простой, естественный и чистый способ получить разнообразные формы необходимой для человеческих нужд энергий.

3.2.2 Нахождение объема бака

Далее рассчитаем сколько необходимо нагреть воды в коллекторы для получения необходимой мощности [23].

Для перевода килокалорий в киловатт-часы воспользуемся соотношением $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 859,8 \text{ ккал}$, поэтому

$$Q[\text{кВт}] = \frac{Q[\text{ккал}]}{859,8} \Rightarrow Q[\text{ккал}] = Q[\text{кВт}] \times 859,8,$$

$$Q[\text{ккал}] = 30 \times 859,8 = 25\,794 \text{ ккал.}$$

Для нагрева 1 литра воды на 1 градус необходимо затратить энергию, равную 1 Ккал, а для нагрева V литров на ΔT градусов нужно затратить

$$Q[\text{ккал}] = V \cdot \Delta T \Rightarrow V = \frac{Q[\text{ккал}]}{\Delta T},$$

где ΔT температурный перепад, т. е. разность температур воды на входе и на выходе (в коллекторе) находится по формуле:

$$\Delta T = t_{\text{гор}} - t_{\text{хол}}.$$

Следовательно

$$\Delta T = 80 - 15 = 65 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$V = \frac{25\,794}{65} = 396,83 \sim 400 \text{ л.}$$

Берем коэффициент запаса $k_3 = 1.5$, тогда объем бака будет равен:

$$V' = V \cdot k_3 = 400 \cdot 1.5 = 600 \text{ л} = 0,6 \text{ м}^3.$$

Нагрев воды с $15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $80 \text{ }^\circ\text{C}$ требует использования энергии, которую можно посчитать так: нагрев 1 л воды на $1 \text{ }^\circ\text{C}$ требует 4200 Дж.

Следовательно

$4200 \text{ Дж} \times 600 \text{ л} \times 65 \text{ }^\circ\text{C} = 163,8 \text{ МДж}$ – ежедневное необходимое количество энергии для нагрева воды.

3.2.3 Определение среднего количества солнечной энергии, которое поступает на солнечный коллектор за день

Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную и наклонную поверхность приведена в табл. 3.2 и 3.3 [24]:

Таблица 3.2 величина солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, в среднем за день данного месяца, кВт/м² день

	май	июнь	июль	август	сентябрь
H	5,55	5,57	5,7	5,08	3,66

Таблица 3.3 величина солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность, в среднем за день данного месяца, МДж/м² день

	май	июнь	июль	август	сентябрь
H	20,55	20,62	21,11	18,81	13,55

Уровень солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность в среднем за день данного месяца:

$$H_T = H \cdot R,$$

где R – отношение среднемесячных дневных приходов суммарной энергии на наклонную и горизонтальную поверхности при определенном угле наклона.

Коэффициент пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$\begin{aligned}
 R &= \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} \\
 &= \left(1 - \frac{0.86}{3.33}\right) \cdot 0.894 + \frac{0.86}{3.33} \cdot \frac{1 + \cos(38)}{2} + 0.2 \cdot \frac{1 - \cos(38)}{2} \\
 &= 0.663 + 0.244 + 0.025 = 0.932,
 \end{aligned}$$

где E_p – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность;

E_p/E – среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

R_n – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;

β – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту;. Обычно принимается для весны и осени оптимальный угол наклона равным значению широты местности.

ρ – коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0.7 для зимы и 0.2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность [25]:

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{3H} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{3H} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} \\
 &= \frac{\cos(48 - 38) \cdot \cos(21.2) \cdot \sin(92.33) + \frac{\pi}{180} \cdot 92.33 \cdot \sin(48 - 38) \cdot \sin(21.2)}{\cos(48) \cdot \cos(21.2) \cdot \sin(115.51) + \frac{\pi}{180} \cdot 115.51 \cdot \sin(48) \cdot \sin(21.2)} \\
 &= \frac{0.926 + 0.061}{0.563 + 0.541} = \frac{0.987}{1.104} = 0.894,
 \end{aligned}$$

где φ – широта местности, град;

β – угол наклона солнечной батареи к горизонту, град;

δ – склонение Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора) в средний день месяца, град:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + 198}{365}\right) = 21.2,$$

n – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января (номер среднего расчетного дня для каждого месяца года). Результаты расчета сведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Угол склонения Солнца

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ , град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

ω_3 – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности:

$$\omega_3 = \arccos(-tg\varphi \cdot tg\delta) = \arccos(-tg(48) \cdot tg(21.2)) = 115.51^\circ,$$

$\omega_{3н}$ – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией [26]:

$$\begin{aligned} \omega_{3н} &= \arccos[-tg(\varphi - \beta) \cdot tg\delta] = \arccos(-tg(48 - 38) \cdot tg(21.2)) \\ &= 91.16^\circ. \end{aligned}$$

Таблица 3.5 – Параметры для расчета коллектора

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
φ	48	48	48	48	48
β	38	38	38	38	38
ω_3	112,21	112,27	115,51	105,46	92,224
$\omega_{3н}$	90,99	91,28	91,16	90,72	90,11
R	0,88	0,84	0,932	0,98	1,18

По данным таблицы 3.5 рассчитываем средний ежедневный уровень солнечной энергии соответствующий каждому углу наклона по месяцам:

$$\text{В мае: } H_T = 20,55 \times 0,88 = 18,08 \text{ МДж/м}^2.$$

Остальные расчеты производим аналогично, результаты заносим в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Интенсивность солнечной энергии на наклонной поверхности в среднем за день месяца, МДж/м²

	май	июнь	июль	август	сентябрь
H _T	18,08	17,32	19,67	18,43	15,98

Дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки [27]:

$$Q_{в}^{дн} \text{ уд} = F_R \times [H_i \times (\tau\alpha) - U_L \times (T_{вх} - T_o) \times 3,6 \times 10^{-3}], \text{ МДж/м}^2,$$

где F_R – коэффициент, связанный с эффективностью переноса тепла от пластины коллектора к жидкости, отводящей тепло, $F_R = 0,89$;

$(\tau\alpha)$ – приведенная поглощающая способность, учитывающая результирующее влияние оптических свойств материалов коллектора, $(\tau\alpha) = 0,93$;

U_L – коэффициент тепловых потерь, учитывающая возможные суммарные потери с единицы площади коллектора, $U_L = 4,16 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°К)}$;

S – действительная продолжительность солнечного сияния;

T_o – температура окружающего воздуха (для апреля и октября принимаем 283 К (10⁰С), для мая и сентября – 288 К (15⁰С), для июня – августа – 293 К (20⁰С));

$T_{вх}$ – температура теплоносителя;

$T_{б}$ – температура воды в баке – аккумуляторе к концу дня, $T_{б} = 353^0\text{К}$.

Таблица 3.7 – Температуры теплоносителя и в баке

Месяц	T _o	T _б	T _{вх}
май, сентябрь	288	353	333
июнь, июль, август	293	353	333
апрель, октябрь	283	353	333

Тогда дневная выработка тепловой энергии гелиоустановкой:

$$Q_5^{\text{дн}}_{\text{уді}} = 0,89 \times [18,08 \times 0,93 - 4,16 \times (328 - 288) \times 3,6 \times 10^{-3}] \\ = 14,43 \text{ МДж/м}^2.$$

Остальные итоги похожих расчетов сведем в виде таблицы 3.8.

Таблица 3.8 – Дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки, МДж/м²

май	июнь	июль	август	сентябрь
14,43	13,8	15,75	14,72	12,69

3.2.4 Потребное количество энергии для нагрева воды за месяц

$$Q_{\text{п}}^{\text{мес}} = Q_{\text{п}}^{\text{дн}} \times N, \text{ МДж},$$

где $Q_{\text{п}}^{\text{мес}}$ - потребное количество энергии для нагрева воды за месяц;

$Q_{\text{п}}^{\text{дн}}$ - потребное количество энергии для нагрева воды в день;

N - число дней в месяце.

$$Q_5^{\text{мес}} = 163,8 \times 31 = 5077,8 \text{ МДж}.$$

Остальные расчеты производим аналогично, результаты заносим в табл. 3.9.

Таблица 3.9 – Необходимое количество энергии для нагрева воды за месяц, МДж

месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь	за сезон
N	31	30	31	31	30	153
$Q_{\text{п}}^{\text{мес}}$	5077,8	4914	5077,8	5077,8	4914	25061,4

Общее потребное количество энергии за сезон составляет 25061,4 МДж.

3.2.5. Необходимая площадь гелиоустановки в каждом месяце

$$A = \frac{Q_{\text{п}}^{\text{дн}}}{Q_{\text{уд}}^{\text{дн}}}, \text{ м}^2,$$

где A – площадь гелиоустановки, м^2 ;

$Q_{\text{п}}^{\text{дн}}$ - потребное количество энергии для нагрева воды в день, МДж;

$Q_{\text{уд}}^{\text{дн}}$ - дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки, МДж/ м^2 .

$$A_5 = 163,8 \div 14,43 = 11,35 \text{ м}^2.$$

Остальные расчеты производим аналогично, результаты заносим в табл. 3.10.

Таблица 3.10 – Необходимая площадь гелиоустановки в каждом месяце

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
площадь, м^2	11,35	11,87	10,4	11,13	12,9

По потребной площади гелиоустановки определяем необходимое количество солнечных коллекторов. Результаты расчетов сводим в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Необходимое количество коллекторов в каждом месяце

Показатели	Месяц				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Потребное количество энергии за месяц $Q_{\text{п}}$, МДж	5077,8	4914	5077,8	4914	5077,8
Дневная потребность в энергии $Q_{\text{п}}^{\text{дн}}$, МДж	163,8	163,8	163,8	163,8	163,8
Дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки, МДж/ м^2	14,43	13,8	15,75	14,72	12,69

Показатели	Месяц				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Потребная площадь гелио-установки, м ²	11,35	11,87	10,4	11,13	12,9
Выбранное количество коллекторов, шт.	5	6	5	5	6
Литраж системы	750	900	750	750	900

Выбираем солнечный коллектор Altek SD-T2-15 [28] – сезонную систему для подачи горячей воды в дом, коттедж, квартиру или небольшое помещение.

Комплект поставки:

- 15 трубчатых элементов;
- накопительная емкость;
- наполняющий бак на 5 л.

Солнечный коллектор Altek SD-T2-15 принадлежит к вакуумным гелиосистемам. На сегодняшний день это самая эффективная технология. Устройство очень похоже на термос. Пространство между внешней и внутренней трубкой заполненное вакуумом. Обе изготовлены из стекла. Внешняя часть прозрачная, на внутреннюю нанесено специальное покрытие для поглощение солнечной энергии. Вакуумная прослойка сохраняет 95% тепла. Поэтому зимой внешняя часть может покрыться льдом, а внутри будет кипящая вода.

Преимущества вакуумных солнечных коллекторов:

- простота монтажа;
- маленькие теплопотери;
- идеально подходит для теплого, умеренного и холодного климата;
- сезон работы с апреля по ноябрь, с дополнительным электрическим тЭНОМ можно увеличить режим работы с марта по ноябрь;
- способен выдавать воду до 90 градусов Цельсия.

Таблица 3.12 – Технические характеристики коллектора

Тип коллектора	вакуумные трубчатые
Емкость системы, л	150
Диаметр трубки, мм	58
Длина трубки, мм	1800
Количество трубок	15
Площадь апертуры, м ²	2,3
Вес (собранный, заполненной)	303 кг
Подача воды	безнапорная

3.3 Расчет системы с плоским коллектором

Плоский коллектор - самый распространенный вид солнечных коллекторов, используемых в бытовых водонагревательных и отопительных системах. Этот коллектор представляет собой теплоизолированную остекленную панель, в которую помещена пластина поглотителя. Пластина поглотителя изготовлена из металла, хорошо проводящего тепло (чаще всего меди или алюминия). Чаще всего используют медь, т.к. она лучше проводит тепло и меньше подвержена коррозии, чем алюминий. Пластина поглотителя обработана специальным высокоселективным покрытием, которое лучше удерживает поглощенный солнечный свет. Это покрытие состоит из очень прочного тонкого слоя аморфного полупроводника, нанесенного на металлическое основание, и отличается высокой поглощающей способностью в видимой области спектра и низким коэффициентом излучения в длинноволновой инфракрасной области.

Благодаря остеклению (в плоских коллекторах обычно используется матовое, пропускающее только свет, стекло с низким содержанием железа) снижаются потери тепла. Дно и боковые стенки коллектора покрывают теплоизолирующим материалом, что еще больше сокращает тепловые потери.

Сведем в таблицу 3.15 положительные и отрицательные параметры вышеуказанных солнечных коллекторов.

Выберем плоский коллектор Viessmann Vitosol 100-F. Данный коллектор привлекателен как ценой, так и своей высокой экономичностью.

Таблица 3.15 – Положительные и отрицательные параметры солнечных коллекторов

	Сравнительная эффективность апрель-октябрь, в зависимости от площади	Сравнительная эффективность ноябрь-март, в зависимости от площади	Проблема размножения бактерий	Сравнительная цена	Ремонтопригодность	Нагрев теплоносителя до температуры
Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде	90%	0%	есть	20%	70%	95 ⁰ С
Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником	95%	70 %	нет	65%	60%	95 ⁰ С
Вакуумный коллектор с термотрубками	100%	100%	нет	100 %	100%	250 ⁰ С
Плоский солнечный коллектор	60%	33%	есть	60%	30%	95 ⁰ С

Благодаря высокоселективным титановым покрытиям использование солнечной энергии стало еще более эффективным. Материалы, стойкие к коррозии и воздействию непогоды: легированная сталь, алюминий, медь и специальное стекло, обеспечивают сохранение максимального коэффициента использования в течение длительного времени.

Отличаются высокой долговечностью. Особая прочность и жёсткость конструкции обеспечивается стойкими к УФ-облучению и к неблагоприятному погодному воздействию алюминиевой рамой жесткости с алюминиевыми уголками и тыльной стенкой из листовой стали с алюминий-цинковым покрытием. Медный ленточный абсорбер с трубчатым арфообразным змеевиком и высокоэффективным гелиотитановым покрытием, сваренный по передовой технологии.

Крышка с цельным (сплошным) листом градостойкого структурированного безопасного стекла толщиной 3,2 мм для покрытия гелиоколлектора. Высокоэффективная теплоизоляция из термостойкого минерального волокна, не выделяющего газы при нагреве. Бесшовное уплотнение панелей.

Быстрое и надежное подключение коллекторов посредством гибких вставных соединителей из нержавеющей гофрированной трубы. Диаметр подключения трубопроводов гелиоколлектора 22 мм.

Плоские солнечные коллекторы с высокоэффективным титановым покрытием. Электронный контроллер разности температур Viessmann Vitosolic для установок с подогревом воды двумя источниками - солнечными коллекторами и водогрейным котлом.

Большой коэффициент использования посредством абсорбера с высокоселективным покрытием, вмонтированной системы труб и высокоэффективной теплоизоляции.

Модели абсорберов для горизонтального или вертикального монтажа.

Быстрый монтаж с помощью гибких трубных соединений. Штекерная система позволяет соединить коллекторы между собой в группы до десяти штук.

Характеристики выбранного коллектора:

- Производитель Viessmann
- Страна производитель Германия
- Тип коллектора Плоский
- Принцип работы Под давлением

- Режим использования Сезонное
- Площадь 2.51 м²
- Емкость системы 1.83(л)
- Способ монтажа Наклонный
- Максимальное давление 10.0(бар)
- КПД, не менее 80.8(%)
- Срок службы 10.0(лет)
- Гарантийный срок 12 (мес)
- Габаритные размеры Вес 42.0 (кг)
- Дополнительные характеристики
- Габаритные размеры 1056x2380x72
- Абсорбер Гелиотитан/Si
- Стекло Солнечное
- Корпус коллектора Алюминий
- Цвет коричневый
- Толщина изоляции, 4 см
- Площадь апертуры 2.3 м²

3.3.1 Расчет плоских коллекторов

Тепловая мощность (Вт) плоского коллектора солнечной энергии

$$Q_k = A[I_k \times \eta_0 - K'_k \times (T_{T1} - T_B)],$$

где A – площадь поверхности, м²;

I_k – плотность потока солнечной радиации, поступающей на поверхность коллектора, Вт/м²;

η_0 – эффективный оптический КПД коллектора;

K'_k – общий коэффициент теплопотерь коллектора, Вт/(м²-К);

T_{T1} – температура теплоносителя на входе, °С;

T_B – температура наружного воздуха, °С.

Таблица 3.16 – Интенсивность солнечной энергии на наклонной поверхности в среднем за день месяца, Вт/м²

	май	июнь	июль	август	сентябрь
H_T	5020	4811	5463	5119	4439

Тогда выработка с 1 м² плоского коллектора для месяца мая составит:

$$Q_k = 1 \times [5020 \times 0,63 - 4,16 \times (25 - 15)] = 3\,121 \text{ Вт.}$$

Данные для остальных месяцев сведем в виде таблицы 3.17.

Таблица 3.17 – Тепловая мощность (Вт) с 1 м² плоского коллектора солнечной энергии

	май	июнь	июль	август	сентябрь
Q_k	3121	3010	3421	3204	2755

Необходимая дневная мощность для нагрева рассчитанного количества воды:

$$Q_{\text{потр}} = 45\,500 \text{ кВт.}$$

Тогда необходимая площадь коллектора в каждом месяце:

$$F = \frac{Q_{\text{потр}}}{Q_k}, \text{ м}^2,$$

где F – площадь гелиоустановки, м²;

$Q_{\text{потр}}$ - потребное количество энергии для нагрева воды в день, Вт;

Q_k - дневная удельная теплопроизводительность гелиоустановки, Вт/м².

Подставляя числовые значения получим:

$$F_5 = \frac{45\,500}{3\,121} = 14,57 \text{ м}^2.$$

Остальные аналогичные расчеты приведем в виде таблицы 3.18.

Таблица 3.18 – Необходимая площадь плоских коллекторов и их количество

	май	июнь	июль	август	сентябрь
$Q_k, \text{ м}^2$	14,57	15,12	13,3	14,2	16,52
n, шт	7	7	6	7	8

Объем бака выбирался ранее.

3.4 Сравнительный анализ систем с разными типами коллекторов

Исходя из расчетных данных можно сделать вывод, что вакуумные коллекторы с прямой теплопередачей воде необходимо использовать сезонно (апрель-октябрь). Дальнейшее их использование невозможно за счет вероятности замерзания жидкости внутри трубок и дальнейшего повреждения прибора. Использование этих коллекторов наиболее выгодно в регионах, где нет отрицательных температур. В этом случае их установка окупается меньше чем за сезон. Поскольку данный вид коллектора работает исключительно без избыточного давления (не допускается избыточное давление в баке более 0,2 атмосфер), то подключение данного оборудования к магистральным трубопроводам возможно только с использованием понижающего редуктора или открытого бака с поплавковым механизмом. Поэтому, если на выходе необходим напор (например, для работы сантехнических приборов - кранов, санузла и т.п.), после солнечной водонагревательной установки нужно ставить гидроаккумулятор (насос с резиновым баком), рассчитанный на работу с горячей водой. Также к недостаткам можно отнести и возможность откладыва-

ния солей и других загрязнений на внутренней поверхности трубок при повышенной жёсткости или загрязненности воды. Это может привести к ухудшению поглощающих свойств вакуумных трубок.

Плоский солнечный коллектор оптимален при необходимости использовать энергию солнца в период: апрель-октябрь. За счет относительной дешевизны он может быть оптимальным для нагрева воды и бассейна в этот период. В холодное время года, при минусовых температурах плоский солнечный коллектор не может служить источником тепла за счет больших потерь в окружающую среду. К недостаткам этого типа коллекторов относятся и достаточно небольшие температуры нагрева циркулирующей жидкости, что, кроме всего прочего, приводит к вероятности размножения болезнетворных бактерий, которой нет в системах с вакуумными коллекторами. В случае разбития герметизирующего стекла эффективность коллектора значительно уменьшается, так как тепло расходуется на обогрев окружающей среды, а также отсутствует парниковый эффект, позволяющий в достаточной степени нагревать теплоноситель. В большинстве случаев солнечные коллекторы устанавливаются на крыше, поэтому для монтажных организаций важна легкость доставки и монтажа. Плоские солнечные коллекторы представляют собой неразборной блок больших габаритов - все это затрудняет подъем оборудования для монтажа на высоту и дальнейшую работу с ними.

3.5 Определение энергопотребления мощности инвертора

Суммарный результат мощности потребителей занесен в таблицу 3.19

Таблица 3.19

Потребители переменного тока	Мощность, кВт
АБХМ LT-1	2,05
Вентилятор	0,035
ВСЕГО	2,3

Далее нужно посчитать, сколько энергии постоянного тока требуется. Для этого необходимо умножить получившееся значение на коэффициент $k=1.2$, учитывающий потери в инвертор [26]:

$$W_{тр} = W_{пер} \cdot k = 2300 \cdot 1.2 = 2760 \text{ Вт}.$$

Определим значение входного напряжения инвертора $U_{инв}$ по характеристикам выбранного инвертора.

Выбираем гибридный инвертор InfiniSolar 3KW [30].

Число Ампер-часов в неделю, требуемое для покрытия нагрузки переменного тока, определяется по формуле:

$$q_{нед}^{пер} = \frac{W_{тр}}{U_{инв}} = \frac{2760}{230} = 12 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Суточное значение потребляемых А·ч определяется делением $q_{нед}$ на 7 дней:

$$q_{сут} = \frac{q_{нед}}{7} = \frac{12}{7} = 1,71 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Определение значения необходимой емкости аккумуляторной батареи и их количества.

Определить максимальное число последовательных "дней без солнца" $N_{бс}$ для уменьшения затрат можно выбрать минимально возможное количество дней без солнца – 2.

Суммарная емкость аккумуляторов, учитывающая количество дней без солнца $N_{бс}$:

$$q_N = q_{сут} \cdot N_{бс} = 1,71 \cdot 2 = 3,43 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Задаем величину глубины допустимого разряда аккумуляторной батареи. Соответственно коэффициент использования γ составит от 0,2 до 0,5.

Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{3,43}{0,5} = 6,86 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Выбираем коэффициент α из справочных данных [25]:

$$\alpha = 1,19.$$

Общая требуемая емкость аккумуляторных батарей:

$$q_{\text{общ}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 6,86 \cdot 1,19 = 8,16 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Выбираем аккумуляторную батарею Ventura GP 12-12 [31].

Далее разделим общую требуемую емкость батарей $q_{\text{общ}}$ на номинальную емкость выбранной аккумуляторной батареи и округлим полученное значение до ближайшего большего целого.

$$N_{\text{пар}}^{АКБ} = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{8,16}{12} = 0,68.$$

Принимаем 1 аккумулятор при параллельном соединении.

Далее разделим номинальное напряжение постоянного тока системы $U_{\text{инв}}$ на номинальное напряжение аккумуляторной батареи:

$$N_{\text{посл}}^{AKB} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{230}{12} = 20.$$

Подсчитаем общее требуемое количество аккумуляторных батарей:

$$N^{AKB} = N_{\text{пар}}^{AKB} \cdot N_{\text{посл}}^{AKB} = 1 \cdot 20 = 20.$$

3.5.1 Определение необходимого количества солнечных батарей

Основными компонентами фотоэлектрической системы являются солнечные элементы. Отдельные солнечные элементы как правило небольшого размера. Их мощность может достигать до 1 – 2 Вт электроэнергии. С целью увеличения объемов производства электроэнергии солнечные элементы соединяют в крупные блоки, которые называются солнечными модулями. Солнечные модули, в свою очередь, объединяют в солнечные батареи. Данные сборки также называют фотоэлектрическими модулями. Таким образом, в зависимости от мощности модулей рассчитывается полная мощность фотоэлектрической системы.

Наиболее важным вопросом при расчете систем, использующих альтернативные источники энергии и обеспечивающие автономное электроснабжения правильно выбрать:

- фотоэлектрические модули: КПД, среднегодовой КПД, для условий Украины наиболее актуально использовать теллурид – кадмиевые панели, монокристаллические панели;
- системы преобразования энергии (инверторы), КПД устройств представленных на рынке от 40 до 95%, холостой ход от 1.5 до 3000 Вт;
- контроллеры заряда, характеризующиеся диапазоном входного напряжения, использование МРРТ контроллеров увеличивает КПД системы до 15%;

– соединительные кабели, разъемы. Использование некачественного кабеля и разъемов может снизить КПД до 20%. Таким образом, выходная производительность системы может быть меньше в разы от суммарной мощности, которую вырабатывают солнечные батареи.

Принимаем солнечную батарею Yingli Solar YL255C-30b Black, 255 Вт (монокристалл) [32].

Согласно пунктам, перечисленным выше, принимаем фотоэлектрический модуль типа монокристаллический модуль мощностью 255 Вт. Напряжение 24 В. Модули изготовлены на современном оборудовании из качественных материалов, что соответствует стандарту IEC 61215: 1993, это гарантирует отличные электрические характеристики и срок службы 25 лет. Класс влагостойкости IP 65, простое соединение и современный дизайн.

Технические характеристики выбранного фотомодуля:

- Производитель Yingli Solar
- Страна производитель Китай
- Тип панели Монокристаллическая
- Материал рамки Алюминий
- Напряжение 24.0 (В)
- Мощность 255.0 (Вт)
- Ток при максимальной мощности 8.33(А)
- Напряжение при максимальной мощности 30.6 (В)
- Ток короткого замыкания 8.85(А)
- Напряжение холостого хода 38.3 (В)
- Количество элементов 60.0 (шт.)
- Минимальная рабочая температура -40.0 (град.)
- Максимальная рабочая температура 85.0 (град.)
- КПД, не менее 17.6 (%)
- Гарантийный срок 60 (мес)

3.5.2 Выбор аккумуляторов

Умножаем значение $q_{сут}$ на коэффициент $\zeta=1.2$ для учета потерь на заряд-разряд аккумуляторной батареи:

$$q_{з-р} = q_{сут} \cdot \zeta = 1,71 \cdot 1,2 = 2,05 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Разделим значение $q_{сут}$ на число пиковых солнце-часов для заданной местности $i = 3,36$. В результате будет получено значение тока, который должны генерировать солнечные батареи:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{2,05}{3,36} = 0,61 \text{ А.}$$

Для определения числа модулей, соединенных параллельно, разделим значение тока, вырабатываемого батареями, на максимальный ток I_{mpp} одного модуля и округлим полученное до ближайшего большего целого:

$$N_{пар}^{CB} = \frac{I^{CB}}{I_{mpp}} = \frac{0,61}{8,33} = 1.$$

Принимаем 1 солнечную батарею параллельно.

Для определения числа модулей, соединенных последовательно, разделим напряжение постоянного тока системы $U_{инв}$ на номинальное напряжение солнечной батареи:

$$N_{посл}^{CB} = \frac{U_{инв}}{U_{ном}^{CB}} = \frac{230}{24} = 10.$$

Тогда общее количество требуемых фотоэлектрических модулей:

$$N^{CB} = N_{нар}^{CB} \cdot N_{посл}^{CB} = 1 \cdot 10 = 10.$$

Площадь солнечных батарей:

$$S^{CB} = N^{CB} \cdot S_1^{CB} = 10 \cdot 1,64 = 16,4 \text{ м}^2,$$

где S_1^{CB} – площадь одной солнечной батареи.

На основании выполненных расчетов была разработана функциональная схема солнечного кондиционера (рис. 3.3).

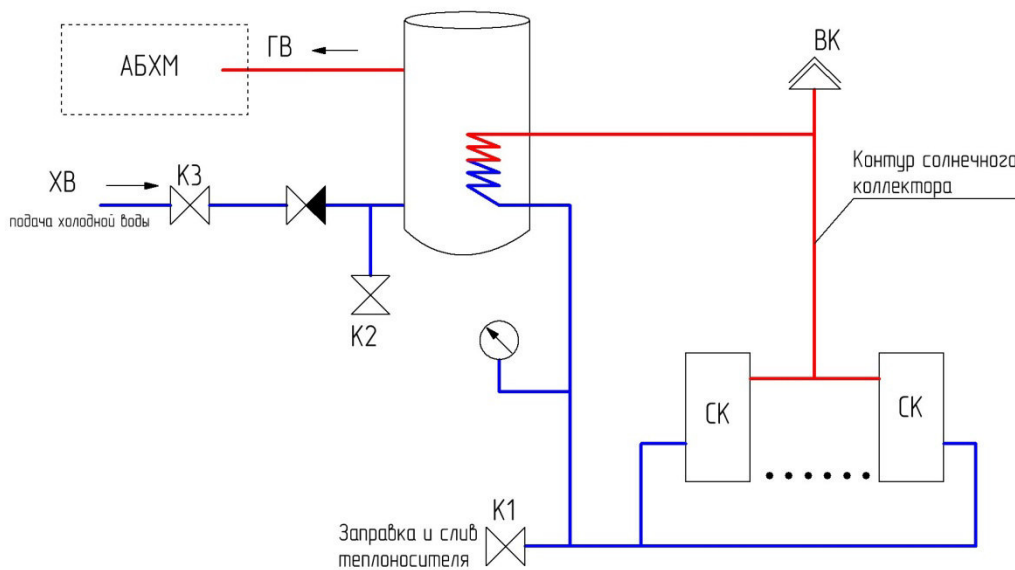


Рисунок 3.3 – Функциональная схема солнечного кондиционера

Выводы по разделу 3

1. Произведен выбор абсорбционной холодильной машины исходя из требуемых рассчитанных параметров холодопроизводительности.

2. Дана характеристики термосифонным и плоским коллекторам, которые входят в солнечный кондиционер.

3. По данным поступления инсоляции рассчитано необходимое количество термосифонных и плоских коллекторов, а также выбраны все комплектующие системы.

4. Составлена функциональная схема солнечного кондиционера.

5. Для электрической части АБХМ был произведен расчет и выбор инвертора, солнечных панелей, аккумуляторных батарей.

РАЗДЕЛ 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

4.1 Введение

Сегодня одной из важнейших задач, ставящихся перед всеми инженерными системами и оборудованием, в том числе и системами вентиляции и кондиционирования являются задачи экономии энергетических ресурсов (энергосбережения).

Соответственно, одна из задач, стоящих перед разработчиками новых эффективных видов климатического оборудования – это использование солнечной энергии для климатизации (обогрева и охлаждения) зданий, чтобы преобразовать выбросы солнечной энергии в полезную человеку энергию.

В данной диссертации цель разработать систему солнечного охлаждения (кондиционирования) офисного помещения с использованием солнечной энергетики, что является актуально в наше время. Использование солнечной энергии для кондиционирования воздуха - привлекательная идея не только для южных регионов, где расходы на охлаждение являются определяющими в расходах тепла на поддержание в помещениях комфортных условий, но и для кондиционирования воздуха в общественных зданиях средних и даже северных регионов. Использование солнечной энергии для кондиционирования целесообразно вследствие того, что график прихода солнечной энергии совпадает с графиком потребления холода, а также потому, что добавление солнечного охлаждения к отоплению позволяет значительно улучшить экономику солнечного теплоснабжения.

Для технико-экономического обоснования разработки системы солнечного хладоснабжения с применением коллекторов необходимо решить такие задачи:

- 1) Рассчитать стоимость капитальных затрат [33].
- 2) Определить величину эксплуатационных расходов:

- амортизационных отчислений;
- затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования и сети;
- прочие затраты.

4.2 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат оформляется в виде табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Стоимость оборудования

№	Название оборудования	Кол-во	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.	Обоснование
1	Абсорбционная холодильная машина	1	150 000	150 000	[21]
2	Термосифонная система	6	9000	54 000	[28]
	Плоские коллектора	8	8000	64 000	[29]
3	Инвертор	1	30 000	30 000	[30]
4	Солнечная батарея	10	8 000	80 000	[32]
5	АКБ	20	800	16 000	[31]
Итого				330 000	
				340 000	

Капитальные затраты проекта составляют:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн},$$

где $K_{об}$ – стоимость оборудования по сводке затрат, грн;

$K_{тр}$ – транспортно-заготовительные и складские затраты, грн; в соответствии с [34] составляют 3000 грн.

K_{MH} – затраты на монтаж и наладку оборудования, грн.

Расходы на монтажные K_M работы можно определить следующим образом:

$$Z_M = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{пр},$$

где $Ч = 4$ чел. численность инженеров электриков, необходимых для выполнения определенного объема монтажных работ;

$a = 36$ грн. – часовой оклад инженера электрика;

$t = 36$ часов, время необходимое для выполнения монтажных работ;

$K_d = 1,1$ – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коэффициент учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{пр} = 1,05$ – коэффициент, учитывающий другие затраты.

$$Z_M = ((4 \cdot 36 \cdot 72) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 14\ 610 \text{ грн.}$$

Расходы на наладочные работы можно определить следующим образом:

$$Z_H = \sum (Ч \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{пр}$$

где $Ч = 4$ чел. численность инженеров электриков, необходимых для выполнения определенного объема монтажных работ;

$a = 36$ грн. часовой оклад инженера электрика;

$t = 18$ часов, время необходимое для выполнения наладочных работ;

$K_d = 1,1$ – коэффициент, учитывающий размер доплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коэффициент учитывающий отчисления на социальные мероприятия;

$K_{пр} = 1,05$ – коэффициент, учитывающий другие затраты.

$$З_{н} = ((4 \cdot 36 \cdot 18) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 3\,653 \text{ грн.}$$

$$K_1 = 330\,000 + 14\,610 + 3\,653 + 3\,000 = 351\,263 \text{ грн.}$$

$$K_2 = 340\,000 + 14\,610 + 3\,653 + 3\,000 = 361\,263 \text{ грн}$$

4.3 Расчет эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты по объекту проектирования составляют:

$$C = C_a + C_з + C_c + C_T + C_э + C_{пр}, \text{ грн,}$$

где C_a – амортизационные отчисления;

$C_з$ – заработная плата обслуживающего персонала;

C_c – единый социальный взнос;

C_T – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования;

$C_э$ – стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования;

$C_{пр}$ – прочие эксплуатационные расходы.

Расчет амортизационных отчислений

Амортизация объекта основных средств начисляется исходя из срока его полезного использования. Срок полезного использования (эксплуатации) объектов основных средств и нематериальных активов определяется предприятием самостоятельно, исходя из ожидаемых экономических выгод, технических и качественных характеристик основного средства, морального и физического износа, а также других факторов, которые могут повлиять на возможность использования. Принимаемый дипломником срок полезного использования объектов основных средств для начисления амортизации может быть меньше минимально допустимых сроков полезного использования.

Норма амортизации H_a при прямолинейном методе постоянна в течение всего амортизационного периода и равна:

$$H_a = \frac{\Phi_{\text{п}} - Л}{\Phi_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}} \cdot 100\%,$$

где $\Phi_{\text{п}}$ – первоначальная (или переоцененная) стоимость объекта основных средств;

$T_{\text{п}}$ – срок полезного использования;

$Л$ – ликвидационная стоимость основных средств.

Зная данную группу основных средств определим норму амортизации для проектного варианта 1:

$$H_a = \frac{351\,263 - 15\,000}{351\,263 \cdot 12} \cdot 100\% = 7,9 \%,$$

для проектного варианта 2:

$$H_a = \frac{361\,263 - 15\,000}{361\,263 \cdot 12} \cdot 100\% = 7,9 \%.$$

Тогда годовые амортизационные отчисления AO по прямолинейному методу для проектного варианта 1:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot H_a}{100} = \frac{351\,263 \cdot 7,9}{100} = 27\,749 \text{ грн.}$$

Для проектного варианта 2:

$$AO = \frac{\Phi_{\text{п}} \cdot H_a}{100} = \frac{361\,263 \cdot 7,9}{100} = 28\,540 \text{ грн.}$$

Норма амортизации для базового варианта:

$$H_a = \frac{98\,000}{98\,000 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\%,$$

$$AO = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} = \frac{98\,000 \cdot 20}{100} = 19\,600 \text{ грн.}$$

Результаты расчетов сводим в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Расчет амортизационных отчислений

Наименование	Капитальные затраты, грн.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, грн.
Проектный вариант 1	351 263	7,9	27 749
Проектный вариант 2	361 263	7,9	28 540
Базовый вариант	98 000	20	19 600

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования и сетей включают расходы на материалы и запасные части, заработную плату ремонтникам и определяются:

$$Z_m = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot t_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{S_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}),$$

где n – число устройств автоматики, подлежащих ремонту;

R_i – часовая ставка рабочих, выполняющих ремонт. Ставка электромонтера по ремонту электрооборудования составляет 36 грн/ч;

t_i – трудоемкость одного ремонта при категории тяжести ремонта в одну ремонтную единицу, в зависимости от вида ремонта, ч / ед., при среднем ремонте 8 ч / ед. ;

m_i – число ремонтов за год, ед., принимается 2;

$R_{\Sigma i}$ – суммарная категория тяжести ремонта в зависимости от вида электрооборудования, так как мощность от 5 до 10 кВт, то принимается 2,1;

S_i – стоимость однотипных заменяемых элементов, грн.; составляют 360 грн.;

P_i – количество однотипных заменяемых элементов, ед., 15 ед.;

T_i – средний срок службы деталей данного типа, ч., принимаем 17 520 ч;

T_{ϕ} – число часов работы оборудования в год, ч.; 1500 ч.

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт составят для проектного варианта 1 и 2:

$$C_T = 36 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 2,1 + \frac{360 \cdot 15}{17\,520} \cdot 1500 = 1\,672 \text{ грн.}$$

Годовые расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт составят для базового варианта:

$$C_T = 10\,000 \text{ грн.}$$

Таблица 4.3 – Расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт

Наименование	Техн. обслуживание, грн.
Проектный вариант 1	1 672
Проектный вариант 2	1 672
Базовый вариант	10 000

Таким образом, суммарные эксплуатационные затраты для проектного варианта 1 и 2 составляют:

$$C_{\text{пр1}} = 27\,749 + 1\,672 = 29\,421 \text{ грн,}$$

$$C_{\text{пр2}} = 28\,540 + 1\,672 = 30\,212 \text{ грн.}$$

Электроэнергия в проектных вариантах потребляться не будет. Расчет потребленной электроэнергии для базового варианта:

$$C_e = W_{\text{сез}} \cdot a,$$

где a – тариф за кВт электроэнергии (составляет 1 грн 92 коп. за 1 кВт).

$$W_{\text{сез}} = N_y \cdot T_n,$$

где $N_y = 7,5$ кВт – установленная мощность оборудования;

$T_n = 1700$ – номинальное время работы оборудования за сезон (часов).

$$W_{\text{сез}} = 7,5 \cdot 1700 = 12\,750 \text{ кВт,}$$

$$C_e = 12\,750 \cdot 1,92 = 24\,480 \text{ грн.}$$

Рассчитаем стоимости потерь электроэнергии.

Кол-во потерь электроэнергии:

$$\Delta W = 15\% \cdot W_{\text{сез}},$$

$$\Delta W = 0,15 \cdot 12\,750 = 1\,913 \text{ кВт.}$$

Стоимость потерь:

$$C_{\Delta W} = \Delta W \cdot C_e,$$

$$C_{\Delta W} = 1\,913 \cdot 1,92 = 3\,673 \text{ грн.}$$

Стоимость электроэнергии с учетом потерь в сети:

$$C_{\Sigma} = C_e + C_{\Delta W},$$

$$C_{\Sigma} = 24\,480 + 3\,673 = 28\,153 \text{ грн.}$$

Прочие затраты для базового варианта составляют:

$$C_{\text{пр}} = 5\,000 \text{ грн.}$$

Таким образом, суммарные эксплуатационные затраты для базового варианта составляют:

$$C_6 = 19\,600 + 28\,153 + 10\,000 + 5\,000 = 62\,753 \text{ грн.}$$

Таблица 4.4 – Эксплуатационные расходы

Наименование	Экспл. расходы, грн.
Проектный вариант 1	29 421
Проектный вариант 2	30 212
Базовый вариант	62 753

4.4 Определение годовой экономии от внедрения объекта проектирования

Полная годовая экономия от внедрения принятого технического решения определяется с учетом эксплуатационных расходов по данному объекту:

$$E_{кп} = \Delta C, \text{ грн.},$$

$$\Delta C = C_6 - C_{пр},$$

$$\Delta C_1 = 62\,753 - 29\,421 = 33\,332 \text{ грн.},$$

$$\Delta C_2 = 62\,753 - 30\,212 = 32\,541 \text{ грн.}$$

Период окупаемости составит:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр}}{E_{кп}},$$

$$T_{ок1} = \frac{351\,263}{33\,332} = 10,53 \text{ года} \leq T_{ок}^{прием} = 12 \text{ лет},$$

$$T_{ок2} = \frac{361\,263}{32\,541} = 11,1 \text{ года} \leq T_{ок}^{прием} = 12 \text{ лет}.$$

Расчетный коэффициент эффективности (прибыльности) капитальных расходов E_p :

$$E_p = \frac{E_{кп}}{K_{пр}},$$

$$E_{p1} = \frac{33\,332}{351\,263} = 0,094,$$

$$E_{p2} = \frac{32\,541}{361\,263} = 0,09.$$

Нормативное значение коэффициента эффективности:

$$E_n = \frac{1}{T_{оч}},$$

где $T_{оч} = 12$ лет - ожидаемый, приемлемый для объекта проектирования срок окупаемости.

$$E_n = \frac{1}{12} = 0,083.$$

Расчеты показывают, что выражения:

$$E_{p1} = 0,094 > E_n = 0,083,$$

$$E_{p2} = 0,09 > E_n = 0,083,$$

выполняются, а следовательно экономически подтверждается целесообразность внедрения каждого из проектных вариантов (табл. 4.5).

Таблица 4.5 Сравнительная оценка технико-экономических показателей

№	Наименование показателей	Ед. измерения	Базовый вариант	Проект. вариант 1	Проект. вариант 2	Сравнение с базовым вариантом (+/-) грн.	
						1 вар.	2 вар.
1	Капитальные затраты	грн.	98 000	351 263	361 263	+253 263	+ 263 263
2	Эксплуатационные расходы	грн.	62 753	29 421	30 212	-33 332	- 32 541
3	Амортизационные отчисления	грн.	19 600	27 749	28 540	+8 149	+8 940
4	Техобслуживание и ремонт	грн.	10 000	1 672	1 672	-8 328	- 8 328
5	Стоимость потребленной электроэнергии	грн.	28 153	0	0	- 28 153	-28 153
6	Годовая экономия	грн.	-	33 332	32 541	- 33 332	- 32 541
7	Расчетный коэффициент эффективности	доли ед.	-	0,094	0,09	-	-
8	Расчетный срок окупаемости	год	-	10,53	11,1	-	-

Выводы по разделу 4

В технико-экономическом обосновании выполнялись расчеты капитальных затрат на новое оборудование, которое было выбрано для внедрения солнечной системы кондиционирования. Проводился расчет объема эксплуатационных расходов, определена годовая экономия от внедрения данного проекта.

Расчет периода окупаемости показал его приемлемость и техническую обоснованность для внедрения. Оба проектных варианта являются более целесообразными, чем базовый.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. На основании обзора литературных источников был проведен анализ систем кондиционирования, которые находят применение для систем охлаждения помещений офисных зданий. На основании данного анализа было определено, что с целью уменьшения потребления электроэнергии возможно применение схем солнечного охлаждения абсорбционного типа.

2. В летнее время в климатических условиях в системах кондиционирования воздуха с целью экономии энергии возможно использование солнечной энергии в качестве первичного источника тепла.

3. Была рассчитана система кондиционирования на основе системы солнечного охлаждения по принципу абсорбции для офисного помещения – площадь 80 м^2 ; высота помещения – 4.5 м, а также сформулированы требования к системам кондиционирования воздуха.

4. На основании исходных данных офисного помещения расположенного г. Днепр, был выполнен расчет теплотерь помещения, которые составляют 20380 Вт. Также обоснована структура и работа солнечной системы кондиционирования воздуха. Описана технология получения холода в абсорбционной холодильной машине. Произведен выбор абсорбционной холодильной машины исходя из требуемых рассчитанных параметров холодопроизводительности. Составлена функциональная схема автономного солнечного кондиционера.

5. Для электрической части АБХМ был произведен расчет и выбор инвертора, солнечных панелей, аккумуляторных батарей.

6. По данным поступления инсоляции рассчитано необходимое количество термосифонных и плоских коллекторов, выбраны все комплектующие системы. Проведен сравнительный анализ двух типов коллекторов, на осно-

вании которого следует, что для заданных условий лучшую производительность и меньшие установочные габариты будет иметь система, выполненная на основе вакуумного коллектора.

7. Выполнены расчеты капитальных затрат на новое оборудование, которое было выбрано для внедрения солнечной системы кондиционирования. Также выполнен расчет объема эксплуатационных расходов, определена годовая экономия от внедрения данного проекта.

8. Расчет периода окупаемости показал его приемлемость и техническую обоснованность для внедрения. Оба проектных варианта являются более целесообразными, чем базовый.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремин М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. теория и практика. 2001, 416 с. Третье издание.
- 2 Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Нимич Г.В., Михайлов В.А., Бондарь Е.С. 2003
- 3 Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. Белова Е.М. 2006.
- 4 Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. - М.: 2003. - 272 с.
- 5 Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях, — 2-е изд., перераб. и доп. — М.; Стройиздат, 1982.—312с.
- 6 Жаккар П., Сандр С. Пособие для холодильщиков практиков. 100 практических советов
- 7 Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с., ил.
- 8 Журнал «Мир Климата», Спецвыпуск «потребителю», М. «ЕвроКлимат», 2001г.
- 9 СНИП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование.
- 10 Сайт планета климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://planetaklimata.com.ua/articles/?msg=258>
- 11 Даффи Дж. А., Бекман У. А. – Тепловые процессы с использованием солнечной энергии, стр. 341- 346
- 12 Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Аvezов, С 40 М.А Барский-Зорин, И.М. Васильева и др.; Под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. - М.: Стройиздат, 1990

- 13 Альтернативная энергетика. Солнечные системы теплоснабжения: монография /А. В. Дорошенко, М. А. Глауберман. – Одесса: ОНУ, 2012. – 446 с.
- 14 А.Н. Горин, А.В. Дорошенко. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика), – Донецк: Норд-Пресс, 2008. 374 с.
- 15 Горбурова Е.Н., Современное состояние солнечной энергетики Украины и рациональность размещения солнечных электростанций.
- 16 Потенциал солнечной энергии в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://esco.co.ua/journal/2005_11/art07_71_2.htm
- 17 Бурцев С.И.Блинов А.В.и др. Монтаж, эксплуатация и сервис СКВ. 2005 год.
- 18 Основы расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. Нестеренко А.В. 2013
- 19 Абсорбционные холодильные машины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.esco.co.ua/journal/2008_4/art184.htm
- 20 Информационный сайт Мир климата [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mir-klimata.info/archive/2013_6/abhm_teplo_i_holod_bez/
- 21 Абсорбционная холодильная машина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-goryachej-vode/>
- 22 Сайт альтернативная энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://antika.com.ua/cezonnie-geliocictemi>
- 23 Ведомственные строительные нормы ВСН 52-86. «Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования».
- 24 Информационный сайт НАСА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://power.larc.nasa.gov/cgi-bin/sustain.cgi?email=sustain%40larc.nasa.gov>
- 25 Методичні вказівки для курсового проектування з дисципліни "Сонячна енергетика" на тему: "Розрахунок системи автономного енергопо-

- стачання з використанням фотоелектричних перетворювачів” / Упорядн.: А.М. Гребенюк, О.О. Суворкін – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”, 2016.- 16 с.
- 26 Методическое пособие для дипломного проектирования «Расчет системы автономного энергоснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей» для студентов специальностей 6.090504 «Нетрадиционные источники энергии», 6.050701 «Электротехника и электротехнологии», составители: Бекиров Э. А., Воскресенская С. Н., Химич А. П. – Симферополь: НАПКС, 2010 г.
- 27 Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Л.М. Четошникова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010.
- 28 Солнечные термосифонные коллектора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teplo-klimat.com.ua/eco-sistemy/sezonnye-solnechnye-kollektory/Altek-SD-T2-15.html>
- 29 Солнечные плоские коллектора. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iqenergy.org.ua/ru/vitosol-100-f-sv1a.html>
- 30 Гибридные инверторы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://avante.com.ua/catalog/invertor_gibridnyy_infinisolar_3kw-06075/
- 31 Аккумуляторы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://in-green.com.ua/ventura/ventura-gp-12-12>
- 32 Солнечные панели. Режим доступа: <https://magus.com.ua/p52146005-solnechnaya-batareya-yingli.html>
- 33 Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів галузі знань 0507 «Електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, І.В. Шереметьєва - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 15 с.
- 34 Информационный сайт грузоперевозки Днепрпетровск. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gruzovozka.dp.ua>