

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

Електротехнічний факультет

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломного проекту
Магістрерська дисертація

галузь знань 14 – Електрична інженерія

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

освітній рівень магістр

кваліфікація 2143.2 Інженер-електрик в енергетичній
сфері

на тему Дослідження системи акумулювання сонячної енергії у
тепличному господарстві агрокомплексів

Виконавець:

студент II курсу, групи 141М-16-3

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
Проекту			
розділів:			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Ципленков Д.В.		

Дніпропетровськ

2018
Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Відновлюваних джерел енергії
(повна назва)

Шкрабець Ф.П.
(прізвище, ініціали)
" _____ " _____ січня 2018 року
(підпис)

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

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

студенту групи **141М-17-3** **Пустельник Назарій**
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації **Дослідження системи акумулювання сонячної енергії**

у тепличному господарстві агрокомплексів

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 _____

Предмет досліджень _____

Мета НДР _____

Вихідні дані для проведення роботи _____

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна _____

Практична цінність _____

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект _____

Соціальний ефект _____

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК 22.01.2018

РЕФЕРАТ

Объект разработки: пассивная солнечная система с теплоаккумуляторами.

Цель дипломной работы: определить наиболее эффективный способ построения пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами и предложить его реализацию.

Во введении описывается состояние проблемы, предлагаются способы, которыми можно обеспечить увеличение количества поглощаемой энергии солнечной теплицей.

В первом разделе рассмотрено использование различных пассивных солнечных систем с теплоаккумуляторами для более эффективного использования солнечной энергии, исследовано влияние различных факторов на эффективность потребления солнечной энергии, а также описаны способы установки, состав и принципы работы солнечных теплиц.

Во втором разделе производится расчет эффективности пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами на основании факторов, соответствующих городу Днепр. Определена наиболее эффективная и целесообразная для использования геометрия теплицы.

В третьем разделе оценивается эффективность и работоспособность выбранной системы в отопительный период.

В экономическом разделе рассчитана стоимость создания установки с учетом всех затрат на приобретение оборудования и комплектующих и оплату рабочих. Кроме этого рассчитаны ежегодные затраты на обслуживание и ремонт оборудования, а также амортизация потраченных средств.

ПАССИВНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ, СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛИЦА, ТЕПЛОАККУМУЛЯТОР, СОЛНЕЧНАЯ ИНСОЛЯЦИЯ.

ABSTRACT

The object of development: a passive solar system with heat-accumulating tori.

The purpose of the thesis: to determine the most effective way to build a passive solar system with heat accumulators and to offer its implementation.

The introduction describes the state of the problem, suggests ways to increase the amount of energy absorbed by the solar greenhouse.

The first section considers the use of various passive solar systems with heat accumulators for more efficient use of solar energy, the influence of various factors on the efficiency of solar energy consumption has been studied, and the installation methods, composition and operating principles of solar greenhouses have been described.

In the second section, the efficiency of a passive solar system with heat accumulators is calculated on the basis of factors corresponding to the city of the Dnieper. The most effective and feasible greenhouse geometry has been determined.

The third section assesses the efficiency of the selected system during the heating season.

In the economic section, the cost of creating an installation is calculated taking into account all the costs of purchasing equipment and components and paying workers. In addition, the annual costs for maintenance and repair of equipment, as well as depreciation of the funds spent, are calculated.

PASSIVE SOLAR SYSTEMS, SOLAR GREENHOUSE, HEAT EXCHANGER, SOLAR INSULATION.

РЕФЕРАТ

Об'єкт розробки: пасивна сонячна система з теплоаккумуляторами.

Мета дипломної роботи: визначити найбільш ефективний спосіб побудови пасивної сонячної системи з теплоаккумулятором і запропонувати його реалізацію.

У вступі описується стан проблеми, пропонуються способи, якими можна забезпечити збільшення кількості енергії, що поглинається сонячної теплицею.

У першому розділі розглянуто використання різних пасивних сонячних систем з теплоаккумулятором для більш ефективного використання сонячної енергії, досліджено вплив різних чинників на ефективність споживання сонячної енергії, а також описані способи установки, склад і принципи роботи сонячних теплиць.

У другому розділі проводиться розрахунок ефективності пасивної сонячної системи з теплоаккумулятором на підставі факторів, відповідних місту Дніпро. Визначено найбільш ефективна і доцільна для використання геометрія теплиці.

У третьому розділі оцінюється ефективність і працездатність обраної системи в опалювальний період.

В економічному розділі розрахована вартість створення установки з урахуванням всіх витрат на придбання обладнання та комплектуючих і оплату робітників. Крім цього розраховані щорічні витрати на обслуговування і ремонт обладнання, а також амортизація витрачених коштів.

ПАСИВНІ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ, СОНЯЧНА ТЕПЛИЦЯ,
ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР, СОНЯЧНА ІНСОЛЯЦІЯ.

Содержание

Введение.....	
1. Современное состояние солнечного теплоснабжения теплиц защищенного грунта.....	
1.1. Технологии отопления солнечных теплиц.....	
1.1.1. Пассивные солнечные системы для отопления теплиц.....	
1.1.2. Солнечные теплицы с тепловыми аккумуляторами и подземными системами отопления и охлаждения	
1.1.3. Влияние параметров теплоаккумулирующей массы на аккумулярование солнечной энергии	
1.2. Характеристики и свойства теплоаккумулирующих материалов ...	
1.2.1. Состав и адсорбционные свойства пористых материалов.....	
1.2.1.1. Адсорбционные свойства пористых материалов.....	
1.3. Выводы по разделу.....	
2. Инженерный расчет создания энергоэффективных солнечных теплиц	
2.1. Обоснование выбора формы теплицы	
2.1.1. Расчет оптимального угла установки светопрозрачного покрытия.....	
2.1.2. Расчет месячного и годового прихода суммарной солнечной радиации (СР) на горизонтальную поверхность	
2.1.3. Расчет прихода солнечной радиации на наклонную поверхность и оптимального угла установки светопрозрачного покрытия теплицы	
2.2. Моделирование энергоэффективной солнечной теплицы	
2.2.1. Методика оптимизации геометрических параметров теплицы	
2.2.2. Расчет энергетического баланса солнечной теплицы	
2.2.3. Расчет поглощенной солнечной радиации	
2.3. Расчет пассивных солнечных систем	
2.3.1. Пассивные закрытые системы солнечного отопления	

2.3.2. Определение теплотехнических параметров солнечной теплицы	
2.3.2.1. Уравнение теплового баланса для пассивной системы ...	
2.3.2.2. Определение температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций и температуры воздуха внутри теплицы	
2.3.2.3. Определение теплопроизводительности теплоприемника	
2.4. Выводы по разделу	
3. Анализ теплопроизводительности солнечной теплицы в отопительный период	
3.1. Расчет теплопроизводительности по месяцам года	
3.2. Выводы по разделу	
4. Экономический раздел	
4.1 Введение	
4.2 Расчет стоимости конструирования пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами	
4.3 Эксплуатационные расходы	
4.3.1 Расходы на электроэнергию	
4.3.2 Расчет амортизационных отчислений	
4.3.3 Расчет годового фонда заработной платы	
4.3.4 Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования.	
4.3.5 Определение прочих затрат	
4.4 Годовая экономия	
4.5 Расчет срока окупаемости	
4.6 Выводы по разделу	
Заключение	
Список использованной литературы	

Часть 1.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Самая энергоемкая отрасль сельскохозяйственного производства - выращивание овощей в условиях защищенного грунта. Например, стандартный теплично-овощной комбинат площадью 6 га в Украине потребляет за 1 час около 125-145 ГДж теплоты, на что ежегодно расходуется до 11 млн. м.

При современных технологиях, теплоэнергетическом оборудовании и конструкциях теплиц потребление электрической энергии составляет 80 кВт-ч на 1 м² в среднем по стране и в существующих конструкциях теплиц солнечная энергия используется только на 10% как источник фотосинтеза и лишь незначительная часть на обогрев.

Современные тепличные хозяйства Украины несут большие экономические убытки из-за, их энергоемкости, высокой себестоимости ранневесенних и поздне-осенних овощей. Для удовлетворения растущей потребности населения в дешевых экологически чистых овощах необходимые высокоэффективные многоцелевые теплицы круглогодичного действия;

Расходы на обогрев в существующих отапливаемых теплицах составляют более 50% стоимости готовой продукции. Годовой расход теплоты для обогрева 1 м² зимних теплиц со стеклянным ограждением находится в зависимости от района Украины в пределах 0,72-1,16 Гкал/м для ангарных теплиц и 0,722-1,293 Гкал/м для блочных.

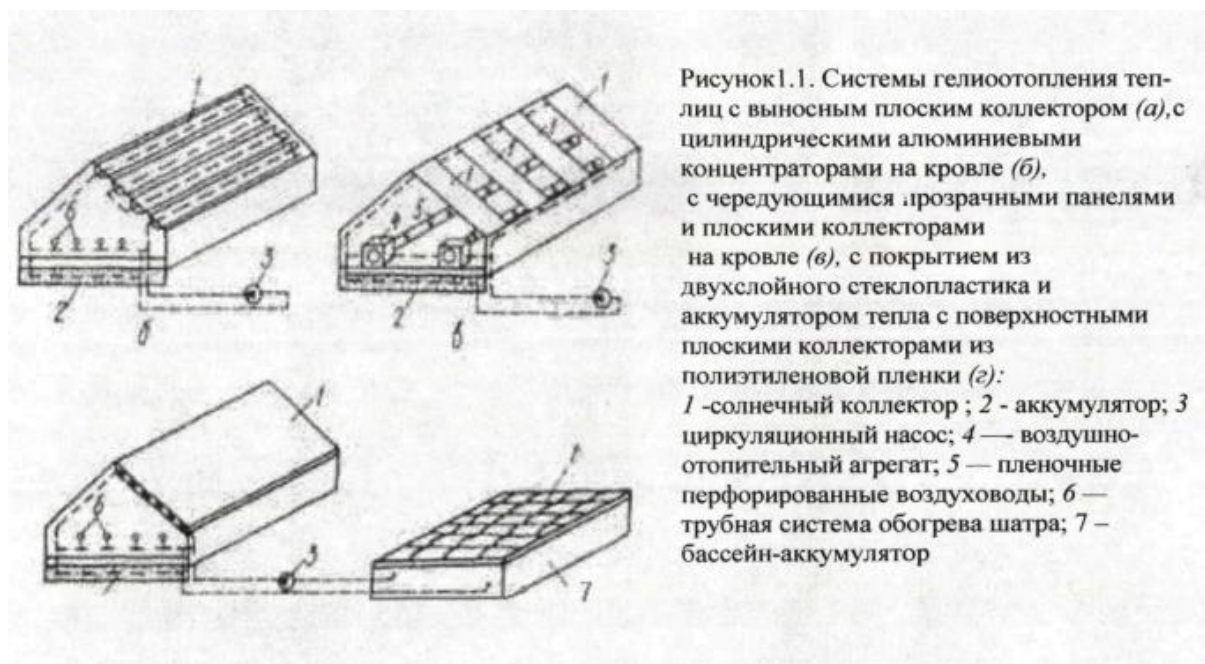
Для условий Днепропетровского региона, для обогрева 1 м² зимних теплиц с двойным остеклением; годовой расход составляет 0,37-0,52 Гкал/м² и 0,61-1,16 - с одинарным. В то время как именно на отопительный период в условиях Днепропетровской области наблюдается большой приход солнечной радиации, и безусловно, этот потенциал

необходимо максимально использовать для теплоснабжения и технологических нужд в теплицах.

В различных странах мира проводятся исследования по использованию солнечной энергии для отопления теплиц.

Интересен опыт использования солнечной энергии для отопления теплиц в Германии, Испании, Италии. Экономия затрат на отопление составляет от 30 до 48% со сроком окупаемости от 1 года до 7 лет. В США проведены опыты по использованию циркуляционного воздуха для подпочвенного обогрева, в Великобритании обогрев корнеобитаемой зоны растений в теплицах используется для снижения расходов на отопление, установлено, что при температуре корнеобитаемого слоя 25° температуру выращивания некоторых культур можно снизить до $13-15^{\circ}\text{C}$ днем и до $7...2^{\circ}$ ночью .

В нашей стране в своё время были предложены гелиоустановки для отопления теплиц (рис. 1.1)



Для овощеводов-любителей овощной опытной станцией им. В. И. Эдельштейна Московской сельскохозяйственной академии им.К. А. Тимирязева был разработан проект индивидуальной гелиотеплицы с аккумуляцией солнечного тепла в грунте (рисунок 1.2).

Принцип действия системы отопления этой гелиотеплицы заключается в осуществлении с помощью осевого вентилятора замкнутой циркуляции внутреннего воздуха по системе подпочвенных труб и в объеме теплицы. В дневное время вентилятор нагнетает нагретый солнцем воздух из теплицы в трубы системы почвенного обогрева, где он отдает тепло теплоаккумулирующему слою и грунту и охлажденный поступает в теплицу. Ночью идет обратный процесс за счет накопленного за день в почве и аккумулярующем слое тепла. Температура воздуха, проходящего по почвенным трубам, повышается с некоторым понижением его относительной влажности и он поступает в объем теплицы. В проекте рационально решен вопрос дополнительного обогрева теплицы и жилого помещения одной печью.

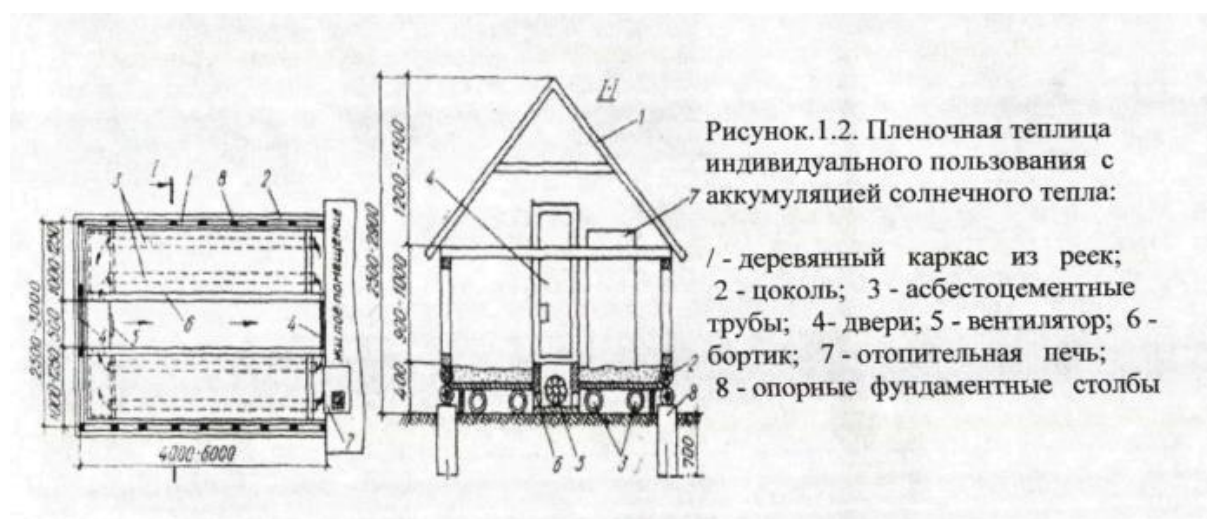


Рисунок. 1.2. Пленочная теплица индивидуального пользования с аккумуляцией солнечного тепла:

Из крупных советских исследований, проведенных в конце XX века, следует отметить теоретические работы по анализу температурного и влажного режима в гелиотеплицах различной конструкции в НПО "Солнце" АН Туркмении Р.Б. Байрамова и Л.Е. Рыбаковой [10]. Солнечные теплицы по проекту В.Б. Вейнберга и Н.Н. Боева были

построены в 1931-1934 гг., где был достигнут максимум входящей солнечной радиации [19,14]. В 1957 г. была предложена Б.В. Петуховым оригинальная конструкция солнечной теплицы, где впервые были предложены использование камер с аккумуляторами [42].

В 1959 г. Х.А. Кисторян (Армения) исследовал изотермические аккумуляторы, которые предложил использовать в гелиотеплицах [30]. Оригинальные работы по исследованию температурного режима, определению сумм марной радиации, входящей в теплицу и аккумулярованию ее в течение суток выполнены Садыковым Т.А. в 1967 г. (Туркмения). П. Рзаев (Азербайджан) впервые в качестве теплового дублера в гелиотеплицах рекомендовал использовать энергию ветра [45]. Усманов Ю. (Узбекистан) в 1971 г. Разработал рекомендации по практическому использованию солнечных соляных бассейнов для аккумулярования солнечной энергии в виде тепла [61].

Интересен опыт М. Кима (Узбекистан, 1957 г.) по созданию механически устойчивой конструкции с возможностью аккумулярования солнечной энергии. Им сконструированы и изучены в процессе эксплуатации полуцилиндрические гелиопарники с аккумуляторами и без них [28]. Рациональные схемы совмещения функций гелиотеплиц с аккумуляторами тепла: подпочвенным с массивом гальки и подпочвенным с тепловым орошением предложены А.Б. Вардияшвили (Грузия, 1990 г.) [16].

В статье С.Н. Трушевского (ВИЭСХ) [58] рассмотрена возможность существенного снижения теплотерь шатра зимних теплиц посредством применения двойного ограждения и рационального использования солнечной энергии на примере Центрального региона России. Для эффективного использования избытка солнечного тепла за счет применения линз Френеля, которые обеспечивают равномерную

освещенность и предотвращают перегрев растений, а также обеспечивают нагрев теплоносителя.

Очень интересен опыт исследований в условиях резкоконтинентального климата Монголии, проведенный Г. Пурэвдоржем в 1990-98 гг., доказавший возможность выращивания овощей в солнечной теплице с марта по октябрь без дополнительного обогрева от других источников [28]. В последние два десятилетия много усилий было сделано исследователями разных стран с целью изучения возможностей использования солнечной энергии для отопления теплиц. В результате научно-исследовательских работ были разработаны сотни солнечных систем, но немногие из них нашли практическое применение. Сегодня многие исследователи сосредоточили свои усилия по улучшению эффективности пассивных солнечных систем.

1.1 Технологии отопления солнечных теплиц

Технологии отопления используют аккумуляторы с водой, каменные грядки - аккумуляторы, аккумуляторы с изменением фазы материалов, тепловые шторы. Системы могут быть размещены внутри теплицы, в которой происходит теплообмен непосредственно между системой и воздухом теплицы. Также были использованы для хранения тепловой энергии полиэтиленовые пакеты, пластиковые трубы заполненные водой, их укладывают на пути между рядами растений или вдоль северной стороны теплицы, которые выступают в качестве солнечных коллекторов и аккумуляторов тепла.

Некоторые важные исследования систем с использованием воды для теплового аккумулирования энергии показали, что тепловые аккумуляторы с водой имеют значительное влияние на температуру воздуха в помещении. Система может обеспечить 30-70% нагрузки отопления. Для эффективного хранения тепла в виде воздуха исследователями широко

использовали в качестве теплоаккумулирующего материала (ТАМ) гальку и гравий.

Популярный подпочвенный аккумулятор с ТАМ из гравия размером 20-100 мм, который находится под или рядом с грядкой-на глубине от 40 до 50 см. Система может поддерживать температуру на 2-10°C выше температуры наружного воздуха и может покрыть 30-75% от потребности отопления теплицы. Важные исследования, касающиеся использования тепловых штор в теплицах, проводимых различными исследователями доказали свою эффективность во время экстремальных зимних ночей.

Из исследования, проведенного Grafiadellis (1991г. Европейское сообщество по техническим и экономическим аспектам важнейших солнечных систем), было доказано, что солнечным прудам, с фазовым изменением материалов и тепловым насосам необходим очень высокий уровень инвестиций, они имеют очень высокие ежегодные эксплуатационные расходы и с сегодняшними ценами на топливо не экономичны.

Другая группа солнечных систем, где солнечная система используется с подпочвенным обогревом грядок, теплообменная система земля - воздух и системы с плоскими солнечными коллекторами также очень дороги и не всегда экономичны. В том же исследовании было показано, что в третьей группе солнечных систем с пассивными солнечными системами (ПСС) и системой распыления воды в теплицах очень низки капитальные и эксплуатационные расходы (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Технические и экономические характеристики основных солнечных систем, используемых в теплицах.

Вид солнечной системы	Повышение температуры	Стоимость 1м ² площади теплицы	
		Капитальные затраты (\$)	эксплуатационные расходы(\$)

Плоский пластик.солнечный коллектор	4-5 °С	6499	3519
Системы обмена теплом земля -воздух	5-8°С	17812	6400
Солнечные пруды	10- 15°С	40624	15625
Подпочв, обогрев грядок солнечной системой	5-8°С	16750	603 1
<i>Пассивные солнечные системы</i>	<i>4-5 °С</i>	<i>494</i>	<i>494</i>
Изменение фазы материалов	10- 12°С	30000	10759
Тепловые насосы	10°С	5 1250	19375

1.1.1 Пассивные солнечные системы для отопления теплиц

Системы солнечного нагрева характеризуются либо подогревом воды или воздуха, которые затем распределяются по всей теплице, с помощью вентилятора или насоса (активные системы) или естественным путем (пассивные системы).

Преимущества активной солнечной системы это точный подвод тепла, лучший контроль и высокая эффективность

Недостатками этих систем являются высокая стоимость, необходимость электроэнергии для привода вентиляторов и насосов. ПСС с естественной вентиляцией, обеспечивая теплом теплицу не требует внешних источников энергии, являются простыми, понятными, недорогими, эстетически более привлекательными, чем обычные системы активной.

Одним из главных недостатков ПСС является невозможность контроля солнечного сбора тепла и аккумуляирования его в структуре теплицы. Одной из первых работ по использованию ПСС для защиты овощей под прикрытием была выполнена в Нидерландах [Sondern, J.A., 1967][95]. Airhart, D.E.,(1984)) исследовал ПСС с аккумуляированием в каменной грядке глубиной 30см.

Для защиты; парниковых культур от морозов Woolston; S., (1985) [98] использовал в солнечной системе ТА (Финляндия), заполненные водой цистерны, стальные бочки, гравий; черные трубы и отмечает, что эти средства были в состоянии компенсировать, влияние отрицательной; температуры наружного воздуха внутри теплицы .

Первоначально разработанная фирмой НПО «GERES»(Франция) модель солнечной теплицы из местных материалов была, усовершенствована индийскими фермерами в целях снижения ее стоимости, (рис. 1.3.), затем с. успехом внедрены в Индии (Лахауи, Спити, Ладах), Китае- (провинция Цинхай), Непале (Мустанг) .Овощи можно выращивать в самый разгар зимы; когда температура опускается ниже - 15°C.

Солнечная теплица, которая эффективно использовалась в: Китае для выращивания овощей в течение зимы, была исследована в холодных погодных условиях Манитобы (рис. 1.4.) .

Теплица ориентирована на юг для максимального поглощения солнечной энергии, северная стена сохраняет солнечную энергию днем и выпускает тепловую энергию в ночное время; Предварительные данные исследований показали, что применение солнечной теплицы в зимнюю погоду в Манитобе возможно.В течение февраля дневная температура в оранжерее была выше 15°C, а ночная температура оставалась выше 0°C, когда наружная температура была ниже - 30°C.

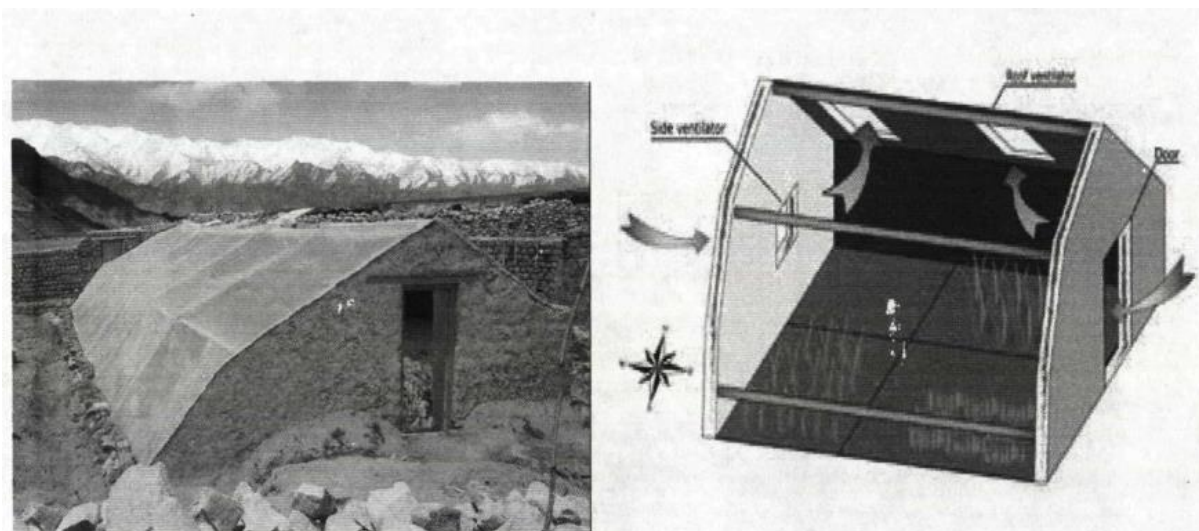


Рис.1.3.Проект улучшенной пассивной солнечной теплицы (Ладах,Индия).

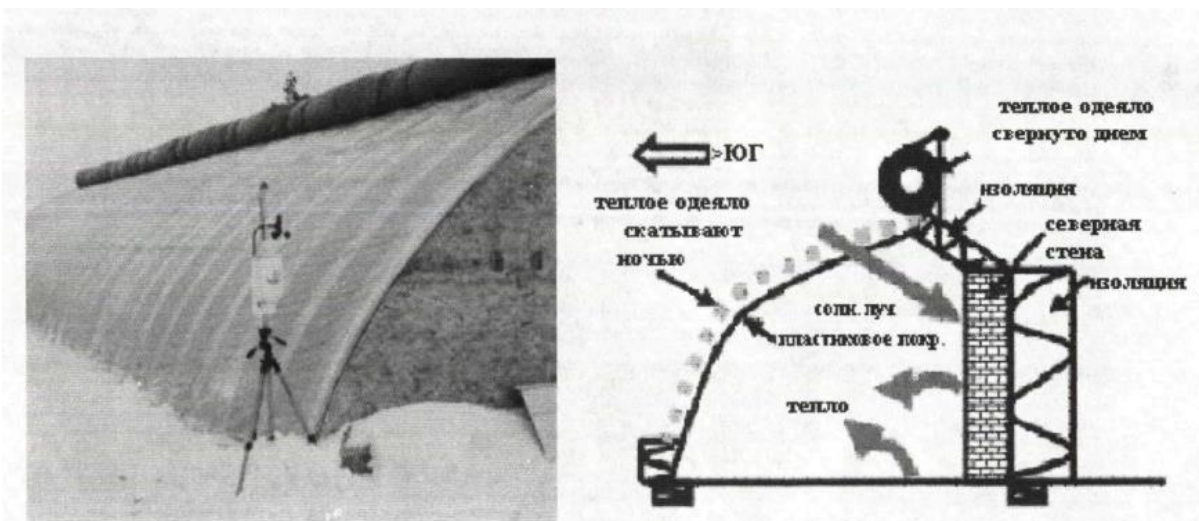


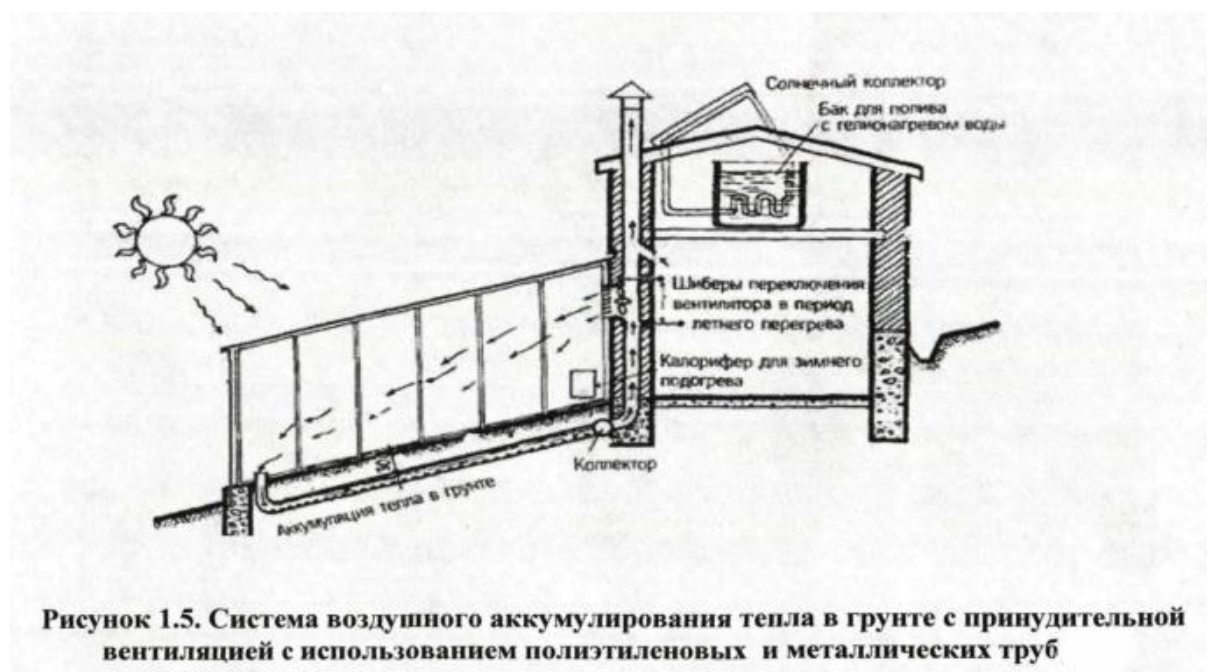
Рисунок 1.4. Вид сбоку солнечной теплицы Манитобы (Канада)

1.1.2.Солнечные теплицы с тепловыми аккумуляторами и подземными системами отопления и охлаждения

С этой целью в почве на глубине около 30-35 см укладываются трубы, желательно тонкостенные диаметром 110 мм и больше из полиэтилена, асбестоцемента, металла. Концы труб с одной стороны выводятся из-под земли для воздухозабора, с другой - соединяются в батареи, от которых прокладываются каналы подачи воздуха на северной

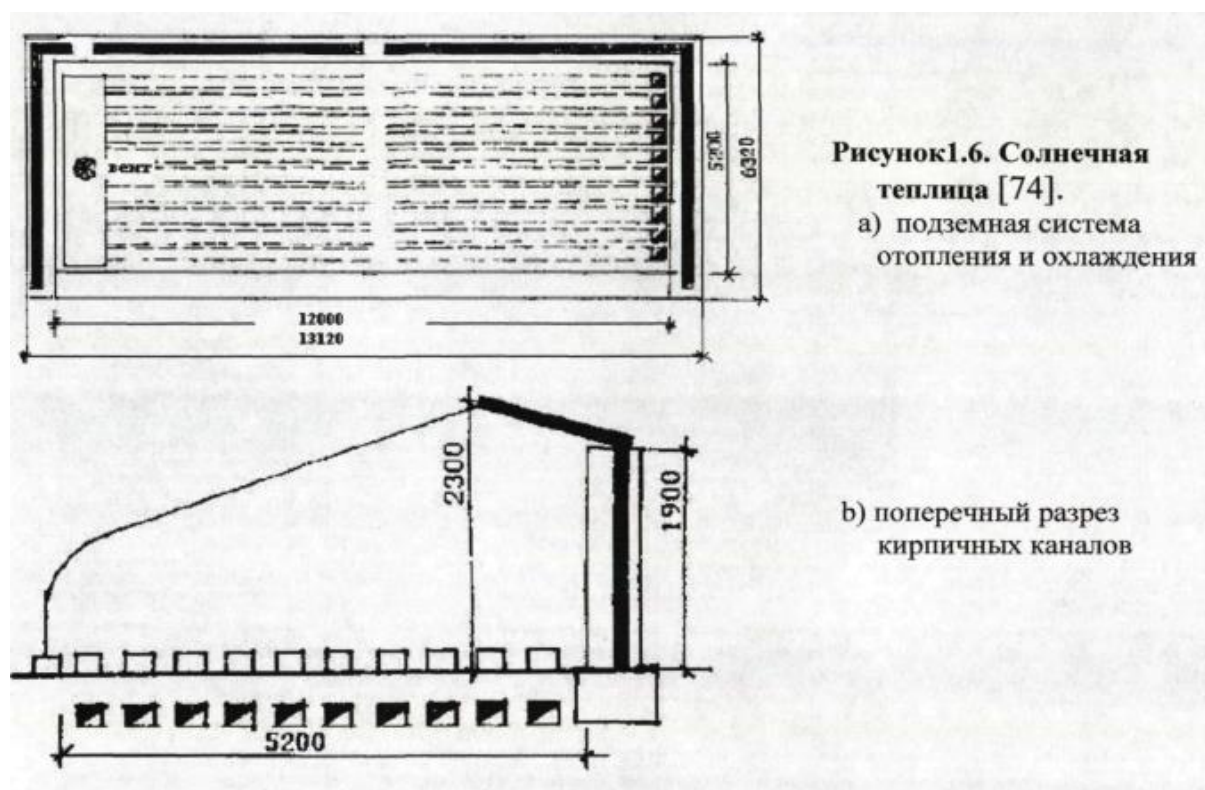
стене или внутри ее под перекрытие. Канал заканчивается коробом электровентилятора.

Чем интенсивнее поток воздуха и больше подземных воздухопроводов, шире помещение теплицы, тем ниже будет температура в теплице в жаркий солнечный день. Ночью, когда солнечная энергия не поступает, воздух, пройдя этот же путь и нагреваясь теплом, аккумулированным в почве, повышает температуру внутри теплицы. Этот способ аккумулирования солнечного тепла впервые был предложен А.Иванько и подробное описание солнечной теплицы, названной им вегетариум (Рис. 1.5.).



Очень важно снизить относительную влажность воздуха в ночное время и не допустить выпадения росы на растения, чтобы избежать их заболевания и ускорить плодообразование. Аналогичные системы с трубами для конденсации и испарения воды под растениями разработаны в Китае рис.1.4. На рис. 1.6. прямоугольные каналы из кирпича (0,6 "x 0,5") проложены с востока на запад на глубину 20", кроме посадочных мест. Они тесно связаны с боковыми каналами (20"x 28") десятью каналами в направлении восток-запад через вентилятор, расположенным в центре на

восточной стене. Вентилятор имеет выход / вход в воздушное пространство.



Влага испаряется в кирпичных каналах и повышает температуру и влажность воздуха в теплице, когда он слишком холодный и сухой. Воздух из каналов выходит в теплицу через вертикальные каналы, на западном конце. Вентилятор 370 Вт, 2800 об / мин, 1930 м³ (связанный 10 каналами в направлении восток - запад) управляются двумя термостатами. Он потребляет около 3 кВт-ч / день для прогона воздуха по десяти каналам

Преимущества:

Влага конденсируется в кирпичных каналах, снижая температуру и влажность воздуха в теплице, когда он слишком горячий и влажный.

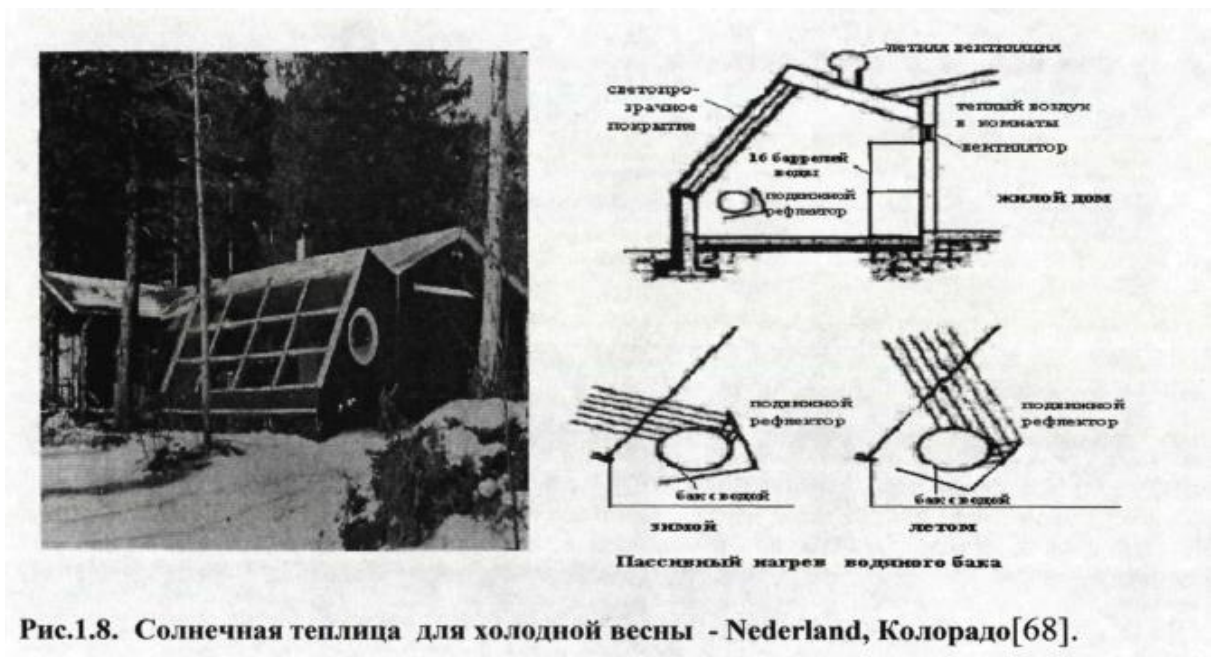
1. Влага испаряется в кирпичных каналах, повышая температуру и влажность воздуха в теплице, когда он слишком холодный и сухой.
2. Потoki воздуха замедленно движутся вокруг теплицы, решая более равномерное распределение температуры и углекислого газа.
3. В отопительной системе солнечных теплиц Д.Ропера (США) вместо сырцового кирпича на длинный канал использованы тонкостенные 10см

гофрированные, перфорированные, гибкие полиэтиленовые дренажные трубы длиной 180см на каждые 4 м² посадочного места (рис.1.7.).



Рисунок 1.7. Поперечный разрез теплицы Д. Ропера с полиэтиленовыми гофрированными трубами [74].

В очень холодном климате можно извлечь выгоду от использования отражателей рис.1.8. Вентиляция верхней и нижней части стены жилого пространства позволяет нагретому воздуху двигаться, (горячий воздух легче холодного) из пространства между стеклами и стеной и через верхние отверстия в интерьер здания. Остекленный фасад (19,5 кв.м) ориентирован на зимнее солнце и изолирован ночью экранирующей системой «Beadwall» из шариков для сохранения-минимальной температуры воздуха 12.8°C.



В условиях холодного климата выгодно использовать аккумуляторы тепла, под зданием. С помощью вентиляторов и регулирующих устройств можно более эффективно управлять потоками воздуха по сравнению с системами, действующими с использованием естественной циркуляции. Это особенно заметно в тех случаях, когда воздух приходится перемещать на значительные расстояния в направлении, противоположном естественному.

Исследования, проведенные в Финляндии показали рентабельность применения вентиляторов, поскольку это позволяет накапливать большие запасы солнечной энергии примерно на 30 % больше, чем в системе с естественной циркуляцией воздуха без ТА.

1.1.3 Влияние параметров теплоаккумулирующей массы на аккумуляцию солнечной энергии

Обычная теплица при большой поверхности застекленного ограждения плохо аккумулирует солнечную энергию, прежде всего из-за неудовлетворительных характеристик ее теплоизоляции и герметизации. Для поддержания температуры, необходима энергия на отопление. Например, обычная оранжерея или теплица, функционирующая круглый

год, расходует примерно в 10 раз больше энергии, чем небольшой индивидуальный дом.

При размещении теплоаккумулирующей массы в теплице разность между дневной и ночной температурами воздуха значительно уменьшается. В теплице, имеющей такую массу, время достижения максимальной температуры смещается на 2-3 ч.

В Швеции в Высшем техническом училище Чалмерса были исследованы различные системы, в которых солнечная энергия, накопленная в теплице, использовалась для отопления квартиры. При этом обеспечивается интенсивный переход тепла разогретого воздуха в материал железобетонных плит, в результате чего повышается температура воздуха в квартире.

Более экономичное решение заключается в использовании в качестве теплоаккумуляторов таких материалов, которые одновременно служат строительным материалом конструкций пола или стены.

Передача теплоты камням все же не очень эффективна. Опыт, полученный в Финляндии и Швеции, показал, что только одна треть или половина камней (из всего числа взятых) участвует в аккумуляции теплоты. По сравнению с бетонными плитами, имеющими конструктивные полости и обеспечивающими участие 80—90 % массы плит в аккумуляции теплоты, каменный ТА относительно менее эффективен.

Для эффективной передачи теплоты в кирпичную или блочно-бетонную стену с конструктивными полостями надо использовать вентилятор. В пустотелых бетонных плитах, например на длине 6 м, массе бетона может передаваться в зависимости от скорости подачи теплого воздуха примерно половина теплоты. Бетон почти целиком участвует в процессе аккумуляции теплоты, благодаря относительно небольшой толщине плиты и густой сети пустот. Из пустотелых плит можно сооружать стену между теплицей и квартирой или пол теплицы

непосредственно на теплоизолирующей поверхности, а также в квартире, где используются, например, плиты, уже имеющие теплоизоляцию с нижней стороны. Кроме того, промежуточные и верхнее основания пола в каменных зданиях также можно выполнить из пустотелых бетонных плит.

Одно из таких конструктивных решений реализовано в университете Шеффилда (Англия) для экспериментального дома SHED (Solar Heated Experimental Dwelling) В этом доме имеется теплица, занимающая всю южную стену дома. Как только температура воздуха в теплице поднимается выше, чем это требуется для роста растений, воздух оттуда с помощью вентиляторов передается в ТА. На основании испытаний были получены следующие результаты: система эффективна, если она оборудована вентиляторами и теплоаккумуляторами.

1.2 Характеристики и свойства теплоаккумулирующих материалов

Необходимость аккумулирования теплоты в гелиосистемах обусловлена несоответствием во времени и по количественным показателям поступления солнечной радиации и теплопотребления. Поток солнечной энергии изменяется- в течение суток от нуля в ночное время до максимального значения в солнечный полдень.

Поскольку тепловая нагрузка отопления максимальна в декабре — январе, а поступление солнечной энергии в этот период минимально, для обеспечения теплопотребления (Q) необходимо улавливать солнечной энергии больше, чем требуется в данный момент, а ее избыток накапливается в аккумуляторе теплоты. Запас энергии в аккумуляторе может быть рассчитан на несколько часов или суток при краткосрочном аккумулировании и на несколько месяцев - при сезонном аккумулировании. Следует отметить, что применение сезонных аккумуляторов пока экономически нецелесообразно. В целом же применение ТА повышает эффективность гелиосистемы.

Низкотемпературные системы аккумулирования теплоты охватывают диапазон температур от 30 до 100°C и используются в системах воздушного (30°C) и водяного (30 - 90°C) отопления и ГВС (45 - 60°C). Система аккумулирования теплоты, как правило, содержит резервуар, ТАМ, с помощью которого осуществляется накопление и хранение тепловой энергии, теплообменные устройства для подвода и отвода теплоты, при зарядке и разрядке ТА и тепловую изоляцию.

Аккумуляторы можно классифицировать по характеру физико-химических процессов протекающих в ТАМ: ТА емкостного типа, в которых используется теплоемкость нагреваемого (охлаждаемого) аккумулирующего материала: без изменения его агрегатного состояния (природный камень, галька, вода, водные растворы солей); ТА фазового перехода вещества; в которых используется теплота плавления (затвердевания) вещества;

- ТА энергии, основанные на выделении и поглощении теплоты - при обратимых химических и фотохимических реакциях.

В ТА первой группы происходят последовательно или одновременно процессы нагревания и охлаждения теплоаккумулирующего материала либо непосредственно за счет солнечной энергии, либо через теплообменник. Этот способ аккумулирования тепловой энергии; наиболее широко распространен. Основным их недостатком является их большая масса и как следствие этого — потребность в больших, площадях и строительных объемах в расчете, на 1 ГДж аккумулированной теплоты.

Система аккумулирования тепловой энергии характеризуется следующими параметрами: теплоаккумулирующей способностью или удельной энергоемкостью ЕДж/м.; диапазоном рабочих температур, К; скоростью подвода и отвода теплоты при зарядке и разрядке аккумуляторов, кДж/с. Для воздушных гелиосистем в качестве ТАМ используют гальку, гравий. Однако галечный аккумулятор при одинаковой энергоемкости по сравнению с водяным аккумулятором имеет в 3 раза

большой объем и занимает в 1,6 раза большую площадь. Плотность аккумулирования теплоты в значительной степени зависит от метода аккумулирования и рода вещества. Она может быть аккумулирована в химически связанном виде в топливе.

При этом плотность аккумулирования соответствует теплоте сгорания: нефть- 11,3; уголь — 8,1; водород - 33,6 и древесина - 4,2 кВт·ч/кг. При термохимическом аккумулировании теплоты в цеолите (процессы адсорбции - десорбции) может аккумулироваться 286 Вт·ч/кг теплоты при разности температур 55К. Плотность аккумулирования теплоты в твердых материалах (скальная порода, галька, гранит, бетон, кирпич) при разности температур 60К составляет 14 - 17 Вт ч/кг, в воде - 70 Вт ч/кг. ТА емкостного типа часто применяют для аккумулирования тепловой энергии. Аккумулирование теплоты может осуществляться также в грунте, в частности, этот способ аккумулирования применяется в теплицах.

1.2.1 Состав и адсорбционные свойства пористых материалов Украины.

Наиболее изучены физико-химические свойства высококремнистых цеолитов Сокирянского месторождения. В зонах к интенсивной цеолитизации, эти месторождения представлены в основном клиноптилолитом с примесью натриевых смектитов. Химический состав туфов отвечает закономерностям для цеолитов данного типа.

В образцах, включающих клиноптилолит и гейландит, наблюдается довольно высокое содержание калия (3,4 - 6,3 % K₂O) отношение Si/Al колеблется в пределах 4,8 - 7,5 (табл. 1.2). Содержание цеолита в породах месторождения колеблется от 8 до 88%, составляет в среднем 57%.

Таблица 1.2 Химический состав природных цеолитов

Образец	Содержание, мае. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	MnO	K ₂ O	ППП	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
1. Природный клиноптилолит	67.20	10.2	0.16	0.5	0.11	1.13	0.0	3.4	8.7	4.857.5
	74.74	7	1.87	6	0.62	3.90	1	7	0	
	70.80	12.5	0.63	1.9	0.27	2.67	0.2	5.5		
		0		4			1	0	4	
		14.5		1.1			0.0	59		
2. Природный клиноптилолит	66.40	12.6	0.82	1.2	0.4	2.50	0.1	4.0	11.	5.25.7
		3		4			9	3	29	
3. Природный морденит	65.20	12.5	1.12	2.6	0.57	1.23	-	2.1	14.	5.15.3
		7		3				9	66	

Определяющими структурно-технологическими свойствами фильтрующих материалов являются межзерновая пористость, размер и форма зерен, плотность и механическая прочность.

При определении насыпной плотности, объемной массы и механической прочности материалов были использованы общепринятые методики. Результаты определения механической прочности цеолитов, полученные по данной методике, представлены в таблице 1.3. Условная механическая прочность принимается как суммарные потери фильтрующей загрузки в условиях, имитирующих промывку производственного фильтра в течение года.

Из данных табл. 1.3 видно, что сокирянские цеолиты, кварциты обладают большей межзерновой пористостью по сравнению с кварцитом, удовлетворительной механической прочностью, т.к. по истираемости и измельчаемости они соответствуют.

Таблица 1.3. Физические характеристики фильтрующих материалов

№ п/п	Материал	Средний диаметр зерен, см	Плотность кг/м ³	Объемная масса, кг/м ³	Межзерновая пористость, %		Механическая прочность, %	
					минимальная	максимальная	истираемость	измельчаемость
1	Цеолит сокирянские	1.7	2160	950	55.0	63.8	0.3	3.7
2	Галечник Сокирянского карьера	1.7	2500	1230	46.7	54.1	0.5	4.5
3	Инструкция по прим. местных материалов						0.5	4.0

1.2.1.1. Адсорбционные свойства пористых материалов

Поверхностные явления широко распространены в окружающем нас мире, представляющие собой многофазную систему. Каждая фаза имеет

свои границы, отделяющие ее от соседних фаз. Поверхность раздела фаз обладает своими особенностями, обусловленные наличием некомпенсированного силового поля. Физические (плотность, электропроводность, теплопроводность и др.) и химические свойства вещества в непосредственной близости от поверхности раздела фаз отличаются от этих свойств в объеме фаз.

Одно из важнейших особенностей является поглощать вещество из объема фаз, концентрировать его на поверхности. Это поглощение называется адсорбцией. Очевидно, что величина адсорбции при данных условиях тем больше, чем больше поверхность раздела фаз. В случае системы газ — твердое тело адсорбция тем больше, чем больше поверхность твердого тела. Особенно эта роль велика в системе пар или газ - твердое тело. Так, при адсорбции паров воды ее концентрация увеличивается более чем в 1000 раз. Детальное описание механизма адсорбции на пористых материалах дано в монографии Карнаухова А.П.. Термодинамическое описание этого явления выражается свободной-поверхностной энергией Гиббса

$$G = A \cdot \sigma$$

Где: A – величина поверхности, σ – поверхностное натяжение.

Практически все адсорбционные процессы экзотермичны. Наиболее важный случай адсорбции паров происходит на поверхности твердых тел. При физической адсорбции действуют молекулярные ван-дер-ваальсовы силы. Они могут быть трех видов. Это дисперсионные силы, вызванные согласованным изменением электронной плотности сближающихся молекул, приводящие к выигрышу энергии и вызывающие конденсацию паров в жидкость. Величина этого выигрыша представляет собой теплоту конденсации. Тем не менее движение электронов согласуется для разных по природе атомов или молекул. В большинстве случаев теплота адсорбции несколько больше теплоты конденсации. Другой вид взаимодействия - это ориентационное, вызванное ориентацией дипольных

молекул адсорбата в соответствии с расположением и знаком зарядов на поверхности адсорбента. При такой ориентации также выигрывается энергия, которая является вкладом в общий тепловой эффект адсорбции. Третий вид называют индукционным взаимодействием, обусловленным индукцией дипольных моментов в частицах адсорбента под влиянием адсорбирующихся диполей. Все три вида взаимодействия приводят к вандер-ваальсовой адсорбции. Но только дисперсионное взаимодействие вносит наибольший вклад в выигрыш энергии.

1.3 Выводы по главе I

1. Анализ результатов научно-исследовательских работ по изучению возможностей солнечных систем для отопления теплиц, показал, что немногие разработки в дальнейшем нашли практическое применение :

- солнечные пруды, материалы с фазовым изменением и тепловые насосы требуют больших инвестиций, имеют высокие ежегодные эксплуатационные расходы и с сегодняшними ценами на топливо не экономичны.

- солнечные системы с подпочвенным обогревом грядок, теплообменная система' земля- воздух и системы с плоскими* солнечными коллекторами также очень дороги и не всегда экономичны.

2. Многие исследователи за последние 20 лет сосредоточили свои усилия по улучшению эффективности пассивных солнечных систем ШСС, так как они имеют очень низкие капитальные и эксплуатационные расходы.

3. Но и ПСС, как показали исследования в условиях холодного климата (север Канады, Китая, Тибет, Финляндия, Швеция) без тепловых аккумуляторов не дадут такого же эффекта, как в теплом и умеренном климате стран , где, в основном , ПСС широко используются для отопления домов.

4. Крупные советские исследования, проведенные в конце XX века, по аккумулярованию энергии солнечного излучения (Ю.П. Якубов, Узбекистан), по рациональным схемам совмещения функций гелиотеплиц

с аккумуляторами тепла (А.Б.Вардияшвили, Грузия) проведены в условиях теплого климата, а в последние годы (Китай, США) хотя и в умеренном климате.

5. Проведенный анализ позволяет сделать вывод: наиболее эффективными являются пассивные солнечные теплицы с тепловыми аккумуляторами (ТА), однако недостатком их является большой объем теплоаккумулирующей массы. С целью возможности повышения эффективности ТА в работе предложена целесообразность применения пористых материалов Сокирянского месторождений для чего нужно определить:

- 1) продолжительность эффективной работы солнечных установок по многолетним данным непрерывного солнечного сияния.
- 2) месячный и годовой приход суммарной солнечной радиации (СР) на горизонтальную поверхность при минимуме или отсутствии актинометрической информации.
- 3) приход солнечной радиации на наклонную поверхность

ГЛАВА 2.

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛИЦ

Для сложной системы, какой является теплица, в целом построить математическую модель теоретическим методом не представляется возможным, поэтому математическая модель солнечной теплицы в нашей работе получена экспериментально-статистическим методом. Схема алгоритма энергетической модели представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Схема алгоритма расчета энергоэффективности солнечной теплицы

2.1. Обоснование выбора формы теплицы

Для чего нужно рассчитать оптимальный угол наклон светопрозрачного покрытия теплицы, при котором в теплицу поступает максимальное количество солнечной радиации за отопительный период. Расчет выполняем для г. Днепр (широта 48.45° с.ш. и 34.98° в.д).

2.1.1 Расчет оптимального угла установки светопрозрачного покрытия

Оптимальный угол установки светопрозрачного покрытия находим расчетом для заданных 7 возможных его положений $\beta = 20^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 90^\circ$. Для чего нужно определить:

- 1) продолжительность эффективной работы солнечных установок по много-летним данным непрерывного солнечного сияния.
- 2) месячный и годовой приход суммарной солнечной радиации (СР) на горизонтальную поверхность при минимуме или отсутствии актинометрической информации.
- 3) приход солнечной радиации на наклонную поверхность

2.1.2. Расчет месячного и годового прихода суммарной солнечной радиации (СР) на горизонтальную поверхность.

Поскольку в Украине мало актинометрических станций, для расчета прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность по станциям, где ведутся гелиографические замеры, используем косвенный метод расчета. По продолжительности солнечного сияния можно определить уровень и характер солнечной радиации на территории, примыкающей к этим станциям. Для чего за основу берем формулу Ангстрема, усовершенствованную Пейджем.

$$\mathcal{E}_{\Sigma j}^r = \mathcal{E}_{oj}^r (a + bn/N) \quad (2.1)$$

где:

$\mathcal{E}_{\Sigma j}^r$ - почасовые данные суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность,

кВтч/м² для характерных суток каждого месяца;

\mathcal{E}_{oj}^r - плотность потока внеатмосферной солнечной радиации за рассматриваемый период

времени, кВтч/м для характерных суток каждого месяца;

a и b - эмпирические коэффициенты;

n — среднесуточное количество часов сияния за тот же период времени;
 N — максимальное суточное число часов солнечного сияния за тот же период времени

\mathcal{E}_{oj}^r — внеатмосферная суточная облученность, рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{oj}^r = \frac{24}{\pi} I_{cs} \left(\left[1 + 0.033 \left(\frac{360+n}{365} \right) \right] \left[\cos \varphi \cos \delta \cos \omega_s + \frac{2\pi\omega}{360} \sin \varphi \sin \delta \right] \right) \quad (2.2)$$

I_{cs} — солнечная постоянная, равная $1,36 \text{ кВт/м}^2$; n - день года, характерный для j -го месяца; ω_s — часовой угол восхода солнца; δ - склонение солнца, град φ — широта местности, град.

Рассчитанные по формуле (2.2) значения прихода СР и коэффициентов a и b , полученные по многолетним данным актинометрических станций Днепропетровской и прилегающих областей: Полтавской, Запорожской, Донецкой, Харьковской приведены в таблицах П 1.4. и П 1.5 (Приложение П). Полученные уравнения позволяют определить количество суммарной радиации по станциям, где ведутся гелиографические замеры. Станций, где ведутся гелиографические замеры также очень мало, и пригодны лишь для территорий, расположенных от данной станции в радиусе от 50 до 150 км от нее [44]. Для известных значений суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность $\mathcal{E}_{\Sigma j}^r, j=1..,12$ валовый потенциал СР, приходящейся на горизонтальную площадку находится по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{вал}}^r (\text{кВтч/м}^2 \text{год}) = \sum_{j=1}^{12} \mathcal{E}_{\Sigma j}^r \quad (2.3)$$

С учетом уточненных уравнений валовый потенциал по Днепропетровской области составляет $462 \cdot 10^{12}$ кВт-ч.

2.1.3. Расчет прихода солнечной радиации на наклонную поверхность и оптимального угла установки светопрозрачного покрытия теплицы.

Если среднемесячные значения дневного прихода суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность известны, то данные падающей

солнечной радиации на наклонную поверхность отсутствуют. Коэффициент пересчета количества энергии с горизонтальной поверхности на наклонную поверхность солнечного коллектора с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$K_{\Sigma \text{Эр}} = \left(1 - \frac{\text{Э}_p}{\text{Э}_{\Sigma j}^r}\right) K_{\text{пр}} + \frac{\text{Э}_p}{\text{Э}_{\Sigma j}^r} \frac{1 + \cos \beta}{2} + p \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (2.4)$$

где: Э_p — среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения,

поступающего на горизонтальную поверхность, $\text{МДж}/(\text{м}^2 \text{день})$;

$\text{Э}_p/\text{Э}^r$ — среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;

$K_{\text{пр}}$ - среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с

горизонтальной на наклонную поверхность;

β — угол наклона поверхности к горизонту;

p — коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел,

принимаемый для Бурятии равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета $K_{\text{пр}}$ прямого солнечного излучения для наклонной поверхности с ориентацией на юг имеет вид :

$$K_{\text{пр}} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (2.5)$$

Где: β — угол наклона поверхности к горизонту; φ — широта; δ — склонение Солнца;

ω — часовой угол Солнца

Поправочные коэффициенты $K_{\text{пр}}$ и $K_{\Sigma j}$ рассчитаны по формулам 2.4 и 2.5 для условий г. Днепр. Суточные значения прихода солнечной радиации $\text{Э}_{\Sigma j}^r$ на горизонтальную поверхность в полупасмурные и ясные дни, коэффициента $K_{\Sigma j}$, Э_p на наклонную площадку для ясных дней и полупасмурных дней в берем из [51].

Данные расчета коэффициента K_E и среднесуточных значений суммарной солнечной радиации на наклонную площадку (20° , 40° , 50° , 60° , 70° , 90°) с ориентацией на юг в ясные и полупасмурные дни приведены в таблицах П 1.6.и П 1.7 (Приложение I).

Расчет оптимального угла установки светопрозрачного покрытия для заданных 7 возможных его положений $\rho = 20^\circ$, 40° , 50° , 60° , 70° , 90° в точке А.

Для чего расчетные данные по приходу суммарной СР на наклонную площадку в ясные и полупасмурные таблиц П 1.6.и П 1.7 (Приложение П. 1).таблиц сведены в таблицы 2.1 и 2.2 с учетом количества ясных и полупасмурных дней.

Таблица 2.1. Месячный приход СР в МДж/м² на наклонную площадку с ориентацией на юг

Месяц	Кол-во ясных дн	20°	40°	50°	60°	70°	90°	0°
I	27,6	241,42	329,07	362,00	386,76	401,63	401,37	147,90
II	28,6	403,59	527,01	571,02	602,44	619,23	570,33	274,58
III	28,1	588,02	686,57	766,67	667,47	730,77	659,58	458,56
IV	18,3	442,02	450,26	461,75	444,79	435,07	362,21	420,21
V	13,7	377,67	359,38	354,29	335,53	310,01	238,43	383,73
VI	13,4	414,58	384,39	371,52	340,97	303,41	221,45	403,09
VII	11,3	337,29	316,16	307,68	287,56	257,22	187,99	321,38
VIII	11,2	293,53	289,47	289,80	276,61	263,44	212,31	266,23

IX	11,2	244,89	263,44	285,52	278,55	287,97	245,08	213,86
X	16,1	296,21	371,31	392,34	404,36	405,86	374,31	192,57
XI	16,0	190,90	257,51	282,10	299,25	308,22	303,51	106,57
XII	21,0	169,75	245,11	274,52	296,79	311,27	315,69	87,12

В таблице 2.2 приведены сводные данные по всем рассмотренным выше случаям ориентации площадки. При этом оптимальный угол установки площадки выбирается по максимальному значению $\mathcal{E}\beta$ для каждого месяца года с учетом длительности каждого месяца.

В таблице 2.3 рассчитана также разница между годовыми значениями прихода СР на площадку с $\beta(t) = const$ и $\beta(t) = opt$, т. е

$$\delta\mathcal{E} = [\mathcal{E}_{год}\beta(t)_{const}] / \mathcal{E}_{год} 100\% \quad (2.6)$$

Из полученных данных следует, что наименьшая разница в годовых приходах СР между $\mathcal{E}_{год}\beta(t)_{const}$ и $\mathcal{E}_{год}$ соответствуют случаю, когда $\beta \approx \varphi = 50^\circ - 60^\circ (6,2\% - 7,7\%)$.

Сводная таблица по выбору оптимальной ориентации площадки в течение года (месячный и годовой приход солнечной радиации в МДж/м²) с учетом длительности для каждого месяца

Мес яц	\mathcal{E} , МДж/м ² месяц							β опт град.	\mathcal{E} , МДж/ м ² мес.
	$\beta=0$	$\beta=20$	$\beta=40$	$\beta=50$	$\beta=60$	$\beta=70$	$\beta=90$		
I	198,4	325,0	442,5	487,5	520,7	541,0	540,6	70	541,0
II	325,6	474,2	616,0	666,4	702,1	721,1	664,3	70	721,1

III	609,3	762,8	876,9	969,9	942,9	920,3	827,3	50	969,9
IV	766,2	794,6	795,7	805,1	771,1	747,3	619,5	50	805,1
V	920,3	903,1	852,7	830,4	782,8	721,8	562,1	0	920,3
VI	955,2	966,9	898,1	860,0	792,7	711,4	535,2	20	966,9
VII	882,4	904,2	844,5	813,2	760,1	685,1	516,0	20	904,2
VIII	730,0	777,3	753,9	743,3	705,0	665,6	536,3	20	777,3
IX	541,3	592,7	614,3	645,6	623,7	630,1	530,7	50	645,6
X	380,1	546,4	663,6	694,5	710,1	708,2	648,0	60	710,1
XI	209,4	368,9	494,8	541,3	573,4	590,1	580,6	70	590,1
XII	144,9	289,0	420,7	471,5	510,5	535,9	543,4	90	544,1
год	6663,1	7705,2	8273,6	8528,7	8395,1	8177,8	7104,8		9095,7
Э%	-26	-15,2	-9	-6,2	-7,7	-10,0	-21,8		

Оптимальной ориентацией светопрозрачного покрытия, теплицы в течение отопительного периода будет угол 60°.

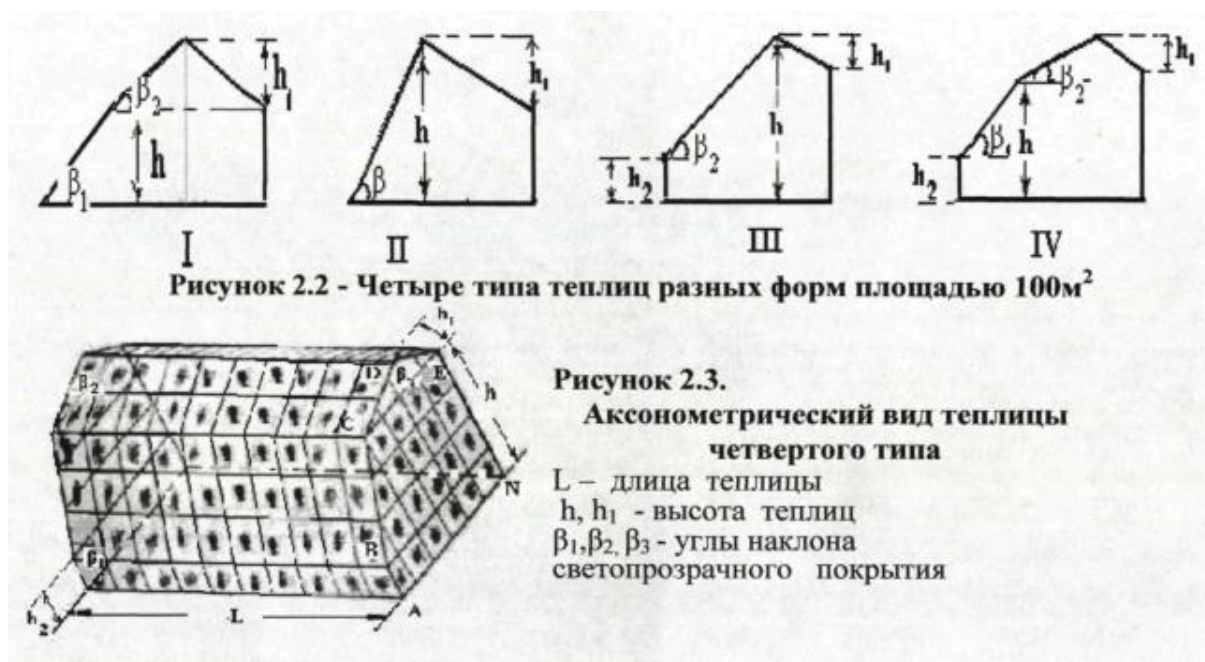
2.2. Моделирование энергоэффективной солнечной теплицы

Моделирование энергоэффективной солнечной теплицы заключается в последовательности выполнения следующих задач:

- оптимизации геометрических (конструктивных) параметров теплицы,
- расчета: нагрузки отопления теплицы; энергетического баланса теплицы;
- расчета: пассивной солнечной системы.

2.2.1. Методика оптимизации геометрических параметров теплицы

Для обоснования формы теплицы рассмотрены четыре типа теплиц (Рисунок 2.2), используемых в настоящее время в холодном климате и аксонометрический вид 4 типа теплицы (Рисунок 2.3).



Зависимость аккумулированного тепла ($Q_{ак}$) от размеров и типов теплиц, определяем по уравнению теплового баланса:

$$Q_{прош} = Q_{пот} + Q_{ак} \quad (2.7)$$

$$\text{или} \quad 1 = \frac{Q_{пот}^c}{Q_{прош}^c} + Q_{ак}^c \quad \text{Величина} \quad \frac{Q_{пот}^c}{Q_{прош}^c} = a \quad (2.8)$$

есть коэффициент тепловых потерь, а

$$(1 - \alpha) = \Pi \quad (2.9)$$

коэффициент аккумуляции тепла. Аккумулируемое тепло выразится через $(1 - \alpha)$ как: $Q_{ак} = (1 - \alpha)Q_{прош}$. Когда эти факторы заданы, тогда α и Π зависят только от размеров и типов теплиц. Для определения такой зависимости при расчете за исходные геометрические размеры можно принять длину L и высоту h теплицы, так как через них при заданных значениях углов определяются все остальные размеры теплицы. Теплица как защищенный грунт характеризуется геометрическим показателем эффективности, определяемый отношением площади защищенного грунта к сумме площадей ограждающих конструкций.

$$\mu = F_{осн} / (F_c + F_{сев.ст} + 2F_{торц} + F_{пот}) \quad (2.10)$$

где: F_c - площадь светопрозрачного покрытия, $F_{сев,ст.}$ - площадь северной стены, $F_{т. ст}$ - площадь торцевой стены, $F_{пот}$ - площадь потолка.

Прошедшее солнечное излучение через застекленную поверхность теплицы, определяется как:

$$Q_{\text{прош}} = \eta \Delta \beta \quad (2.11)$$

где: η - оптический КПД светопрозрачного ограждения; $\Delta \beta$ - количество суммарной солнечной радиации, падающей на наклонную светопрозрачную поверхность. Тепловые потери проводимостью через оболочку теплицы, включающие северную стену, две торцевые стены, северную крышу и светопрозрачное покрытие из поликарбоната определяются как:

$$Q_{\text{огр}} = \sum k_0 F \Delta t \quad (2.12)$$

где: K_0 — коэффициент теплопередачи ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{°C}$), F - полная площадь поверхности оболочки теплицы (м^2), Δt - перепад внутренней температуры теплицы и наружного воздуха (°C), F - площади $F_{сев.ст.}$, $F_{пк}$, $F_{кр}$, $F_{тст}$ северной стены, светопрозрачного покрытия, крыши и торцевых стен (м^2) и, соответственно $k_{ост}$, $k_{пк}$, $k_{кр}$, $k_{ост}$ — их коэффициенты теплопередачи.

Площади поверхностей $F_{ст}$, $F_{пк}$, $F_{кр}$ равны h_2L , $BC \cdot L$ и CDL (Рисунок.2.3). $F_{тст}$ - площадь торцевых стен, т.е. многоугольник ABCDENА.

Коэффициент тепловых потерь a (2.8)), выраженный через тригонометрические функции углов β , высоту h и длину L , после преобразований примет вид:

$$a = \frac{a + b \frac{h}{L}}{c + d \frac{h}{L}} \quad (2.13)$$

При заданных значениях a, b, c, d коэффициент a зависит только от отношения h/L . Коэффициенту $\mu = F_{осн}/F_{огр}$ придаем следующий вид:

$$\mu = \frac{1}{E + N \cdot \frac{h}{L}} \quad (2.14)$$

Аналитическое выражение a,b,c,d,E и N для двух типов теплиц Зи Л приведены в таблице 2.4. Выражения для типа 1 и 2 можно получить по табл.2.4., полагая, что $n_2=0$; $n_1=n_2=0$ и $\beta_1 = \beta$; $q=q_1$ тогда из выражения для 3 типа теплиц можно получить аналитическое выражение для 1 и 2-го типа.

Таблица 2.4.

Выражения для a,b,c,d,E,N

Величины	Тип 3	Тип 4
a	$\{K_{np}[n_2 + (1 + n_2) \csc \beta_1] + K_{III}[n_1(\csc \beta_3 - 1) + 1]\} \Delta t \cdot \tau_1$	$K_{np}[n_2(1 - \csc m_1) + \csc \beta_1 + n_1 \cdot \csc \beta_2] \cdot + K_{III}(1 + n_1 \cdot \csc \beta_3) \Delta t \cdot \tau_1$
б	$[(1 - n_2^2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1(2 - n_1) \operatorname{ctg} \beta_3] K_{np} \cdot \Delta t \cdot \tau_1$	$[(1 - n_2^2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1(n_1 + 2) \cdot (\operatorname{ctg} \beta_2 \operatorname{ctg} \beta_3)] \times K_{np} \cdot \Delta t \cdot \tau_1$
с	$q_0 \cdot n_2 + (1 - n_2) q_1 \csc \beta_1$	$q_0 \cdot n_2 + q_1(1 - n_2) \csc \beta_1 - q_2 \cdot n_1 \cdot \csc \beta_2$
d	$\frac{b \cdot q_6}{K_{np} \cdot \Delta t \cdot \tau_1}$	$\frac{b \cdot q_6}{K_{np} \cdot \Delta t \cdot \tau_1}$
E	$\frac{n_2(1 - \csc \beta_1) + 1 + \csc \beta_1 + n_1(\csc \beta_3 - 1)}{(1 - n_2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_3}$	$\frac{n_2(1 - \csc \beta_1) + 1 + \csc \beta_1 + n_1(\csc \beta_2 + \csc \beta_3)}{(1 - n_2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1 \cdot (\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_3)}$
N	$\frac{n_2(1 - n_2^2) \cdot \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1(2 - n_1) \operatorname{ctg} \beta_3}{(1 - n_2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_3}$	$\frac{n_2(1 - n_2^2) \cdot \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1(2 + n_1)(\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_3)}{(1 - n_2) \operatorname{ctg} \beta_1 + n_1 \cdot (\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_3)}$

При максимальном значении $\alpha \cdot q$. значение h/L становится критическим и при проектировании необходимо соблюдать условие:

$$h/L < (h/L)$$

Значения комплексов a,h,c,d в кВт-ч/день для декабря и (h/L) кривые приведены в таблице 2.5, а их зависимость от h/L - на рисунке 2.4. Теплицы ориентированы на юг, торцевые стены на восток и запад под углом 90° , светопрозрачное покрытие - бмм поликарбонат. Из кривых видим - с возрастанием h/L вначале $\alpha \cdot \mu$ растет, достигая критического максимума, затем медленно уменьшается.

В качестве ограждающих конструкций пола, потолка, стен использованы плиты железобетонные многпустотные, армированные стержнями из стали Ат+V., Высота теплицы в коньковой части h=4м, площадь пола F = 100 м².

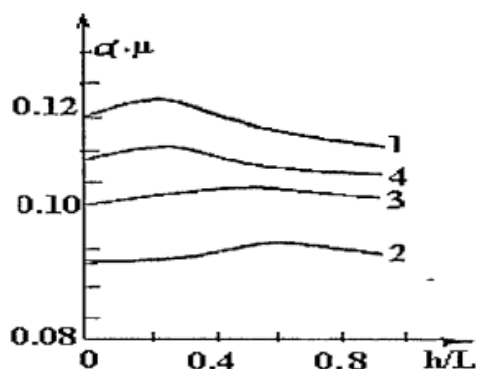


Рис.2.5. Кривые зависимостей $\alpha \cdot \mu = \frac{Q_{пот} / F_{оср}}{Q_{прош} / F_{прозр}}$

- отношения удельных тепловых потерь $q_{пот}$ и прошедшего солнечного тепла $q_{прош}$ от h/L

Значения комплексов a, b, c, d (кВт·ч); $\Pi/q_{прош}$

Тип теплицы	a	b	c	d	$\Pi / q_{прош}$	$h/L)_{кр}$
I	0,975	1.30	4.06	1.27	0.409	0.376
II	0,690	0.60	2.84	0.55	0.393	0.216
III	0,590	0.56	2.60	0.52	0.306	0,194
IV	0.903	1.30	3.70	1.24	0.359	0,327

Из таблицы 2.5 следует, что строить теплицы выгодно с наибольшим значением $\Pi/q_{прош}$ (отношение коэффициента аккумуляции тепла к удельному количеству прошедшего солнечного тепла) с энергетической и экономической точки зрения. Наибольшее значение $\Pi/q_{прош}$ у типов I и II, выбираем тип II, у которого $(h/L)_{кр} = 0.216$, длину теплицы при соблюдении условия (2.15) не превышения $L_{кр} = 18.5$ м, берем равной 18.2 м. Для Украины, располагаемой в широтах $\varphi = 52^\circ - 53.5^\circ$ теплица ($S = 100 \text{ м}^2$, $\alpha = 60^\circ$, $h_0 = 30^\circ$) при работе её 180 дней в году с 15 октября по 15 апреля (Рисунок 2.6). будет иметь следующие оптимальные геометрические размеры:

- пол-18,2x5,5 м; торцевые стены- 3,34x1,7x2 м;
- остекленная южная поверхность- 18,2x4,3 м;
- потолок - 18,2x3,86 м; задняя стена- 18,1x1,7 м.

Минимальный геометрический показатель μ_{min} , при данных размерах теплицы площадью 100 м^2 равен 1,78.

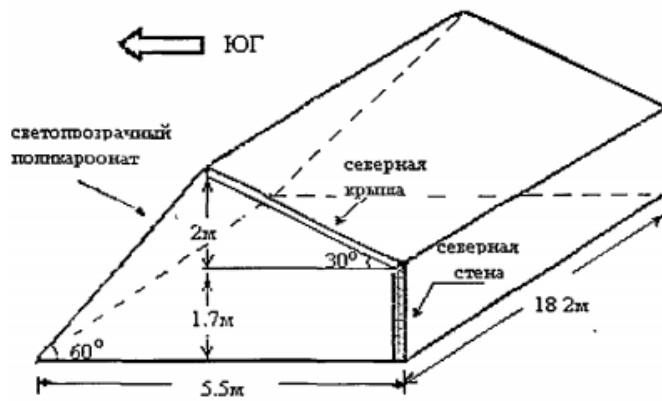


Рис. 2.6. Теплица $S = 100 \text{ м}^2$ с оптимальными размерами элементов конструкции

2.2.2 Расчет энергетического баланса солнечной теплицы

Математически, энергетическое уравнение баланса записываем как:

$$Q_{\text{прош}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{акк}} \quad (2.16)$$

где:

$Q_{\text{прош}}$ - солнечное излучение, прошедшее в теплицу (Вт),

$Q_{\text{огр}}$ — тепловые потери проводимостью через оболочку теплицы (Вт),

$Q_{\text{вент}}$ - тепловые потери вентиляцией (Вт),

$Q_{\text{акк}}$ - аккумулируемое тепло в теплице (Вт).

$Q_{\text{прош}}$ - прошедшее солнечное тепло - количество суммарного солнечного излучения ($\Sigma \beta$ проникающее через застекленную поверхность теплицы, определяем по уравнению (2.11). Тепловые потери проводимостью через оболочку теплицы, включающие северную стену, две торцевые стены, северную крышу, и светопрозрачное покрытие из поликарбоната (с экраном - «тепловым одеялом» ночью), определяется по (2.12). Площадь и термические сопротивления элементов оболочки (ограждающих конструкций) теплицы приведены в таблице 2.6. Потери с вентилируемым воздухом (кг/ч) определяются из выражения:

$$Q_{\text{вент}} = V_l V_{\text{ра}} c_a \Delta T \quad (2.17)$$

где: F -объем теплицы, м³/ч; - V_I - кратность воздухообмена 1/сек
 ρ_a - плотность воздуха кг/м³; ca - удельная теплоемкость, Дж/кг°С
 $T_{вн}$ и T_n - температура внутреннего и наружного воздуха, °С

2.2.2.1. Расчет суммарного аккумулированного тепла

Суммарное аккумулируемое тепло $\Sigma Q_{акк}$ равно количеству аккумулированного тепла ограждающими конструкциями (потолком, торцевыми стенами, почвой) и северной солнечной стеной и определяется как:

$$\Sigma Q_{акк} = Q_{акк}^{огр} + Q_{акк}^{ст} \quad (2.18)$$

$$\text{здесь } Q_{акк}^{огр} = (c_p^{огр} \rho^{огр} V^{огр} + c_p^{возд} V^{тепл}) \Delta t \quad (2.19)$$

где: $V^{огр}$ и $V^{тепл}$ - объем теплоаккумулирующей массы потолка, торцевых стен, почвы и объема теплицы соответственно, м³ ; $\rho_{возд}$, $\rho_{огр}$ - плотность воздуха и ограждающих конструкций, кг/м³ ; $c_p^{огр}$, $c_p^{возд}$ - удельная теплоемкость ограждающих конструкций и воздуха Дж/кг°С;
 $\Delta t = t_{вн}^{огр} - t_{вн}^{возд}$ - температура внутренняя ограждающих конструкций и внутреннего воздуха теплицы, °С

Поверхность ограждения			R_o м ² °С/Вт	K_o Вт/м ² °С	$\kappa_o F$ Вт/°С
Наименование элементов оболочки	Размер, мм	Поверхность, м ²			
Северная стена	18,1x1,7	30,77	3,67	0,27	8,30
Торцевые стены	-	37,18	3,67	0,27	10,04
Северная крыша	3,86x18,2	70,2	5,0	0,2	14,0
Южная стена	4,3x18,2	78,26	0,46	2,17	169,82

(поликарбонат)) без теплого одеяла					
Южная стена (поликарбонат)) с теплым одеялом	4,3x18,2	78,26	1.81	0.55	43,043
Итого:					202,16 (без теплого одеяла) 75,3 (с теплым одеялом)

2.2.3. Расчет поглощенной солнечной радиации

$Q_{\text{погл}}$, находим из выражения:

$$Q_{\text{погл}}^{\text{ст}} = \sum Q_{\text{пр}} E \cos(i) \cdot F_{\text{погл}} \quad (2.20)$$

где: $\sum Q_{\text{пр}}$ - прошедшее количество солнечной энергии через светопрозрачное ограждение, кВтч; E — коэффициент поглощения солнечной радиации; $\angle i$ — угол между нормалью к аккумулирующей поверхности и направлением солнечных лучей; $F_{\text{погл}}$ - площадь поглощающей поверхности, м².

Количество поглощенной солнечной радиации равно сумме аккумулируемо-го тепла северной стеной $Q_{\text{акк}}$ и количеству тепла, отдаваемое стеной внутренней воздушной среде теплицы $Q_{\text{вн}}$.

$$Q_{\text{погл}}^{\text{ст}} = Q_{\text{акк}}^{\text{ст}} + Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \quad (2.21)$$

откуда:

$$Q_{\text{акк}}^{\text{ст}} = Q_{\text{погл}}^{\text{ст}} - Q_{\text{вн}}^{\text{ст}}$$

Количество тепла, аккумулируемое северной стеной, определяется как:

$$Q_{\text{ст}} = c_{\text{ст}} \rho_{\text{ст}} V_{\text{ст}} \Delta T_{\text{ст}} \quad (2.22)$$

где: $Q_{\text{ст}}$, - тепло, аккумулированное в северной стене (Вт), $C_{\text{ст}}$, $C_{\text{почв}}$ - удельная теплоемкость стены (Дж/кг $^{\circ}$ С) $\rho_{\text{ст}}$ - плотность стены (кг/м 3); $V_{\text{ст}}$ - объем стены, (м 3), $\Delta t_{\text{ст}}$ - перепад температур в стене, ($^{\circ}$ С). $\Delta t_{\text{ст}} = t_{\text{погр}} - t_{\text{вн}}$, Здесь: $t_{\text{погр}}$ - температура пограничного слоя теплоаккумулирующей стены, $^{\circ}$ С $t_{\text{вн}}$ - температура внутреннего воздуха теплицы, $^{\circ}$ С Количество прошедшей солнечной радиации через светопрозрачное пок-рытие оцениваем по формуле (2.16). Коэффициенты пропускания заграждений и их оптический КПД приведены в таблице 2.7 [58]. Данные прошедшей солнечной радиации через остекление под углом 60 $^{\circ}$ к горизонтальной поверхности приведены в таблице П.1.8.(Приложение П.1). Количество поглощенной солнечной радиации находим из выражения (2.20). Площадь северной аккумулирующей стены: $S_{\text{акк}} = 30,77 \text{ м}^2$ Данные расчета количества поглощенной солнечной радиации сведены в таблицу 2.8. Кроме северной стены солнечное тепло поглощается почвой теплицы Коэффициент поглощения E берем как для огородных плантаций равным 0,76. Данные для расчета количества тепла, аккумулируемого почвой теплицы, сводим в таблицу 2.9. Теплоаккумулирующую способность теплицы P находим по уравнению (2.9). Данные количества солнечной радиации, расходуемой на нагрев воздуха и теплоаккумулирующей способности теплицы сведены в таблицу 2.10.

Коэффициенты пропускания заграждений и их оптический КПД [58].

Часть солнечного спектра	Длина волны, мкм	Дол я энер г ИИ [10]	Коэффициент пропускания			Пропускание солнечной радиации при 1000 Вт/м ²	
			Стекло оконное (толщина 4 мм)		ПК- плита	Оконно е стекло дв./оди н	ПК- плита
			Двой ное	Один а рное			
УФ, видимая, ФАР (380- 710)	385-700	0,43	0,66- -0,72	0,83	0,77	297/357	311
Коротковолн . ИК	700-1200	0,28	0,52-	0,74	0,77	151/207	216
	1200- 1600	0,04	-0,55		0,77		31
	1600- 2200	0,19			0,50		48
	2200- 2800	0,19			0,26	-	48
	2800- 3000	0,19			0,15		48
Всег о:						448/564	635
Принятый в расчетах оптический КПД:						0,45/0,5 6	0,63

Данные для расчета количества тепла, аккумулируемого почвой теплицы

Месяц	Количество солнечной радиации, прошедшей через ограждение		Cos(i)	Cos(i)F _{ст}	Cos(i)F _{см} E	Количество поглощенной солнечной радиации	
	Двойное остекление	ПК-плиты				Двойное остекление	ПК-плиты
I	51,2	71,7	1,1	26,5	30,6	1244,9	1742,7
II	85,1	119,1	1,0	30,7	27,7	1867,7	2614,8
III	103,1	144,3	0,8	54,2	22,8	1865,7	2596,9
IV	86,8	121,5	0,6	19,7	17,6	1215,1	1701,4
V	91,2	127,6	0,5	15,8	14,2	1026,3	1435,9
VI	87,7	122,8	0,4	12,8	11,5	800,7	1121,1
VII	82,7	115,7	0,4	13,6	12,2	801,0	1121,4
VIII	76,1	106,5	0,6	17,8	16,0	966,3	1352,7
XI	71,4	100,0	0,8	25,5	22,9	1300,2	1820,3
X	78,5	109,9	0,9	28,5	22,8	1420,3	1988,4
XI	39,5	55,3	1,1	33,5	30,1	944,0	1321,4
XII	35,1	49,1	1,1	34,8	31,4	873,7	1223,2
Всего:						14315,6	20040

Данные количества солнечной радиации, расходуемой на нагрев воздуха и теплоаккумулирующей способности теплицы.

Ме сяц	Количество солнечной радиации, кВт*ч						Теплоаккумуля и рующая способность	
	прошедшей		поглощенной		идущей на нагрев воздуха		Двойное остекле ние	ПК- плит ы
	Двойное остекле ние	ПК- плит ы	Двойное остек ление	ПК- плит ы	Двойное остек ление	ПК- плит ы		
I	4751,2	6651,2	2197,8	3076,7	2553,4	3574,5	-2,9	-1,7
II	7887,5	11042,5	3832,3	5365,2	4055,2	5677,3	-0,8	-0,2
III	9559,6	13379,6	5782,8	8079,1	3776,9	5300,4	0,0	0,3
IV	8049,9	11270,3	5555,2	7777,7	2494,7	3492,6	0,2	0,5

V	8460,0	11837,1	5669,5	7932,6	2790,5	3904,5	0,8	0,9
VI	8134,1	11388,4	5475,6	7666,3	2658,5	3722,1	1,3	1,3
VII	7666,6	10732,9	5116,2	7162,6	2550,4	3570,3	1,3	1,3
VIII	7056,6	9878,7	4580,6	6412,4	2476,0	3466,3	1,3	1,3
XI	6625,5	9275,7	2800,5	3920,6	3825,0	5355,1	0,6	0,8
X	7277,5	10188,4	3232,9	4526,2	4044,6	5662,2	0,1	0,5
XI	3663,3	8907,4	1763,6	2468,6	1899,7	6438,9	-2,4	-0,3
XII	3254,3	4556,0	1372,0	1920,7	1882,3	2635,3	-4,3	-3,0

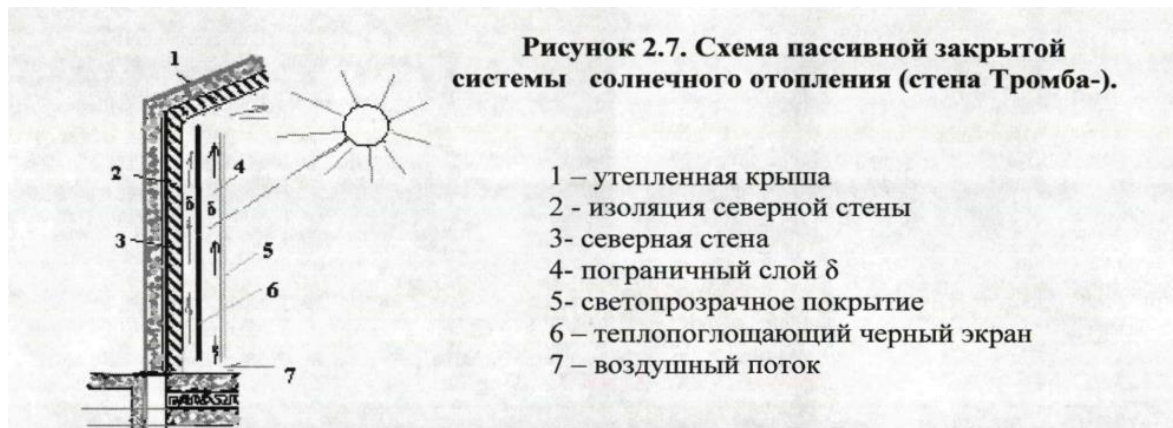
2.3. Расчет пассивных солнечных систем (ПСС)

Приведенные выше расчеты для теплиц с ПК-ограждением показывают, что для эффективного функционирования солнечных теплиц необходимо избыток тепла аккумулировать с целью выравнивания дневных и ночных температур, для горячего водоснабжения, полива, подогрева питательного раствора и даже для сезонного аккумулирования. Для чего рассмотрим пассивные системы солнечного отопления.

2.3.1. Пассивные закрытые системы солнечного отопления.

Пассивные системы солнечного отопления отличаются простотой, прежде всего с точки зрения конструктивного решения. Пассивные системы выполняются как функции основного конструктивного назначения (элементы здания), так и функции восприятия, аккумулирования и транспортировки тепла. Наиболее простым устройством, воспринимающим поток солнечной радиации конвертирующим его во внутренний объем, является «стена Тромба-

Мишеля», где теплоносителем является воздух (рисунок 2.7). На внешней поверхности целесообразно разместить тепловую изоляцию, а в межстекольном пространстве - теплоприемный экран с высокой теплопроводностью.



Южная задняя стена теплицы отделена светопрозрачным покрытием. В верхней и нижней части стены имеются каналы для циркуляции теплоносителя (внутреннего воздуха). В период инсоляции воздух, находящийся в воздушной прослойке между стеной и стеклом, нагревается и поступает через верхние каналы в теплицу. Этот воздух замещает прохладный, поступающий из теплицы через нижние каналы. Таким образом, за счет естественной гравитации происходит циркуляция внутреннего воздуха теплицы. По сравнению с системой без циркуляции теплоносителя система Тромба имеет существенные преимущества: внутренний воздух прогревается более равномерно и нагрев его начинается уже в ранние утренние часы ;представляется возможным обеспечить циркуляцию внутреннего воздуха в теплице, непосредственно не примыкающих к гелио- нагревателю. При конструировании важно правильно выбрать расстояния между теплоприемным экраном и стеклом — $2\delta_1$ а также между экраном и стеной - $2\delta_2$ (Рисунок 2.7). Здесь δ_1 и δ_2 примерно равны и могут быть выбраны на основании общеизвестных уравнений пограничного слоя для естественной конвекции [2,13, 20]:

$$\delta = 2 * H / N_u = 0.378(G_r)^{0.25}; G_r = \frac{\Delta t * g * H^3 * \beta}{\nu^2} \quad (2.23)$$

для турбулентного режима:

$$\delta = H * (0,96 * R_a^{-1/6}) * \left(\frac{Pr^{2/3}}{2.14 + Pr^{2/3}}\right)^{-1/6} * Pr^{1/6}; \quad (2.24)$$

где: H - высота теплоприемного экрана, м; N_u - число Нуссельта; G_r - число Грасгофа; Pr - критерий Прандтля; V - средняя скорость движения воздуха в прослойке, м/с;

$$V = \sqrt{\frac{2 * \xi * H * p_{вх} - p_{вых}}{\sum \xi * p}}, \quad (2.25)$$

Здесь: V - средняя скорость движения воздуха в прослойке, м/с;

ρ — средняя плотность воздуха в прослойке, кг/м³ ;

Δ - толщина воздушной прослойки, мм; $\Delta = 4 \delta$;

ξ - ускорение свободного падения, м/с² ;

A - высота между центрами входного и выходного отверстий, м;

$\rho_{вх}$ - плотность входящего в теплоприемник воздуха, кг/м³ ;

$\rho_{вых}$ - плотность воздуха на выходе из теплоприемника, кг/м³ ;

$\sum \xi$ — сумма местных сопротивлений.

Площадь живого сечения $F_{жс}$ входных и выходных каналов определяется из уравнения:

$$F_{жс} = \frac{m_0}{3600 * \rho * \sqrt{\frac{2 * \xi * h * (\rho_{вх} - \rho_{вых})}{\sum \xi * \rho}}}; \quad (2.26)$$

Где: m_0 - суммарный (т.е. на проектируемую поверхность) массовый расход воздуха в межстекольном пространстве теплоприемника, кг/ч. При выборе типа теплоприемной поверхности необходимо учитывать особенности теплообмена в межстекольном канале. Особенно большой эффект дает шиповая поверхность, при этом коэффициент теплообмена α F_x возрастает в 2-2.5 раза, а F_x (площадь теплоприемного экрана) на порядок или два. Это дает возможность делать теплоприемник более компактным по сравнению с плоским, получать больше полезной энергии

аккумулировать ее. Аккумуляция теплоты в значительной степени определяет эффективность и надежность пассивной системы. Здесь наиболее важно, определение: необходимой теплоемкости аккумулятора, наиболее рациональных режимов подачи и отбора тепла, на основании расчетов;

2.3.2. Определение теплотехнических параметров солнечной теплицы.

2.3.2.1. Уравнение теплового баланса для пассивной системы.

Уравнение теплового баланса для закрытой пассивной системы, северной стены имеет следующий вид.

$$-(mC_p)_{\text{вн}} \frac{dt_{\text{вн}}}{d\tau} = a_{\text{вн}} F_{\text{ст}} [t_{\text{вн}}(\tau) - t_{\text{ст}}(-e, \tau)] + a_{\text{вн}} F_{\text{потолок}} [t_{\text{вн}}(\tau) - t_{\text{потолок}}(c, \tau)] + a_{\text{вн}} F_{\text{пол}} [t_{\text{вн}}(\tau) - t_{\text{пол}}(-e, \tau)] + R_{\text{светопокр}} F_{\text{светопокр}} [t_{\text{вн}}(\tau) - t_{\text{н}}(\tau)] + V_{\text{вент}} \rho_{\text{н}} C_p [t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}(\tau)] - F_{\text{светпокр}} q_{\text{погл}}(\tau) - Q_{\text{вн}}(\tau) + (mC_p)_{\text{ТП}} [t_{\text{вн}}(\tau) - t_{\text{вых}}^{\text{ТП}}(\tau)] \quad (2.27)$$

где:

$(mC_p)_{\text{ТП}}$ - массовый расход нагретого воздуха поступающего от теплоприемника;

$C_{p\text{ТП}}$ - удельная теплоемкость воздуха от теплоприемника;

$t_{\text{вых}}^{\text{ТП}}(\tau)$ - температура воздуха на выходе из теплоприемника;

$F_{\text{свет покр}}$ - площадь светопрозрачного покрытия; $m_{\text{вн}}$ - масса внутреннего воздуха;

$C_{p\text{вн}}$ - удельная теплоемкость внутреннего воздуха;

$t_{\text{ст}}(-e\tau)$ - температура-внутреннего воздуха; - время;

$a_{\text{вн}}$ - коэффициент теплообмена внутренних поверхностей ограждающих конструкций;

$t_{\text{ст}}(-e\tau)$ - температура внутренней поверхности наружной стены;

$F_{\text{см}}$ - площадь внутренней поверхности стен; $F_{\text{ном}}$ — площадь внутренней поверхности потолка;

$t_{\text{ном}}(-e\tau)$ — температура на внутренней поверхности потолка;

$K_{\text{ок}}$ — коэффициент теплопередачи через светопрозрачное покрытие;

$t_{\text{н}}(\tau)$ — температура наружного воздуха;

V - объем поступающего наружного воздуха извне, за счет инфильтрации и через вентиляционные каналы наружного воздуха;

ρ_n и C_p -плотность и теплоемкость наружного воздуха; $F_{ок}$ — площадь остекления пассивной системы;

$q_{погл}(\tau)$ - плотность поглощенной внутренним объемом солнечной радиации; $Q_{вн}(\tau)$ -внутренние тепловыделения.

В левой части уравнения — теплоаккумулирующая способность внутреннего воздуха. В правой части слагаемые:

1 — теплотери через стены; 2 — теплотери через потолочные перекрытия;

5 — передача тепла через светопрозрачное покрытие;

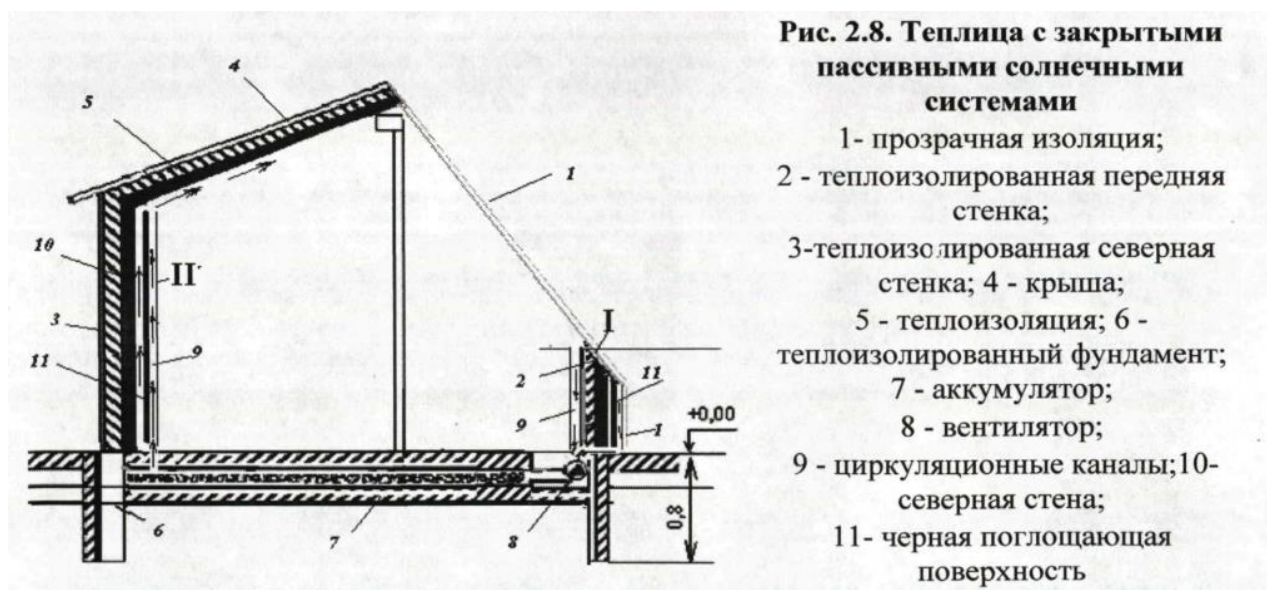
6 - охлаждение внутреннего воздуха за счет поступления наружного вентиляционного; 7 - тепловой поток, поступающий через светопрозрачное покрытие - $F_{ок}q_{погл}(\tau)$;

8 - внутренние тепловыделения $Q_{вн}(\tau)$;

9 — поступление тепла от теплоприемника (конвективный поток, нагретого воздуха) -

Существенной особенностью уравнения (2.27) является определение поступления тепла от теплоприемника ПСС. Общие положения по исследованию аэродинамической обстановки в теплоприемнике и методы расчета приведены в [2,20], в которых для определения поступления тепла от теплоприемника принимают следующие допущения: - в помещении происходит равномерное перемешивание воздуха; - процесс теплопередачи через непрозрачные ограждения носит нестационарный характер при изменении во времени основных возмущающих факторов - температуры наружного воздуха, солнечной радиации, внутренних тепловыделений; - тепловая инерционность светопрозрачного покрытия не учитывается; - теплоаккумулирующая способность внутреннего воздуха мала по сравнению с теплоаккумулирующей способностью строительных конструкций. Для определения теплотехнических

параметров солнечной теплицы рассмотрим последовательно основные составляющие теплового баланса. Для чего рассмотрим конструкцию теплицы рисунок 2.8.



Представленная на рисунке 2.8 солнечная теплица имеет два абсорбера теплоприемника I и II пассивных солнечных систем: I - расположена на южной стене теплицы; II - на северной стене теплицы.

Размеры абсорбера-теплоприемника I - 18,1x 0,69 м, а абсорбера-теплоприемника II - 18,1x1,5 м. Используя результаты аналитических исследований оптимизации эффективности функционирования солнечной теплицы были применены в проекте следующие материалы: - светопрозрачное покрытие - поликарбонат марки "Lexan", радиционно стойкий, размер ячейки - 6 мм; - утеплитель - минераловатная плита на синтетическом связующем (60см — потолок, 25см - стены); в качестве ограждающих конструкций: перекрытия потолочного, стен приняты железобетонные плиты пустотные, армированные стержнями из стали класса Ат-V, которые одновременно будут использоваться как вторичные аккумуляторы, куда будет подаваться нагретый воздух с помощью вентиляторов; - фундамент углублен на 60см, стенки его утепляются, желательно твердым сформированным пенопластом, затем пространство заполняется на 35см щебнем, керамзитом, следующий слой заполняется галькой или цеолитами, в которые прокладываются перфорированные

трубы для поставки горячего воздуха от пассивной солнечной системы. - теплоизоляция с обеих сторон закрыта пленкой или фанерой. В качестве ограждающих конструкций пола, потолка, стены берем плиты перекрытий — железобетонные многопустотные, армированные стержнями из стали A_{T+V} .

2.3.2.2. Определение температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций и температуры воздуха внутри теплицы

Температуру $t_{в}$ ограждающих конструкций теплицы определяем по формуле:

$$t_{в}' = t_{в} - \frac{n(t_{в} - t_{н})}{R_0^{усл} a_{в}} (1 + \xi R_0^{усл} a_{в}) \quad (2.28)$$

где: n — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (равен 1); $t_{в}$ и $t_{н}$ - расчетная температура внутреннего и наружного воздуха; $a_{в}$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций

R_0 - сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции;

$$R_0^{усл} = \frac{1}{a_{в}} + R_k + \frac{1}{a_{н}}, \quad (2.29)$$

здесь: R_k - термическое сопротивление ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$. Термическое сопротивление R_k ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями следует определять как сумму термических сопротивлений отдельных слоев:

$$R_k^{ст} = R_1 + R_2 + \dots + R_{вп} \quad (\text{для стены})$$

где $R_1, R_2, \dots, R_{вп}$ - термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, определяемые по формуле:

$$R_1 = \delta / \lambda \quad (2.30)$$

где: δ — толщина слоя, м;

λ - расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя;

$R_{вп}$ - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки;

R_o^1, R_o^{ysl} - сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции, $m^2C/Вт$, соответственно в местах теплопроводных включений,, определяемые по формуле (2.29)

ξ - коэффициент теплопроводных включений в зависимости от схемы их включений в ограждающих конструкциях.

1. Определим температуру внутренней поверхности t_B для стен с толщиной слоя панели $\delta = 22$ см:

$$t_B' = t_B - \frac{t_B - t_H}{R_o^{ysl} * a_B} * (1 + \xi R_o^{ysl} a_B), \quad (2.31)$$

здесь: $R_{вп} = 0,165$ $m^2C/Вт$ — термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, $\delta = 17,2$ см.; $R_1 = 0,026$ (для бетона); $R_2 = 0,165$ (для воздуха)

$$R_k = 0,026 + 0,165 = 0,19 \text{ м}^2\text{С/Вт}; \quad R_o^{ysl} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + R_k = 0,115 + 0,043 + 0,19 = 2,1 \text{ м}^2\text{С/Вт}$$

для доведения R_o^{ysl} до $3,7 \text{ м}^2\text{С/Вт}$, согласно норм СНиП П-3-79 предусматриваем утеплитель — минвату слоем 20 см. Для нахождения коэффициента ξ определим значения

$$\frac{a \lambda_T}{\delta \lambda} \quad (2.32)$$

(Приложение 5*СНиП П-379).

Где: a — 0,02 м -расстояние между гранями ребер стальных стержней; $\lambda_T = 58$ $Вт/м^2C$ для стали стержневой, арматурной; λ — 1,92 - для железобетона; $\delta = 0,172$ м.

Тогда при

$$\frac{a * \lambda_T}{\delta * \lambda} = \frac{0,02 * 58}{0,172 * 1,92} = \frac{1,16}{0,33} = 3,51, \xi = 0,181 \quad (\text{табл. 7 СНиП 3 - 79})$$

Подставив полученные значения R_o^{ysl} , a_B , ξ получим для t_B'

$$t_B' = t_B - \frac{t_B - t_H}{2,1 * 8,7} * (1 + 0,181 * 2,1 * 8,7) = t_B \frac{t_B - t_H}{18,24} * 4,3$$

$$t_B' = t_B - 0,235 * (t_B - t_H) = t_B - 0,235 * t_B + 0,235 * t_H = 0,765 * t_H + 0,235 * t_B$$

$$\tau'_B = 0,765t_B + 0,235t_H \quad (2.33)$$

для железобетонных плит, используемых в качестве стен.

2.Находим τ_B' для потолка. Значения остаются те же кроме $R^{y_{cl}_o}$, где меняются значения R_K ; для потолка $R^{y_{cl}_o} = 3,7$ согласно норм СНиП П-3-79.

$R_K = 0,19$ (для бетон, панели) + $3,02$ (для минваты) $R^{pot}_o = 0,1115 + 0,043 + 0,19 + 3,02 = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$. Минвату берем слоем $\delta = 19,2 \text{ см}$ ($\lambda = 0,064$, $R = \delta / \lambda = 3,02$) тогда τ_B' для потолка:

$$\begin{aligned} \tau'_B &= t_B - \frac{t_B - t_H}{3,37 * 8,7} * (1 + 0,181 * 3,37 * 8,7) = t_B \frac{t_B - t_H}{29,32} * 6,3 \\ &= t_B - 0,215(t_B - t_H); \end{aligned}$$

$$\tau'_B = 0,785t_B + 0,215t_H \text{ для потолка} \quad (2.34)$$

Находим τ_B' для пола. $R_K = 0,19 + 2,65$

Значение $R^{y_{cl}_o} = 0,115 + 0,043 + 0,19 + 2,65 = 3,0 \text{ м}^2 \text{°C/Вт}$.

$$\begin{aligned} \tau'_B &= t_B - \frac{t_B - t_H}{3 * 8,7} * (1 + 0,181 * 3 * 8,7) = t_B \frac{t_B - t_H}{26,1} * 5,72 \\ &= t_B - 0,23(t_B - t_H); \end{aligned}$$

$$\tau'_B = 0,78 * t_B + 0,21 * t_H \text{ для пола.} \quad (2.35)$$

С учетом облучения ограждающих конструкций солнечной радиации q_n в уравнения (2.33, 2.34, 2.35) введем третье слагаемое — удельный приход солнечной радиации

$$\sum q_n = K q_n \quad (2.36)$$

где

$$K = \frac{K_1}{a_H}; K_j = 0,235; 0,215; 0,21 \text{ (соответственно для стен, потолка и пола)}$$

$$a_H = 23 \text{ Вт/м}^2 \text{°C};$$

После подстановки q_n уравнения (2.33, 2.34, 2.35) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \tau'_B &= 0,765t_B + 0,235t_H + q_n * 0,235/a_n; \text{ (для стен)} \\ \tau'_B &= 0,785t_B + 0,215t_H + q_n * 0,215/a_n; \text{ (для потолка)} \\ \tau'_B &= 0,78t_B + 0,21t_H + q_n * 0,2/a_n; \text{ (для пола)} \end{aligned} \right\} (2.37)$$

Подставив уравнения (2.37) и значения $a_{вн} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$; $F_{ст} = 42,1 \text{ м}^2$; $F_{пот} = 70,2 \text{ м}^2$; $F_{пол} = 100 \text{ м}^2$ в уравнение теплового баланса (2.27) получим уравнение без теплоприемника (абсорбера):

$$-(mC_p) \frac{dt_{вн}}{d\tau} = 5,95(t_{вн} - t_{н}) - q_{п}; \quad (2.38)$$

При дискретном изменении температуры во времени формула примет вид:

$$t_{внi+1} - t_{внi} = \left[(t_{внi+1} - t_{внi}) + \frac{1}{5,95*2} q_{п} \right] * (1 - \exp^{-\frac{5,95*2*\Delta\tau}{m*C_p}}) \quad (2.39)$$

$$mC_p = 170 * 1,2 * 1 = 204 \text{ кДж} = 204 * 10^3 \text{ Дж/°C}$$

$$t_{внi+1} - t_{внi} = [(t_{внi+1} - t_{внi}) + 0,084 q_{п}] (1 - e^{-0,035})$$

Получили уравнение для определения температуры внутри теплицы:

$$t_{внi+1} - t_{внi} = 0,035(t_{внi+1} - t_{внi}) + 0,0029 q_{п} \quad (2.40)$$

На рисунках 2.9, 2.10 представлены кривые хода среднесуточной температуры по месяцам, внутри теплицы открытой пассивной солнечной системы без абсорбера-аккумулятора, построенные по уравнению (2.40). Далее определим эффективность закрытой пассивной системы с двумя абсорберами-теплоприемниками.

2.3.2.3. Определение теплопроизводительности теплоприемника.

Для чего находим:

1. температуру теплоприемника-абсорбера, обладающего незначительной тепловой инерционностью из зависимости:

$$-(m * C_p)_{аб} \frac{dt_{аб}}{d\tau} = F_{аб} \{ a_{(н)} [t_{аб}(\tau) - t_{погр}(\tau)] q_{погл}^{аб}(\tau) \}, \quad (2.41)$$

где: $m_{аб}$ - масса абсорбера;

$C_{p(аб)}$ - удельная теплоемкость материала абсорбера, $\text{кДж/кг}^{\circ}\text{C}$;

$t_{аб}$ - температура абсорбера, $^{\circ}\text{C}$; $F_{аб}$ - площадь поверхности абсорбера, м^2 ;

$a_{(н)}$ - среднее значение коэффициента теплообмена в пограничном слое, $\text{Вт/м}^2\text{°C}$;

$t_{погр}(\tau)$ - температура воздуха в пограничном слое, $^{\circ}\text{C}$;

$q_{\text{погл}}^{\text{аб}}(\tau)$ плотность потока солнечной радиации, поглощенного поверхностью абсорбера, которая преобразуется в тепло, Вт/м²

Решение (2.41) при условии рассмотрения функции $t_{\text{погр}}(\tau), t_{\text{аб}}(\tau), q_{\text{погл}}^{\text{аб}}(\tau)$ в дискретном изображении даст:

$$t_{\text{аб}_{i+1}} - t_{\text{аб}_i} = \left\{ [t_{\text{погр}(i+1)}] + \frac{1}{2a_{\text{вн}}} q_{\text{погл}}^{\text{аб}} \right\} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{2a_{\text{(н)}}F_{\text{аб}}}{(mC_p)_{\text{аб}}} \Delta\tau \right) \right\}, \quad (2.42)$$

Где: $\Delta\tau$ - расчетный интервал дискретности функции, ч.

2. изменение температуры воздуха, движущегося в пограничном слое, определяют из уравнения:

$$(mC_p)_{\text{погр}} \frac{dt_{\text{погр}}}{dx} = F_{\text{аб}(x)} a_{\text{(н)}} [t_{\text{погр}(x)} - t_{\text{аб}(x)}] + F_{\text{аб}(x)} K [t_{\text{погр}(x)} - t_{\text{н}(x)}], \quad (2.43)$$

где: x — координата расчетной точки по высоте абсорбера;

K — коэффициент теплопередачи через остекление к наружному воздуху;

$t_{\text{н}}(\tau)$ - температура наружного воздуха, °С.

Решение уравнения (2.43) имеет вид:

$$t_{\text{погр}_{i+1}} - t_{\text{вх}_1} = \left\{ [t_{\text{аб}(i+1)} - t_{\text{вх}(1)}] \frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{н}}+K} + [t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вх}(1)}] \frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{н}}+K} \right\} \left\{ 1 - \exp \left(-\frac{(a_{\text{н}}+K)F_{\text{аб}(x)}}{(mC_p)_{\text{погр}}} \Delta\tau \right) \right\} \quad (2.44)$$

Совместное решение уравнений (2.42) и (2.44) дает:

$$t_{\text{погр}_{i+1}} - t_{\text{вх}_1} = \frac{AB \left[\frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{н}}+K} q_{\text{погл}}^{\text{аб}}(i+1) + \frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{н}}+K} B [t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вх}(t)}] \right]}{1 - \frac{a_{\text{н}}}{a_{\text{н}}+K} AB} \quad (2.45)$$

$$\text{Где} \quad \left. \begin{aligned} A &= 1 - \exp \left[-\frac{a_{\text{(н)}}F_{\text{аб}}}{(mC)_{\text{аб}}} \Delta\tau \right] \\ B &= 1 - \exp \left[-\frac{F_{\text{аб}(x)}(a_{\text{(н)}}+K)}{(mC)_{\text{погр}}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2.46)$$

а) находим комплекс А, подставив исходные данные в формулу (2.46) для абсорбера-теплоприемника I.

$$F_{\text{аб}} = 18,1\text{м} \times 0,69\text{м} = 12,5 \text{ м}^2; a_{\text{н}} = 3,75 \text{ Вт/м}^2\text{°С};$$

$$(mC_p)_{\text{аб}} = 4884 \text{ кДж/°С}; K = 2,9 \text{ Вт/м}^2\text{°С};$$

- для абсорбера-теплоприемника II:

$$F_{\text{аб}} = 30,7 \text{ м}^2, (mC_p)_{\text{аб}} = 6854,96 \text{ кДж/°С}$$

$$A=1-\exp\left[-\frac{168750}{48840000}\right] = 1 - \exp^{-0,034} = 1 - 0,97 = 0,03$$

б) для определения В по формуле (2.46), находим $F_{аб(х)}$ - площадь теплоприемного канала на 1 м ширины поверхности контакта из условия наиболее рациональной высоты Н абсорбера:

$$\frac{a_H F_{аб}^x}{(mc_p)_{погр}} \geq 4$$

$(mc_p)_{погр}$ - массу пограничного слоя воздуха определяем по формуле

$$m_{погр}=3600 \delta * \rho * V_{ср} \text{ на 1 м ширины абсорбера} \quad (2.47)$$

$$(mc_p)_{погр} = 3600*0,01*1,2*0,9*1 = 38,9 \text{ кДж/м}^2*\text{°C} \text{ на 1 м ширины абсорбера}$$

где: $\delta= 1$ см - толщина пограничного слоя; $\rho = 1,2$ кг/м³; $V_{ср} = 0,9 - 1$ м/с;
 $C = 1$ кДж/кг/°C;

Так подстановка расчетных значений:

$$A= 0,03; B=0,825; AB=0,029(\text{ПСС1}); A=0,122; B=0,498; AB = 0,066(\text{ПССП})$$

в уравнение (2.45) значение $t_{погр(i+1)} - t_{вн(с)}$ будет равно:

с абсорберами I и II:

$$t_{погр(i+1)} - t_{вн(1)} = 0,365 (t_{H(i+1)} - t_{вн(i)}) + 0,016 q_{погл(i+1)}^{аб} \quad (2.48)$$

с абсорберами I:

$$t_{погр(i+1)} - t_{вн(1)} = 0,3 (t_{H(i+1)} - t_{вн(i)}) + 0,0132 q_{погл(i+1)}^{аб} \quad (2.49)$$

В уравнение теплового баланса для закрытой системы (2.27) вводим значения абсорберов ПСС1 и ПСС2 и после подстановки $(mc_p)_{погр}^{абс}$ и

$(t_{погр}^{ТП} - t_{внун})$ получим выражение:

$$8,6(t_{H(i+1)}-t_{вн(i)})+q_{погл(i+1)}^{аб} = 0;$$

(2.50)

$$\text{или } \frac{(mc_r)dt}{dr} = 8,6(t_{H(i+1)}-t_{вн(i)})+q_{погл(i+1)}^{аб}];$$

(2.51)

при дискретном изменении $t_{вн}$, t_H , q_p , $q_{погл(i+1)}^{аб}$ во времени формула (2.51)

примет вид:

$$t_{\text{вн}(i+1)} - t_{\text{н}(i)} = \left[(t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вн}(i)}) + \frac{1}{2 \cdot 8.6} q_{\text{погл}(i+1)}^{\text{аб}} \right] (1 - \exp \frac{2 \cdot 8.6}{mC_p}) \quad (2.52)$$

$$\text{или } t_{\text{вн}(i+1)} - t_{\text{н}(i)} = \left[(t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вн}(i)}) + 0,058 q_{\text{погл}(i+1)}^{\text{аб}} \right] 0,25 \quad (2.53)$$

с абсорбером I:

$$t_{\text{вн}(i+1)} - t_{\text{н}(i)} = 0,259(t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вн}(i)}) + 0,015 q_{\text{погл}(i+1)}^{\text{аб}} + 0,019 q_{\text{п}}, \quad (2.54)$$

с абсорберами I, II:

$$t_{\text{вн}(i+1)} - t_{\text{н}(i)} = 0,14(t_{\text{н}(i+1)} - t_{\text{вн}(i)}) + 0,015 q_{\text{погл}(i+1)}^{\text{аб}} + 0,009 q_{\text{п}}$$

По (2.54) и (2.55) рассчитаны почасовые значения температуры воздуха внутри теплицы: без абсорбера-теплоприемника, с абсорберами 1 и 2 и с тепловым экраном, кривые хода температуры внутри теплицы представлены на рисунках 2.9, 2.10 с февраля по ноябрь. Для определения количества теплоты, поступающей от теплоприемников, используем формулу:

$$Q_{\text{ТП}} = (mC_p)_{\text{погр}}(t_{\text{погр}} - t_{\text{вн}})(a-1), \text{Вт} \quad (2.56)$$

Где: $t_{\text{вн}}$ - средняя по объему здания внутренняя температура воздуха, °C; a - сторона теплицы, где расположен теплоприемник (в данном случае длина теплицы L)

$$(mC_p)_{\text{погр}} = 38,9 \text{ кДж/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}; Q_{\text{ТП}} = 0,185 (t_{\text{погр}} - t_{\text{вн}}) \text{Втч/}^\circ\text{C}$$

2.4 Выводы по разделу 2:

1. Рассмотрен метод оптимизации формы конструкции солнечной теплицы, обеспечивающей максимальный приход солнечной радиации в отопительный период. На широте $\varphi = 48^\circ$ теплица* ($S = 100 \text{ м}^2$, $\alpha = 60^\circ$, $h_0 = 30^\circ$) будет иметь оптимальные размеры: пол-18,2x5,5 м; торцевые стены-3,34x1,7x2 м; остекленная поверхность-18,2x4,3 м; потолок - 18,2x3,86 м; северная стена-18,1x1,7 м., μ_{min} равен 1,78.

2. Произведены инженерные уравнения расчета температуры внутри теплицы

по сезонам года с пассивными солнечными системами (ПСС).

$$t_{\text{вн}i+1} - t_{\text{вн}i} = 0,035(t_{\text{вн}i+1} - t_{\text{вн}i}) + 0,0029 q_{\text{п}} - \text{без абсорберов ПСС}$$

$$t_{\text{BH}(i+1)} - t_{\text{H}(i)} = 0.259(t_{\text{H}(i+1)} - t_{\text{BH}(i)}) + 0.015q_{\text{ПОГЛ}(i+1)}^{\text{аб}} + 0.019q_{\text{н}} \text{ с абс. ПСС II}$$

$$t_{\text{BH}(i+1)} - t_{\text{H}(i)} = 0.14(t_{\text{H}(i+1)} - t_{\text{BH}(i)}) + 0.015q_{\text{ПОГЛ}(i+1)}^{\text{аб}} + 0.009q_{\text{н}} \text{ с ДВУМЯ абс. ПСС I,}$$

II

Часть 3.

Анализ теплопроизводительности солнечной теплицы в отопительный период

3.1 Расчет теплопроизводительности по месяцам года

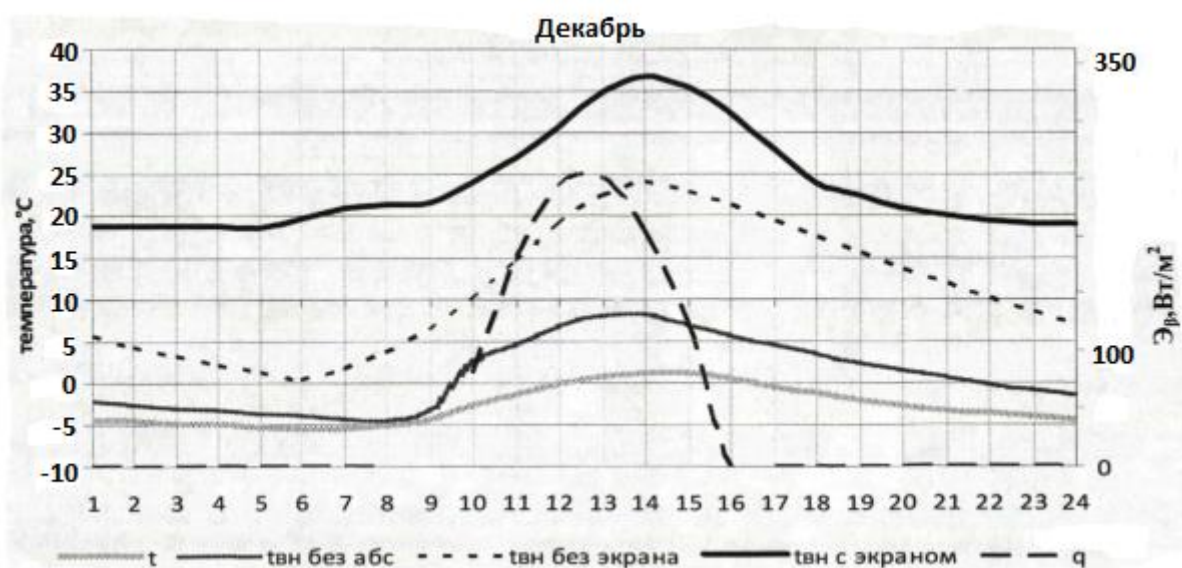
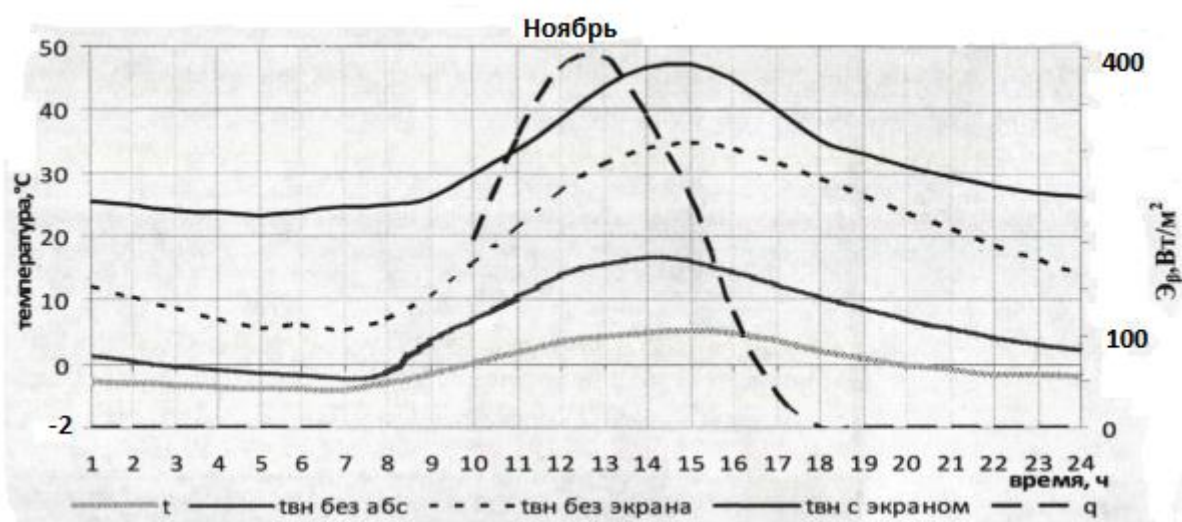
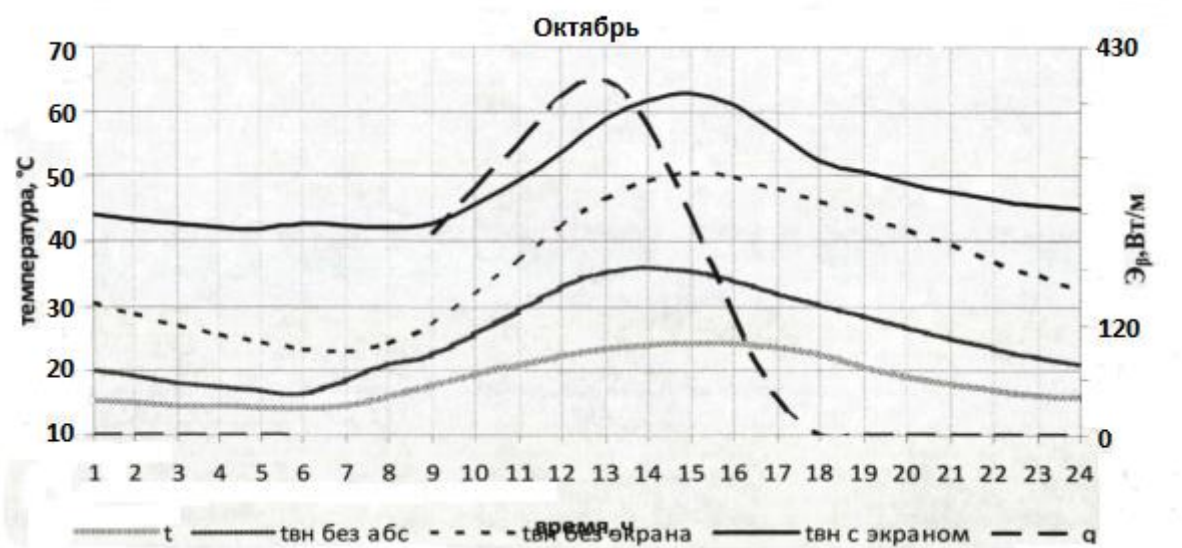
Для исследования теплопроизводительности ПСС используем формулы, полученные в предыдущем разделе.

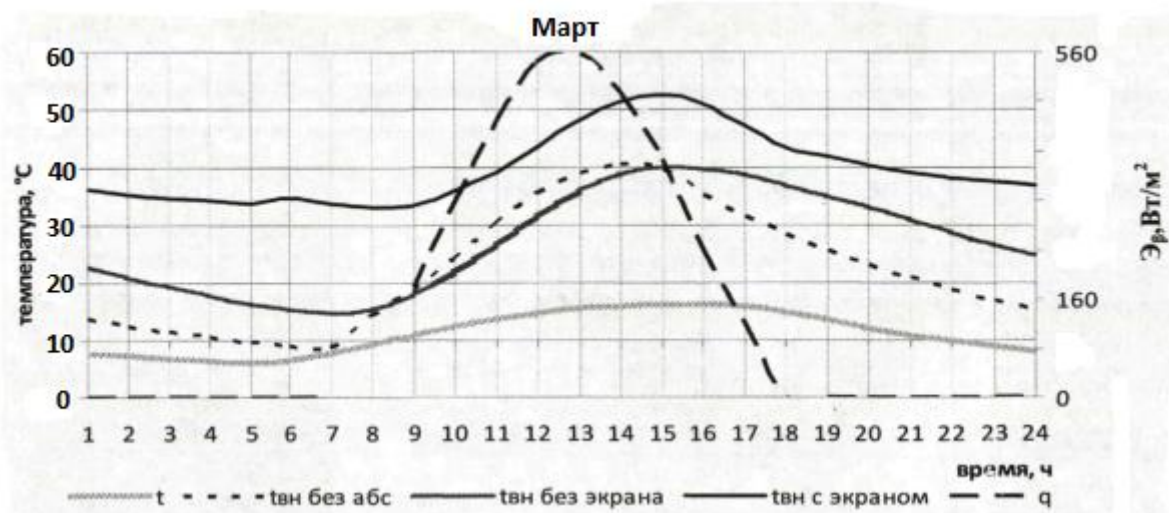
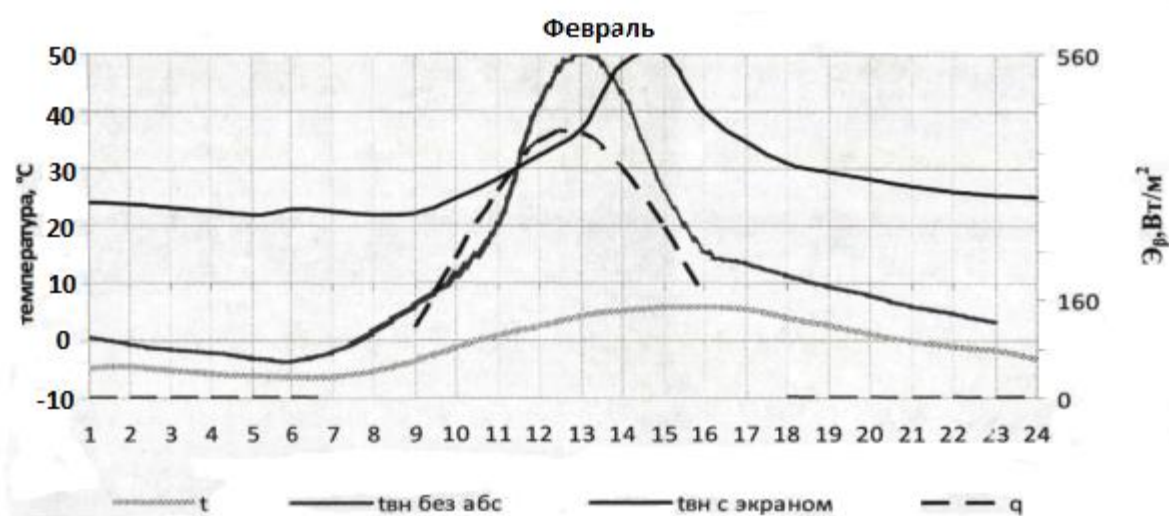
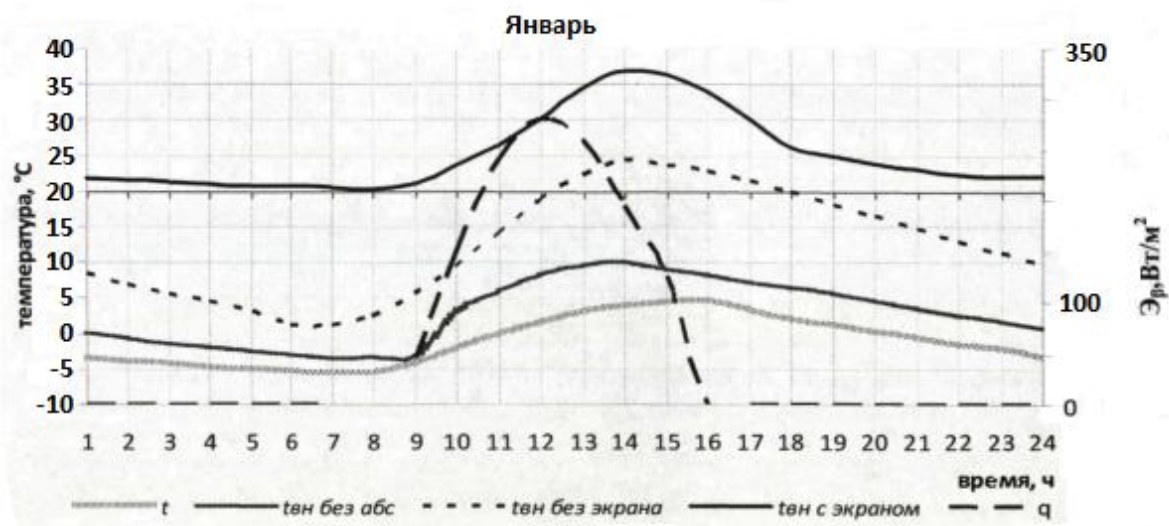
В таблице 2.11.приведены почасовые данные расчета количества теплоты, поступающей от теплоприемника-абсорбера II в солнечную теплицу. Данные количества теплоты, получаемое от ПСС (абсорберов I, II) по месяцам сведены в таблицу 2.11.

Данные теплопроизводительности пассивных солнечных систем по месяцам года.

Месяц	Q _{пол абс. II} кВтч /день (ясн. дн.)	кол-во ясных дней	Q _{пол абс. II} кВтч/м-ц (ясн. дн)	Q _{пол абс. II} кВтч/де нь (п/ясн. дн)	Кол-во полюяс н. дней»	Q _{пол, абс.И}	
						за п/яс дн.	за месяц
I	15,7	27,6	343,0	13,0	11,5	118,3	461,3
II	28,6	28,6	649,5	22,0	6,7	116,7	766,2
III	34,5	28,1	769,0	12,7	11,0	110,3	879,2
IV	43,2	18,3	625,0	29,4	18,9	440,7	1065,7
V	48,0	13,7	657,5	34,5	24,7	676,6	1334,1
IX	38,9	12,1	373,1	22,2	23,7	416,6	789,6
X	37,0	16,1	473,4	18,9	20,9	313,1	786,5
XI	20,5	16,0	259,6	13,5	21,2	226,8	486,4
XII	15,4	21,0	256,5	12,9	17,6	180,6	437,1
Итог:							7006,1

Построим графики на основании тепла полученного ПСС и внутренней температуры теплицы на период отопительного сезона (Октябрь-Апрель)





Расчеты и анализ кривых изменения температуры теплицы показал: - оптимизация размеров теплицы, применение поликарбоната в качестве светопрозрачного покрытия на 1 месяц сокращает отопительный период и в 1,5 раза повышает теплоаккумулирующую способность теплицы - в апреле, мае, сентябре и октябре традиционная система отопления может

быть отключена в сутки до 12 часов с ПСС. Теплопроизводительность ПСС составит за отопительный период 7005 кВт*ч.

Выводы по разделу 3:

1. Расчетная теплопроизводительность ПСС по полученным формулам равна 13238 кВт*ч полезного солнечного тепла за отопительный период, что

составляет 15% от прошедшей солнечной радиации в теплицу.

2. Построены графики зависимости внутренней температуры теплицы в зависимости от различных вариантов ее исполнения на протяжении периода дня.

4. Экономический раздел

4.1 Обоснование и задачи экономического расчета

В дипломной работе поставлена задача предложить и обосновать конструкцию пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами. Кроме технологического расчета в данном вопросе очень важной частью является экономический расчет, так как основной задачей установки является реализация своих мощностей с целью получения прибыли и если конструкция экономически нецелесообразна, то использовать ее нет смысла.

Использование пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами даст возможность производить максимальное количество тепловой энергии, позволяет полноценно использовать излучение солнца, значительно увеличивает эффективность работы солнечной теплицы. Оборудование внутри конструкции нужно выбирать исходя из технической и экономической целесообразности, необходимо рассчитать светопрозрачное покрытие, утеплитель, железобетонные плиты и вентилятор предложить алгоритм работы установки, предложить меры по безопасной и долгосрочной работе установки.

В экономической части нам необходимо в первую очередь рассчитать стоимость работы по конструированию установки учитывая цену каждого элемента, стоимость рабочей силы.

4.2 Расчет стоимости конструирования пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами.

Для создания установки привлекаются сотрудники предприятия, расчет производится из их стандартной заработной платы, по времени, затрачиваемому на операции. Отдельно учитываем стоимость монтажа конструкции по рыночной цене, из-за сложности собственной оценки трудоемкости такой процедуры.

Выражение для расчета затрат на изготовление З

$$З = (М + О) + З_0 + З_д + СО + Н$$

Расчет затрат (З) производится на основании плановой калькуляции и включает следующие элементы:

1) М + 0 - основные материалы, необходимые для производства стенда
и спецоборудование;

2) З₀ – основная заработная плата;

3) З_д - дополнительная заработная плата;

4) СО – единый социальный взнос;

5) Н - накладные расходы

В таблице 4.1 представлена стоимость основного оборудования и расходных материалов, использованных при проведении работ по изготовлению установки.

Таблица 4.1 Ведомость расхода материалов и спецоборудования создаваемой конструкции

№ п/п	Наименование	Количество	Цена за единицу, грн.	Сумма, грн.
1	Монолитный поликарбонат Carboglass 6 мм	78,3	1152	90155
2	Минераловатная плита БЕЛТЕП ФАСАД 12	204	250	50950
3	Железобетонные плиты 8.5x1.2	8	220	1760
4	Вентилятор промышленный ВРАВ-8-1-П90	1	45000	45000
Итого				187,865

Дорогостоящее оборудование предлагается доставить бесплатно, для остального учтем найм автомобиля для перевозки грузов для доставки от отделения почты – 500 грн.

Стоимость остальных работ посчитаем по цене работы персонала, выполняющего монтаж.

Зарботная плата рассчитывается для инженера – электронщика по стоимости человек – час в таблице 4.2.

Зарботная плата Z_0 рассчитывается по выражению

$$Z_0 = T_j * C_{\text{час}}$$

Где $C_{\text{час}}$ – стоимость часа работы;

T_j – время работы;

Стоимость часа работы определяется выражением:

$$C_{\text{час}} = \text{Оклад} / 8 * 22$$

Для инженера $8000 / (8 * 22) = 45.08$ (грн/час)

Для Слесаря $5000 / (8 * 22) = 28.4$ (грн/час)

Для грузчика $5000 / (8 * 22) = 28.4$ (грн/час)

Таблица 4.2 – Расчет основной зарботной платы

Наименование работы	Исполнитель	Трудоемкость (чел – час)	Зарботная плата
Проектирование	Инженер	10	451
Монтаж оборудования	Инженер	10	451
Вспомогательные работы	Слесарь	5	142
Разгрузочно-переносные работы	Грузчик	5	142

Итого стоимость работ $451 + 451 + 568 + 142 + 142 = 1754$ (грн)

Дополнительная зарботная плата

$$Z_d = 0,1 * Z_0 = 0,1 * 1754 = 176 \text{ (грн)}$$

Единый социальный взнос

$$CO = 0,22 * (Z_d + Z_0) = 0,22 * (1754 + 175) = 424 \text{ (грн)}$$

Накладные расходы

$$H = 1,5 * (Z_d + Z_0) = 1,5 * (1754 + 175) = 2894 \text{ (грн)}$$

Таким образом, затраты на реализацию проекта составят:

$$Z_{изг} = 187865 + 500 + 1754 + 176 + 424 + 2894 = 193\ 613 \text{ (грн)}$$

4.3 Эксплуатационные расходы

Траты на эксплуатацию установки составят:

$$C = C_a + C_{т.о.} + C_{пр}$$

Где C_a – амортизационные отчисления, $C_{т.о.}$ – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт, $C_{пр}$ – прочие расходы.

4.3.1. Расчет амортизационных отчислений

Амортизация объекта основных средств начисляется исходя из срока его использования. Срок полезного использования объектов основных средств, для начисления амортизации берется не менее минимально допустимого срока, который указан в нормативных документах для каждой из групп основных фондов. Минимально допустимый срок полезного использования для сооружений составляет 15 лет.

Налоговым кодексом Украины разрешено использовать прямолинейный метод амортизации, при котором годовая сумма амортизации рассчитывается как отношение амортизируемой стоимости к сроку полезного использования объекта основных фондов.

$$C_a = \frac{\Phi_{п}}{T_{п}}$$

Получаем:

$$C_a = 193\ 613 / 15 = 12\ 907 \text{ (грн/год)}$$

4.3.3. Затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования.

Фирмы производящие аналогичное оборудование предлагают гарантийное обслуживание теплицы и прикладного оборудования. Гарантийное обслуживание обойдется в 2140 грн/год.

Так же примем затраты в размере 50 грн в месяц для обслуживающего персонала для проверки работоспособности сооружения и протирки стекол от пыли.

$$\text{Итого: } C_{\text{то}} = 2140 + 50 \cdot 12 = 2740 \text{ (грн/год)}$$

Прочие затраты (включают затраты по охране труда, и пр.) и рассчитываются в размере 4% от фонда заработной платы:

$$C_{\text{пр}} = 2740 \cdot 0.04 = 109,6 \text{ (грн/год)}$$

Итого:

$$C = 12907 + 2140 + 109 = 15156 \text{ (грн/год)}$$

4.4 Годовая экономия

При установке пассивной солнечной системы уменьшается кол-во газа, потребляемое теплицей. Расчет произведем по формуле:

$$E_{\text{год}} = W \cdot a_{\text{ээ}} + П \cdot a_{\text{пг}},$$

где W – годовое потребление газа;

$a_{\text{ээ}}$ – цена на электроэнергию;

$П$ – годовая экономия природного газа;

$a_{\text{пг}}$ – цена на газ.

$$W = 4707 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Годовое производство тепла было получено в разделе 1.

Годовое производство энергии ПСС было рассчитано в разделе 3, оно составляет $63,045 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}$

$$E_{\text{год}} = 470,7 \cdot 6,96 + 630,45 \cdot 6,96 = 37148,6 \text{ грн}$$

4.5 Расчет срока окупаемости

Расчет полного годового дохода:

$$E_{\text{год полн}} = E_{\text{год}} - C = 37148,6 - 15156 = 21992 \text{ грн/год}$$

Срок окупаемости проекта:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}}}{E_{\text{год полн}}} = \frac{187865}{21992} = 8,54 \text{ лет}$$

4.6 Вывод к разделу 4

В разделе была рассчитана стоимость конструирования и установки пассивной солнечной системы с теплоаккумуляторами, которая с учетом всех расходов на оборудование и работу составила 187865 грн.

Кроме этого были рассчитаны, расходы на обслуживающий персонал, а также на ремонт оборудования, срок окупаемости проекта составил 8.54 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа представляет законченное исследование, в котором рассмотрено научно-техническое решение важной научно-технической задачи создания энергоэффективной солнечной теплицы для производства экологически чистых овощей. Проведенные исследования позволили сформулировать основные выводы и рекомендации:

1. Рассмотрены оптимальные формы конструкции солнечной теплицы, которые обеспечивают максимальный приход солнечной радиации в отопительный период, что позволяет эффективно использовать пассивные солнечные системы (ПСС) для теплоснабжения теплиц в условиях Днепропетровской области и выращивать ранне-весенние и поздне-осенние экологически чистые овощи.
2. Рассмотренная методика определения теплопроизводительности теплицы с ПСС для условий Днепропетровской области может рекомендована для регионов с более холодным климатом с аналогичными климатическими условиями до 7000 градусо-дней отопительного периода.
3. Достигнуто: экономия 64787 кВт*ч тепловой энергии; снижение себестоимости выработки тепловой энергии ПСС в 2 раза ниже по сравнению с тепловой энергией, вырабатываемой традиционным котлом на угле; снижение выбросов углекислого газа в 4 раза, что подтверждает высокую экологическую эффективность солнечной теплицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аvezов В.Р., Барский-Зорин М.А., Васильева И.М. и др. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. - М.: Стройиздат, 1980 - 328 с.
2. Аvezов Р.Р., Орлов А.Д. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения - Ташкент: ФАН, 1988. - с. 97.
3. Аvezов Р.Р., Хатамов С.О. Система отопления и охлаждения с аккумулярованием солнечного тепла и естественного холода в слоях галечника // Тезисы докл. зон. сов. "Исследование, разработка и пути внедрения систем кондиционирования воздуха в зданиях!". Ташкент, 1973, с. 72-76.(12)
4. Александрян К.В., Цатурян А.И. Использование солнечной энергии в теплицах. // Механизация и-электрификация сельского хозяйства. № 1, 1986 - с 7-9.
5. Ануфриев В.М. Сравнительные. исследования конвективных поверхностей на основе энергетических характеристик. //Энергомашиностроение, 1964.№5.С. 47-54.
6. Ассоциация «Теплицы России», апрель 2007 год[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://WWW.greenhouses.ru>;
7. Аэров М.Э. , Тодес О.М., Назинский-Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Гидравлические и тепловые основы работы. Л. Химия, 1979.- 76 с.
8. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. М. Химия, 1968.- 510 с.
9. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение Фильтрующих материалов для очистки воды: Справочное пособие — Л: Стройиздат, ЛО, 1985 -120 с.
- Ю.Байрамов Д. Исследование условий осуществления температурных режимов теплицы с замкнутым водным циклом. Автореферат канд. дис., - Ашхабад, 1971.

- П.Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчеты систем солнечного теплоснабжения. - М.: Энергоиздат, 1982.
12. Белая книга (финальный документ Комиссии Европейского Союза)/Энергия будущего: возобновляемые источники энергии. Москва, 1999.
13. Богословский В.Н. Строительная теплофизика - М.: Высшая школа, 1982-415 с 4.
14. Боев Н.Н. Вильковисский Н.Э. Труды Уз. ГУ. ТIV - Самарканд, 1936
15. Вардиашвили А.Б., Ким В.Д. Гидравлический и теплотехнический расчет подпочвенной аккумулирующей системы гелиотеплиц. //Гелиотехника. 1980. №6. С. 48-53.
16. Вардиашвили А.Б., Ким В.Д., Мурадов М.У. Математическая модель галечного аккумулятора тепла и метод его теплотехнического расчета. //Гелиотехника. 1967. №2, с. 38-43.
17. Вардиашвили А.Б., Ким В.Д., Мурадов М.У. Теплотехнические и гидравлические расчеты и примеры низкопотенциальных тепловых солнечных установок. - Ташкент, Гос. пед. ин-т им. Низами, Г987.
18. Вардиашвили А.Б. Теплообмен и гидродинамика в комбинированных солнечных теплицах с субстратом и аккумулярованием, тепла. - Ташкент: ФАН, 1990 - 196 с.
19. Вейнберг В.Б. Оптика в установках для использования солнечной энергии. - М., 1959.
20. Даффи Дж. Л., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. / пер. с англ. - М.: Мир, 1977 - 429 с.
21. Заболотский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдооживленном слое. М.: Госэнергоиздат, 1963. 488 с.
22. Иванько АА, Калиниченко АП. Солнечный Вегетарий - витаминное изобилие круглый год. Анфас.- К.: 1996 г.
23. Инструкция по применению местных материалов в водоочистных фильтрах. -М.: Стройиздат, 1987. - 27 с.

24. Использование солнечной энергии для горячего водоснабжения в сельском хозяйстве Новосибирской области: Метод. рекомендации подг. Тайсаева В.Т/ ВАСХНИЛ. Сиб. отд. - ние. СибИМЭ.-Новосибирск, 1990.
25. Использование технических ресурсов энергии солнца и ветра в Бурятии. Сб. научн. тр. « Энергосберегающие технологии в сельском хозяйстве.» .Т.81 М.: ВИЭСХД994.С.82-91.
26. Исследование путей эффективности использования солнечной энергии для энергоснабжения: Промежуточный отчет № 80032788 / Груз. НИИЭКС - Тбилиси, 1980 - 54 с.
27. Карнаухов А.П. Адсорбция в микропорах. Новосибирск «Наука», 1999 - 472 с.
28. Ким М. Исследование радиационного и теплового режимов в гелиопарниках с аккумулятором тепла в условиях Юга Средней Азии. Автореферат канд. дисс. - Ташкент, 1973.
29. Кирпичев М.В., Михеев М.А. Моделирование теплых устройств. М.: Изд-во АН СССР, 1936. 320 с.
30. Кисторян Х.А. Аккумуляция тепла в солнечных отопительных устройствах. Автореферат канд. дисс. - М., 1959.
31. КОНЦЕПЦИЯ развития овощеводства Сибирского федерального округа до 2020 года/[Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.energsovet.ru/npb_1128.html.
32. Коробов А.Д. Некоторые особенности формирования цеолитов Бурятии // Мецниереба, 1985. - с. 49-52.
33. Лунин В.Ю. Оценка энергетического потенциала и численное имитационное моделирование систем солнечного теплоснабжения. / Авт. диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - М.: 1990.
34. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск: Изд-во АН БССР. - 1969, 519 с.
35. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

36. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. М.: Энергия 1972. 519с.
37. Метеорологические ежемесячники Забайкальского и Иркутского управления по гидрометеорологии // Часть II. Вып. 22 - с января по декабрь, 1980-1990.
38. Методические рекомендации по расчету - и применению автоматизированных энергосберегающих систем электротеплоснабжения для рассадных теплиц. - М.: ВИЭСХ, 1990.
39. МинцД.М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат. 1964. - 152с.
40. Отчет НИОКР: Разработка и изготовление опытных образцов солнечных коллекторов с теплоносителем вода и воздух на базе композитов из местного сырья и отходов производства. - Улан-Удэ, 2001 - инв. № 02.200.202236, Пер. № 01200204215.
41. Пассивное Солнечное Руководство по проектированию [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.solarroof.org/wiki>
42. Петухов Б.Вг- Материалы конференции курсов по солнечным водонагревателям. - М., 1957.
43. Пурэвдорж Г. Оценка ресурсов солнечной энергии. Монголии и исследование работы солнечной теплицы в условиях резкоконтинентального климата и разработка ее оптимального варианта. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Улан-Батор, 1998 - с.22.
44. Расчет ресурсов солнечной энергетики. В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, С.В. Кривенкова, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. / Под ред В.И. Виссарионова. - М.: Изд-во МЭИ, 1998 - 61 с.
45. Рзаев П.Ф. Исследование теплового режима гелиотеплицы. Технико-экономическое обоснование использования Е ней обогрева естественных источников энергии на примере Апшеронского района. Автореферат канд. дисс. - Баку, 1967.

46. Рязанцев Л.А., Цыцктуева Л.А., Дашибалова А.Т. Физико-химические свойства цеолитов Холинского месторождения. //Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата. 1989. - №6. - с.44-46.
47. СНиП II-3-79. Строительная теплотехника. Минстрой России. - М.: ГПЦПП, 1995 - 29 с.
48. Справочник по климату СССР// Выпуск 23. JL: Гидрометеиздат. - 1966.
49. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Стройиздат, 1978. - 508 с.
50. Тайсаева В.Т., Дашибалова Л.Т. К вопросу создания высокоэффективных тепловых аккумуляторов с использованием пористых материалов. Возобновляемые источники энергии для устойчивого развития Байкальского региона. Матер. Междунар.науч.конф., / Под ред. В.Т.Тайсаевой - Улан-Удэ, Изд-во БГСХА, 2001.
51. Тайсаева В.Т., Мазаев Л.Р. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Расчет энергетических показателей. - Улан-Удэ: изд-во БГСХА, 2002 - 106 с.
52. ТайсаеваВ.Т. Возможности энергосбережения в Республике Бурятия. Тезисы докладов Международной научно — техн. конф. «Энергосбережение в сельском хозяйстве» 5—7окт. 1998г., М.: — ВИЭСХ. Часть I.
53. ТайсаеваВ.Т., Мазаев Л.Р. и др. Концепция развития нетрадиционной энергетики для теплоснабжения г. Улан-Удэ. Тезисы докладов Международной научно - техн. конференции «Энергосбережение в сельском хозяй-стве» 1998г., М.:-ВИЭСХ Часть11,С. 183-185.
54. ТайсаеваВ.Т.Возможности использования солнечной энергии в сельском хозяйстве. Материалы научн. конф. наука пр — ву «Вопросы комплексной ме-ханизации с/х пр-ва и повышения эффективности использования техники». Алма —Ата,1988.

55. Тайсаева В.Т. Технический потенциал возобновляемых источников энергии Байкальского региона. /Инф. бюлл. Возобновляемая энергия //Издво «Интер-соларцентр», М.: сентябрь, 2001.
56. Тарнижевский Б.В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характеристик радиационного режима. // Теплоэнергетика. Вып. 2 - 1960 - с. 18-26.
57. Теплотехнический справочник. Т.2. М.: Энергия, 1976. 895 с.
58. Трушевский С.Н. К вопросу об энергосбережении в теплицах. /Возобновляемая энергетика для сельского хозяйства. - Сб. научных трудов, том 86 - М., 2000 - с. 112-125.
59. Указ Президента Российской Федерации №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» от 4 июня 2008 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/npb/1128.html>.
60. Умаров Г.Я., Аvezов Р.Р., Хатамов С.О. Использование солнечной энергии для отопления и охлаждения //Доклады I Всесоюзной научн.- техн. конф. по ВИЭ. Вып.1. М.: Энергия, 1972, с. 158-165.
61. Усманов М. Теоретическое и экспериментальное исследование теплового режима ССБ. Автореферат канд. дисс. - Ташкент, 1973.
62. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. - М.: Энергоиздат, 1991 - 208 с.
63. Хатамов С.О., Захидов М.М. Исследование температурного режима одноэтажного дома с системой солнечного отопления. //Гелиотехника. 1979, №6, с. 72-80.
64. Шишко Г.Г и др. Отопление и вентиляция теплиц./ Г.Г Шишко, В.А, Л.Л Злобин .-К. : «Буд1вельник», 1984 - с.88-89.
65. Эрат Б., Вулстон Д. Теплица в вашем доме. Справочное пособие. М.; Стройиздат, 1994.-191 с.
66. Якубов Ю.Н. Аккумуляция энергии солнечного излучения. - Ташкент: Изд-во «Фан» УССР, 1981 - с. 105.