

АКАДЕМИЯ НАУК ТУРКМЕННОЙ ССР

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ "СОЛНЦЕ"

На правах рукописи

ХАЙРИДИНОВ БАТЫР

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА  
БЛОЧНОЙ ГЕЛИОТЕПЛИЦЫ С ПОДПОЧВЕННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ  
ТЕПЛА

Специальность 05.14.05 - Теоретические основы теплотехники  
(включая техническую термодинамику  
и тепло- и массообмен)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой  
степени кандидата технических наук

Ашхабад-1981

Работа выполнена в Отделе геофизики Физико-технического института им.С.В.Стародубцева АН УзССР и Каршинском государственном педагогическом институте им.Х.Алиджана.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент АН УзССР  
Г.Я.УМАРОВ.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор технических наук, профессор  
П.В.ЦОЙ,  
кандидат технических наук А.МЕЗИЛОВ

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - ЦВИИЗСельстрой МОС СССР.

Защита диссертации состоится "7" Сентября 1981г.  
в 10 часов на заседании Специализированного Совета (шифр  
Д.014.03.01) по защите диссертации на соискание ученой степени  
доктора наук при Научно-производственном объединении "Солнце"  
АН Туркменской ССР: 744032, г.Ашхабад, Бикрова, НПО "Солнце"  
АН ТССР.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной  
библиотеке АН ТССР.

Автореферат разослан "24" Июля 1981г.

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью уч-  
реждения, просим направлять по адресу: 744032, г.Ашхабад, 32,  
Бикрова, НПО "Солнце" АН ТССР.

Ученый секретарь  
Специализированного Совета  
К.Т.Н., ст.н.с.

*Сиван* - РЫБАКОВА Л.Е.

*Журналист  
Азиз ака  
сузга салман  
Тылакпар  
Тылакпар  
чканов  
Боттир*

*21-III-1981.*

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ.** В решениях XXVI съезда Коммунистической партии Советского Союза и "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" в одиннадцатой пятилетке перед работниками сельского хозяйства поставлена большая и ответственная задача по дальнейшему росту всего сельскохозяйственного производства, в том числе: добиться среднегодового производства овощей 29,4 млн. т., плодов и ягод 9,4 млн. т.; улучшить их качество, настойчиво внедрить передовой опыт, расширить тепличное хозяйство.

В зимнее и весеннее время овощи выращиваются в специальных культивационных сооружениях - теплицах и парниках. Продукция, получаемая из теплиц и парников, на сегодняшний день в Советском Союзе на душу населения в год составляет 2 кг, что не удовлетворяет растущих потребностей населения. Для обеспечения достаточным количеством свежих овощей населения 100 тыс. чел., необходимо строительство теплицы площадью 10 га.

Теплицы - дорогостоящие культивационные сооружения. Эксплуатационные расходы на их обогрев составляют 50-60% всех затрат.

В южных районах Советского Союза солнечную энергию можно использовать для обогрева теплиц, в результате экономится 50-60% органического топлива и снижается себестоимость полученной продукции.

О возможности включения солнечной энергии в энергетический баланс южных районов страны по обогреву гелиотеплиц свидетельствует тот факт, что в этих местах в весенние месяцы за день на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной земной поверхности приходится  $1, \dots 10^8$  кДж солнечной энергии, а на один гектар  $1,6 \cdot 10^{10}$  кДж.

Существующие в настоящее время односкатные гелиотеплицы имеют ряд недостатков: их невозможно расширить по ширине, так как на северной стороне расположены тепловые аккумуляторы и затруднена механизированная обработка почвы и т.д. Следовательно, необходимо разработать и исследовать блочные гелиотеплицы с подпочвенным аккумулятором тепла, которые можно построить площадью в несколько гектаров.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Цель диссертационной работы – разработать конструкции и исследовать тепловые режимы блочной гелиотеплицы с подпочвенным аккумулятором тепла.

Задачи исследования –

- 1) Разработать методику исследования теплового режима блочной гелиотеплицы с подпочвенным аккумулятором и без аккумулятора тепла с учетом нестационарности протекающих в ней тепловых процессов.
- 2) Изучить радиационные, температурные, влажностные режимы в блочных гелиотеплицах с различными светопрозрачными покрытиями для выявления наилучших конструкций.
- ✓ 3) Исследовать гидродинамические и тепловые процессы, а также теплообмен в подпочвенном цилиндрическом, галечном аккумуляторе тепла в моделях и в натуре.
- ✓ 4) Разработать систему вентиляции для блочных гелиотеплиц.
- ✓ 5) Экспериментально исследовать опытно-производственные теплицы с подпочвенным аккумулятором тепла и проверять достоверность выполняемых теоретических расчетов и экспериментальных данных.
- 6) Выявить технико-экономические показатели разработанной конструкции блочных гелиотеплиц и рекомендовать их к производству.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.**

– Теоретически и экспериментально изучены гидродинамика и процессы теплообмена в цилиндрическом аккумуляторе тепла, состоящим из кусковых тел неправильной формы (галечки) и расположенным под почвой блочной гелиотеплицы.

– На основе результатов экспериментальных исследований получены критериальные уравнения для определения коэффициентов конвективного теплообмена и гидравлического сопротивления в галечном слое теплового аккумулятора.

– Разработана и исследована новая система вентиляции для блочных гелиотеплиц, с помощью которой во время нагрева регулируется температура и влажность воздуха в многоярусных и обыкновенных гелиотеплицах.

– Осуществлены сравнительные испытания гелиотеплиц с аккумулятором тепла с различными светопрозрачными ограждениями.

– Исследованы температурный режим и процессы аккумуляции тепла солнечного излучения в почве блочной гелиотеплицы.

#### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ СОСТОИТ В СЛЕДУЮЩЕМ –

Разработаны конструкции четырех блочных гелиотеплиц с подпочвенными галечными аккумуляторами тепла, одна из которых полезной площадью 800 м<sup>2</sup> построена в совхозе "Кашкадарья" Ульновского района Кашкадарьинской области, другая – полезной площадью 2000 м<sup>2</sup> в Куйлорском тепличном комбинате № I Калининского района Ташкентской области Узбекской ССР.

Проведена оптимизация конструкции подпочвенного галечного аккумулятора тепла блочной гелиотеплицы. Предложены рекомендации по эксплуатации стекло-пленочного варианта блочной гелиотеплицы с подпочвенным галечным аккумулятором тепла.

Полученные экспериментальные данные положены в основу технических заданий спроектированных блочных гелиотеплиц с подпочвенными галечными аккумуляторами тепла полезной площадью соответственно 1000 м<sup>2</sup> и I га.

АВТОР ЗАЩИЩАЕТ теоретические и экспериментальные материалы, полученные при исследовании галечного аккумулятора тепла и аккумуляции энергии, а также при натурном изучении температурно-влажностного режима, системы вентиляции и баланса энергии предлагаемой блочной гелиотеплицы.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты исследований доложены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Каршинского Госпединститута (Карши, 1974–1980 гг.), на республиканском научно-техническом семинаре "Разработка и опыт использования солнечной энергии в народном хозяйстве" (Карши, 1976 г.) на Всесоюзной конференции по использованию солнечной энергии (Ашхабад, 1977 г.), в республиканской школе-семинаре молодых ученых и специалистов по проблемам повышения эффективности сельскохозяйственного производства в свете решений июльского (1978 г.) пленума ЦК КПСС (Ташкент, 1979 г.), на республиканском научно-производственном совещании "О состоянии, перспективах развития и увеличения производства продукции овощей в защищенном грунте" (Ташкент, 1979 г.), на научно-техническом семинаре-совещании "Использование гелиотехнических установок в сельском хозяйстве" (Бухара, 1979 г.),

на первой Выездной сессии Научного Совета по комплексной проблеме "Теплофизика", АН СССР (Бухара, 1980г.), совместном семинаре Проблемного Совета "Научные основы использования солнечной энергии" при Отделении физико-математических наук АН УзССР и отдела гелиофизики ФТИ АН УзССР (Ташкент, 1980г.), республиканском научно-техническом семинаре-совещании "Использование солнечной энергии в народном хозяйстве в свете решений XXVI съезда КПСС и XX съезда Компартии Узбекистана" (Карши, 1981г.) и на научном семинаре научно-производственного объединения "Солнце" АН ТССР (Бикрова, 1981г.).

**ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и основных результатов работы, содержит 146 с. основного текста с 35 рис. и 16 табл., список литературы (93 наименования) и приложения на 19 с. Результаты диссертации изложены в 10 опубликованных работах. Структура диссертационной работы вытекает из основной цели работы, подчинена задачам исследования и последовательного отражает ход их решения.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

**ПЕРВАЯ ГЛАВА.** Рассмотрены вопросы состояния исследований солнечных теплиц, конструкция разработанного подпочвенного аккумулятора тепла, метод их радиационного и теплотехнического расчетов, выявлены достоинства и недостатки изучаемых гелиотеплиц с подпочвенными аккумуляторами тепла, также метод их расчета.

**ВТОРАЯ ГЛАВА.** Приведены схемы, описан принцип работы гелиотеплиц с различными светопрозрачными покрытиями трех вариантов, сконструированных и построенных нами на гелиополигоне Каршинского госпедивститута:

- а) одноблочных гелиотеплиц без аккумулятора и с подпочвенным аккумулятором тепла;
- б) двухблочных гелиотеплиц без аккумулятора и с подпочвенным аккумулятором тепла;
- в) четырехблочных гелиотеплиц производственного варианта с подпочвенным аккумулятором тепла.

На рис.1 показаны принципиальная схема поперечного сечения

в основные размеры одноблочной гелиотеплицы с подпочвенным цилиндрическим аккумулятором тепла.

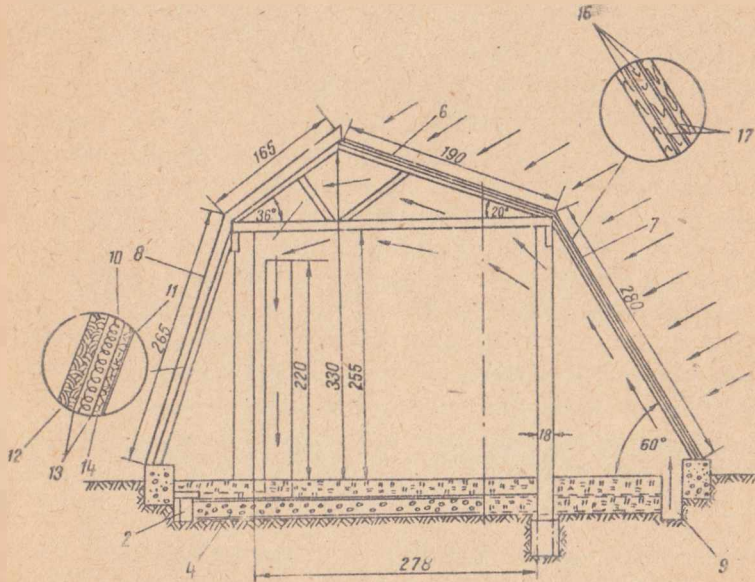


Рис. I. Принципиальная схема поперечного сечения одноблочной гелиотеплицы с подпочвенным цилиндрическим аккумулятором тепла.

Основные размеры испытываемых гелиотеплиц следующие:

1) одноблочной: длина 25м, ширина 5м, общая полезная площадь 125м<sup>2</sup>, угол наклона основной прозрачной поверхности к горизонту  $\alpha_2 = 60^\circ$ , второго ската  $\alpha_1 = 20^\circ$ .

2) четырехблочного двухскатного опытно-производственного варианта: длина 50м, ширина 16м, общая полезная площадь 800м<sup>2</sup>, углы наклонов скатов 30°.

Характерное для этих гелиотеплиц то, что тепловые аккумуляторы в них находятся под почвой. Принцип работы этих гелиотеплиц такой же, как и других солнечных культивационных сооружений. На рис. 2 показано поперечное сечение блочной гелиотеплицы произ-

водостивного варианта.

По длине блочной гемотеплицы через 9,6м оставляются специальные прямоугольные каналы размером 0,4х0,4м. Длина каналов 64м, с южной и северной сторон канала для поступления наружного воздуха имеются люки (отверстия) 3. В гемотеплице для аварийного обогрева устанавливаются электрокалориферы, выполняющие в данном случае несколько функций.

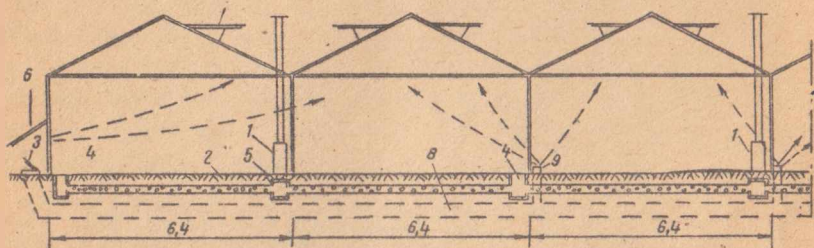


Рис.2. Поперечное сечение блочной гемотеплицы производственного варианта.

1-электрокалорифер, 2-подпочвенный аккумулятор тепла, 3-люки для поступления наружного холодного воздуха, в каналы, 4-канал, в который из аккумуляторов поступает отработанный воздух, 5-канал для подачи нагретого воздуха в аккумуляторы, 6-боковая форточка, 7-форточки у коньков, 8-вентиляционные каналы, 9-отверстие для вхождения холодного воздуха.

Во-первых, при пасмурной погоде температуру внутреннего воздуха поддерживает в допустимой величине; во-вторых, во время обогрева при отключении нагревательного элемента используются как вентиляторы для воздухообмена; в-третьих, прогоняют нагретый

воздух через галечный слой аккумулятора.

Отличительная черта данной многоблочной гелиотеплицы от существующих в том, что рекомендуется новая система вентиляции, принцип работы которой заключается в следующем: при повышении температуры внутреннего воздуха (перегрев), вследствие разности плотности, нагретый воздух поднимается вверх; в это время открываются люки, через которые холодный воздух поступает в канавки и через отверстия 9 поступает в нижнюю часть гелиотеплицы (рис. 2 пункт). Нагретый воздух через форточки уходит в атмосферу.

Такая система вентиляции и воздухообмена дает возможность устранить перегрев по всему объему гелиотеплицы и увеличить урожайность растений томата, так как при перегреве пыльца цветков растений высыхает и быстро опадает, не образуя завязи. Обычно большое количество форточек и каналов открывают и закрывают механическим приводом.

Вдоль каналов, начиная со второго блока, на середине двух соседних форточек оставляются отверстия для поступления наружного холодного воздуха. Эти отверстия имеют различные размеры, при этом  $S_1 < S_2 < S_3 < S_4$  и отношения этих площадей равны

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{S_3}{S_2} = \frac{S_4}{S_3} = 2.$$

Такое соотношение вентиляционных отверстий берут с таким расчетом, чтобы из четырех отверстий поступало одинаковое количество холодного воздуха.

Таким образом, в предлагаемом способе естественной вентиляции наружный холодный воздух равномерно подается во все части гелиотеплицы, что приводит к улучшению воздухообмена.

В южных районах период вентиляции от перегрева начинается примерно с середины апреля, когда температура наружного воздуха достигает 295–299K.

Расчет воздухообмена нами проводился методом нейтральной зоны. Нейтральная зона в кульвационном сооружении определяется формулой

$$H_i = \frac{K \cdot \left[ \left( \frac{S'_1}{S'_2} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{вн}}}{\rho_{\text{вн}}} \right]}{1 + \left[ \left( \frac{S'_1}{S'_2} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{вн}}}{\rho_{\text{вн}}} \right]} \quad (1)$$

В нашем случае площади отверстия  $S_1 = 0,4 \text{ м}^2$ ,  $S_2 = 0,16 \text{ м}^2$ ,  
 $S_1$  - сумма площадей двух верхних створов.

Скорость входящего из нижнего отверстия воздуха  $w_1 = \sqrt{\frac{2P_1}{\rho}}$   
 $P_1 = H \cdot \Delta \rho \cdot \sigma$ . Скорость выходящего через верхние отверстия возду-

Соответствующие вычисления дали следующие результаты:  $w_1 = 2,05 \text{ м/с}$ ,  $w_2 = 0,58 \text{ м/с}$ . Характерная величина данного случая - расход воздуха  $G$ . Расход поступающего и уходящего воздуха определяется в виде  $G_1 = \mu_1 S_1 w_1$ ,  $G_2 = \mu_2 S_2 w_2$ ,  $\mu_1$  и  $\mu_2$  - коэффициенты расхода берутся из таблицы В.П.Исаченко и др. (1975г). Результаты вычисления следующие:  $G_1 = 0,06 \text{ кг/с}$ ,  $G_2 = 0,061 \text{ кг/с}$ , т.е.  $G_1 \approx G_2$ . Данный расход в переводе объемного расхода  $G = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$  или  $3 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Объем гелиотеплицы между нижними соседними отверстиями  $5 \times 3 \times 6,4 = 96 \text{ м}^3$ , следовательно, во время перегрева примерно за полчаса осуществляется воздухообмен при вышеуказанном температурном режиме.

Расчет проводился для отверстия в средней части блочной гелиотеплицы. Расчет воздухообмена применительно к другим отверстиям выполняется так же, как и для данного случая.

Вторая характерная особенность предлагаемых гелиотеплиц заключается в том, что в них тепловые аккумуляторы установлены под почвой.

В ранее предложенных аккумуляторах тепла нагретый воздух перемещался или по трубам, заложенным под почвой (при этом трубы не заполнялись никакими аккумулялирующими веществами), или же через массу аккумулялирующего вещества, находящегося в некотором произвольном объеме.

Устройство и принцип работы предложенного нами аккумулятора тепла заключается в следующем. Из стальной проволоки толщиной 10 мм изготавливается цилиндрический каркас. Длина цилиндра 4,65 м, радиус 0,20 м.

На один такой каркас расходуется 12-13 м проволоки. При изготовлении отдельных частей каркаса пользовались сварочным аппаратом, остальные части обвязывали проволокой диаметром 0,002 м.

Для уложения каркаса под почвой на глубине 0,45-0,50 м от поверхности необходимо вырыть канавки шириной 0,40 м. На дне канавки настилается черная полиэтиленовая пленка марки ПК-4, ис-

пользуемая для гидроизоляции каналов. Каркас заполняется галькой размером в среднем  $d_{гг} = 0,042$  м, причем порозность составляет  $m = 0,47$ . Пленка обвертывается вокруг цилиндрического каркаса, при этом необходимо иметь в виду, что при орошении растений мутная вода не могла проникнуть в цилиндр и образовать илстые отложения, препятствующие движению воздуха.

Таким образом, получен подпочвенный цилиндрический галечный аккумулятор тепла. Как аккумулирующее вещество вместо гальки можно использовать обломки жженого кирпича, шлак и т.д.

В опытной одноблочной гелиотеплице подпочвенный аккумулятор установлен по ширине блока (рис.1). Один конец 9 сообщен с теплицей у впадного фундамента, другой в точке 2.

Принцип работы подпочвенного аккумулятора тепла заключается в следующем: у опорной балки (в отдельных опытах вокруг опоры) вертикально устанавливаются заборные трубы, изготовленные из картона или железного листа высотой 2,2м. В таком положении труба доходит до верхней части теплицы. Нижняя часть трубы соединена с вентилятором. С помощью вентилятора нагретый воздух забирается у конька и прогоняется через цилиндрический аккумулятор тепла.

Разница температур внутреннего воздуха у конька и в нижней части 281-285 К.

При прохождении нагретого воздуха через слой гальки в результате теплообмена тепло передается гальке и воздух, охлаждаясь, выходит у фундамента и поступает обратно в теплицу. У других вариантов гелиотеплиц длина цилиндрического аккумулятора соответствует ширине теплиц или расстоянию между соседними блоками.

Особенность предлагаемого подпочвенного аккумулятора тепла в том, что тепло дополнительно накапливается в грунте теплицы, находящемся вокруг галечного аккумулятора.

Ночью, когда температура в теплице понижается, из трубы в аккумулятор поступает холодный воздух, затем, нагревшись, идет опять в теплицу. Цикл работы подпочвенного аккумулятора тепла, как и в других, 24ч. В случае подпочвенного аккумулятора, в условиях Камкадарьинской области, с 10<sup>00</sup> идет "зарядка" и примерно с 21<sup>00</sup> начинается "разрядка".

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена исследованию радиационного, температурно-влажностного режимов, сравнительному испытанию моделей гелиотеплиц с различными светопрозрачными поверхностями, также исследованию подпочвенного цилиндрического галечного аккумулятора тепла предлагаемых культивационных сооружений. Полный расчет указанных параметров осуществлен для одноблочного варианта.

Успех работы гелиотеплиц зависит от количества солнечной энергии, прошедшей через их прозрачную поверхность. Поэтому при разработке конструкции учтены все факторы, влияющие на количество прошедшей радиации, а именно ориентация гелиотеплиц по отношению к сторонам света, угол наклона прозрачной поверхности к горизонту, коэффициент затенения, тип и количество слоев прозрачной поверхности и т.п. Чтобы в зимний период солнечная энергия максимально входила в гелиотеплицу, угол наклона скатов блочной гелиотеплицы должен быть не менее  $50-60^\circ$  для южных широт.

Однако, при таком большом угле наклона, во-первых, блоки затеняют друг друга, во-вторых, расход строительных материалов увеличивается.

Нами определен угол наклона скатов блочных гелиотеплиц, при котором в самом низком солнцестоянии скаты не будут затенять друг друга. Установлено, что при угле наклона скатов  $\alpha > 25^\circ$  затенение увеличивается, в гелиотеплицу солнечная энергия поступает недостаточно и она не может работать как гелиотеплица.

Следовательно, для широт Карши оптимальным углом наклона скатов считается  $\alpha = 25^\circ$ . Если угол наклона для этой широты брать меньше  $\alpha = 25^\circ$ , то количество входящей энергии в зимний период в блочных гелиотеплицах уменьшается, что не дает ожидаемого эффекта.

Таким образом, оптимальный угол наклона блочной гелиотеплицы определяется условиями затенения блоков: 1)  $h_0 = \alpha$  - солнечные лучи скользят по северному склону; 2)  $h_0 > \alpha$  - блоки не затеняют друг друга; 3)  $h_0 < \alpha$  - значительная часть блоков затеняется.

Результаты вычислений суммарной радиации, проникающей в теплицу в зависимости от ее покрытия, приведены в табл. I.

Таблица I

Суммарная радиация, входящая в теплицу, в зависимости от ее покрытия, клДж/(м<sup>2</sup>.ч)  
(16.01.1976г.)

Покры- тие	Проникающая суммарная радиация по часам дня										Всего за све- товой день	Сред- нее за час	% к кон- ролю	
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17				18
Стекло в один слой	458,8	929,6	1432,4	1780,7	2084,5	2359,0	2041,0	1617,3	1198,4	745,8	224,0	14871,5	1352,0	100
Стекло в два слоя	414,8	787,7	1393,5	1676,8	1894,0	2076,0	1797,5	1340,0	960,0	557,2	165,5	13063,8	1187,6	87
Стекло+ пленка	404,0	838,0	1300,0	1655,0	1935,8	2107,5	1871,2	1403,6	989,6	582,4	188,5	13275,6	1206,8	89,7
Пленка в один слой	362,4	755,5	1301,0	1638,3	1923,2	2037,1	1816,3	1379,4	940,2	471,4	180,0	12804,8	1164,0	85,8
Пленка в два слоя	292,5	708,1	1122,9	1483,2	1793,5	1919,0	1726,3	1307,0	867,3	389,8	140,4	11750,0	1068,0	79,2

Для исследования температурно-влажностного режима при различных погодных условиях проводились записи температуры и влажности внутреннего воздуха. Результаты эксперимента показали, что наилучший термовлажностный режим наблюдается при стеклошлюпочном варианте.

Одновременно нами изучался сезонный ход средней температуры воздуха в опытно-производственной гелиотеплице в зависимости от средней наружной температуры и суммарной солнечной радиации (рис.3).

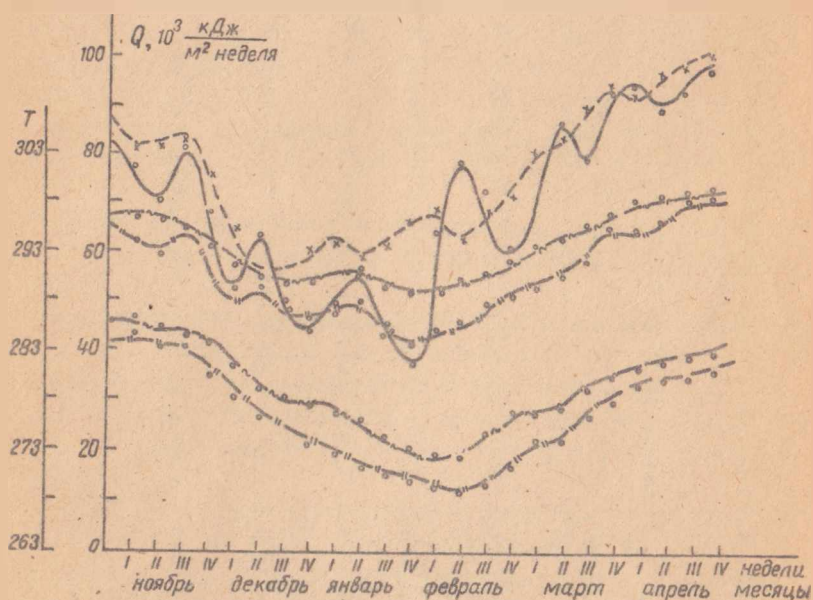


Рис.3. Сезонный ход средней температуры воздуха в опытно-производственной гелиотеплице в зависимости от средней наружной температуры и суммарной солнечной радиации.

Результаты опытов показали, что в зимний период терморегим в рассматриваемых гелиотеплицах близок к условиям открытого грунта (сентябрь, октябрь, апрель, май).

В третьей главе освещаются результаты исследований предлагаемого подпочвенного аккумулятора тепла.

Для развития растений в наиболее холодный период года необходимо выравнивание температуры в теплицах в течение суток за счет аккумуляции части тепла, получаемого от Солнца. Важно выяснить, какая доля энергии аккумулируется в почве, в стенах, в растениях, в аккумуляторе, какими должны быть теплоемкость аккумулятора и его конструкции.

Необходимо также изучить ход температуры в почве с точки зрения агротехнических условий, так как для прорастания семян редиса нужна температура 280 К, томата — 286 К.

Находящееся в предлагаемом аккумуляторе тепла аккумулирующее вещество представляет собой кусковой материал неправильной формы (галечки). Для расчета аккумулируемого в галечном слое тепла необходимо исследовать гидродинамику потока воздуха, проходящего через этот слой, в том числе сопротивление засыпки.

Для решения данной задачи нами поставлены эксперименты по определению гидравлического сопротивления галечного слоя и подбору соответствующего вентилятора.

При моделировании соблюдалось условие моделирования. Пользовались водяной аналогией. Относительные данные модели характеризуются следующими показателями: длина  $L = 1,58\text{ м}$ , диаметр  $d = 0,07\text{ м}$ , порозность  $m = 0,47$ , средний диаметр галечки  $d_{\text{ср}} = 0,0418\text{ м}$ . Общее давление воды в галечном слое аккумулятора измеряли манометрической трубкой. Движение воды через слой наблюдали с помощью окрашенной жидкости, которая подавалась из напорного бака. Сток был свободным, скорость течения определялась визуально, расход воды устанавливался весовым способом. Изучен также характер движения жидкости через слой галечки при различных скоростях передвижения по цилиндрическому каналу. Расход жидкости регулировался кранами, которые устанавливались в торцах аккумулятора. Для приближенного вычисления числа Рейнольдса и гидравлического сопротивления при аналогичных условиях нами получены следующие эмпирические формулы:

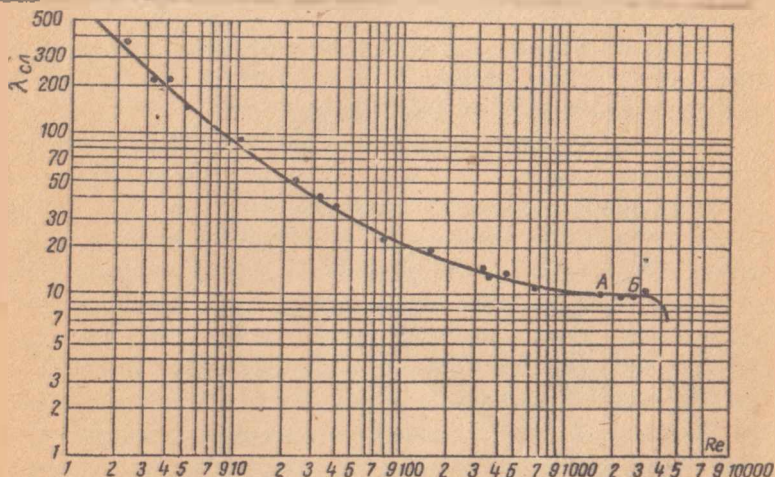
$$Re = \frac{u_{\text{ср}} d}{D_{\text{ср}}} \cdot m^{-2,84}, \quad (2)$$

$$\lambda_{cl} = \frac{920}{Re_{cl}} + 12. \quad (3)$$

$$\Delta p = \lambda_{cl} \frac{\rho w_{ac}^2}{2} \frac{L}{d} \cdot m^{-1.4} \quad (4)$$

Зависимость между гидравлическим сопротивлением слоя и числом Рейнольдса в виде  $\lambda_{cl} = f(Re_{cl})$  представлена на рис. 4. При скорости 0,4 м/с начинается переход от ламинарного к вихревому движению воды. Чтобы можно было наблюдать вихреобразование, в отдельных опытах в поток воды пускали шпильки мелких размеров.

Среднюю скорость жидкости определяли двумя путями: через расход жидкости и сечение трубы  $w_{ac} = \frac{V}{F \cdot t}$ . Найденная по этой формуле скорость  $w_{ac} = 0,44$  м/с. Второй раз определяли скорость потока по движению окрашенной через галечный слой воды, при этом  $w_{ac} = 0,41$  м/с.



Методика эксперимента по изучению теплообмена в цилиндрическом галечном слое в случае нестационарного процесса заключается в следующем: согласно теории подобия В.А.Баума (1963), Г.И.Назарова и др. (1965) построена модель гелиотеплицы (рис.5).

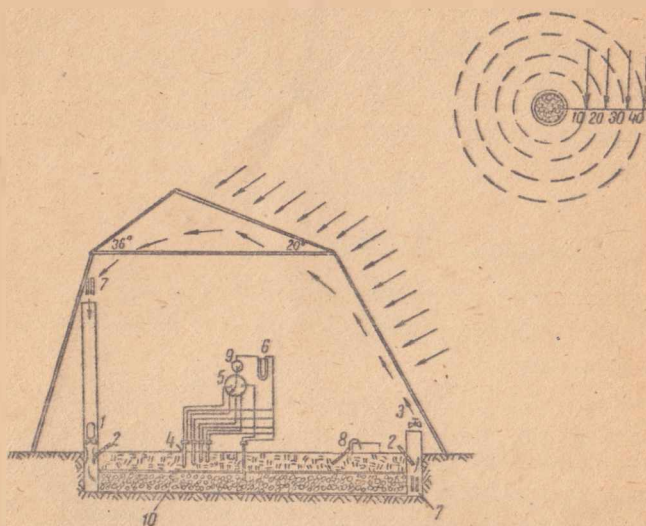


Рис.5. Схема экспериментальной установки по определению теплообмена в галечном слое.

В модели установлен цилиндрический аккумулятор тепла 10, устройство и принцип работы которого рассмотрены во второй главе. Параметры воздуха внутри гелиотеплицы измеряли ртутными термометрами ценой деления 0,1 К, самозаписывающимися приборами (термограф, гигрограф, барограф), транзисторным термометром 4, скорость движения воздуха — крыльчатным анемометром АСО-3. Скорость движения теплоносителя для сравнения одновременно измерялась с помощью дыма. Относительную влажность у входа в подпочвенную аккумуляторную камеру определяли по сухому и мокрому ртутным термометрам 2, а также аспирационным психометрами 7. По замеренным параметрам определяли влагосодержание и энтальпию воздуха.

Температура почвы, входящаяся вокруг аккумулятора в раз-

личных слоев (0,1; 0,2; 0,3 и 0,4м), а также внутри и на поверхности аккумулятора измерялась медь-константовыми термодарами 4. Для измерения температуры почвы корнеобитаемого слоя растений пользовались термометрами Савинова.

Колебания температуры в период эксперимента отличались от их средних значений на 273,5-274 К, скорость воздуха на 0,2-0,5 м/с.; при резких нарушениях вентиляционного режима колебания температуры могут быть значительными.

Нами в данной экспериментальной установке изучена следующая зависимость:

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (5)$$

Так как для газов  $Pr = const$ , то

$$Nu = f(Re). \quad (6)$$

Для определения критерия Нуссельта пользовались следующим выражением:

$$Nu = \frac{\alpha_r \cdot d_{эк}}{\lambda}. \quad (7)$$

а для определения критерия Рейнольдса - формулой (2). В этих случаях при гидродинамических тепло- и массообменных расчетах размер частиц неправильной формы условно заменяют диаметром сферы эквивалентной частицы по объему. Кроме того, неправильность формы учитывается фактором формы, коэффициентом неферричности, удельной поверхностью и т.д., т.е. формулами  $d_{эк} =$   ~~$\sqrt[3]{\frac{V}{\pi/6}}$~~ ,  $Q = 4,83 \sqrt[3]{\frac{V}{\pi/6}}$  другие.

С помощью этих соотношений можно рассчитать фактор формы, что позволяет определить объемный коэффициент теплоотдачи.

Этот коэффициент определяется из выражения

$$\alpha_r = \frac{Q}{V_m \cdot \Delta T \cdot \varphi} \quad (8)$$

где

$$d_r = d_p \cdot \frac{f}{V} \quad (9)$$

Нами  $\alpha_r$  определен на основе балансового уравнения тепла. Количество тепла, переданное галечному слою, вычислено путем измерения температур нагретого воздуха при входе в аккумулятор и при выходе из него (рис.1).

За небольшой промежуток времени (в наших опытах 10 мин) изменение температуры нагретого воздуха небольшое, т.е. можно считать постоянным.

При таком условии переданное нагретым воздухом тепло равно

$$Q' = \gamma_p c_p \Delta T. \quad (10)$$

Часть этого тепла  $Q$  передается галечному слою, часть  $Q_1$  грунту, находящемуся вокруг цилиндрического аккумулятора, т.е.

$$Q' = Q + Q_1. \quad (11)$$

Отсюда

$$Q = Q' - Q_1. \quad (12)$$

Для определения  $Q_1$  пользовались электронным термометром ТЭЦ-2, подпочвенными термометрами Савинова, термопарами, при этом был учтен сдвиг фаз передачи температурных волн. Тогда

$$Q_1 = m_1 c_1 \Delta T. \quad (13)$$

Из (10), (12), (8) определяется  $\alpha_r$ , а из (9) -  $\alpha_f$ . Размеры гальки подбирались почти одинаковыми, они были близки по форме эллипсоиду.

Для определения общей тепловоспринимающей поверхности вычисляли поверхность одной единицы гальки. Количество галек, заложенных в цилиндр, известно. Следовательно, можно вычислить общую поверхность галек, находящихся в слое.

Таким образом, для различных промежутков времени на основании (7) определяется критерий Нуссельта. На основании весового расхода скорости истечения воздуха через поперечное сечение по формуле (2) находим критерий Рейнольдса. Скорость движения воздуха (цирк. лямпы) через галечный аккумулятор определялась с помощью дыма.

Измерение проводилось в широких пределах (от  $3 \cdot 10^{-2}$  до 0,6 м/с) скорости истечения.

Результаты этих измерений в виде зависимости критерия Нуссельта и Рейнольдса показаны на рис.6.

На основании данных опытов в экспериментальной установке по известной методике Б.П.Демидовича и др. (1967), М.А.Михеева, И.М.Михеевой (1977) нами получено критериальное уравнение для

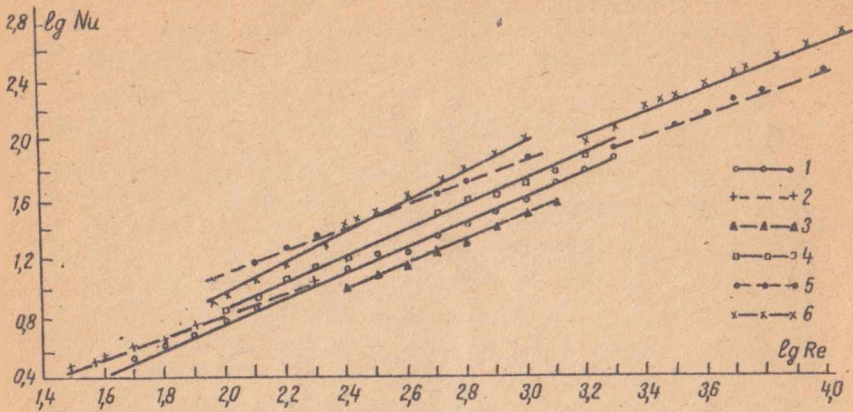


Рис. 6. Зависимость числа  $Nu$  от  $Re$  по опытным данным:

1- Чуханов и Шаватина

$$Nu = 0,124 Re^{2,05}$$

2- Тимофеева

$$Nu = 0,106 Re$$

3- Кичкина

$$Nu = 0,61 Re^{0,67}$$

4- Федорова

$$Nu = 0,123 Re^{1,88}$$

5- Фурваса и Китасва

$$Nu = 0,108 Re^{1,1}$$

ламинарного процесса:

$$Nu = 0,21 Re^{1,06} \quad (14)$$

для турбулентного режима

$$Nu = 0,53 Re^{0,75} \quad (15)$$

несколько отличающихся от уравнений других авторов.

Таким образом, на основании найденных формул (14) и (15), пользуясь

$$q_s = \alpha_s \lambda (T_m - T_s) e^{\delta} \quad (16)$$

вычисляем аккумулируемую энергию в галечном слое.

Результаты соответствующих расчетов показали, что  $Q_s = 358041,6$  кДж.

Аккумулярованную энергию можно определить и по другому методу, отличному от рассмотренного.

Сущность предлагаемого нами метода заключается в определении энтальпии влажного воздуха при входе и выходе из галечного слоя. В этом случае теплоноситель при перемещении через галечный слой передает тепло  $Q$  галькам и  $Q_1$  в почву, находящуюся вокруг цилиндра.

Следовательно,

$$\alpha_v V_r (\bar{T}_{\text{жс}} - \bar{T}_r) \bar{\tau}' = G_1 \bar{T}_1 - G_2 \bar{T}_2 - m_p c_p \Delta \bar{T}_r' \quad (17)$$

отсюда можно найти объемный коэффициент теплоотдачи -  $\alpha_v$ .

Определение  $\alpha_v$  на основании опытных данных (величин  $\bar{T}_1$ ,  $\bar{T}_2$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $\Delta \bar{T}_r'$ ,  $\bar{T}_{\text{жс}}$  и  $\bar{T}_r$ ) позволяет вычислить аккумулярованную энергию в галечном слое.

В таких аккумуляторах тепла температура, влажность и скорость воздуха существенно влияют на значение коэффициентов тепла и массообмена.

Вследствие нестационарности процесса температура теплоносителя периодически меняется, следовательно, меняется и аккумулярованная энергия повременно.

Все рассчитанные данные получены при двухслойной пленочной прозрачной изоляции. В случае стеклянной изоляции получаются другие кривые, так как температурный режим со стеклянной изоляцией отличается от пленочного варианта.

Суммарная аккумулярованная энергия за день составляет 821258,4 кДж, из них 358041,6 кДж в галечном слое, т.е. 29%. Аккумуляция идет примерно до 21<sup>00</sup> ч. за счет тепла внутреннего влажного воздуха. С этого момента наблюдается процесс разрядки аккумулятора тепла до 8<sup>00</sup> ч. утра, затем снова начинается процесс аккумуляции.

В данной главе, кроме экспериментального исследования, исследуется температурное поле в почве гелиотеплицы аналитическим методом, методом совместного применения интегральных преобразований и ортогональной проекции.

В нашем случае теплообмен между воздухом и поверхностью почвы происходит по закону Ньютона, т.е.

$$\left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = \alpha (T(x, t) - \varphi(t))_{x=0} \quad (18)$$

где  $T(x, t)$  - поле температуры внутри почвы,  $\varphi(t)$  - переменная температура воздуха в теплице.

Вторым граничным условием принят  $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=l} = 0$ .

Экспериментальные исследования показывают, что при суточном гармоническом колебании температуры можно принять  $l = 0,5$  м.

Найдем поле температуры в почве при гармоническом колебании воздуха в геотеплице

$$\varphi(t) = T_0 + \Delta T \sin \omega t = T_0 + \Delta T \sin \omega Fo. \quad (19)$$

где

$$\omega = \frac{2\pi}{24} \frac{\Delta T}{\Delta T} = \frac{2\pi}{24} \frac{\Delta T}{\Delta T}$$

тогда температура в почве находится в виде

$$T(x, Fo) = T_0 + \Delta T \sin \omega Fo - \frac{\Delta T A(Bi)}{2} \left\{ \frac{\sin 2\varphi_0}{2} \exp[-A(Bi)Fo] - \cos \varphi_0 \sin(\omega Fo - \varphi_0) \right\} \left| \frac{Bi \cdot \varphi}{Bi} - (1 - \frac{\varphi}{2}) \right| \quad (20)$$

Относительная избыточная температура из этого решения при  $Bi \rightarrow \infty$  находится в виде

$$\theta(x, Fo) = \sin \omega Fo - \frac{\varphi}{2} \left[ \cos \sin 2\varphi_0 \exp(-2\varphi Fo) - \cos \varphi_0 \cdot \sin(\omega Fo + \varphi_0) (2\varphi - \varphi) \right] \quad (21)$$

Изменение  $T$  для  $Bi = 1, 4, 10$  и  $\infty$  в точках  $\xi = 0, 0,25, 0,5$  приводится в настоящей работе.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных при  $Bi = 10$  показало хорошее согласование.

Расчет теплопотерь и составление баланса энергии проводился по известной методике. Суммарные теплопотери состоят из следующих составляющих:

$$\Sigma Q_{\text{пот}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (22)$$

для расчета коэффициентов теплоотдачи нами при  $GrPr > 10^9$  использован

$$Nu_{\text{вн}} = 0,15 (Gr_{\text{вн}} Pr_{\text{вн}})^{0,4} \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{вн}}} \right)^{0,25} \quad (23)$$

при  $Re > 4 \cdot 10^4$

$$Nu_{\text{вн}} = 0,01 Pr_{\text{вн}}^{0,4} Re^{0,8} \left( \frac{Pr}{Pr_{\text{вн}}} \right)^{0,25} \quad (24)$$

Потери тепла через щели, обусловленные расходом воздуха, возникающего вследствие разности давлений, определены уравнением Р.Е. Бриджига, т.е.

$$\Delta P = A \Delta T + B V^2 \quad (25)$$

где  $A$  и  $B$  - коэффициенты, постоянные для данной конструкции, определяемые экспериментальным путем. Решая (25), получаем объемный расход воздуха

$$V = \frac{A - \sqrt{A^2 - 4AB}}{2B} \quad (26)$$

При спокойной безветренной погоде расход воздуха через щели составляет 5-7% от общих теплопотерь. Баланс энергии состоит из следующих составляющих:

$$\Sigma Q_{\text{вн}} - \Sigma Q_{\text{от}} - \Sigma Q_{\text{вн}} - Q_{\text{от}} - Q_{\text{от}} \quad (27)$$

В четвертой главе освещаются результаты испытания гелиотеплиц и их технико-экономические показатели. Предлагаемые гелиотеплицы испытывались с 1975-1978гг. по выращиванию рассады овощных культур, теплолюбивых и холодостойких овощей.

В табл.2 приведена урожайность томатов по месяцам в гелиотеплице с подключенным аккумулятором тепла со стеклопленочным прозрачным покрытием.

Таблица 2

Урожайность томатов по месяцам в гелиотеплице с подпочвенным аккумулятором тепла опытно-производственного варианта (1977-1978гг.)

Показатели	М е с я ц							
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Урожай с 1м <sup>2</sup> площади	1,3	2,1	3,4	3,0	2,2	3,1	2,4	1,2
Среднемесячная температура воздуха в теплице	290,4	287,1	283,8	287,6	293,8	296,5	297,6	302,5
Среднемесячная наружная температура воздуха	277,2	275,0	268,3	277,4	286,3	292,5	296,8	301,6

Длительные производственные опыты в натуральных эксплуатационных условиях показали, что один из определяющих факторов - температурно-влажностный режим воздуха и почвы внутри блочной гелиотеплицы удовлетворяет агробиологическим требованиям растений.

Испытания опытно-производственного варианта, построенного в совхозе "Кашкадарья" Ульяновского района Ка кадэринской области, проводились с 15 ноября 1979г. по 15 апреля 1981г. Куль-

тура — двухоборотная.

В одной из секций осенне-зимнего оборота посажены огурцы, в зимне-весенний период — томаты. Во второй теплице — наоборот, в секции осенне-зимнего периода посажены томаты, зимне-весеннего — огурцы.

В первых двух секциях гелиотеплицы площадью  $400\text{ м}^2$  урожайность огурца 9,2, томата в зимне-весенний оборот — 8,6 кг/м<sup>2</sup>. Себестоимость продукции огурца 0,39, томата 0,62 руб/кг, что на 46% ниже контрольной — блочной теплицы.

В двух других секциях гелиотеплицы площадью  $400\text{ м}^2$  урожайность томата 6,1, огурцов — 14,8 кг/м<sup>2</sup>. Себестоимость продукции томата 0,58, огурцов — 0,52 руб/кг, что на 38,5% ниже контрольной теплицы.

Анализ результатов показывает преимущество солнечных теплиц по таким показателям, как себестоимость получаемой продукции и срок окупаемости сооружений.

Экономический эффект использования гелиотеплиц с подпочвенным аккумулятором тепла с двухслойным прозрачным покрытием с  $1\text{ м}^2$  полезной площади составляет 1,58 руб. или 15800 руб. с 1 га полезной площади, со стеклопленочным вариантом 3,81 руб. или 38100 руб. с 1 га полезной площади.

Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат на строительство пленочной и стеклопленочной теплицы с подпочвенным аккумулятором тепла — 1,6 и 2 года соответственно.

Следовательно, используя солнечные теплицы с подпочвенным аккумулятором тепла для выращивания овощей в зависимости от количества морозных дней можно сэкономить за сезон от 500 до 700 т у.т. из расчета 1 га посевной площади.

Автор благодарит товарищей Т.А. Садикова и А.Б. Вардиашвили за участие и ценные советы при выполнении настоящей работы.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена конструкция многоблочной гелиотеплицы с подпочвенным аккумулятором тепла; для устранения перегрева в весенние месяцы она имеет новую систему вентиляции.

2. Предложен подпочвенный цилиндрический аккумулятор тепла, состоящий из кусковых тел неправильной формы (галечки). Накопление солнечной энергии осуществляется как на галечном слое, так и в почве, находящейся вокруг цилиндрического аккумулятора.

3. Исследованы теплообменные процессы в галечном слое и в почве гелиотеплицы. Для расчета гидродинамического сопротивления в галечном слое предлагается формула

$$\lambda_a = 928 / Re^{0,12}$$

4. Для расчета теплоотдачи в галечном слое аккумулятора (в подобных случаях) нами предлагается критериальное уравнение: для ламинарного режима  $Nu = 0,21 Re^{0,66}$ ,

для турбулентного режима  $Nu = 0,53 Re^{0,44}$ .

Соответствующие расчеты и опыты показали, что в подпочвенном аккумуляторе накапливается 40–45% прошедшей энергии.

5. Исследованы температурные и влажностные режимы опытных гелиотеплиц.

Результаты показали, что температура воздуха в гелиотеплице в течение суток меняется периодически около среднего его значения. Температурный режим их близок к температурному режиму открытого грунта в сентябре, октябре, апреле, мае. Относительная влажность во многом зависит от степени вентиляции и орошения.

6. Теоретически и экспериментально изучено изменение температуры поверхности ( $z=0$ ), на глубине  $z = 0,25, 0,5$  м, а также аккумуляция солнечной энергии в почве гелиотеплиц, которая свидетельствует о приемлемости полученных результатов.

7. Проведены сравнительные испытания на моделях блочных гелиотеплиц с различными светопрозрачными поверхностями и их соответствующими комбинациями: два слоя стекла, два слоя пленки и два слоя стеклопленки, а также один слой стекла и один слой пленки с подпочвенным аккумулятором и без аккумулятора. Результаты показали, что с точки зрения технико-экономических показателей и теплового режима наилучшей оказалась комбинация стекло-пленка.

8. В течение трех лет испытаны опытные гелиотеплицы двухлетнего опытно-производственного варианта по выращиванию рассад овощных культур, холодостойких овощей. Результаты показали, что с 1 м<sup>2</sup> полезной площади за сезон можно получить 17–20 кг томатов или 1800–1900 шт рассады томата; 1100–1200 шт капусты; 1500–1600 шт болгарского перца; 1400–1500 шт баклажан; 3–3,5 кг укропа; 3,5–4 кг редиса, 7,5–8 кг лука перо; 3,5–4 кг шавеля, холодостойких овощей. При этом экономия топлива на 1 кг посевной площади за счет солнечного обогрева в 2–3 раза меньше, чем

в отапливаемых теплицах.

9. Предлагаемые гелиотеплицы рекомендуются для использования в колхозах и совхозах южных областей Средней Азии, а также в районах с подобными климатически-почвенными условиями.

10. В настоящее время опытно-производственные варианты построены в совхозе "Кашакадарья" Ульяновского района (полезной площадью 800м<sup>2</sup>) и совхозе "Хазарбаг" Денаусского района Сурхандарьинской области.

11. По результатам диссертационной работы Каршинским филиалом проектного института "Узгипросельстрой" разработаны типовые проекты гелиотеплиц с аккумулятором тепла площадью 1000м<sup>2</sup> и 1 га. По проекту республиканского проектного института "Узгипроплодоовощинпром" также построен опытно-производственный вариант блочных гелиотеплиц с подпочвенным аккумулятором тепла полезной площадью 0,2 га в Куйлякском тепличном комбинате № 1 Калининского района Ташкентской области Узбекской ССР.

1. Основное содержание диссертации изложено в следующих отаьках:

1. Хайриддинов Б., Умаров Г.Я. и др. Гелиотеплица с подпочвенным аккумулятором тепла, "Гелиотехника", 1976, № 6.
2. Хайриддинов Б., Садыков Т.А. К расчету гидродинамического сопротивления галечного аккумулятора цилиндрического типа. "Гелиотехника", 1977, № 6.
3. Хайриддинов Б., Вардишвили А., Садыков Т.А. К вопросу использования подпочвенных аккумуляторов тепла в гелиотеплицах. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Использование солнечной энергии", ч.1, Алшбад, 1977.
4. Хайриддинов Б., Вардишвили А.Б. и др. Исследования теплофизических и гидродинамических характеристик подпочвенного аккумулятора тепла регенеративной гелиотеплицы. Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Использование солнечной энергии", ч.1, Алшбад, 1977.
5. Хайриддинов Б., Алмурадов Б. Солнечная теплица. "Сельское хозяйство Узбекистана", 1978, № 12.
6. Хайриддинов Б., Садыков Т.А., Вардишвили А.Б. Исследование теплообмена в галечном слое аккумулятора и аккумуляции солнечной энергии". "Гелиотехника", 1979, № 1.
7. Садыков Т.А., Хайриддинов Б. Рекомендации по использованию солнечной энергии в парниках и теплицах (на узб. языке).

Ташкент, 1979.

8. Хайриджиев Б. Сравнительное испытание гелиотеплиц с различными оветопрзрачными покрытиями в условиях Кашкадарьинской области. "Материалы республиканской школы-семинара молодых ученых и специалистов по проблемам повышения эффективности сельскохозяйственного производства в свете решения ильского (1978г.) Пленума ЦК КПСС. Ташкент, 1979.
9. Садыков Т.А., Хайриджиев Б. и др. Опыт использования полимерных пленок в овощеводстве защищенного грунта, "Материалы Республиканского научно-производственного совещания". Ташкент, 1980.
10. Умаров Г.Я., Хайриджиев Б., Вардишвили А.Б. и др. Результаты испытаний теплицы с аккумулярованием солнечной энергии, совмещенной с топливной котельной. "Гелиотехника", 1981, № 4.

## II. Рекомендации к внедрению:

- а) Научно-техническим обществом сельского хозяйства Узбекистана (1979г.).
- б) Республиканским научно-производственным совещанием по увеличению производства продукции овощей в защищенном грунте в Узбекской ССР (1980г.).

## ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $T_0$  - температура воздуха,  
 $\Delta T$  - приращение температуры,  
 $\Delta T_r$  - среднее приращение температуры по объему грунта,  
 $T_{ж}, T_r$  - средняя температура теплоносителя и галечного слоя,  
 $d_{экв}$  - эквивалентный диаметр галек,  
 $D_{ж}, D_{в}$  - кинетическая вязкость жидкости и воздуха,  
 $\lambda_{сд}$  - коэффициент сопротивления слоя,  
 $\Delta P$  - полное сопротивление,  
 $L$  - длина трубы,  
 $m$  - порозность,  
 $m_p$  - масса прогретого слоя почвы, находящегося вокруг цилиндрического аккумулятора тепла,