

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОМЕТАЛЛОЕМКОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

05.14.08 – Энергоустановки на основе
возобновляемых видов энергии

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 662.997.621.472

Эрмекова Зулайка Карыбековна

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОМЕТАЛЛОЕМКОЙ
СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

05.14.08 – Энергоустановки на основе
возобновляемых видов энергии

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор Ш.И. Клычев

Ош -2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень основных сокращений и обозначений.....	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. СОЛНЕЧНЫЕ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1. Существующие методы опреснения соленых вод.....	10
1.2. Современное состояние научных исследований солнечных оп- реснительных установок.....	15
1.3. Конструкции солнечных парниковых опреснителей.....	26
1.4. Виды прозрачных ограждений применяемых в солнечных опрес- нительных установках.....	33
1.5 Постановка задачи.....	37
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО – ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЕЙ	41
2.1. Исследование оптико – энергетических характеристик прозрач- ных ограждений солнечных опреснителей.....	41
2.1.1. Физическая модель потока солнечного излучения, падающего и проходящего через прозрачные ограждения.....	41
2.1.2. Алгоритм расчета потока солнечного излучения, падающего и проходящего через прозрачные ограждения.....	49
2.2. Исследование потоков солнечного излучения падающих и входящих через прозрачные ограждения солнечных установок.....	55
2.3. Исследование теплотехнических характеристик солнечных пар- никовых опреснителей	66
2.5 Выводы по главе 2.....	74
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОМЕТАЛЛО- ЕМКИХ СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	76

3.1. Разработка малометаллоемкого парникового солнечного опреснителя.....	76
3.2. Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя.....	81
3.2.1. Методика эксперимента.....	82
3.2.2. Исследование производительности малометаллоемкого солнечного опреснителя.....	83
3.3 Сравнительные характеристики малометаллоемкой солнечной опреснительной установки со стеклянным и пленочным покрытием...	86
Выводы по главе 3.....	96
ГЛАВА 4. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	97
4.1. Техничко-экономические характеристики малометаллоемких солнечных опреснительных установок.....	97
4.2 Разработка солнечной опреснительной установки для водоснабжения сел.....	99
Выводы по главе 4.....	120
ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ.....	121
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	129
Приложение 1. Анализ ошибок экспериментальных измерений и достоверности полученных результатов.....	130
Приложение 2. Расчеты затрат предприятий автотранспорта.....	132
Приложение 3. Справки об использовании результатов диссертационной работы.....	141

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ВИЭ – возобновляемые источники энергии;
- СО – солнечный опреснитель;
- МСО – малометаллоемкий солнечный опреснитель;
- ПО - прозрачное ограждение;
- E – плотность суммарной солнечной радиации;
- E_C – плотность прямой солнечной радиации;
- D – плотность рассеянной солнечной радиации;
- A – коэффициент поглощения;
- R – коэффициент отражения;
- T - коэффициент пропускания
- Q – количество теплоты;
- G – скорость испарения;
- G – массовый расход, производительность;
- G_c – суточная производительность;
- G_{cm} – среднемесячная производительность
- ρ – плотность;
- c – удельная массовая теплоемкость;
- λ – коэффициент теплопроводности;
- a – коэффициент температуропроводности;
- α – коэффициент конвективного теплообмена;
- ε – коэффициент излучения (коэффициент черноты);
- ν – кинематическая вязкость;
- η – коэффициент полезного действия;
- t – температура;
- τ – время.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации.

В настоящее время обеспечение население земли питьевой водой является одним из важнейших проблем мирового масштаба. Острая нехватка питьевой воды ощущается на территориях более 40 стран мира, что составляет около 60% всей поверхности земной суши. Кыргызстан в этом плане обладает достаточно большими ресурсами пресной воды и не входит в категории стран, где имеет место дефицита питьевой воды. Однако, после ликвидации колхозов и совхозов сельские системы питьевого водоснабжения в течение более 20 лет находились в бесхозном положении, что в последующем привело к интенсивному ухудшению их технического состояния и полной остановке функционирования систем питьевого водоснабжения в большинстве сел республики. По этой причине в настоящее время во многих сельских местностях населения не обеспечено чистой питьевой водой на должном уровне т.е. 40% населения Республики использует воду для питья из арыков, рек, каналов, родников, а также пользуется привозной водой. В частности, в Кыргызстане имеются минерализованные воды, которые применяются в лечении различных заболеваний, при этом часто возникает задачи получения концентрированных рассолов. Один из путей её решения это опреснение соленых вод различными методами – дистилляционный, осмос, вымораживание. Дистилляционные методы энергоемки так расход энергии на выпаривание 1 л воды составляет около 0.7 кВтч, в связи с этим перспективными представляются дистилляционные установки с использованием солнечной энергии, или парниковые солнечные опреснители (СО).

Исследования в области дистилляционных солнечных опреснителей ведутся уже около 100 лет, однако до сих пор не удается обеспечить их широкого применения из-за их относительно высокой стоимости. Указанное определяет **актуальность темы** диссертационной работы, направленной на разработку и исследование малометаллоемких солнечных опреснителей.

Связь темы с научно-техническими программами. Работа выполнялась в рамках госбюджетных научно-исследовательских тем Кыргызско-Узбекского университета по договорам с Департаментом науки Министерство образования и науки КР, а именно: «Разработка и исследование автономных энергетических систем на основе возобновляемых видов энергии» (Договор № ЕТН – 07/11 от 2010г.); «Разработка и исследование высокоэффективных энергетических установок на основе возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий» (Договор № УН – 26/12 от 28.03. 2012г.); «Разработка технологии получения порошков сельхозпродуктов с помощью солнечной энергии» (Договор № ДН – 99 от 02.01.2017г.).

Цель исследования: Целью работы является разработка и исследование малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя индивидуального и коллективного назначения.

Для достижения указанной цели и работе поставлены следующие **задачи:**

- разработка модели пропускания солнечного излучения прозрачными ограждениями опреснителей и исследование характеристик пропускания прозрачных ограждений;
- развитие нестационарной тепло - и массообменной модели солнечного парникового опреснителя и влияния её параметров на производительность и КПД;
- разработка малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя и экспериментальное исследование её теплотехнических характеристик;
- сравнительная оценка технико-экономических характеристик солнечного опреснителя.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- разработана новая конструкция солнечной опреснительной установки, отличающаяся технологичностью изготовления и улучшенными экономическими характеристиками;

- развита модель пропускания солнечного излучения прозрачными ограждениями солнечных установок, разработаны обобщенные характеристики для потоков прямого солнечного излучения, проходящих прозрачные ограждения;

- развита теплотехническая модель солнечного парникового опреснителя, отличающаяся учетом пропускания прозрачным ограждением теплового излучения опреснителя, определена оптимальная толщина стеклянного прозрачного ограждения;

- результаты натурных исследований производительности солнечных опреснителей.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что:

- разработанные конструктивные решения солнечных опреснителей могут быть использованы при проектировании опреснителей различных мощностей и режимов работы;

- разработанные обобщенные зависимости коэффициентов потока прямого солнечного излучения, входящего через прозрачные ограждения солнечных опреснителей и программы их расчета могут быть использованы и для определения входящих потоков и исследования влияния их геометрии и ориентации для других типов низкотемпературных солнечных установок в течение дня и года;

- позволяет модель парникового солнечного опреснителя, развитая в работе, позволяет применять её и для опреснителей парникового типа с пленочными прозрачными ограждениями;

- по результатам проведенного лабораторного анализа опресненной воды получено заключение о возможности ее применения.

Степень внедрение и экономическая эффективность результатов работы:

- разработанные и созданные промышленные образцы ММСОУ внедрены в селах Савай и Алмалык Карасуйского района Ошской области.

- по результатам проведенного лабораторного анализа из опытно- промышленной малометаллоемкой солнечной опреснительной установки опресненной воды получено заключение о возможности ее применения.

- результаты теоретических исследований внедрены в учебный процесс в Кыргызско-Узбекском университете.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

На защиту выносятся следующие основные положения и результаты диссертационной работы:

- разработанная конструкция малометаллоемкого солнечного опреснителя;

- методика определения коэффициентов потока прямого солнечного излучения, входящего в солнечную установку через прозрачные ограждения;

- результаты численного исследования теплотехнических характеристик солнечных парниковых опреснителей с пленочными и стеклянными прозрачными ограждениями;

- результаты натурных исследований разработанного солнечного парникового опреснителя;

- результаты оценки технико-экономических характеристик солнечных опреснителей.

Личное вклад соискателя в получении научных результатов. На протяжении более 10 лет автор является непосредственным исполнителем работ по разработке конструктивных решений солнечных опреснителей, исследованию их теплотехнических характеристик, включая постановку задачи, результаты которых представлены в диссертационной работе.

Основные результаты диссертационной работы получены лично автором.

Апробации результатов диссертации. Основные положения диссертации, а также ее отдельные части докладывались на Международной конференции «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развития

науки, и интеграции ВУЗов» (г. Ош, КУУ, ноябрь 2009г.), на Международной научно- практической конференции «Современное состояние, направления развития инженерной техники и технологии» (Ош, ОшГУ, октябрь 2014), на Международной научной конференции «Актуальные проблемы развития науки, образования и интеграции ВУЗов» (Ош, КУУ, май 2015г.), на Международной научной конференции «История и культура народов Кыргызстана: наследие и современность» (Ош, КУУ, ноябрь 2016г.), на Международной научно-практической конференции «Инновация - 2017» (г. Ташкент, октябрь 2017г.). Работа в полном объеме доложена на Научно - техническом совете Кыргызско-Узбекского университета.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации опубликовано 15 основных печатных работ, в том числе 5 статей в международных научных журналах «Гелиотехника» и «Applied Solar Energy» (США), входящих в систему SCOPUS, «Наука, Образование, Техника», «Наука и новые технологии», «Известия ОшГУ», а также Российской Федерации входящих в систему РИНЦ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и заключений, списка использованной литературы и приложения. Содержит 146 страницы машинописного текста, 43 рисунка, 16 таблиц и библиографию из 85 наименований.

ГЛАВА I. СОЛНЕЧНЫЕ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ: СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Существующие методы опреснения соленых вод

В настоящее время для опреснения соленых вод в основном используется дистилляционный способ. Этот метод очень энергоемок, так для испарения 1 л воды необходимо около 2620 кДж, или около 0.73 кВтч энергии.

Так как процесс испарения может вестись при относительно низких температурах то во многих странах мира уже около 100 лет ведутся работы по созданию солнечных опреснителей (СО) [1-6]. Разработаны ряд различных конструкций СО, ведутся работы по созданию СО работающих в сочетании с солнечными энергетическими установками. Это позволяет расширить типы солнечных опреснителей, использовать в них другие методы опреснения воды, кроме дистилляционного. В связи с этим рассмотрим кратко методы и способы опреснения воды.

Существующие способы опреснения воды можно разделить на три больших класса: физические, химические и биологические [1].

К физическим методам опреснения воды относят:

1. *Прямой и обратный осмос.*
2. *Гидродинамическое разделение.*
3. *Электромагнитное фильтрование.*
4. *Замораживание.*
5. *Дистилляция.*

В настоящее время наиболее широкое распространение получили дистилляционные методы. Процесс дистилляции заключается в том, что соленая вода нагревается и испаряется, а затем этот пар конденсируется. Учитывая высокую теплоту испарения воды, этот процесс является очень энергоемким. Поэтому постоянно ведутся исследования по разработке менее энергоемких методов получения пресной воды из соленой, в частности методы [1-4].

Однако эти методы пока не нашли широкого применения вследствие высоких эксплуатационных затрат на их обслуживание. В свою очередь, методы опреснения воды дистилляцией можно разделить на следующие виды [2]:

- 1. Одностадийная дистилляция.*
- 2. Многостадийная (флэш) дистилляция.*
- 3. Вакуумная дистилляция.*
- 4. Термокомпрессионная дистилляция.*
- 5. Пароструйная дистилляция.*

Отметим, что развитие новых типов дистилляторов связано с необходимостью уменьшения затрат энергии на получение пресной воды. Так если одностадийная дистилляция представляет процесс, при котором вода испаряется (испаритель) и далее конденсируется (конденсатор), т.е. в солнечных опреснителях на рисунке 1.1. имеем процесс одностадийной дистилляцией. Совершенствование процесса опреснения, кроме вакуумной дистилляции заключается в том, что, пар сжимается и направляется в испаритель, где конденсируется и отдает тепло конденсации, при этом уменьшаются затраты энергии на нагрев и испарение соленой воды в испарителе. Теоретически такой процесс может существенно, в несколько раз уменьшить затраты энергии на дистилляцию воды по сравнению с одноступенчатым процессом. В вакуумных дистилляторах для ускорения процесса парообразования при относительно низких температурах в испарителе создается небольшой вакуум, а процесс конденсации происходит как обычно.

Начиная со второй половины XX века задача опреснения соленых вод становится предметом национальных программ развития ряда стран.

В частности, они предусматривают возможность использования солнечной энергии для опреснения. В этой области к настоящему времени проведены обширные научные исследования, разработаны различные типы солнечных опреснительных установок (СОУ), построены промышленно действующие солнечные опреснительные установки. К таким странам можно отнести Саудов-

скую Аравию, Катар, Объединенные Арабские Эмираты, Чили, Мадагаскар, Эфиопия, Сомали, Индия, южные регионы России (Ставропольский край, Волгоградская область, Северный Кавказ), Узбекистан, Туркменистан, Казахстан и ряд других стран.

Несмотря на обилие пресной воды в Кыргызстане в целом, есть отдельные села, к которым усложнена доставка пресной водой. К ним можно отнести села Жалпак-Таш, Кысык-Алма Узгенского района, село Араван Араванского района, села Бирлешкен и Алмалык Кара-Суйского района и др. где имеется местный водопровод, однако источники воды соленоватые. Население этих сел так же собирает дождевую воду для приготовления пищи, для умывания и ополаскивания белья после стирки [7].

Большинство из названных выше стран по использованию солнечной энергии для опреснения расположены в южных широтах, где высока плотность солнечной радиации и много дней с солнечным сиянием, высока среднедневная температура воздуха. В климатических условиях этих стран разработанные СОУ, как указано рядом авторов [1-6] могут иметь достаточно высокие КПД и производительность.

Солнечные парниковые опреснители можно разделить на два больших типа – горизонтальные и наклонные, см. рисунок 1.1. Как видно, в СОУ имеется три основных элемента – корпус, ванна (лоток) и прозрачное ограждение.

К настоящему времени разработано множество конструкций парниковых СОУ, которые можно различать:

По назначению.

1. *По характеру эксплуатации.* По данному признаку СОУ разделяются на два вида: стационарные и переносные (перевозные).
2. *По материалу корпуса.* По этому признаку СОУ делятся на железобетонные, пластмассовые или из композитных материалов, металлические и деревянные.
3. *По материалу прозрачного ограждения.* По материалу прозрачного ог-

раждения СОУ делятся на два вида – СОУ со стеклянным прозрачным ограждением и ПО из пластмассовых пленок. В первом используется обычно оконное стекло толщиной от 3 до 5 мм, а во втором используются различные типы прозрачных пластиковых пленок – полиэтиленовые, полиэтилентерефталатные, акриловые и др. Как известно, в пленочных ПО вследствие плохой в них смачиваемости воды затруднено стекание воды (она может собираться большими каплями и отрываться от пленки, не доходя сборника). Для облегчения стекания воды, были проведены ряд исследований, однако можно констатировать, что удовлетворительного решения в плане исключения её влияния на чистоту воды пока не найдено.

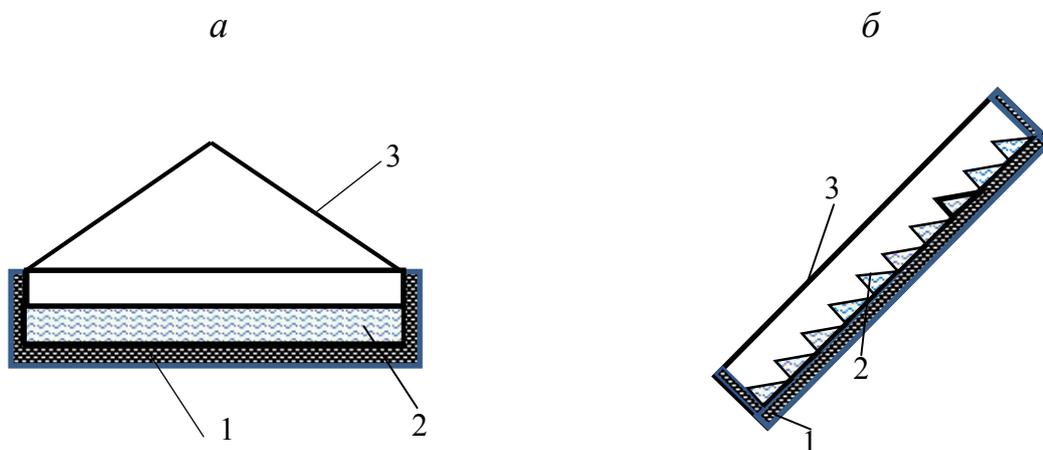


Рисунок 1.1 - Солнечные парниковые опреснительные установки: *а*- горизонтальная; *б*- наклонная; 1- теплоизолированный корпус, 2 – ванна с соленой водой и 3 – прозрачное ограждение

4. *По геометрической форме прозрачного ограждения.* По этому признаку СОУ можно разделить на следующие типы: односкатные, двухскатные симметричные, двухскатные несимметричные и арочные.
5. *По расположению дна корпуса к зеркалу воды.* По этому признаку СОУ можно разделить на два класса: горизонтальные (бассейнового типа) и наклонно – ступенчатые.
6. *По ориентации на месте эксплуатации.* По этому признаку СОУ можно разделить на два типа: с экваториальной ориентацией и с меридиональной

ориентацией.

7. *По расположению модулей.* По этому признаку СОУ можно разделить на два класса: отдельно стоящие и блочные (объединенные в блоки).

Как видно, общими элементами всех типов солнечных опреснителей парникового типа (см. рисунок 1.1) являются теплоизолированный корпус, покрываемое одно или двухскатным прозрачным ограждением из оконного стекла или пленки, внутри которого установлена ванна или лоток с опресняемой водой. На одной или двух боковых стенках корпуса имеются желобки для сбора опресненной воды, сконденсированной на ПО.

В односкатных СОУ стеклянное или пластиковое покрытие наклонено в одну (южную) сторону. Сбор конденсата происходит на одной (южной) стороне СОУ. Они обычно устанавливаются длинной стороной вдоль линии восток-запад. В двухскатных СОУ прозрачное покрытие имеет два ската (рисунок 1.1а). Сбор конденсата осуществляется с двух сторон корпуса СОУ. Исходя из симметрии, такие СОУ могут устанавливаться, как по линии север-юг, так и по линии восток-запад.

В целом [5] в настоящее время в различных странах мира имеется более 25 мощных солнечных опреснителей морской воды с единичной площадью бассейна от 100 до 30000 м² с суммарной площадью более 50 тыс. м² и производительностью более 200 м³ пресной воды в день. Наиболее крупная солнечная опреснительная установка эксплуатируется с 1984 г. в Абу-Даби (Объединенные Арабские Эмираты), которая была разработана совместно США и Японией. Это установка нового типа, с расчетной производительностью 120 м³ пресной воды в день, однако фактически достигнутая среднегодовая производительность составила 80 м³ в день. К числу крупных солнечных опреснительных установок относятся четыре установки в Греции — на островах Патмос (площадь бассейна 8500 м², производительность 40 м³ дистиллята в день), Кимолос и Сими (площадь 2600—2800 м²), две установки в Кубер Педи в Австралии производительностью 14 м³ в день, установка в Пакистане (Гвадар) площадью 16 000 м² и производительностью 60 м³ пресной воды в день. Установки боль-

шой производительности построены также в Испании, Индии и других странах.

Первая в СССР опытно-производственная солнечная установка для обессоливания минерализованных вод была сооружена в 1968 г. в поселке Бахарден в пустыне Кара-Кум в Туркмении. Она имела площадь 600 м^2 , летом давала от 2,4 до 4 л пресной воды в день с 1 м^2 площади бассейна и обслуживала овцеводческую ферму [5].

В нашем регионе главными источниками солёных вод и рассолов являются месторождения минеральных вод отдельных площадей Ысык-Кульского артезианского бассейна, вскрытые скважинами с глубин более 1000 м, с максимальной минерализацией (в неогеновых отложениях) 64 г/л; Бишкекское месторождение минеральных вод в центральной части Чуйской впадины с минерализацией 50,0 г/л; Жыргаланское — 138 г/л; Тузское (Лейлекский р-н) — 253 г/л; Уч-Кашка — Чаар-Кудукское — 200 г/л; Уч-Терекское (Кетмен-Тёбёнская долина) — 346 г/л и др. Солёные воды и рассолы обладают высокими лечебными свойствами, их используют для питьевого лечения (при разбавлении), а также ваннах, бассейнах и др. для бальнеологических процедур. Из них также извлекают ряд полезных компонентов и их соединений (хлорид натрия, йод, бром, натрий и др.) для приготовления широкого спектра лекарственных препаратов. Можно отметить, что для применения этих минеральных вод в лечебных целях необходимо обеспечить заданную минерализацию, обычно, повышение концентрации солей. что требует испарения воды и здесь также могут быть использованы солнечные опреснители.

1.2. Современное состояние научных исследований солнечных опреснительных установок

Рассмотрим результаты теоретического и экспериментального исследования теплотехнических характеристик солнечных опреснителей, основными из которых являются производительность и эффективность работы СО. Обычно, под эффективностью работы СО понимают её тепловое кпд, характеризующее

степень использования СО падающего солнечного излучения.

Одной из первых работ, в которой был проведен анализ состояния работ по созданию солнечных опреснителей и возможностей их улучшения в перспективе была работа Баума В.А [8]. По результатам анализа сделан вывод, что возможности улучшения теплотехнических характеристик ограничены, и максимум их можно повысить на 10-20%. Т.е. одной из главных задач, наряду с повышением КПД является улучшение технико-экономических характеристик солнечных опреснителей.

На основе анализа тепловых процессов в СО предложен упрощенный способ расчета теплотехнических характеристик некоторых типов солнечных опреснителей, приводятся результаты расчета для различных условий работы опреснителей. По результатам обзора рассмотрена общая схема работы солнечных опреснителей, в частности указана сложность описания тепломассообменных процессов в опреснителях [8]. Исходя из этой общей схемы работы СО проведена оценка характеристик некоторых солнечных опреснителей и полученных в этой области результатов. В частности, указано, что имеется существенная разница между результатами по КПД и производительности солнечных опреснителей, достигающая до двух раз.

Первый масштабный солнечный опреснитель парникового типа был построен Ч. Вильсоном в 1872 г, [9] в г. Лас-Салинас (Чили). Площадь его рабочей поверхности составила 4760 м^2 , а максимальная производительность около 4,8 л в день с 1 м^2 . Отмечается, что КПД этого опреснителя составляло около 35%. Лотки были изготовлены из красного дерева и покрыты асфальтом – природной древесной смолой. Эта установка работала до 1908 года, являясь примером исключительной долговечности конструкции (36 лет). Также в [8] указано, что в 1952 г. аналогичный опреснитель был построен Хоу в Калифорнийском университете.

Предложенная автором конструкция солнечного опреснителя «парникового типа» (см. рисунок 1.2) использовалась далее и во многих работах.

Как указано в [9] в 1926— 1929 гг. исследованиями солнечных опреснителей занимались J. Rісphard [10], Ч. Морей, К. Бразье [11], М. Жинестус [12], а в СССР Б. П. Вейнберг и В. Б. Вейнберг [13,14] и К. Г. Трофимов [15]. Конструкция, предложенная в [15] отличалась тем, что опреснитель устанавливался наклонно, а соленая вода стекала по уложенной на плоском приемнике материи, в процессе стекания вода нагревалась и испарялась.

С теплотехнической точки зрения, конструкция была более эффективна, чем горизонтальная конструкция – обеспечивала улавливание большей солнечной радиации при той же площади испарения. Удобство этой конструкции заключалось в том, что оно позволяло резко уменьшить размеры опреснителя. Однако, как отмечалось в [16] имелись существенные сложности в практической реализации этого СО – сложность обеспечения режима стекания воды, и главное в выборе долговечного материала, работающего в этих условиях и необходимости её частой промывки от накопившейся соли. Для исключения этих недостатков в [16] были предложены приемник, в котором вода стекала не по плоской, а по ребристой поверхности приемника - Л. Н. Текучев [16].

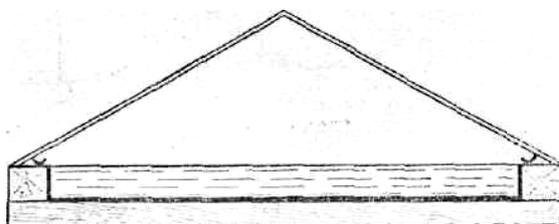


Рисунок 1.2 - Схема солнечного опреснителя парникового типа

Отметим, что вследствие сложностей описания тепломассообменных процессов в опреснителе, как было указано в [8] большое внимание исследователей уделялось экспериментальному определению теплотехнических характеристик опреснителей, в частности М Телкес [17]. К. Гомела [18], Г. Неббия [19]. Анализ результатов этих исследований в работах [8,20] показал, что имеет место существенное различие в данных по производительности опреснителей у разных авторов. Указанное в общем, показывает на необходимость развития, как

расчетных, так и экспериментальных методов оценки теплотехнических характеристик опреснителей.

Одна из важных задач для проведения расчетных исследований характеристик опреснителей это определение коэффициентов испарения воды и конденсации пара на прозрачном ограждении (ПО). Для этого в [21] была экспериментально исследована массоотдача при испарении и конденсации воды в парниковых солнечных опреснителях и получены критериальные зависимости для массообменного числа Nu' для случая испарения воды

$$Nu'_{и} = 0.063 * \epsilon_{пи} * (Gr'_{и} * Pr'_{и})^{0.32}, \quad (1.1)$$

в диапазоне $Gr'_{и} * Pr'_{и} = 3.21 * 10^6 \div 3.11 * 10^7$

и для конденсации пара на ПО

$$Nu'_{к} = 2.78 * 10^{-4} * \epsilon_{пк} * (Gr'_{к} * Pr'_{к})^{0.53}, \quad (1.2)$$

в диапазоне $Gr'_{к} * Pr'_{к} = 3.31 * 10^6 \div 3.39 * 10^7$,

где $\epsilon_{пи}$ – объемное содержание пара при испарении и конденсации

$$\epsilon_{пи} = p_{пи} / p_c, \quad (1.3)$$

где $p_{пи}$ – парциальное давление пара в паровоздушной смеси, p_c – давление смеси пара и воздуха в опреснителе, принятое равным барометрическому давлению.

Для определения коэффициента массоотдачи использовалась аналогия между процессами конвективного теплообмена и массоотдачи

$$\beta = G / (p_n^и - p_{ср}^к), \quad (1.4)$$

где p_n – парциальное давление при испарении (и) и конденсации (к), G – количество конденсирующейся жидкости.

Можно отметить, что, в общем случае, как при конденсации пара, так и при испарении воды считается, что парциальные давления пара на поверхности испарения и конденсации равны их парциальным давлениям насыщения при соответствующих температурах.

Особенность этой работы была в том, что впервые, на основе известных формул для газов и их смесей была показана принципиальная взаимосвязь между параметрами паровоздушной смеси, температурой испаряемой воды и

производительностью опреснителя. Также можно отметить, что в экспериментах был рассмотрен очень большой диапазон перепада температур между водой и стеклом. Так в экспериментах температуры воды изменялись от 23,4 до 97,2⁰С, а стеклянной ПО от 15,8 до 89,0 ⁰С. Т.е. перепады температур между водой и стеклом составляли от 7.6⁰С до 81,4⁰С.

Далее [22] на основе полученных формул массоотдачи авторами была предложена инженерная методика расчета теплотехнических характеристик парникового опреснителя – температуры нагрева воды и прозрачной изоляции (стекло) и производительность. Основные допущения, которые были приняты в данной методике это, что имеет место установившийся (стационарный) режим работы опреснителя, а температуры воды и стекла равны их средним значениям. Отмечено, что при большой толщине опресняемой воды тепловой инерционностью уже нельзя пренебрегать. Однако, можно заметить, что как следует из уравнения теплового баланса в стационарном режиме, члены, характеризующие тепловую инерцию (обусловлено теплом содержащемся в воде и элементах конструкции) опреснителя выпадают из уравнения баланса в принципе.

Также, авторами [22] в полученных уравнениях, впервые учитывались теплопотери через дно и прозрачную изоляцию. Авторами проведено сравнение результатов, получаемых на основе предложенных формул расчета температур нагрева воды и стекла с формулами, которые были получены в работе [23], однако анализа результатам сравнения не сделано. На основе этих работ в [24] были определены выражения для КПД опреснителя с железобетонным корпусом в стационарном режиме. По результатам исследований был сделан вывод, что при расстоянии между корпусом и прозрачной изоляцией равным 8см КПД опреснителя может составлять от 0.12 до 0.58 (при ветре). Отмечено, что необходима хорошая теплоизоляция дна и герметичность опреснителя (негерметичность корпуса приводит к уменьшению КПД опреснителя при больших скоростях ветра). Можно отметить, что эти оценки получены в предположении стационарного режима работы опреснителя. Оценки времени выхода опресни

теля на стационарный режим не проводились, т.е. динамика процесса не рассматривалась.

В работе [25] было проведено экспериментальное исследование влияния высоты паровоздушного слоя на КПД опреснителя и проведено их сравнение с расчетными результатами, получаемыми по формулам, приведенным в [24]. Отметим, что как указано в [24] приведенные формулы получены на основе обобщения подходов, развитых в [23], а именно, что в стационарном режиме работы опреснителя часовая производительность по воде G (обозначения по [23]) будет равна

$$G = K'(t_B - t_C)/r, \quad (1.5)$$

где K' - коэффициент массоотдачи, t_B - температура воды, t_C - температура стекла, r - теплота испарения воды. Коэффициент массоотдачи K' определялся в виде

$$K' = 1/(1/\alpha_{\text{исп}} + 1/\alpha_{\text{конд}}), \quad (1.6)$$

где $\alpha_{\text{исп}}$, $\alpha_{\text{конд}}$ - коэффициенты массоотдачи при испарении и конденсации [23]. Эксперименты проводились одновременно на четырех одинаковой конструкции опреснителях, отличающихся только высотой паровоздушного слоя - 8мм, 12мм, 16мм и 20мм. Было получено, что, хотя диапазон изменения высот был относительно небольшим, но данные по производительности отличались существенно.

Так было получено, что дневная производительность опреснителя с $h = 12$ мм на 30% больше, чем с $h = 8$ мм и на 36% больше, чем с $h = 16$ мм и на 53% больше, чем для опреснителя с $h = 20$ мм. Сделан вывод, что оптимальная толщина паровоздушного слоя составляет около 12мм. Анализа полученных результатов не проводилось.

В [26] была предложена система уравнений для описания нестационарного теплового режима работы опреснителя с железобетонным корпусом и ячеистыми структурами для воды. Уравнения были достаточно полные. Основное допущение в работе, которое не снижает общность этого подхода, это пренебрежение термическим сопротивлением прозрачной изоляции. Решения разра-

ботанной системы уравнений не приводится, а из-за её сложности предложено решать её численно.

В работе [27] впервые предложена одномерная нестационарная математическая модель тепломассообмена в солнечном парниковом опреснителе типа «горячий ящик» и предложен метод и программа её численного решения. Предложенный «ступенчатый» способ, заключался в том, что уравнения теплового баланса для элементов и паровоздушной смеси составляются для малого промежутка времени dt . Далее предполагается, что в течение этого времени тепломассообмен между элементами опреснителя проходит при постоянной температуре. В конце этого временного шага из уравнения теплового баланса элементов находят их новые температуры. Т.е. имеем ступенчатое (скачкообразное) изменение температур в конце каждого малого шага по времени. Отметим, что этот способ в принципе похож на классическую конечно-разностную схему численного решения дифференциального уравнения теплопроводности, где, в принципе также происходит ступенчатое изменение температур. Конечно, принципиальное отличие от известного метода в том, что в данном случае предполагается, что в «ступенчатой» модели рассматриваются средние температуры элементов, а в конечных разностях, обычно каждый элемент рассматривается отдельно и определяются температуры в каждом элементарном слое этого элемента. Т.е. по идее должно определяться распределение температуры в слое каждого элемента (вода, стекло, теплоизоляция). Отметим, что предположение об одномерности СО обосновывалось в [27] анализом возможных значений числа Био в таких конструкциях.

На основе предложенного метода авторами [27] была разработана нестационарная программа численного решения задачи. По результатам исследования парниковой СО на основе этой модели было указано на возможное влияние на динамику КПД опреснителя во времени толщины слоя воды, оптических характеристик прозрачной изоляции и скорости ветра.

При разработке нестационарной одномерной математической модели СО были приняты следующие основные допущения [27]:

1. Рассматривается одномерная задача тепло и массообмена.
2. Имеет место аналогия между тепло и массообменными процессами.
3. На малом временном интервале тепловые параметры процесса постоянны и скачкообразно изменяются на выходе из этого интервала.
4. Не учитывается перепад температур в элементах, т.е. определяются и используются их среднемассовые температуры и предполагаются линейность её распределения по толщине, причем, учитывая, что поглощение и излучение в ПО объемное, перепад температур определяются из условия равенства в ПО теплового потока теплопроводностью к конвективному потоку с её наружной поверхности.
5. Коэффициенты конвективной теплоотдачи и массоотдачи определяются по формулам для естественной конвекции в неограниченном объеме.
6. Тепловые потери через дно опреснителя отсутствуют.

Как видно, некоторые допущения, принятые в работе [27], требуют уточнения. Так, в частности, утверждение о равенстве теплового потока теплопроводностью в ПО и теплового потока конвекцией с ПО. Ниже будет показано, что на самом деле имелось в виду допущение, что температура в ПО изменяется линейно и, что абсолютный перепад температур на поверхностях ПО одинаков относительно её средней температуры. По результатам численных исследований солнечного парникового опреснителя в [27] были сформулированы технические требования к конструкции "идеального солнечного парникового опреснителя, ", которые по мнению автора заключаются в следующем:

- высокая прозрачность ПО для солнечного излучения и полная непрозрачность в области собственного излучения (таким условиям практически удовлетворяет обычное "оконное" стекло);
- ◆ максимально высокий коэффициент поглощения поддном солнечного излучения (это основной фактор получения высокого КПД не только опреснителя, но, и, в общем "горячих ящиков");
- ◆ обеспечение хорошей теплоизоляции дна; расстояние между водой и ПО

должно быть минимально, хотя его влияние на КПД незначительно; уменьшение толщины слоя заливаемой воды, она не должна превышать 2-3мм.

Также было указано, что:

- необходимо развития модели для учета таких факторов как теплопотери через дно, влияние пыли, потери паровоздушной смеси из опреснителя. Возможность потерь паровоздушной смеси объяснялась автором повышением давления в опреснителе до 1.2 раза. Эти факторы могут существенно ухудшить полученные выше характеристики опреснителя;
- достаточно серьезны и проблемы уменьшения времени выхода опреснителя на стационарный режим работы;
- КПД парникового опреснителя, как со стеклянным, так и пленочным ПО близки к соответствующим КПД испарения воды в горячем ящике соответственно со стеклянным и пленочным ПО. Учитывая, что "горячий ящик" обязательный элемент всех типов солнечных опреснителей был сделан вывод, что, такие меры совершенствования характеристик опреснителя, как отдельная камера конденсации или многоступенчатый конденсатор, а также предварительный подогрев опресняемой воды путем использования тепла конденсации практически не могут дать существенного эффекта.

Можно отметить, что некоторые выводы, полученные автором не совсем, как показали дальнейшие исследования верны. Так в последующих исследованиях, в том числе и автора [27], было получено, что многоступенчатость процесса (использование теплоты конденсации для испарения воды в следующей ступени позволяет повысить производительность СО, практически до 1.4 раза.

Можно отметить, что в этой работе впервые было показано, что существенное влияние на динамику работы опреснителя и, соответственно, на её производительность и КПД имеет тепловая инерция. Так по результатам расчетных оценок было получено, что время выхода опреснителя на стационарный режим может составить более 2 часов уже при толщине слоя испаряемой воды более 1мм. Из анализа результатов работы следует, что не были рассмотрены

такие важные задачи, как влияние толщины стеклянного прозрачного ограждения на теплопотери пропусканием ПО в тепловой части. Также, в работе не проведен анализ, полученного авторами заметного различия в КПД солнечных опреснителей со стеклянным и пленочным прозрачными ограждениями.

Авторами [27] с целью проверки результатов расчетных исследований скорости испарения в работе [28] было проведено их сравнение с результатами экспериментальных модельных исследований (см. рисунок 1.3а,б). В экспериментах открытая ванна с водой устанавливалась на весы. Эксперименты проводились в неотапливаемом помещении большого объема (цех) для исключения заметных колебаний температуры воздуха и влажности, а также температуры "неба", в данном случае температуры стенок помещения. Вода облучалась световым потоком различной плотности.

Как указано в [28], различие между расчетом и экспериментом составило около 10-15% и результаты признаны удовлетворительным.

Было отмечено, что достаточно высокой оказалась скорость естественного испарения воды в помещении даже при низкой температуре воздуха $t_0 = 12^{\circ}\text{C}$ и её высокой относительной влажности $\varphi = 93.6\%$. Влажность воздуха в помещении определялась аспирационным способом, по показаниям температур "мокрого" и сухого термометров

Вопросы увеличения производительности опреснителя за счет дополнительной камеры конденсации рассматривались также в [29]. Причем по результатам исследований был сделан вывод, противоположный тому, что был получен в [27].

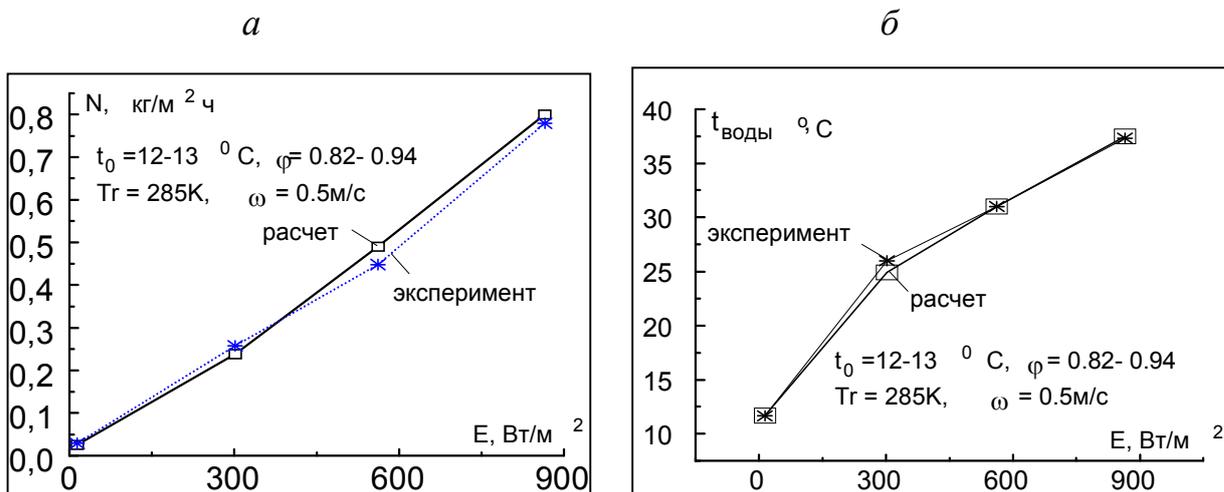


Рисунок 1.3 - *а* - зависимости скорости испарения температуры нагрева воды, *б* в зависимости от плотности падающего потока излучения.

Так в [29] отмечалось, что:

1. Применение дополнительной камеры конденсации достаточно заметно увеличивает скорость испарения воды только на начальном этапе времени работы опреснителя, в целом КПД опреснителя при наличии дополнительной камеры конденсации уменьшается;
2. К проблемам эффективного использования солнечных опреснителей является время их выхода на стационарный по конденсации режим работы, что даже более важно, чем время выхода на высокие КПД, и второе, что возможная толщина пленки конденсата начиная, с которого начинается её стекание в сборник воды также имеет значение для её характеристик.

В целом из анализа выполненных работ можно сделать следующие общие выводы - мгновенное КПД опреснителя со стеклянным ПО не превышает 0.5, а с пленочным ПО около 0.3. Причем, как следует из указанных работ объяснение этого факта в полном объеме не проводилось – не указан фактор определяющий такое снижение КПД СО с пленочным прозрачным ограждением. Ведь, как известно, общепринято, что интенсивность испарения и конденсации зависит от разности температур. А в пленочной ПО разность температур между паровоздушной смесью и температурой ПО, больше, чем в стеклянной ПО, т.к. априори, тепловое сопротивление пленки, вследствие её малой толщины меньше, чем у стеклянной ПО)

В дальнейшем работы по исследованию солнечных опреснителей были направлены на повышение их производительности, в том числе за счет разработки их новых конструкций.

1.3. Конструкции солнечных опреснителей

В общем случае, как было показано выше, можно выделить следующие основные типы конструкций парниковых солнечных опреснителей (см. рисунок 1.4.): горизонтальные - (а), ступенчатые [30] - (б), проточные - (в).

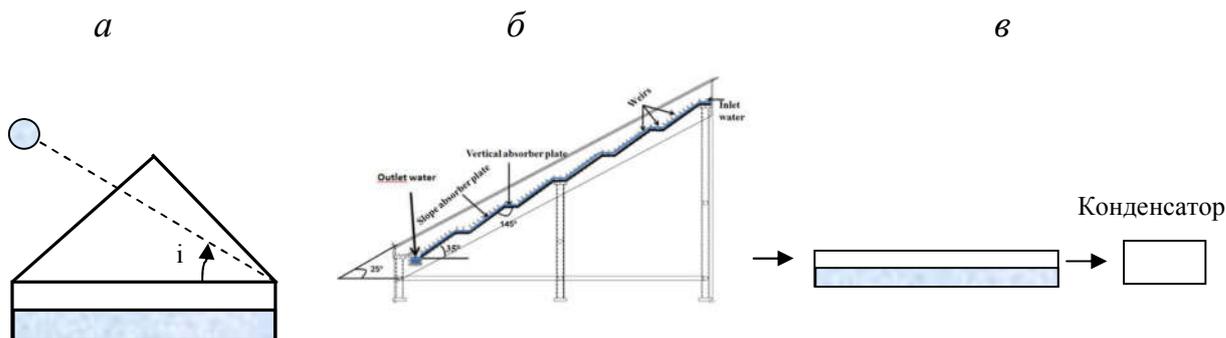


Рисунок 1.4 - Основные типы конструкций солнечных опреснителей: а- горизонтальные, б- наклонные, в- проточные.

Одними из первых конструкций солнечных опреснителей были опреснители горизонтального типа. Их основной недостаток в том, что они имеют относительно малую эффективную площадь $S_{\text{Э}}$, которая равна площади проекции зеркала воды $S_{\text{В}}$ на плоскость перпендикулярную солнечным, или (см. рисунок 1.4). Отметим, что уже для наших широт в летнее время, когда Солнце высоко горизонтальный тип может оказаться достаточно эффективным

$$S_{\text{Э}} = \cos i * S_{\text{В}} , \quad (1.7)$$

где i – угол, между солнечным лучом и нормалью к поверхности ПО.

В общем случае для повышения эффективной площади необходимо уменьшать углы падения i , что реально возможно за счет наклона «плоскости воды» или создания ступенчатых, а в идеале, создания плоского наклонного приемника солнечного излучения - металл, стекло или ткань, по которым тонким слоем стекает вода. Отметим, что обычно вода прозрачна для солнечного излучения и поглощение солнечного излучения происходит в основном поверхностью ванны, которая затем передает тепло испаряемой воде.

Для повышения эффективности горизонтальных СО была предложена её «оптимальная» по мнению авторов конструкция опреснителя (см. рисунок 1.5) [31].

Указано, что одним из способов повышения производительности СО могут явиться дополнительные отражательные элементы, переотражающие солнечное излучение на приемник. В [31] предложено, что опреснитель горизонтального типа должен представлять следующую конструкцию, рисунок 1.5.

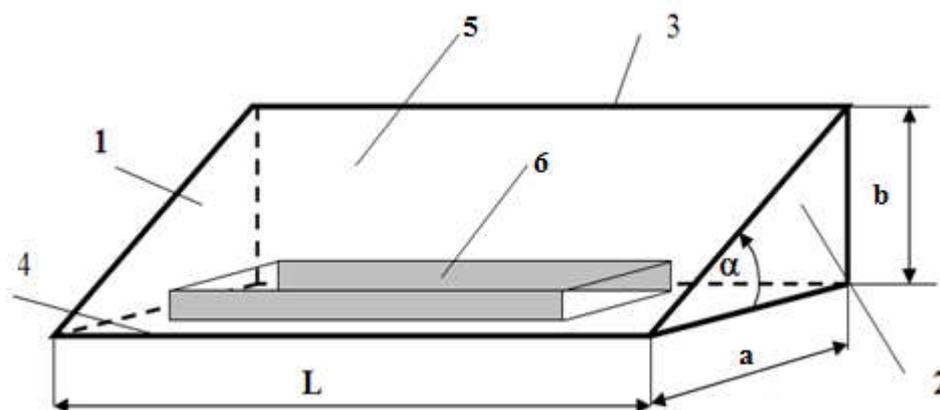


Рисунок 1.5 - Общий вид солнечного опреснителя горизонтально типа с отражающей задней стенкой и её основные элементы: 1-корпус (1-4); 2 - прозрачное ограждение; 6-ванна с опресняемой водой

В [31] были сформулированы следующие основные требования к конструкции опреснителя горизонтального типа в наших широтах:

- угол наклона ПО α должен быть не менее 45° ;
- отношение L/a должно быть не менее 3-4 (длина СО L является свободным параметром);
- боковые и задняя стенки должны работать как конденсаторы пара;
- задняя стенка также должна обеспечивать переотражение на приемник, падающее на неё солнечное излучение;
- донная часть корпуса может представлять отдельную конструкцию.

Эти требования обосновывались следующим: выбор угла наклона $\alpha \geq 45^{\circ}$ необходим для обеспечения в первую очередь хорошего стекания конденсата. Выбор большего отношения длины опреснителя к ширине необходим для

уменьшения затенения приемника боковыми стенками. Необходимость работы боковых стенок как конденсаторов обусловлена тем, что и при хорошей теплоизоляции (это дополнительные затраты) на них все же происходит довольно интенсивная конденсация воды. Т.е. они могут быть не теплоизолированы, а использование задней стенки как отражателя позволит по оценкам [31] подводить к воде дополнительно до 20% солнечной энергии. Также отмечается, что выполнение донной части как отдельной конструкции позволит упростить конструкцию опреснителя, при этом также исключается необходимость в дополнительных дверках для выемки и установки ванны с опресняемой водой. Отметим, что задняя стенка с одной стороны может приводить к увеличению солнечного потока, однако она может явиться и дополнительным источником теплотерь.

По наклонно-ступенчатым опреснителям большие работы были проведены авторами [32], в частности, ими рассматривалась модель опреснителя с двойным остеклением. Было получено, что за счет нагрева соленой воды в зазоре высотой 2мм между двумя листами стекла производительность возрастает во второй половине дня до 0.86 (растет в течение всего дня) и среднее кпд за день может составить до 0.63. Отметим, что полученные авторами экспериментальные данные по таким высоким кпд опреснителя не были проанализированы. Дело в том, что, подогрев воды полезен, но это приводит к увеличению термического сопротивления ПО (два стекла и слой воды). Причем этот фактор может влиять двояко. С одной стороны, к повышению температуры стекла, а с другой стороны, если интенсивность теплоотдачи к воде велика это может привести к уменьшению температуры внутреннего листа стекла, а значит и к увеличению скорости конденсации.

Авторами было получено, что максимальные скорости получения дистиллята растут с 0.07 л/м²ч в 9ч (поступление конденсата начинается через час после запуска установки) до 0.91 (в 12ч) и до 1.08 в 14ч.

В целом отмечается, что производительность данной конструкции опреснителя с двойным остеклением и подогревом воды между слоями в 1.4 - 1.5 раз

превышает производительность обычного опреснителя. Количество дистиллята в день доходит до $7.7 \text{ л/м}^2 \text{ день}$, а с 21⁰⁰ вечера и до утра получают дополнительно еще 0.74 л дистиллята. Также отмечается, что расстояние между поверхностью испарения и конденсации изменялось в экспериментах от 50мм до 246мм, однако, данных о влиянии зазора не приводится.

Можно отметить, что полученные авторами данные по производительности и КПД существенно расходятся с данными, приводимыми другими авторами не только по аналогичным конструкциям, но также и с данными, полученными и для других типов опреснителей.

В [33] было проведено сравнительное исследование, предложенной авторами усовершенствованной конструкции наклонно-ступенчатого опреснителя с добавлением отражающей задней стенки, см. рисунок 1.6.

Было получено, что за счет задней отражающей стенки производительность увеличивается до 21%, однако данные по производительности в целом не приведены.

Другая конструкция наклонно-ступенчатого опреснителя (рисунок 1.4 б, рисунок 1.7) была реализована в [30]. Она отличалась тем, что ступени имели наклонные и горизонтальные участки, причем на каждом участке имелись более мелкие ступени. На основе расчетных исследований было показано, что за счет увеличения числа мелких ступеней (пластин) и при этом возможности обеспечения меньшей толщины слоя воды, производительность увеличивается на 20-21%. При этом также, как и в [32] отмечено, что с момента конденсации до начала слива конденсата может проходить не менее часа.

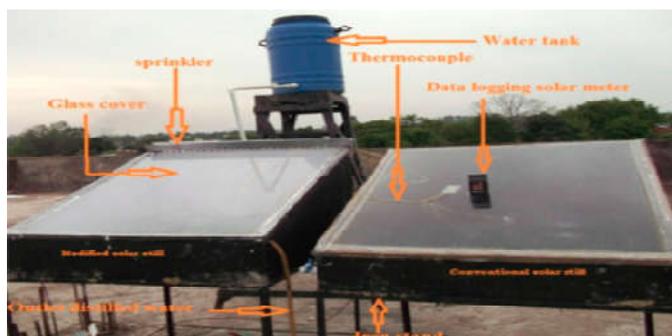


Рисунок 1.6 - Конструкции наклонного опреснителя с гладким приемником (вода медленно скатывается по плоскому приемнику) с площадями испарения 1 м^2 с отражателем (высота 547мм) в верхней части (слева) и без отражателя (справа) [33].

Авторами [30] на основе разработанной ими одномерной модели был проведен также расчетный анализ теплотехнических характеристик такого опреснителя.

Было получено, что производительность опреснителя может составить около $1.6 \text{ кг/м}^2\text{ч}$ при плотности падающего солнечного излучения около 900 Вт/м^2 . Можно отметить, что предложенная модель, или её коэффициенты испарения и конденсации корректировались по результатам экспериментальных исследований до совпадения с ними.

Т.е. фактически модель подстраивалась под экспериментальные данные и она, таким образом, начинала описывать данную конкретную конструкцию опреснителя и очевидно для применения её для других конструкций или параметров опреснителя она возможно потребует новой коррекции.

Можно отметить, что здесь, также, как и в других моделях не учитывался перепад температур между поверхностями прозрачного ограждения, а также не рассматривались такие задачи, как определение влияния толщины и радиационных характеристик прозрачного ограждения на производительность опреснителя.

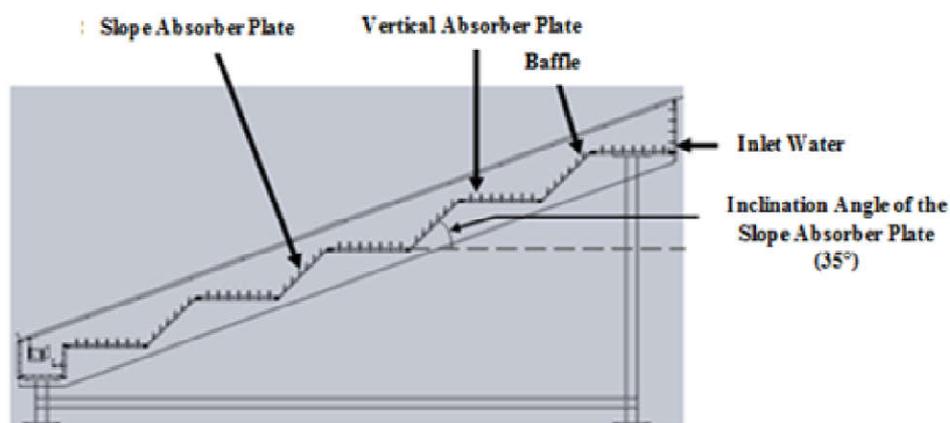


Рисунок 1.7 - Опреснитель наклонно-ступенчатого типа с двойными ступеньками.

Характерная схема проточного опреснителя приведена на рисунок 1.8 [28]. Такие конструкции СО разрабатывались с целью увеличения их производительности. Предлагалось, что осуществление испарения воды в одной камере, а конденсации в другой позволяет увеличить производительность. При этом движение паровоздушной смеси осуществлялось за счет подачи воздуха на входе в СО.

В [34] проведен теоретический анализ теплотехнических характеристик такого проточного СО на основе одномерной распределенной стационарной модели. Предложенная модель отличалась от предыдущих, аналогичных моделей. Так если ранее рассматривалась СО в целом и её средняя по длине температура то здесь СО по длине разбивалось на элементарные участки, в пределах каждого из которых составлялся тепловой баланс и определялись температуры воды, прозрачного ограждения и влажности воздуха. Отметим, что и в этой модели рассматривался стационарный режим работы СО.

Для стационарного случая работы СО было получено, что производительность такого проточного СО уменьшается с увеличением скорости входящего воздуха, однако скорость испарения увеличивается. Также было получено, что максимальная производительность такого СО достигается в марте, а минимальная в июле.

Уменьшение производительности с увеличением скорости входящего воздуха объяснялось большой теплопередачей стеклу и повышением её температуры, что и приводило к уменьшению испарения. Отметим, что эта модель в этой стационарной модели также не рассматривалось влияние на КПД параметров прозрачного ограждения.

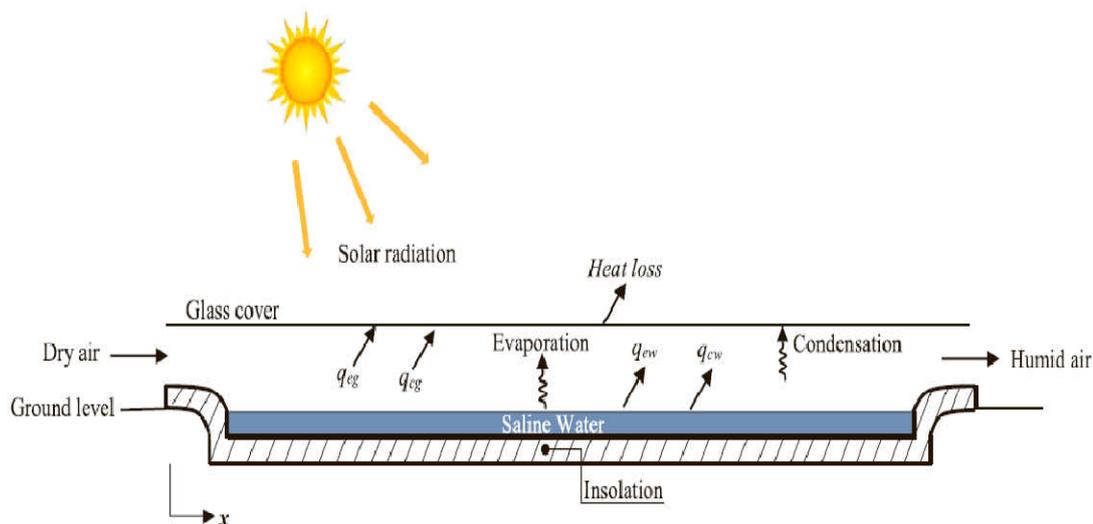


Рисунок 1.8 - Конструкция солнечный проточный опреснитель.

Для увеличения производительности солнечных опреснителей, особенно горизонтального типа были разработаны ряд других конструкций с отдельной камерой испарения и конденсации, среди которых можно отметить многоступенчатые испарители - конденсаторы [35-37], см. рисунок 1.9.

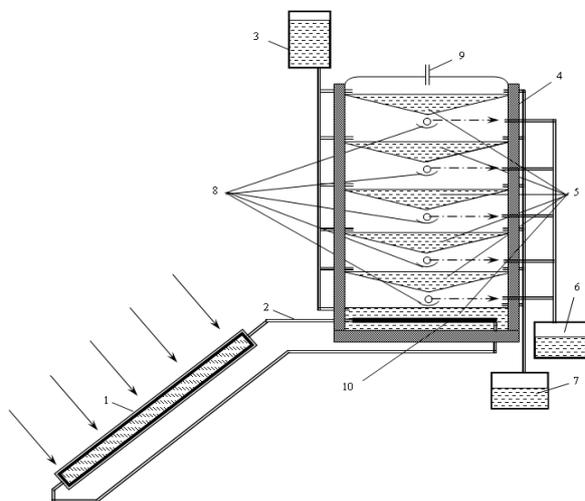


Рисунок 1.9 - Схемы солнечных опреснителей с разделенными камерами испарения и конденсации (в т.ч. многоступенчатые)

Были проведены расчетные и экспериментальные исследования таких многоступенчатых опреснителей. На основе нестационарной многоступенчатой модели было получено, что в целом производительность увеличивается в два раза. Эти результаты были экспериментально подтверждены на

модели такого опреснителя (подогрев воды в основной ванне осуществлялся распределенным электрическим нагревателем. Экспериментально было получено, что производительность многоступенчатого опреснителя на единицу площади нагрева солнечным излучением может повысится почти в два раза. Отметим, что эти данные были получены для хорошо теплоизолированных стенок камеры конденсации. Дальнейшие исследования, показали, что вследствие теплопотерь производительность по сравнению с одноступенчатыми парниковыми опреснителя повышается только в 1.4 раза.

Различия между расчетом и экспериментом объяснялось, тем, что в модели не учитывались теплопотери с боковых поверхностей многоступенчатой камеры конденсации. В целом исследования СО с отдельным коллектором испарения (рисунок 1.9) не проводились.

Как было указано, выше одним из основных элементов СО является прозрачное ограждение (ПО), оптические свойства и ориентация и форма, которой определяют поток солнечного излучения, входящий в ПО. Рассмотрим влияние этих параметров на входящий СО поток солнечного излучения.

1.4. Виды прозрачных ограждений, применяемых в солнечных опреснительных установках

Как известно, одна из главных особенностей конструкции солнечных низкопотенциальных установок (НПУ) это наличие прозрачного ограждения (ПО). Поэтому анализ прозрачных ограждений опреснителей в принципе не имеющих геометрических отличий от других типов НПУ. ПО выполняют следующие основные функции – обеспечение, по возможности большего пропускания в установку солнечного потока, создание парникового эффекта (обеспечение тепловой защиты приемника - уменьшение теплопотерь приемника с окружающим воздухом, в основном конвективных), защита установки от климатических воздействий. Причем, в обычных одноступенчатых парниковых солнечных опреснителях ПО одновременно должно обеспечивать и рассеяние

тепла, выделяемого при конденсации пара на ПО. Отметим, что задача определения входящего через ПО потока является общей, практически для всех типов низкопотенциальных солнечных установок (НПУ). Поэтому будем рассматривать результаты исследований в целом, для НПУ.

Обычно СО и НПУ установлены неподвижно, т.е. угол падения солнечных лучей на прозрачное ограждение в течение дня существенно изменяется. При этом изменяется пропускание и эффективная площадь ПО (проекция на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам, а следовательно, и поток Φ_2 , входящий через ПО).

Вопросы определения потока, входящего через ПО рассматривались в ряде работ [38-43]. В [38] была рассмотрена возможность использования для ПО НПУ формул, полученных В.Б. Вейнбергом для определения потока солнечного излучения, входящего в здания через окна. Отмечалось, что эта задача достаточно сложна, включает большое число параметров и требует более детальных дальнейших исследований.

Наиболее полная постановка задачи определения входящего через ПО потока Φ_2 была проведена в [39]. Так были введены основные коэффициенты, характеризующие входящий через НПУ поток. Были получены приближенные решения задачи для плоских ПО теплицам, как отдельных, так и являющихся элементами двускатных, односкатных, отдельно стоящих или образующих группу, стоящих рядом установок "щедовые". Однако анализа возможных значений этих коэффициентов, характеризующих входение потока, возможности их обобщения не проводились, не рассматривались и объемные ПО.

Из [39] следует, что задаче определения входящего через ПО потока, можно выделить две относительно самостоятельные задачи. Первая, это определение солнечного потока, падающего на ПО Φ_{Π} и вторая, определение части падающего потока, которое входит в теплицу Φ_2 . Одной из первых работ, где рассматривалась задача определения потока, падающего на полуцилиндрическое ПО Φ_{Π} была работа [40]. Была показана возможность аналитического определения коэффициента, характеризующего поток Φ_{Π} на полуцилиндриче-

ское ПО в данный момент времени. Этот коэффициент площади K_S определялся как отношение площади проекции освещаемой части ПО на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам S_{Π} к площади освещаемой части поверхности ПО S_{OC} . Анализ этих результатов показывает, что они не были обобщены в плане того, что S_{Π} и S_{OC} переменны во времени, что не позволяет только по полученным авторами значениям K_S определять поток, падающий на ПО теплицы. Также в работе не рассматривалась задача определения влияния на падающий поток ориентации ПО. Эта задача была рассмотрена в [41], получены аналитические решения для различных ориентаций и наклона ПО. Однако здесь, также как и в предыдущих работах, коэффициент площади K_S определялся, как отношение S_{Π} к S_{OC} , что также не позволяет использовать полученные значения K_S для прямого определения потока Φ_{Π} , падающего на ПО – для этого необходимо, например, знать изменение освещаемой части площади полуцилиндрической ПО в зависимости от положения Солнца и ориентации ПО. Отметим, что коэффициент K_S вводился именно, как обобщенный параметр для определения падающего на ПО потока Φ_{Π} .

Вторая важная составляющая задачи – это определения входящего через ПО, падающего на ПО солнечного потока - или определение пропускания солнечного излучения ПО. Она также, очевидно, зависит от ряда факторов – угла падения лучей на ПО, которые определяют Френелевские потери (отражение лучей от поверхностей ПО и собственно потери потока в материале ПО. Есть еще один фактор как запыленность ПО.

Вопросы подхода к учету запыленности прозрачного ограждения на входящий поток, рассматривались в [42]. Было показано, что этот параметр K_3 можно рассматривать как множитель к коэффициенту пропускания ПО $K_{\Pi P}$. Однако при этом возникает сложность, заключающаяся в том, что при определении K_3 необходимо знать, как было показано в [43] необходимо брать только площадь освещаемой части поверхности ПО.

На основе использования понятия освещаемой части площади поверхности ПО в [44] были предложены приближенные формулы для определения ко-

эфициента пропускания ПО солнечные излучения. Для этого предлагалось использовать среднее значение угла падения i_{CP} солнечных лучей на ПО. Сложность использования этих формул для определения потока солнечного излучения, входящего в ПО здесь также в том, что имеем два неизвестных - площадь освещаемой части ПО S_{OC} и площадь её проекции $S_{П}$ и одно уравнение. Рассмотрим этот вопрос подробнее. Так, для элементарных площадок ПО dS и его проекции $dS_{П}$ в данный момент времени имеем

$$\cos i = dS_{П}/dS \quad (1.1)$$

В целом, для площадей проекции $S_{П}$ и площади освещаемой части ПО S_{OC} также формально можем записать

$$\cos i_s = S_{П}/S_{OC} \quad (1.2)$$

Можно показать, что $\cos i_s$ для плоской ПО равно $\cos i$, а для объемной ПО представляет среднее арифметическое значений $\cos i$ по освещаемой поверхности. Как видно, $\cos i_s$ фактически является коэффициентом площади. Как предложено автором, его можно называть средним $\cos i$ и определять некоторый средний угол i , однако, как видно из (1.2), физического смысла эти дальнейшие преобразования не имеют, т.к. для этого перехода к потоку надо определить отношение $S_{П}/S_{OC}$, или коэффициент площади K_S , а также саму площадь поверхности освещаемой части ПО.

Для плоской ПО задача определения $K_{П}$ проще, нет необходимости усреднения и если не учитывать затенение ПО собственными конструктивными элементами, то можно использовать (1.1) т.к. $i_s = i$.

Вопросы собственно пропускания ПО солнечные излучения в части учета толщины ПО, или её оптической толщины, оптимизации наклона ПО, учета диффузной части солнечного потока, входящего в ПО потока, рассматривались в ряде работ [45-53].

В целом по результатам этих исследований можно сделать следующие выводы:

1. Даны определения основным коэффициентам, характеризующих вхождение солнечного потока через ПО, получены ряд аналитических формул для

определения мгновенного и среднего угла падения i (или $\cos i$) плоских и объемных ПО. Однако также можно отметить, что не проведено их обобщение в плане их практического применения для установок различной площади. Т.е. полученное выражение не позволяет их использовать для определения основного показателя ПО – солнечного потока, входящего через него в установку.

2. В связи с тем, что в настоящее время возможности компьютерной техники существенно велики, представляется целесообразным для определения потока, входящего через ПО, путем создания алгоритмов и программ численного решения задачи.

Такие алгоритмы и программы могут быть использованы не только для опреснителей, но других типов солнечных низкопотенциальных установок - коллектора, сушилки, опреснители, солнечные фотоэлектрические батареи и теплицы.

1.5. Постановка задачи

В настоящее время обеспечение население земли питьевой водой является одним из важнейших проблем мирового масштаба. Острая нехватка питьевой воды ощущается на территориях более 40 стран мира, что составляет около 60% всей поверхности земной суши. Кыргызстан в этом плане обладает достаточно большими ресурсами пресной воды и не входит в категории стран, где имеет место дефицита питьевой воды. Однако, после ликвидации колхозов и совхозов сельские системы питьевого водоснабжения в течение более 20 лет находились в бесхозном положении, что в последующем привело к интенсивному ухудшению их технического состояния и полной остановке функционирования систем питьевого водоснабжения в большинстве сел республики. По этой причине в настоящее время во многих сельских местностях населения не обеспечено чистой питьевой водой на должном уровне т.е. 40% населения Республики использует воду для питья из арыков, рек, каналов, родников, а также пользуется привозной водой. В частности, в Кыргызстане имеются минерализованные воды, которые применяются в лечении различных заболеваний, при этом часто возникает задачи получения концентрированных рассолов. Один из

путей её решения это опреснение соленых вод различными методами – дистилляционный, осмос, вымораживание.

Дистилляционные методы энергоемки так расход энергии на выпаривание 1 л воды составляет около 0.7кВтч, в связи с этим перспективными представляются дистилляционные установки с использованием солнечной энергии, или парниковые солнечные опреснители (СО).

Исследования в области дистилляционных солнечных опреснителей ведутся уже около 100 лет. Обзор состояния этого вопроса и возможные перспективы улучшения их характеристики был наиболее полно рассмотрен в работах В.А. Баума. В частности, было отмечено, что имеет место существенное различие, как между расчетными, так и экспериментальными результатами, иногда до 2-3 раз. Это обусловлено в первую очередь тем, что солнечное излучение имеет относительно малую энергетическую плотность, которая сравнима с интенсивностями тепловых процессов в окружающей среде.

Вследствие этого теплотехнические характеристики солнечных опреснителей зависят от многих внутренних (геометрические и теплофизические параметров элементов), а также внешних факторов (температура неба и Земли, плотность падающего солнечного излучения и излучение окружающих зданий и сооружений). Т.е. в теплотехническом отношении солнечные низкотемпературные установки, в т.ч. и солнечные опреснители представляют сложные системы.

Вследствие этого первые расчетные модели СО, существенно упрощенные показывали существенное различие результатов расчета с эксперимента. Как показали дальнейшие исследования это обусловлено в первую очередь, существенным влиянием тепловой инерции на их работу, в частности на процессы испарения воды и частью на процессы конденсации.

Из проведенного обзора следует, что для создания адекватных расчетных моделей, кроме учета тепловой инерции необходимо более точно описывать реальные механизмы испарения и конденсации. Такие зависимости могут быть получены путем обработки результатов экспериментальных исследований.

Можно отметить, что вследствие большого числа факторов большое значение имеют модельные эксперименты. Т.е. развитие расчетных методов исследования шло по пути совершенствования их путем сочетания с экспериментально полученными зависимостями на натуре, или физических моделях.

Большое развитие нестационарные одномерные модели испарения получили при разработке солнечных сушильных установках, где процессы испарения с СО, особенно для периода постоянной скорости сушки. При этом, так как они разрабатывались для сушилок, то недостаточно были рассмотрены особенности СО – конденсация, отличия в геометрических параметрах, влияния на процессы испарения и конденсацию характеристик прозрачного ограждения и теплоизоляции дна.

По конструктивному исполнению можно выделить три типа солнечных парниковых опреснителей – горизонтальные, наклонные и проточные. Однако, в каждом из них до сих пор имеются свои теплотехнические и экономические проблемы. В конечном счете, решение этих задач и дальнейшие исследования в этой области направлены на обеспечение экономической конкурентоспособности солнечных установок и, в частности, солнечных опреснителей. Отметим, что как известно имеются две составляющие этой задачи – повышение теплотехнической эффективности (повышение КПД и производительности) и снижение стоимости солнечных установок

В настоящее время все большее число исследователей приходят к мнению, что наиболее перспективной конструкцией солнечного опреснителями являются опреснители горизонтального типа односкатной конструкции. Поверхностями конденсации в них являются не только прозрачное ограждение, но и задняя стенка ската, причем задняя стенка должна была выполнять и роль дополнительного отражателя. Проведены модельные расчетные исследования этого типа опреснителя, идут её экспериментальные исследования. Так, в работе [26] было получено, что за счет вклада, отраженного от задней стенки потока, было получено увеличение производительности на 21%.

В конструкциях солнечных опреснителях, начиная с самых ранних (мор-

ской опреснитель М. Телкес - поплавковый пластмассовый опреснитель) можно выделить следующие основные элементы – прозрачное ограждение, теплоизолированный корпус и ванну с опресняемой водой. Очевидно, что указанные элементы определяют теплотехнические и экономические характеристики СО. К ним одновременно предъявляются высокие требования по долговечности и одновременно по низкой стоимости, что представляет существенные проблемы.

Таким образом, из проведенного анализа литературы следует, актуальность задач работы, направленных на исследование влияния параметров основных элементов солнечного парникового опреснителя горизонтального типа на её теплотехнические характеристики и разработку на этой основе разработки новой конструкции опреснителя индивидуального и коллективного назначения для нашего региона.

В связи с указанными целями в работе были поставлены следующие основные задачи:

- разработка модели пропускания солнечного излучения прозрачными ограждениями опреснителей и исследование характеристик пропускания прозрачных ограждений;
- развитие нестационарной тепло - и массообменной модели солнечного парникового опреснителя и влияния её параметров на производительность и КПД;
- разработка малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя и экспериментальное исследование её теплотехнических характеристик;
- сравнительная оценка технико-экономических характеристик солнечного опреснителя.

ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИКО – ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЕЙ

Как следует из проведенного обзора состояния работ по солнечным опреснителям остаются актуальными задачи определения зависимостей между параметрами и факторами окружающей среды и теплотехническими характеристиками. Такие зависимости в конечном счете являются основой для создания эффективных солнечных опреснителей.

Получение таких зависимостей только за счет экспериментальных исследований сложно, вследствие большого числа параметров задачи. В связи с этим важным является развитие расчетных методов определения указанных зависимостей и их сочетания с экспериментальными исследованиями.

В данной главе рассматриваются расчетные методы определения потока солнечного излучения, входящего через прозрачные ограждения, а также рассмотрены вопросы развития нестационарных тепломассобменных моделей солнечного опреснителя и оценка на этой основе влияния параметров прозрачного ограждения на теплотехнические характеристики солнечного парникового опреснителя.

2.1. Исследование оптико – энергетических характеристик прозрачных ограждений солнечных опреснителей

2.1.1. Физическая модель потока солнечного излучения, падающего и проходящего через прозрачные ограждения

Как известно, одна из особенностей солнечных низкопотенциальных установок (НПУ) это наличие прозрачного ограждения. Оно выполняет следующие основные функции. Первая, это обеспечение тепловой защиты, т.е. создание парникового эффекта - обеспечение высокого пропускания солнечного излучения и минимального пропускания собственного излучения (собственное

излучение происходит в области температур приемника, т.е. если основная часть солнечного излучения находится в области длин волн до 3 мкм то доля собственного излучения находится в области длин волн более 6 мкм), а также уменьшение конвективных теплопотерь (солнечные водонагревательные коллектора, солнечные сушилки). Вторая главная функция ПО, это защита приемников преобразователей солнечного излучения от климатических воздействий. Можно отметить, что в солнечных опреснителях прозрачное ограждение должно обеспечивать не только тепловую защиту, но также одновременно должно обеспечивать и рассеяние в окружающее пространство тепла, выделяемого при конденсации пара на прозрачном ограждении.

В связи с этим прозрачное ограждение НПУ имеет важное значение для обеспечения их эффективности.

Одной из важных задач в ПО это определение потоков солнечного излучения, входящих через ПО. В ПО потери солнечного излучения происходят за счет френелевских отражений на лицевой и тыльных поверхностях и поглощения излучения в материале ПО, при этом также очевидно, что большое значение имеют и потери солнечного излучения, обусловленные загрязнением ПО.

Т.к. обычно НПУ установлены неподвижно то угол падения солнечных лучей на неподвижное ПО в течение дня существенно изменяется.

Т.е. в течение дня изменяется как пропускание солнечных лучей ПО, так и эффективная площадь ПО – изменяется её проекция на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам.

Физическая модель ПО, включает две части, первая геометрическая, которая заключается в определении потока солнечного излучения, падающего на ПО и вторая часть, определяющая прохождение потока через ПО включает элементы геометрической оптики и фотометрии.

Пропускание потока солнечного излучения прозрачным ограждением зависит в общем случае от её геометрии, ориентации, её оптических свойств и толщины, а также, очевидно от угла падения солнечных лучей, т.е. поток сол-

нечного излучения, входящий через ПО будет величиной переменной в течение дня.

Характерные геометрии ПО, которые в настоящее время широко используются в солнечных низкопотенциальных установках приведены на рисунке 2.1.

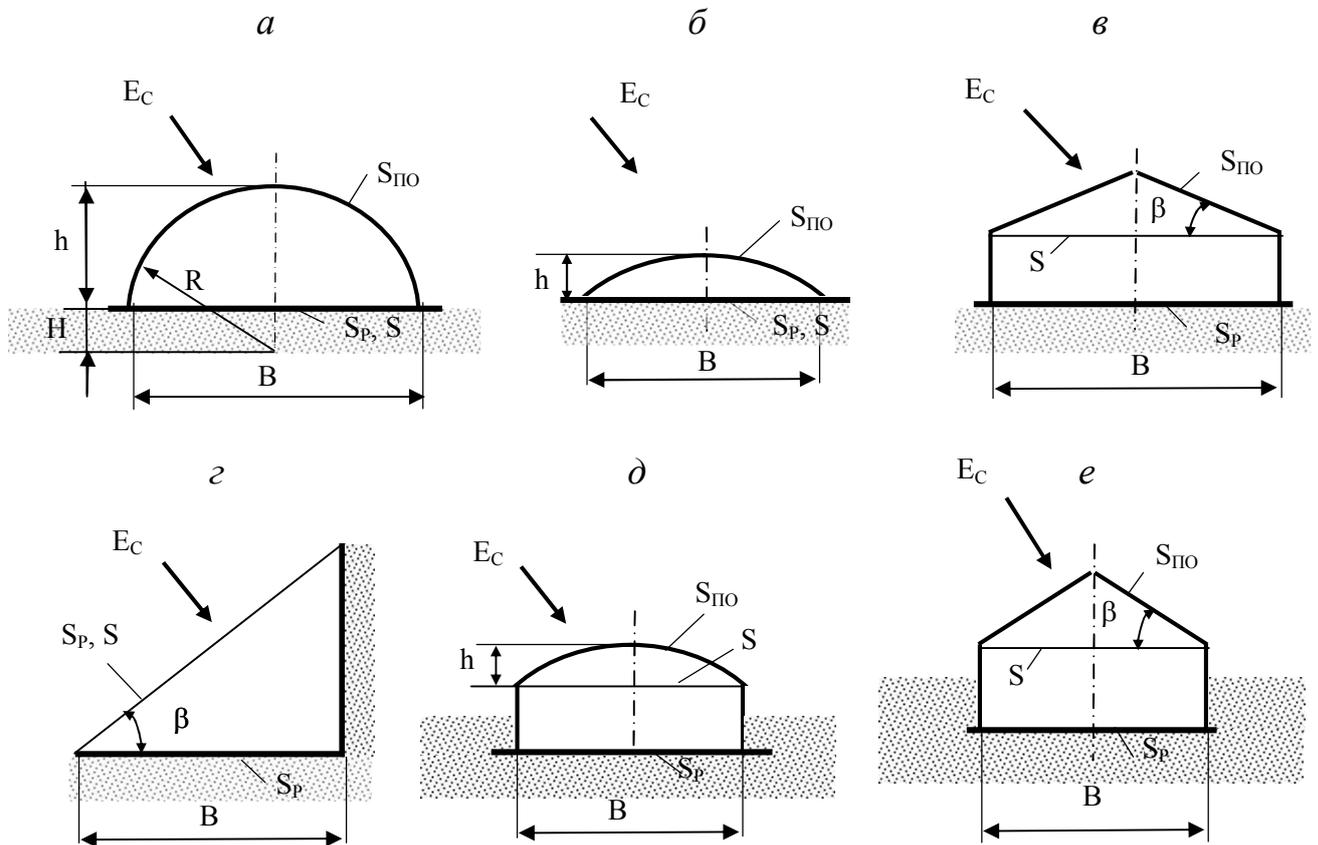


Рисунок 2.1 - Характерные сечения солнечных установок и геометрии прозрачных ограждений (ПО): *a* – полуцилиндрическая (арочная), *б* – сегментная, *в* – двускатная с прозрачными боковыми стенками, *г* – с плоской наклонной ПО и с теплоизолированной задней стенкой, *д, е* - заглубленные.

Учитывая большое разнообразие геометрий прозрачных ограждений и ориентаций солнечных установок введем некоторые определения.

Площадь прозрачного ограждения - $S_{\text{ПО}}$

Площадь плоскости, замыкающей прозрачное ограждение - S .

Рабочая площадь солнечной установки – $S_{\text{р}}$

Как видно из рисунка 2.1 для схем «а – в» и «д, е» замыкающая ПО площадь S равна рабочей площади S_p , а для схемы "г" она равна площади прозрачного ограждения $S_{\text{ПО}}$ (солнечное излучение, падающие на заднюю стенку также может быть использовано).

Еще одной важной характеристикой ПО является площадь проекции освещаемой части ПО на плоскость, перпендикулярную солнечным лучам (см. рисунок 2.2.) - $S_{\text{П}}$. Рассмотрим параметры, которые характеризуют солнечный поток, входящий в теплицу. Как известно, в качестве ПО в солнечных установках используются стеклянные или пленочные прозрачные ограждения. Номенклатура пленок, выпускаемых промышленностью достаточно широка, от обычных полиэтиленовых, до стабилизированных, люминофорных и трехслойных с воздушными пузырями [54].

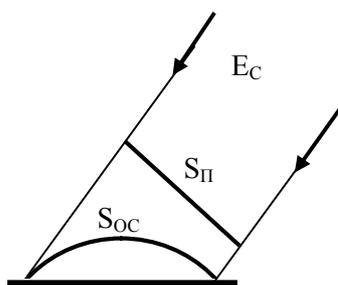


Рисунок 2.2 - Схема к определению площади проекции освещаемой части прозрачного ограждения.

Рассмотрим пропускание солнечного потока прозрачными ограждениями солнечных установок. Отметим, что схема «г» без учета влияния боковых сторон, полностью подходит для изучения характеристик пропускания солнечного излучения прозрачным ограждением плоских коллекторов и солнечных фотоэлектрических батарей. Рассмотрим балансовые соотношения между падающими $\Phi_{\text{П}}$ и входящими Φ_2 потоками.

Поток прямого солнечного излучения $\Phi_{\text{П}}$, падающий на освещаемую часть площади поверхности ПО $S_{\text{ПО}}$, очевидно равен

$$\Phi_{\text{П}} = E_C * S_{\text{П}}, \quad (2.1)$$

где E_C – плотность прямого солнечного излучения, S_{Π} – площадь проекции освещаемой части площади ПО на плоскость перпендикулярную солнечным лучам. Формально, входящий в солнечную установку через ПО поток Φ_2 равен

$$\Phi_2 = \Phi_{\Pi} * K_T, \quad (2.2)$$

где K_T коэффициент пропускания ПО, равный

$$K_T = \Phi_2 / \Phi_{\Pi} \quad (2.3)$$

а коэффициент площади ПО Ks^0 определяется в настоящее время в виде

$$Ks^0 = S_{\Pi} / S_{\text{ПО}}^0, \quad (2.4)$$

где $S_{\text{ПО}}^0$ (или S_{OC}) площадь освещаемой прямыми солнечными лучами части ПО, или выражение для Φ_2 можно записать в виде

$$\Phi_2 = E_C * S_{\text{ПО}}^0 * Ks^0 * K_T \quad (2.5)$$

Из (2.5) видно, что для определения потока Φ_2 недостаточно знать только коэффициенты площади Ks^0 и пропускания K_T , необходимо знать и площадь освещаемой части ПО - $S_{\text{ПО}}^0$, которая, вследствие движения Солнца переменна в течение дня. В связи с этим представляется целесообразным определять коэффициент площади относительно некоторой постоянной площади, самостоятельной или связанной с общей площадью ПО, например, в виде (см. рисунок 2.1)

$$Ks = S_{\Pi} / S_P \quad (2.6)$$

при этом выражение (2.5) запишется в виде

$$\Phi_2 = E_C * S_P * Ks * K_T \quad (2.7)$$

Как видно, здесь коэффициент площади действительно является обобщенным параметром, так как зная S_P (постоянна) мы всегда можем определить поток Φ_2 , входящий через ПО в солнечную установку.

Распишем выражение для коэффициента площади Ks и общего коэффициента пропускания ПО K_T для общего случая, когда ПО является объемным. Рассмотрим поток солнечного излучения, входящий в солнечную установку через элементарную площадку dS_{OC} освещаемой части ПО.

Рассмотрим для этого ход лучей через ПО. Схема хода солнечных лучей через ПО для общего случая пространственного хода лучей приведен на рисунке 2.3а, а для плоского случая на рисунке 2.3б.

Из рисунка 2.3 б видно, что солнечный луч E_C , прошедший через лицевую поверхность ПО E_1 равен

$$E_1 = (1-\rho_l) * E_C, \quad (2.8)$$

где ρ - коэффициент зеркального отражения лицевой поверхности ПО.

Для случая естественного неполяризованного излучения коэффициент отражения ρ_1 определяется по формуле Френеля [53]

$$\rho_1 = \frac{1}{2} * \frac{\sin^2(i_1 - \gamma_1)}{\sin^2(i_1 + \gamma_1)} \left[1 + \frac{\cos^2(i_1 + \gamma_1)}{\cos^2(i_1 - \gamma_1)} \right], \quad (2.9)$$

где i_1, γ_1 – угол падения и преломления солнечного луча на лицевой поверхности ПО.

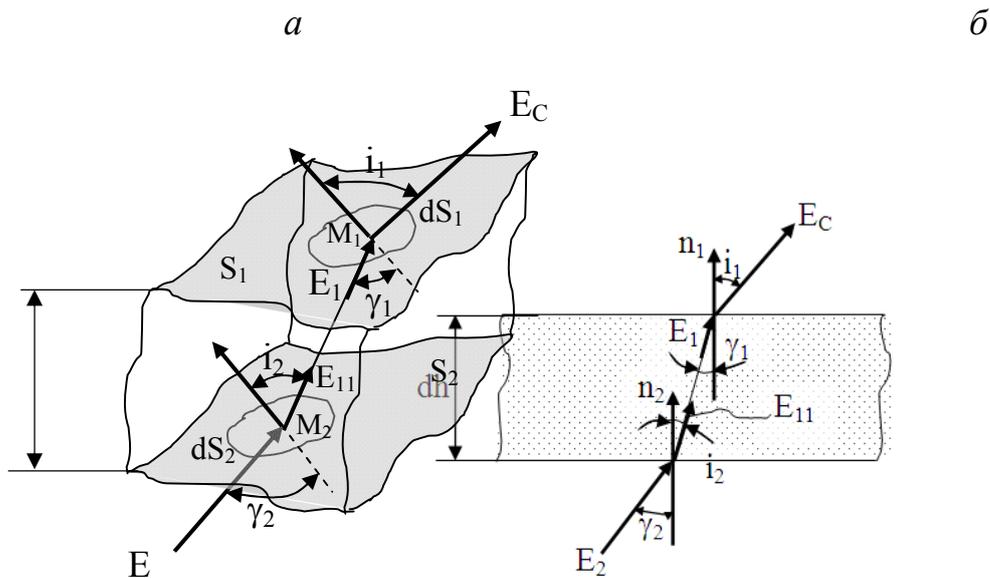


Рисунок 2.3 - Схема обратного хода солнечных лучей в ПО, пространственная (а) и плоская (б) для ПО толщиной dh.

Для определения направления вектора преломленного луча E_1 (или составляющих его единичного вектора e_1 ($e_1 = E_1/|E_1|$, $|E_1|$ - модуль вектора E_1) и угла преломления γ_1 [55,56] необходимо знать направление вектора нормали n_1 и единичного вектора солнечного луча e_C ($e_C = E_C/|E_C|$, $|E_C|$ - модуль вектора E_C)

Составляющие e_1 определяются из векторного уравнения закона преломления, например, в виде, приведенном в [57]. В [57] векторное уравнение закона преломления записано в виде, определяющем направление преломленного луча e_1 , независимо от направления нормали в точке падения, или

$$e_1 = e_C * (n_a/n_b) + n_1 * \Gamma, \quad (2.10)$$

где e_1 направление вектора e_C после преломления в точке M_1 , n_1 – нормаль в точке M_1 , n_a , n_b – показатели преломления первой среды – «а» (в данном случае это воздух) и второй среды (материала ПО) – «b». В (2.10) обозначено

$$\Gamma = \text{sign}(e_C * n_1) * \{[(1 - (n_a/n_b)^2 * (1 - (e_C * n_1)^2)]^{0.5} - \text{sign}(e_C * n_1) * (n_a/n_b) * (e_C * n_1)\} \quad (2.11)$$

где $e_C * n_1$ – скалярное произведение векторов e_C и n_1 , или косинус угла между этими векторами, т.е. угол падения i_1

$$i_1 = \arccos(e_C * n_1) \quad (2.12)$$

Угол преломления γ_1 можно найти либо из скалярного произведения вектора нормали n_1 и преломленного луча e_1 , либо из закона преломления в виде закона синусов

$$n_a * \sin i_1 = n_b * \sin \gamma_1 \quad (2.13)$$

где, n_a – показатель преломления первой среды, в данном случае воздух и n_b – показатель преломления второй среды, или материала ПО.

Величина вектора $E_{1.1}$, прошедшего через слой оптически прозрачного материала определяется из закона Бугера [56,58], или

$$E_{1.1} = E_1 * \exp(-k_\lambda * l) \quad (2.14)$$

где k_λ - коэффициент поглощения излучения интегральный или спектральный (поглощение, как известно может быть различным для различных длин волн), l – длина пути луча в прозрачном ограждении.

Зная направление $E_{1.1}$ ($e_{1.1} = e_1$) и нормали n_2 (для этого должно быть известно уравнение этой поверхности) определяем направление луча E_2 или единичный вектор e_2

$$e_2 = e_{1.1} * (n_a/n_b) + n_2 * \Gamma \quad (2.15)$$

где $e_{1.1}$ – единичный вектор $E_{1.1}$, n_a, n_b – показатели преломления первой среды – «а» (в данном случае ПО) и воздуха – «b» соответственно

$$\Gamma = \text{sign}(e_{1.1} * n_2) * \{ [(1 - (n_a/n_b)^2 * (1 - (e_{1.1} * n_2)^2))^{0.5} - \text{sign}(e_{1.1} * n_2) * (n_a/n_b) * (e_{1.1} * n_2)] \} \quad (2.16)$$

где $e_{1.1} * n_2$ – скалярное произведение векторов $e_{1.1}$ и n_2 , или косинус угла между этими векторами. Т.е. в общем случае, когда i_2 может быть не равно γ_1 (криволинейные лицевая и тыльная поверхности ПО) мы можем определить i_2 по выражению

$$i_2 = \arccos(e_{1.1} * n_2) \quad (2.17)$$

Отметим, что для криволинейных ПО для определения n_2 вначале определяется точку пересечения луча e_1 ($e_{1.1} = e_1$) с тыльной поверхностью ПО

Угол преломления γ_2 также, как указано выше можно найти либо из скалярного произведения векторов n_2 и e_2 , либо из закона преломления в виде закона синусов

$$n_a \sin i_2 = n_b \sin \gamma_2 \quad (2.18)$$

где, как и выше n_a – показатель преломления первой среды, в данном случае ПО и n_b – показатель преломления второй среды, или воздуха.

Далее, определяем коэффициент отражения ρ_2 тыльной поверхности ПО по формуле, аналогичной (2.9), или

$$\rho_2 = \frac{1}{2} * \frac{\sin^2(i_2 - \gamma_2)}{\sin^2(i_2 + \gamma_2)} \left[1 + \frac{\cos^2(i_2 + \gamma_2)}{\cos^2(i_2 - \gamma_2)} \right], \quad (2.19)$$

где i_2, γ_2 – соответственно, углы падения и преломления луча на тыльной поверхности, причем, для плоской ПО, как видно из рис.2.3б $i_2 = \gamma_1$ и E_2 равно

$$E_2 = (1 - \rho_2) * E_{1.1} \quad (2.20)$$

В данном случае вторые отражения не учитываем, т.к. эта добавка достаточно мала порядка 1.5%. Таким образом, локальный коэффициент пропускания данной элементарной площадки лицевой поверхности ПО равен

$$k_{\text{ПО}} = E_2/E_C = (1 - \rho_2) * (1 - \rho_1) * \exp(-k_\lambda * l) \quad (2.21)$$

Обычно, для пленочных и в ряде случаев для стеклянных ПО имеющих малую толщину относительно радиуса кривизны ПО можно считать, что $\rho_1 = \rho_2$.

Рассмотрим на основе рассмотренных элементов модели общие выражения для потоков солнечного излучения, падающих на прозрачное ограждение низкопотенциальных солнечных установок и проходящих через него.

2.1.2. Алгоритм расчета потока солнечного излучения, падающего и проходящего через прозрачные ограждения

Рассмотрим вначале потоки, проходящие через элементарные площадки ПО. При этом, как обычно предполагается в фотометрии будем считать, что и в общем случае и для объемной конфигурации ПО выполняется условие - в пределах элементарной площадки поверхности ПО вектор нормали и плотность падающего излучения есть величины постоянные [56]. Из положений фотометрии [56], также следует, что поток излучения $d\Phi$, падающий на элементарную площадку поверхности ПО dS_{OC} будет равен

$$d\Phi = E_C * (c * n) * dS_{OC} \quad (2.22)$$

В предположении, что нормали элементарных площадок лицевой и тыльной поверхности ПО, которые соответствуют точкам входа и выхода луча имеют почти одинаковое направление, получаем, что поток солнечного излучения проходящий через площадку dS_{OC} будет равен

$$d\Phi_2 = E_2 * (c_2 * n_2) * dS_2 = k_{ПО} * E_C * (c * n) * dS_{OC} \quad (2.23)$$

А поток, проходящий через освещаемую часть поверхности ПО в некоторый момент времени τ будет равен

$$\Phi_2 = \iint_{S_{OC}} k_{ПО} * E_C * (c * n) * dS_{OC} \quad (2.24)$$

Входящие в интеграл косинус угла падения $\cos i$, или скалярное произведение $(c * n)$, а также $k_{ПО}$ зависят от геометрии ПО и угла падения на него солнечных лучей переменных в течение дня. В тоже время имеется возможность

обобщения задачи (они не зависят от плотности солнечного излучения), т.е. можно определить их некоторые средние значения для каждого момента времени. Такие задачи рассматривались в ряде работ, например в [40] предлагалось использовать среднее значение косинуса угла падения солнечных лучей, или $\cos i_{\text{CP}} = S_{\text{П}}/S_{\text{OC}}$. Запишем для этого интеграл (2.24) в виде суммы, или

$$\Phi_2 = \sum \sum k_{\text{ПО}} * E_{\text{C}} * dS_{\text{П}} \quad (2.25)$$

При этом всегда поток $\Phi_{\text{П}}$, падающий на освещаемую часть ПО равен

$$\Phi_{\text{П}} = \sum \sum E_{\text{C}} * dS_{\text{П}} \quad (2.26)$$

Формально можем ввести в задачу понятие интегрального параметра пропускания ПО K_{T} в момент времени τ как

$$K_{\text{T}} = \Phi_2 / \Phi_{\text{П}} \quad (2.27)$$

Выражение (2.27) с учетом (2.25) и (2.26) можно записать в виде

$$K_{\text{T}} = \Phi_2 / \Phi_{\text{П}} = \sum \sum k_{\text{ПО}} * E_{\text{C}} * dS_{\text{П}} / \sum \sum E_{\text{C}} * dS_{\text{П}} \quad (2.28)$$

Как видно, в (2.28) числитель и знаменатель сокращаются на E_{C} и если считать, что одинаково и количество площадок N , то (2.28) запишется в виде

$$K_{\text{T}} = (\sum k_{\text{ПО}}) / N \quad (2.29)$$

И так мы определили, что интегральный параметр пропускания освещаемой части ПО равен среднему арифметическому из суммы её коэффициентов пропускания элементарных участков $k_{\text{ПО}}$ деленному на число элементарных участков N .

Также видно, что среднее значение K_{T} , как и среднее $\cos i_{\text{S}}$ или коэффициент площади $K_{\text{П}}$ позволяют определять их независимо от значений E_{C} и характера её изменения, которое даже для ясной погоды носит достаточно сложный характер. С учетом указанного входящий через ПО поток Φ_2 будет равен

$$\Phi_2 = K_{\text{T}} * \Phi_{\text{П}} = K_{\text{T}} * E_{\text{C}} * S_{\text{П}} \quad (2.30)$$

Учитывая, что среднее значение $\cos i_{\text{S}}$ или коэффициента площади $K_{\text{П}}$ физически является отношением площади проекции $S_{\text{П}}$ освещаемой части ПО S_{OC} , или

$$K_{\text{S}}' = \cos i_{\text{S}} = S_{\text{П}} / S_{\text{OC}} \quad (2.31)$$

то выражение (2.30) можно переписать в виде

$$\Phi_2 = K_T * K_S' * E_C * S_{OC} \quad (2.32)$$

Из (2.30) или (2.31) видно, что если для плоской ПО этим выражениям в принципе достаточно для определения солнечного потока, входящего через плоское ПО (для плоской ПО S_{OC} постоянно и всегда равно площади ПО – $S_{ПО}$) то для объемных конфигураций ПО необходимы дополнительные соотношения.

Например, если обобщать значения коэффициента потока не в виде $\cos i_S$, а в виде другого параметра $K_{П2}$

$$K_{П2} = S_{П}/S \quad (2.33)$$

здесь, как и выше, $S_{П}$ - нормальная к солнечным лучам площадь проекции освещаемой части ПО, а S – площадь плоскости, замыкающей ПО (см. рисунок 2.1).

Так как $K_{П2}$ это геометрический параметр, то также, как и K_S' он может определяться заранее.

Подставляя (2.33) в (2.30) окончательно получаем выражение для определения солнечного потока, входящего через прозрачное ограждение

$$\Phi_2 = K_T * \Phi_{П} = E_C * K_T * K_{П2} * S \quad (2.34)$$

Как видно, для определения входящего солнечного потока необходимо знать 4 величины, из которых для конкретной ПО (должны быть известны её геометрические параметры, см. рисунок 2.1) и табулированные для этой ПО значения K_T , $K_{П2}$, а также E_C .

Эти зависимости для некоторых случаев и геометрий ПО (плоская, полусферическая) могут быть доведены до аналитического вида, однако более целесообразный путь учитывая возможности компьютерной техники — это разработка алгоритмы и программ расчета.

Рассмотрим теперь алгоритмы расчета коэффициентов площади и пропускания K_T . Определения коэффициентов, входящих в выражение (2.34) даны выше. Из этих выражений следует, что для определения относительного потока солнечного излучения, входящего в ПО - K_T , K_S' и $K_{П2}$ достаточно в первом приближении рассмотреть только прямые солнечные осевые солнечные лучи.

Задача существенно усложняется при расчете вхождения в ПО диффузной части солнечной радиации.

В случае диффузной радиации на каждую точку поверхности ПО, в отличие от прямого солнечного излучения, падает пучок лучей, включающий рассеянное на облаках и отраженное от окружающих тел солнечное излучение, составляющий в общем случае пучок с углом до $\pi/2$.

При этом в двукратный интеграл по поверхности ПО добавляется еще один интеграл по конусу пучка.

Однако, как показывают исследования [38-53] можно считать, что диффузная составляющая солнечного излучения слабо зависит от положения Солнца над горизонтом, т.е. мало изменяется в течение дня, что означает, что её также можно достаточно вычислять только один раз.

Также известно, что в ясные дни диффузная составляющая мала по сравнению с прямой солнечной радиацией. Отметим, что в облачные дни доля диффузной составляющей может стать основной, но т.к. в этих случаях суммарная плотность солнечной радиации обычно мала и не превышает 300Вт/м^2 , то в общем такие случаи можно не рассматривать.

В связи с этим далее будем определять коэффициенты потока только для прямой составляющей солнечного излучения.

При этом учитывая малость углового радиуса Солнца φ_0 , можно рассматривать только осевой солнечный луч. Блок-схема алгоритма определения потока солнечного излучения, входящего в ПО приведена на рисунке 2.4.

Как видно, основные этапы алгоритмизации — задачи- это определение направления солнечного луча во времени и задание его в системе координат (СК) солнечной установки [57].

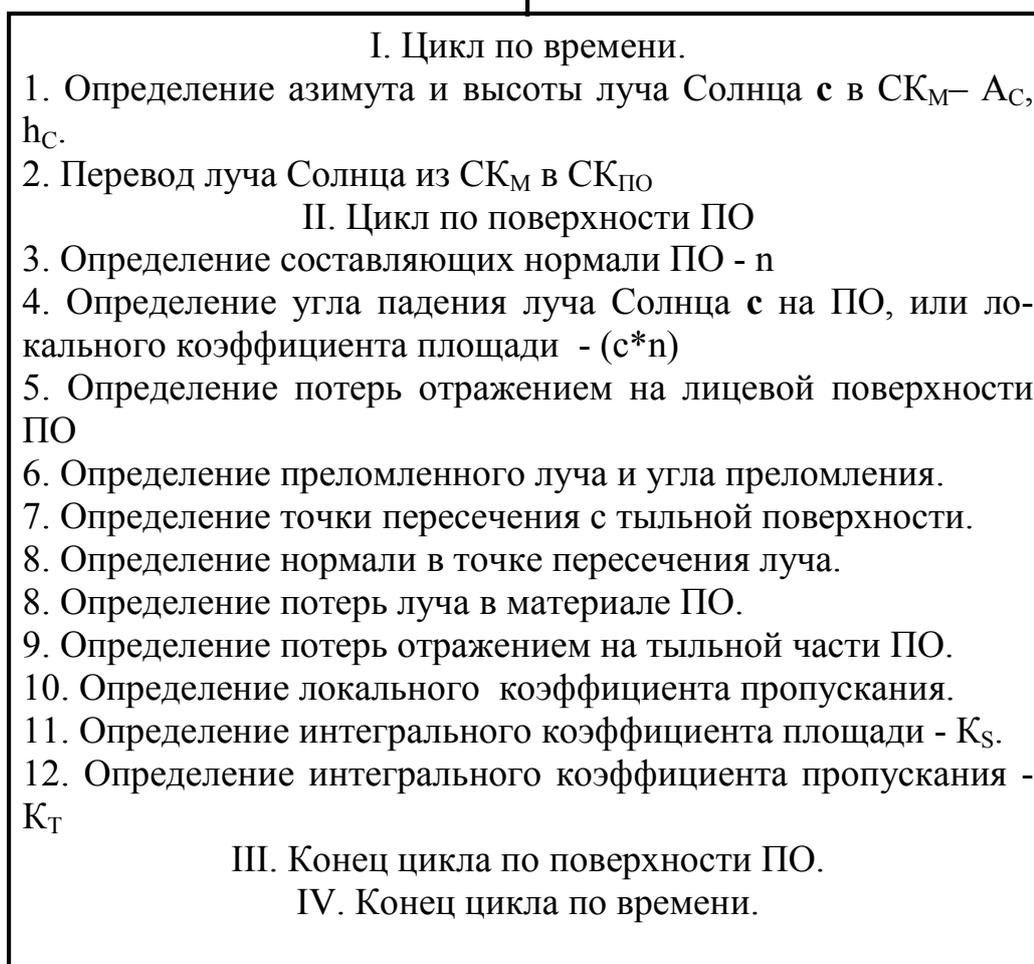
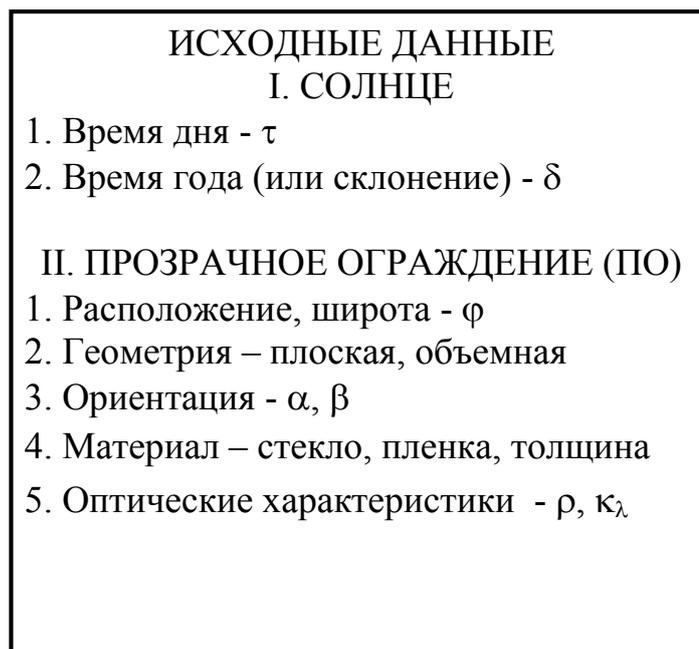


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритма расчета коэффициентов потока.

Как видно, в алгоритме используются в основном соотношения из геометрической оптики, фотометрии и аналитической геометрии, так, например, блоки 5-10, а также 11 и 12 определяются по выражениям, приведенным выше.

Рассмотрим выражения для определения блоков 1-4. Согласно [57] вводим в задаче две основные системы координат (см. рисунок 2.5*а, б*), местную СК_М (OX_M – на Юг, OY_M – на Восток, OZ_M – по вертикали места и СК ($OXYZ$), связанную с солнечной установкой, причем начальное положение её осей совпадает с осями СК_М (см. рисунок 2.5*б*).

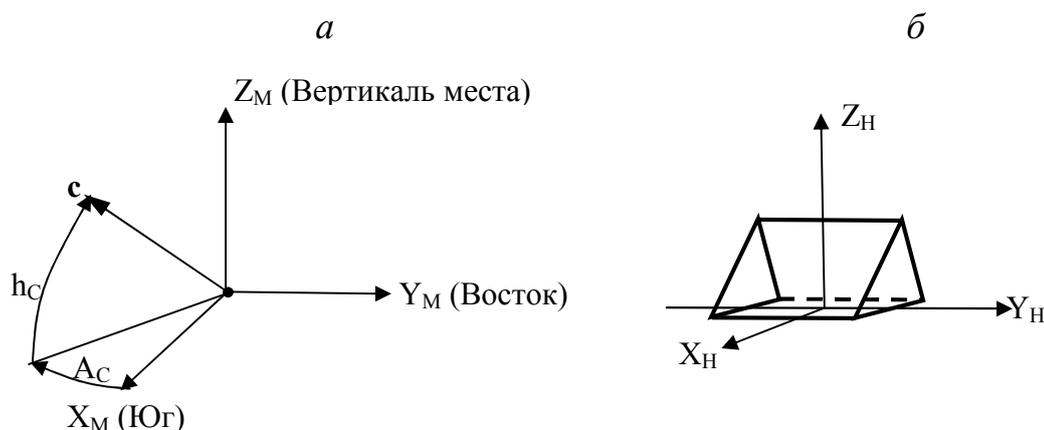


Рисунок 2.5 - Положение Солнца в местной системе координат СК_М (а) и начальное положение НПУ в СК_Н (б).

Ориентацию ПО или НПУ относительно местной системы координат СК_М и соответственно наоборот определяем по схеме, приведенной на рисунке 2.6.

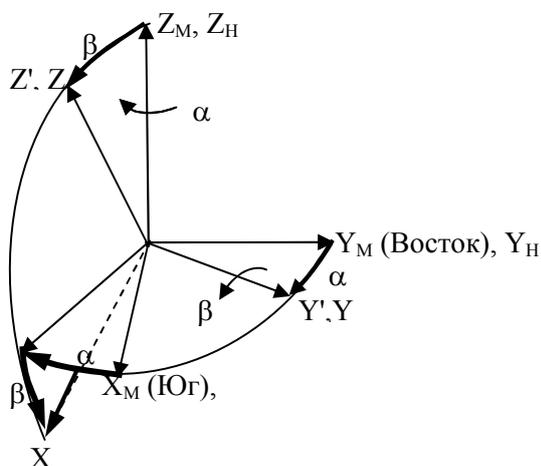


Рисунок 2.6 - Схема к определению ориентации НПУ относительно СК_М.

Т.е. связь между СК ПО и СК_М определяется двумя углами: α - поворот в горизонтальной плоскости и β - угол "наклона" ПО.

Итак, при $\alpha = 0$ имеем широтную ориентации (длинная ось ПО вдоль широты), а при $\alpha = 90^0$ меридианную ориентацию (длинная ось ПО вдоль меридиана). Матрицы перехода от СК_М к СК установки или ПО и обратно имеют вид [56]

Переход от СК _М к СК				Переход от СК к СК _М				
	X_M	Y_M	Z_M		X	Y	Z	
X	$\cos\alpha*\cos\beta$	$-\sin\alpha*\cos\beta$	$-\sin\beta$	(2.35)	X_M	$\cos\alpha*\cos\beta$	$\sin\alpha$	$\cos\alpha*\sin\beta$
Y	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	0		Y_M	$-\sin\alpha*\cos\beta$	$\cos\alpha$	$-\sin\alpha*\sin\beta$
Z	$\cos\alpha*\sin\beta$	$-\sin\alpha*\sin\beta$	$\cos\beta$		Z_M	$-\sin\beta$	0	$\cos\beta$

Составляющие солнечного луча в СК_М, как известно равны (рисунок 2а)

$$c_{X_M} = \cosh_C * \cos A_C; \quad c_{Y_M} = -\cosh_C * \sin A_C; \quad c_{Z_M} = \sinh_C \quad (2.36)$$

где A_C, h_C – углы азимута и высоты Солнца, относительно плоскости горизонта, равные

$$h_C = \arcsin(\cos\delta * \cos(\omega_3 * \tau) * \cos\varphi + \sin\delta * \sin\varphi), \quad (2.37)$$

$$A_C = \arcsin(\cos\delta * \sin(\omega_3 * \tau) / \cosh_C),$$

где δ - склонение Солнца, ω_3 – угловая скорость вращения Земли, φ - широта места, τ - время, отсчитываемое в задаче от полудня. На этом алгоритм определения углов падения солнечных лучей на солнечную установку и далее на ПО заканчивается.

2.2. Исследование потоков солнечного излучения падающих и входящих через прозрачные ограждения солнечных установок

Обычно, при оценке коэффициента пропускания пленочных ПО, имеющих малую толщину, до 0.2 мм можно допустить, что $\rho_1 = \rho_2$. Оценки пропускания пленок проводились по формуле (2.21) для случая нормального падения лучей на пленку, или

$$k_{по} = (1-\rho_2)*(1-\rho_1)*\exp(-k_\lambda * l), \quad (2.38)$$

где $k_{по}$ - общий коэффициент пропускания пленки, ρ_1, ρ_2 – коэффициенты отражения лицевой и тыльной поверхности, k_λ - коэффициент поглощения материала, l – длина хода луча в пленке. Считая, что коэффициенты отражения лицевой и тыльной поверхности пленки равны, или что $\rho_2 = -\rho_1$ получаем, что коэффициент поглощения материала пленки k_λ равен

$$k_\lambda = -\ln k_{по} / ((1-\rho_1)^2 * l) \quad (2.39)$$

Оценки k_λ по (2.39) для случая нормального падения лучей (при этом l равно толщине пленки dh) на пленочную ПО с различными приводимыми в литературе данными по их пропусканию $k_{по}$ приведены в таблице 1.

Таблица 2.1- Коэффициенты поглощения k_λ [1/см] пленочных ПО.

$k_{по}, \%$	$dh, \text{ см}$		
	0.005	0.01	0.02
80	44.63	22.31	11.16
85	32.50	16.25	8.13
90	21.07	10.54	5.27

Как видно, коэффициенты поглощения пленок существенны, например, если коэффициенты поглощения оконного стекла для длин волн λ до 2.7мкм составляет около 0.4÷0.6 1/см, а при $\lambda > 2.7\text{мкм}$, около 6 – 8 1/см, то для пленки он составляет около 16 1/см. Влияние показателя преломления на пропускание потока солнечного излучения лицевой поверхностью пленки и на общее пропускание приведено на рисунке 2.7 [59,60].

Для указанных выше характеристик оконного стекла её нормальное пропускание составляет около 0.7, а характер её изменения во времени очевидно будет таким же, как у пленки. Анализ показывает, что отличия между пропусканием тыльной поверхности пленки (стекла) $K_{Т2}$ и лицевой поверхности $K_{Т1}$ незначительно и составляет для радиуса кривизны $R = 15$ м десятые доли процента.

Как видно, с увеличением показателя преломления $K_{Т1}$ уменьшается (увеличиваются потери отражением), а пропускание $k_{по}$, наоборот увеличивается (несколько уменьшается длина хода лучей в материале ПО).

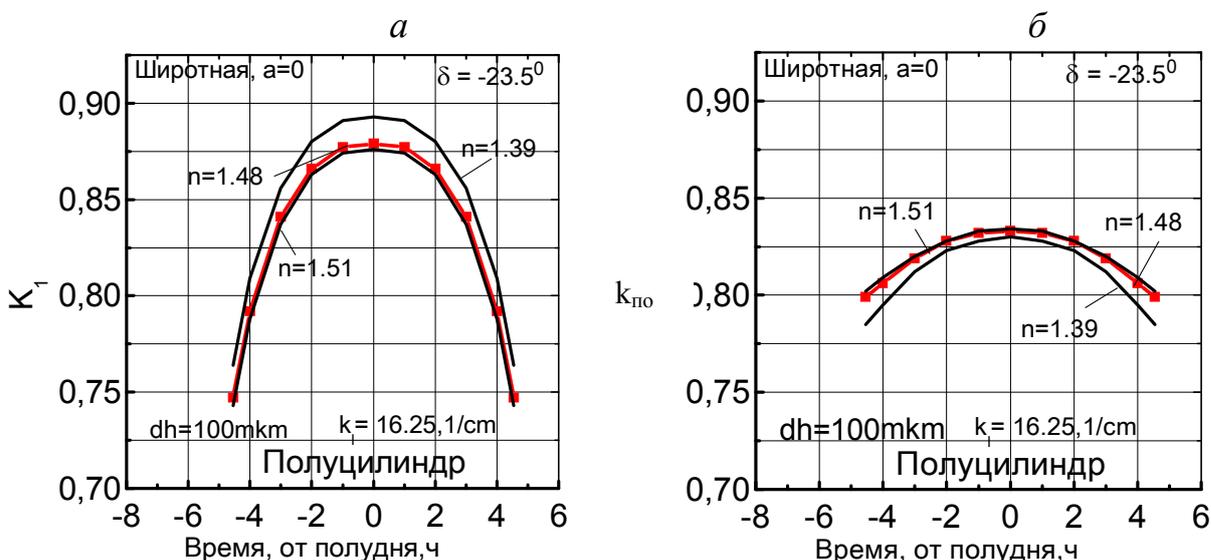


Рисунок 2.7 - Средние коэффициенты пропускания лицевой $K_{Т1}$ поверхностей ПО (а) и собственно полное пропускание $k_{по\ ср}$ (б) полуцилиндрической пленочной ПО толщиной $dh = 100\text{мкм}$ и коэффициентом поглощения $k_{\lambda} = 16.25 [1/\text{см}]$ на широте $\varphi = 40,5^{\circ}$ (широта г. Ош).

Причем это особенно заметно при относительно малых показателях преломления пленки n , далее с увеличением n различие в коэффициентах пропускания становится существенно меньше. Таким образом при исследовании пропускания пленочной ПО в целом можно принять следующие их характерные значения $n = 1.485$, а толщина пленки равна 100мкм и $k_{\lambda} = 16.25 [1/\text{см}]$.

В алгоритме расчета потока, входящего через ПО, также вводятся блоки определения точки пересечения преломленного луча s_1 с внутренней поверхностью ПО, блоки определения затенения участков ПО и определения углов падения и преломления. На основе этого алгоритма была разработана программа на языке «Бейсик» для определения коэффициентов площади и пропускания солнечного излучения для характерных в опреснителях форм ПО полуцилиндрические, сегментные, плоские и скатные [59-63]. Отметим, что алгоритмы для этих форм различаются незначительно и можно выделить две их группы – алгоритм для объемных ПО и алгоритмы для ПО, составленных из плоских эле-

ментов (собственно плоские различной ориентации и скатные). Соответственно можно выделить и две группы программ для этих форм ПО.

На рисунке 2.8 приведены коэффициенты пропускания K_T для плоской ПО широтной ориентации ($\alpha=0$, длинная ось вдоль широты) с оптимальным углом наклона ПО относительно горизонта $\beta = \varphi - \delta$.

Из рисунка 2.7 следует, что коэффициент пропускания K_T существенно зависит от толщины так при $h = 1$ мм потери составляют около 13%, а при 3мм уже 22%. Можно отметить незначительное изменение K_T большую часть дня, а затем резкое её уменьшение.

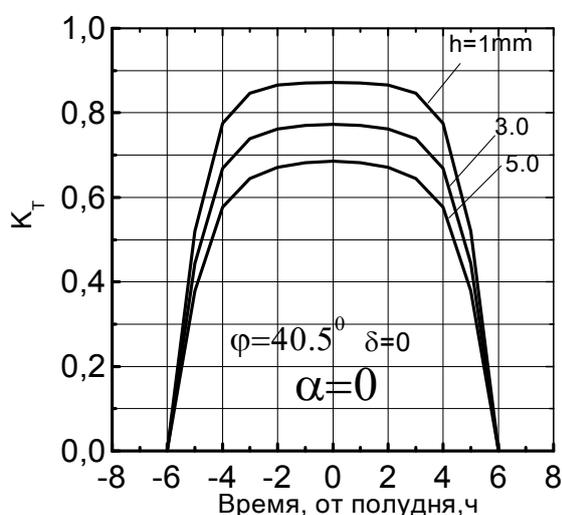


Рисунок 2.8 - Коэффициент пропускания K_T ($K_T = K_1 * K_2 * K_3$) для стекла ($n = 1.4584$, $\beta_1 = 0.6$ 1/см) различной толщины h в зависимости от времени.

На рисунке 2.9 а, б приведены коэффициенты площади K_S и потока K_F плоской ПО толщине 1мм и 4мм.

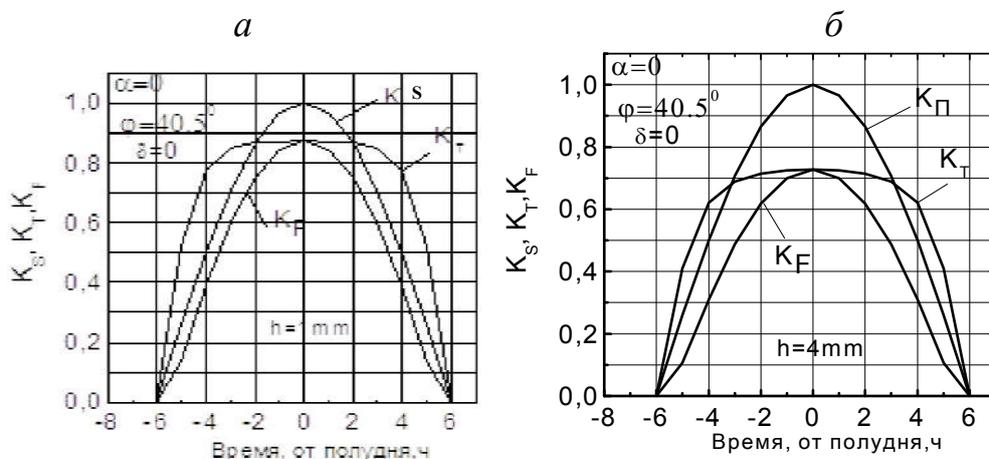


Рисунок 2.9 - Коэффициенты площади K_S , общего пропускания K_T и потока K_F плоской стеклянной ПО толщиной 1мм (а) и 4мм(б) широтной ориентации ($\alpha = 0$) с оптимальным углом наклона $\beta = \varphi - \delta$ для широты г.Ош (Кыргызстан).

Как видно, коэффициент K_F , определяющий входящий в установку солнечный поток, а во многом и время работы НПУ достаточно быстро изменяется (уменьшается) от полудня. Как видно, для широты г. Ош ($\varphi = 40,5^{\circ}$) практическое время работы НПУ даже без учета изменения плотности прямой нормальной солнечной радиации в течение дня реально составит только около 8 часов.

На рисунке 2.10 приведены значения K_F для широтной ($\alpha = 0$) и меридиональной ($\alpha = 90^{\circ}$) ориентации полуцилиндрической ПО для различных сезонов года.

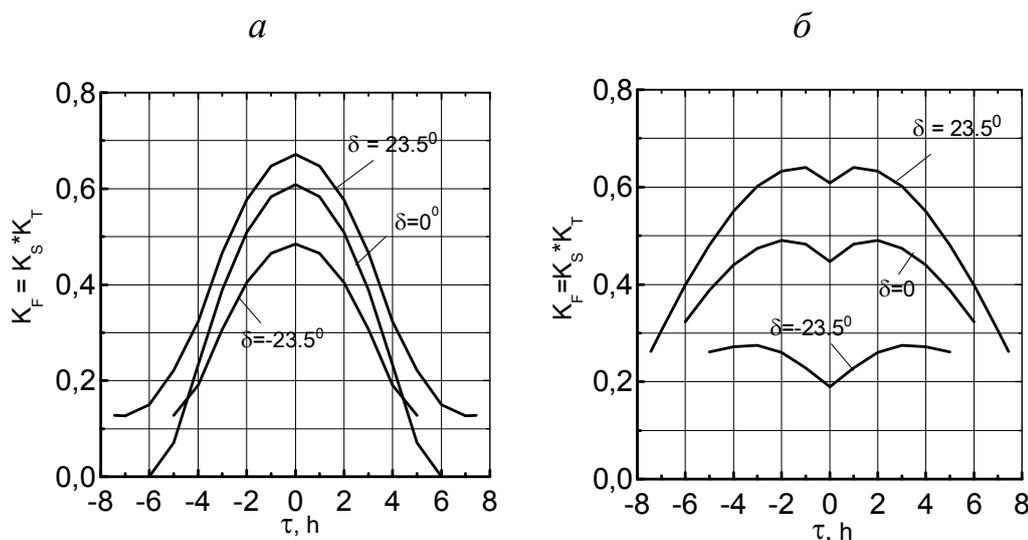


Рисунок 2.10 - Коэффициент потока $K_F = K_S * K_T$ полуцилиндрической ПО широтной (a) и меридиональной (б) ориентации от времени дня τ .

Как видно, на нашей широте количество входящей солнечной радиации существенно изменяется в течение года, так в зимний сез он ($\delta = - 23.5^{\circ}$), оно почти в 3 раза меньше, чем летом он ($\delta = 23.5^{\circ}$).

Также из рисунка 2.10 следует, что вопреки распространенному мнению о необходимости широтной ориентации полуцилиндрических ПО (длинная сторона вдоль широты), например, как указано в [43], в целом в течение дня при меридиональной ориентации имеем более равномерное освещение внутри солнечной установки. В связи с этим на рисунке 2.11 приведены составляющие K_F (K_S и K_T) для широтной и меридиональной ориентации ПО для характерного случая $\delta = 0$ (весна, осень). Действительно, хотя максимальные значения коэф-

коэффициентов для широтной ориентации больше, однако их средние значения в течение дня меньше, чем у ПО меридиональной ориентации.

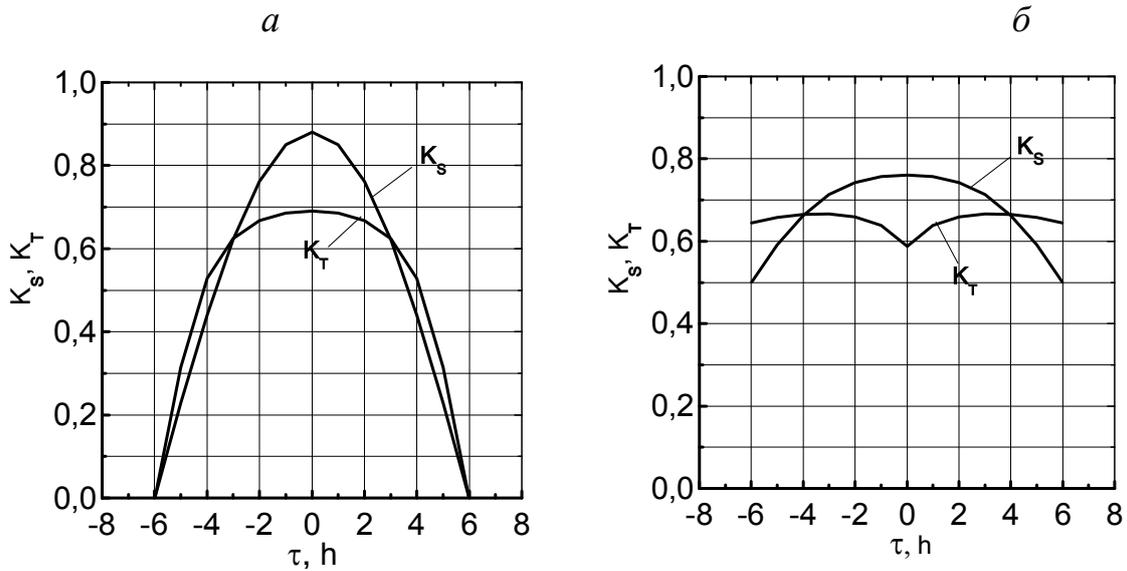


Рисунок 2.11 - Коэффициенты площади K_s и пропускания K_T полуцилиндрической ПО широтной (а) и меридиональной (б) ориентации от времени дня τ .

На рисунке 2.12. приведены коэффициенты потока для сегментных ПО с характерными размерами для меридиональной (рисунок 2.12) и широтной (рисунок 2.13) ориентации.

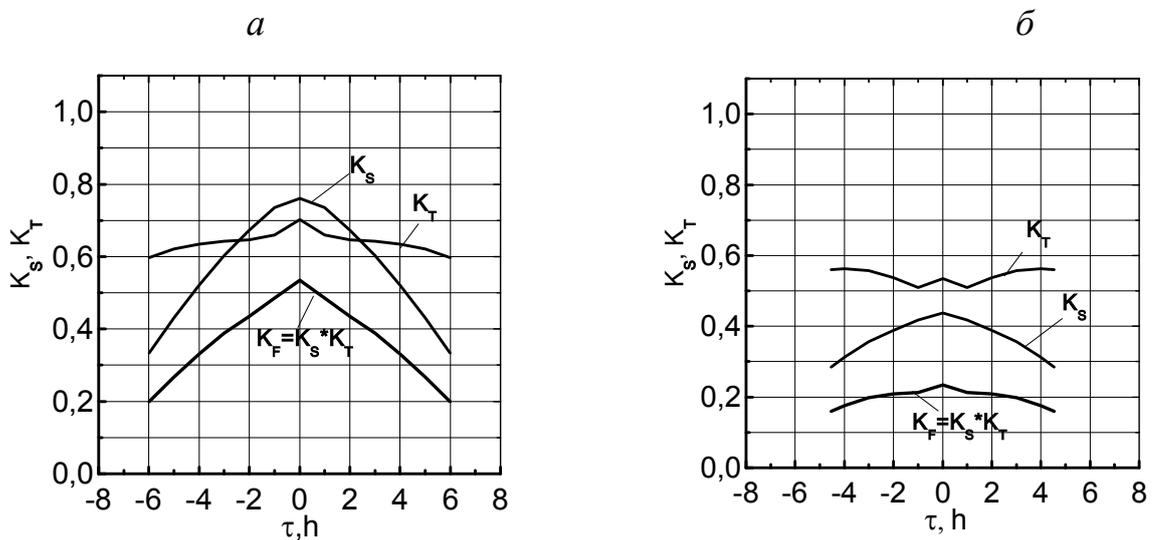


Рисунок 2.12 - Коэффициенты потока сегментной ПО меридиональной ориентации от времени дня τ при $\delta=0$ (а) и $\delta=-23.5$ (б).

Как видно, в сегментных ПО меридиональной ориентации коэффициенты потока несколько меньше, чем у полуцилиндрической ПО, что обусловлено большим весом "боковых" частей у полуцилиндра. Коэффициенты потока для

широтной ориентации сегментной ПО приведены на рисунке 2.13, видно, что для сегментной ПО широтная ориентация явно эффективнее меридиональной.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что обобщение коэффициентов потока, характеризующих падающий и входящий через прозрачное ограждение солнечный поток, необходимо проводить относительно некоторой постоянной площади, например, рабочей или замыкающей плоскости.
2. Разработан алгоритм и программа расчета коэффициентов потока, площади, пропускаемого в заданный момент времени дня и их составляющих, как локальных, так и средних полуцилиндрических и сегментных ПО.
3. Показано, что для полуцилиндрических ПО меридиональная ориентация обеспечивает в течение дня больший, чем при широтной ориентации солнечный поток, входящие через ПО, в то время как в сегментных (см. рисунки 2.12, 2.13) имеем обратную ситуацию – более целесообразна широтная ориентация ПО, причем это не зависит от длины ПО.

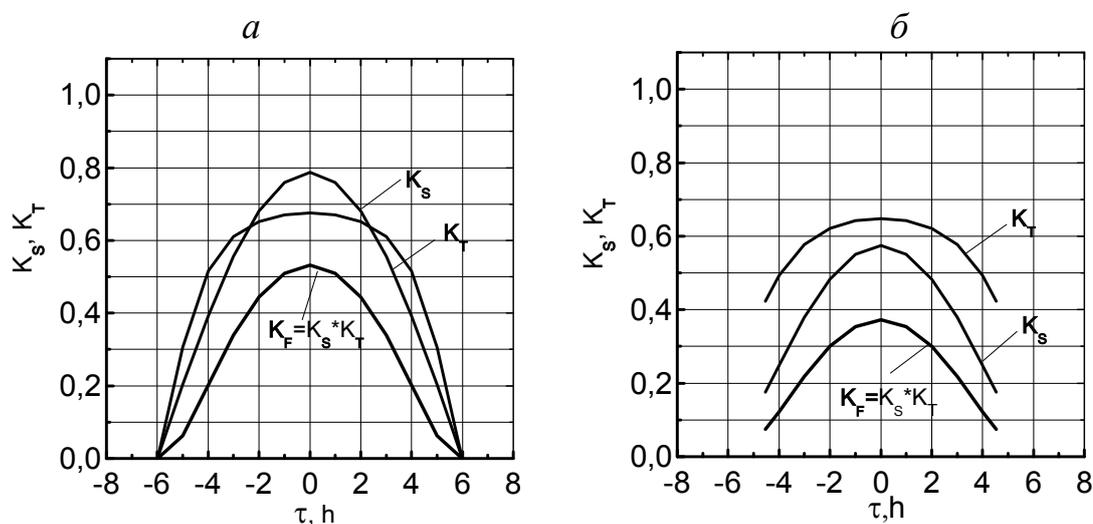


Рисунок 2.13 - Коэффициенты потока сегментной ПО широтной ориентации от времени дня τ при $\delta = 0$ (а) и $\delta = -23.5$ (б).

Рассмотрим аналогичные зависимости для входящего в солнечную установку потока солнечного излучения для других типов ПО – плоские и скатные. Графо - аналитическая методика расчета среднедневных значений потоков, входящих через скатные ПО теплица была предложена в [39].

Рассмотрим потоки солнечного излучения, входящих через скатные ПО в течение дня. Схема скатной ПО из плоских элементов приведена на рисунке 2.14, в которой и боковые поверхности 1 и 4 могут быть прозрачными.

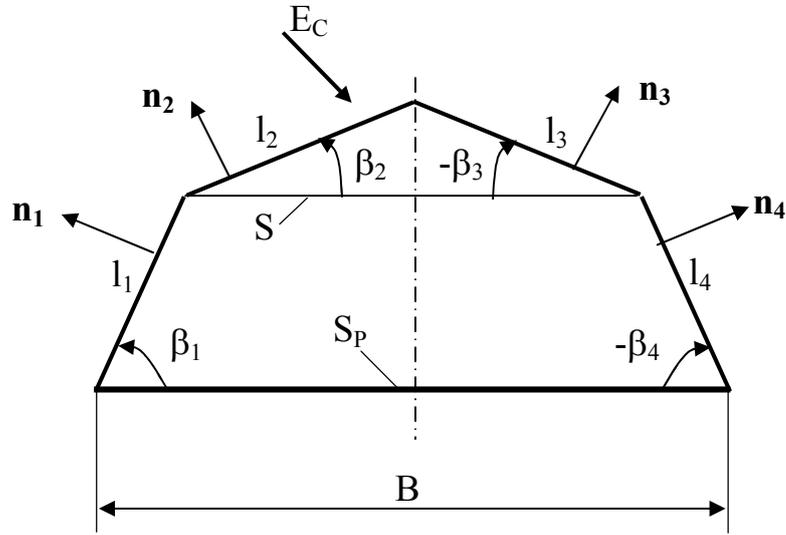


Рисунок 2.14 - Сечение скатного прозрачного ограждения из плоских элементов и её основные параметры.

К основным характеристикам входящего через ПО потока в данном случае также являются - падающий на ПО поток $\Phi_{\text{ПАД}}$ и входящий $\Phi_{\text{ВХ}}$, или их относительные значения - коэффициенты площади K_S и пропускания K_T . Распишем уравнения потока для скатной теплицы.

$$\Phi_{\text{ПАД}} = E_C * S_N = E_C * K_S * S_P \quad (2.41)$$

$$\Phi_{\text{ВХ}} = \Phi_{\text{ПАД}} * K_T = E_C * K_T * S_N = E_C * K_T * K_S * S_P \quad (2.42)$$

$$K_S = S_N / S_P, \quad (2.43)$$

где E_C – плотность прямого солнечного излучения в данный момент времени, S_N – площадь проекции освещаемой части ПО на плоскость перпендикулярную солнечным лучам, или далее нормальная плоскость, которая для скатной ПО из плоских элементов равна

$$S_N = \sum_{i=1}^n ((\mathbf{c} * \mathbf{n}_i) * S_i), \quad (2.44)$$

где S_i – освещаемая площадь i -го элемента, которая для плоского равна её площади $L * l_i$ и \mathbf{n}_i – единичный вектор нормали (рисунок 2.14) и S_P – некоторая

рабочая площадь установки (см. рисунок 2.1). Или окончательно для скатной ПО K_S равно

$$K_S = \sum_{i=1}^{i=n} ((\mathbf{c} * \mathbf{n}_i) * S_i) / S_p = \sum_{i=1}^{i=n} ((\mathbf{c} * \mathbf{n}_i) * l_i) / B \quad (2.45)$$

Распишем теперь выражение для K_T . Формально

$$K_T = \frac{\sum_1^n \Phi_{ВХi}}{\sum_1^n \Phi_{ПАДi}}, \quad (2.46)$$

где $\Phi_{ПАДi}$, $\Phi_{ВХi}$ - падающий на лицевую поверхность и входящий в солнечную установку поток через i -ый элемент.

В общем случае, из полученных выше выражений следует, что поток $\Phi_{ПАДi}$ на i -ый элемент равен

$$\Phi_{ПАДi} = E_C * K_{Si} * S_i * K_{Di} * K_{Shi}, \quad (2.47)$$

где K_{Si} - коэффициент площади элемента, K_{Di} - коэффициент запыленности, K_{Shi} - коэффициент затенения. Учитывая, что $\Phi_{ВХi} = \Phi_{ПАДi} * K_{Ti}$, а также, что E_C и K_{Di} [6] одинаковы для всех элементов, получим

$$K_T = \frac{\sum_1^n (K_{Si} * S_i * K_{Shi} * K_{Ti})}{\sum_1^n (K_{Si} * S_i * K_{Shi})} \quad (2.48)$$

В предположении, что затенение ПО переплетом отсутствует, или $K_{Shi} = 1$ получаем

$$K_T = \frac{\sum_1^n (K_{Si} * l_i * K_{Ti})}{\sum_1^n (K_{Si} * l_i)} \quad (2.49)$$

Здесь коэффициенты площади K_{Si} и пропускания K_{Ti} плоских элементов равны

$$K_{Si} = \mathbf{c} * \mathbf{n}_i; \quad K_{Ti} = K_{1i} * K_{2i} * K_{3i}, \quad (2.50)$$

где K_{1i} , K_{2i} , K_{3i} - пропускания солнечного луча лицевой поверхностью, слоем и тыльной поверхности i -го элемента

Для определения коэффициентов K_S и K_T численно, может быть использована общая методика, изложенной нами выше. Отличие заключается только в том, что в отличие от программы для плоской ПО, имеем четыре элемента для полной скатной ПО. Эти изменения были введены в программу расчета пло-

ской ПО. Результаты расчета для двух основных вариантов двускатной (две боковые стороны и две верхние – полная скатная ПО, которая широко используется в теплицах, а для опреснителя для случая, когда боковые поверхности малы или отсутствуют. Таким образом, для полной скатной ПО имеем обычно следующие параметры скатов: $\beta_1=90^\circ$, $\beta_2 = \varphi - \delta - 90^\circ$, $\beta_3 = -\beta_2$, $\beta_4 = -\beta_1$. Результаты расчета пропускания скатной ПО с параметрами: для теплицы $l_1=0.75$, $l_2 = 1$, $l_3=l_2$, $l_4= l_1$ приведены на рисунке 2.15, а для опреснителя, с параметрами: $l_1=0.1$, $l_2 = 1$, $l_3=l_2$, $l_4= l_1$ приведены на рисунке 2.16.

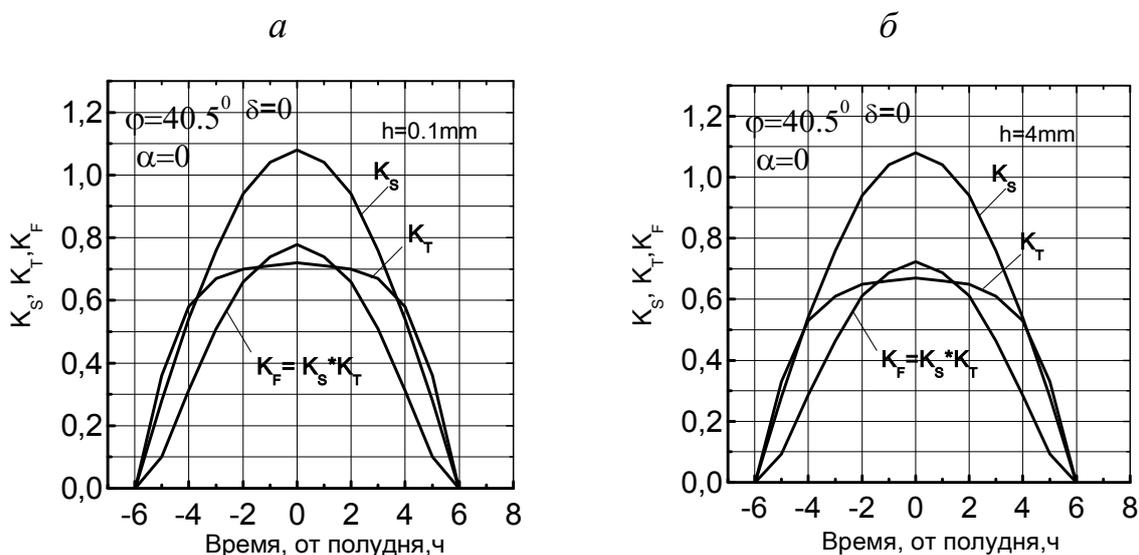


Рисунок 2.15 - Коэффициенты K_s , K_T и K_F скатной ПО теплицы широтного расположения (длинная сторона вдоль широты) для ПО из пленки (а) и стекла (б) в зависимости от времени дня.

Как видно, различие между коэффициентами потока скатной ПО теплицы из пленки и стекла невелики. Однако, как покажем в дальнейшем различия между КПД установок с ПО из пленки и стекла существенно различаются. На рисунке 2.16 приведены значения коэффициентов потока скатной ПО для широтного расположения опреснителя.

а

б

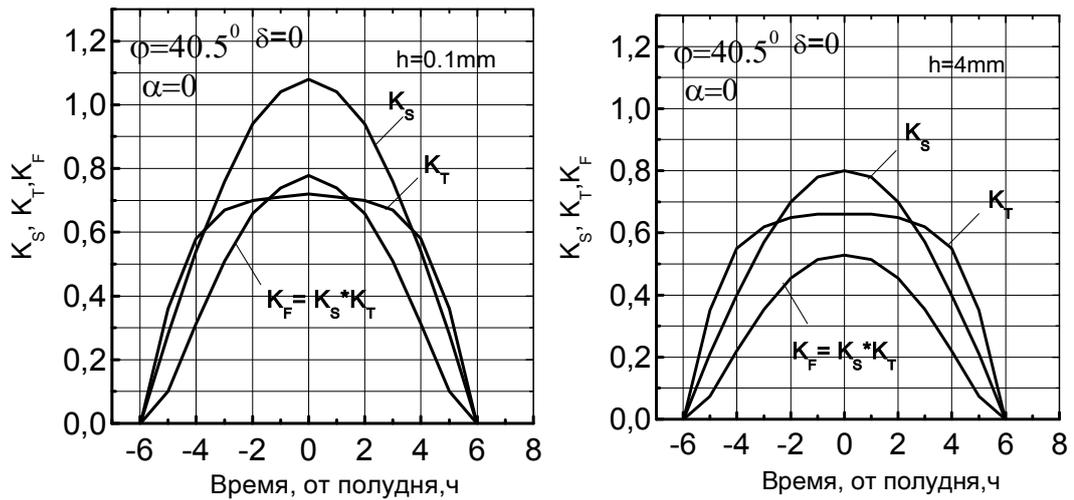


Рисунок 2.16 - Коэффициенты K_S , K_T и K_F скатной ПО опреснителя широтного расположения (длинная сторона вдоль широты) для ПО из пленки (а) и стекла (б) в зависимости от времени дня.

Видно, что различие между пленочной и стеклянной ПО скатной ПО опреснителя более заметны (здесь площади граней 1 и 4 существенно меньше, чем грани 2 и 3). Отсюда, в частности следует, что размеры боковых граней 1 и 4 имеют важное значение на коэффициент вхождения потока. Т.е. для обеспечения оптимальных вариантов параметров скатной ПО в каждом конкретном случае необходимы отдельные исследования. Так на рисунке 2.17. приведены коэффициенты площади (K_S) общего пропускания ПО (K_T) и потока (K_F) скатной ПО опреснителя при его меридиональном расположении ($\alpha=90^\circ$ – длинная ось вдоль меридиана).

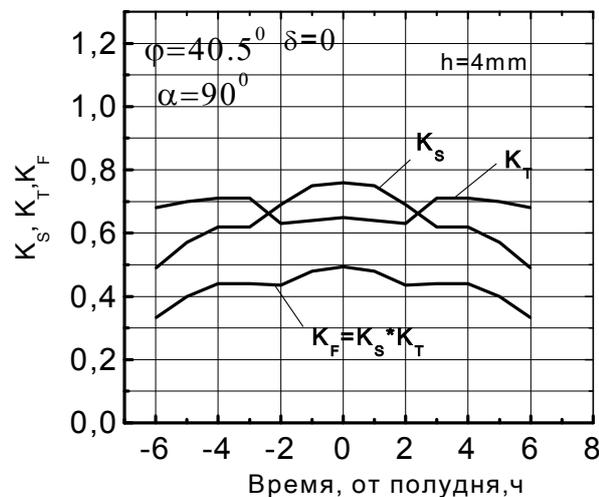


Рисунок 2.17 - Коэффициенты K_S , K_T и K_F скатной ПО опреснителе меридионального расположения (длинная сторона вдоль меридиана) для ПО из стекла (а) и стекла (б) в зависимости от времени дня.

Как видно, меридиональное расположение скатной ПО опреснителе заметно эффективнее широтного, что подтверждает необходимость детальных исследований ПО в каждом случае для конкретной установки.

2.3. Теплотехнические характеристики солнечного опреснителя

Из обзора литературы (см. глава 1) следует, что в настоящее время, наряду с разработками новых конструкций опреснителей имеются также задачи определения влияния оптических и теплотехнических параметров элементов опреснителей на тепловое КПД опреснителя – прозрачное ограждение, воздушный объем между слоем воды и прозрачным ограждением.

В принципе можно рассматривать отдельные элементы опреснителя, которые сводятся к типовым случаям и по которым в теплотехнике имеется большое количество решений. Однако, было показано, что для реальной оценки необходимы достаточно полные модели теплотехнических процессов в опреснителе. В первом приближении эти зависимости могут быть получены на основе нестационарной одномерной модели солнечного опреснителя, разработанной в [27-29,31]. Как показывает анализ этой модели для решения указанных задач её необходимо дополнить. Во-первых, необходимо учесть долю потока излучения из камеры, которая пропускается через ПО наружу, а также оценить возможность увеличения площади ПО при увеличении расстояния h_B между поверхностью воды и ПО. Схема СО и её основные параметры приведены на рисунке 2.18.

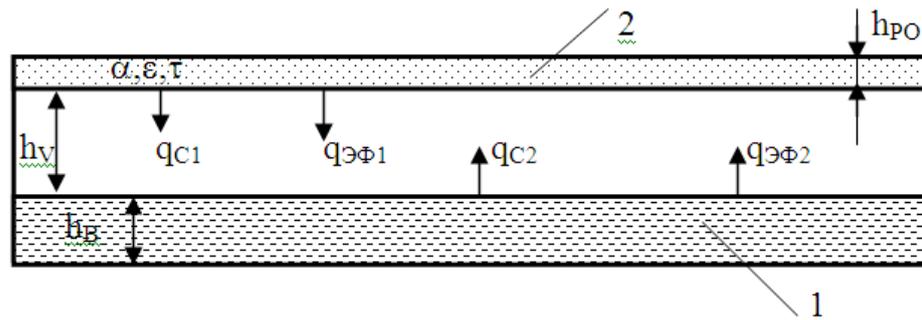


Рисунок 2.18 - Схема к теплотехнической модели парникового опреснителя.

Такая модель позволяет исследовать влияние параметров ПО – радиационные характеристики и толщина. Необходимость проведения таких исследований на полной модели обусловлена сложным характером влияния параметров ПО на основную характеристику СО её КПД.

Запишем новые уравнения для теплообмена между слоем воды и ПО с учетом принятых в ранней модели допущений, о том, что внутреннее тепловое излучение не пропускается ПО. Отметим, что в этой модели уравнения теплообмена записываются отдельно для двух частей спектра условно называем их "видимой" (0-2.7мкм) и "тепловой" (2.7- ∞)

$$\begin{aligned}
 E_{\text{эф}2V} &= (q_{2v} + r_{2v} * q_{1v} + r_{2v} * r_{1v} * (E_{\text{СВХВ}} + q_{rv})) / (1 - r_{2v} * r_{1v}) \\
 E_{1\text{эф}V} &= q_{1v} + r_{1v} * (E_{2\text{эф}V} + E_{\text{СВХВ}} + q_{rv}) \\
 E_{r1V} &= q_{1v} - \alpha_{1V} * (E_{2\text{эф}V} + E_{\text{СВХВ}} + q_{rv}) \\
 E_{r2V} &= q_{2v} - \alpha_{2V} * (E_{1\text{эф}V}) * (1 - K_{rv}),
 \end{aligned}
 \tag{2.51}$$

где $E_{1\text{эф}V}$, E_{r1V} , q_{1v} , $E_{\text{эф}2V}$, E_{r2V} , q_{2v} – эффективное, результирующее (полезное) и собственное излучение элементов 2 и 1. r_{2v} , r_{1v} – отражательная способность элементов. Отметим, что если для воды принято, что $\alpha_{1V} + r_{2v} = 1$, то для ПО надо учитывать, что она пропускает часть излучения, или в первом приближении $\alpha_{1V} + r_{2v} + K_{rv} = 1$, где K_{rv} – коэффициент пропускания ПО. Уравнения, аналогичные системе уравнений (2.51) записываются и для второй "тепловой" части спектра. Можно отметить, что в результате решения системы определяются результирующие (полезные) плотности потоков излучения в видимой и тепловой части элементов 1 и 2. Эти потоки являются частью потоков харак-

теризующих тепловые балансы на элементе, в которые также входят для элемента 1 – тепло на испарение воды, конвекция и для элемента 2 – тепло конденсации, тепло конвекцией, а полезный поток, например на элементе 1 за малый промежуток времени dt на площади воды S_B (считаем, что S_B равно площади ПО S_C) будет равно.

$$Q_{rc} = - (Er_{1v} + Er_{1n}) * S_B * dt \quad (2.52)$$

На рисунке 2.18 приведены зависимости кпд СО от толщины стеклянного ПО из оконного стекла, с учетом пропускания ПО излучения, «видимого» (до 2.7мкм) и «теплого» (больше 2.7мкм) полученные по усовершенствованной модели. Для сравнения на рисунке 2.19 также приведены СО с пленочной ПО с постоянной толщиной. Можно видеть, что кпд СО с пленочной ПО, как было расчетно обнаружено в [27] заметно меньше стеклянной ПО. Причем, при малых толщинах стекла кпд также мало. С увеличением толщины стекла кпд как видно растет, а далее достаточно заметно уменьшается. Т.е. имеется оптимальная толщина ПО, при которой имеем максимальное кпд, которая, как видно для оконного стекла составляет около 3.5мм. Анализ показывает, что это обусловлено следующим, при малой толщине ПО во- первых пропускает значительную часть теплового излучения идущего изнутри опреснителя (излучение воды) и во -вторых, вследствие малой излучательной способности ПО при малой толщине она также существенно нагревается, что также тормозит конденсацию. Например, оптическая длина пленки при толщине 100мкм составляет $16.25[1/см]*100мкм = 0.1625$, а стекло при этой толщине имеет оптическую длину $6[1/см]*100мкм = 0.06$, т.е. достаточно прозрачны.

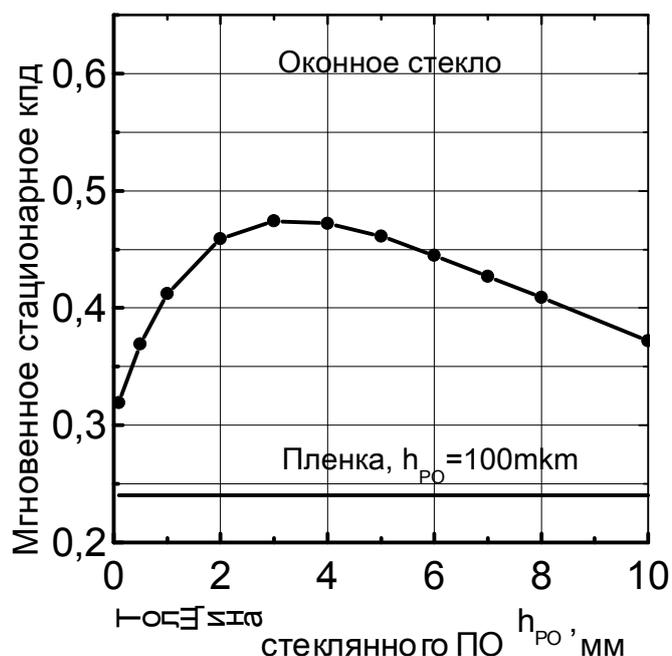


Рисунок 2.19 - Зависимость мгновенного стационарного КПД испарения солнечного опреснителя от толщины ПО из оконного стекла.

Отметим, что как указано в [64] при оптической длине луча равной около 3 стекло излучает как черное тело. Т.е. далее, с увеличением толщины стеклянной ПО уменьшается её пропускание внутреннего излучения и увеличивается излучательная способность. Конечно, при этом уменьшается и пропускание солнечного излучения, которое начинает иметь определяющую роль при дальнейшем увеличении толщины, причем начинает увеличиваться и тепловое сопротивление ПО, что, в конечном счете, и приводит к уменьшению КПД при дальнейшем увеличении толщины ПО.

Оценка роли пропускания ПО внутреннего (теплового) излучения приведена на рисунке 2.20, где кривая 1 – учитывается пропускание и кривая 2 – без учета пропускания внутреннего излучения (модель полного поглощения). Как видно, влияние не учета пропускания важно, при малых толщинах ПО, с увеличением толщины, начиная с 1.5мм различие между моделями «пропускания» и «полного поглощения» составляет около 2-3%. Т.е. в алгоритмах и моделях расчета КПД солнечных опреснителей с пленочными ПО необходимо учитывать факторы достаточно заметного влияния пропускания теплового излучения и соответственно малых поглощательных и излучательных характеристик на КПД.

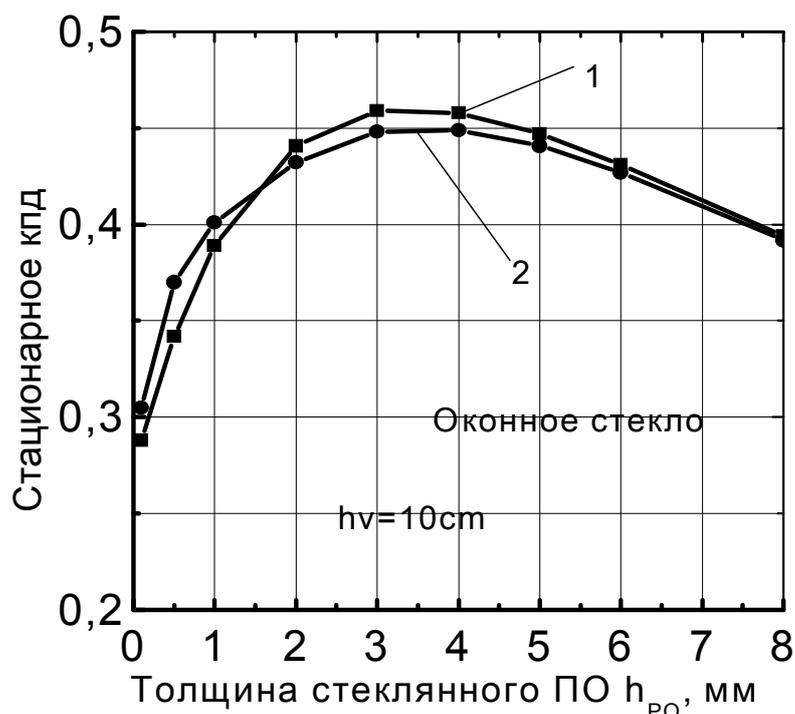


Рисунок 2.20 - Мгновенные стационарные КПД испарения СО по модели пропускания (1) и полного поглощения (2) в стекле излучения воды.

Важным практическим вопросом в СО является возможность увеличения её КПД за счет интенсификации процессов испарения воды и конденсации пара.

Работы в этом направлении показали, что дополнительная камера конденсации не позволяет увеличивать КПД опреснителя.

Для оценки этого фактора нами был рассмотрен случай, когда увеличивается площадь ПО за счет увеличения объема паровоздушной смеси, или некоторого эффективного зазора h_v между поверхностью воды и ПО. Результаты этих исследований приведены на рисунке 2.21.

Как видно, с увеличением зазора h_v между водой и ПО в обоих случаях идет уменьшение КПД. Причем для случая увеличения площади ПО (за счет боковых сторон) уменьшение КПД идет быстрее. Как показал анализ это происходит вследствие следующего механизма. С увеличением объема или с увеличением h_v температура ПО уменьшается, но одновременно это вызывает и уменьшение температуры воды, вследствие чего интенсивность процесса испарения и конденсации также уменьшается.

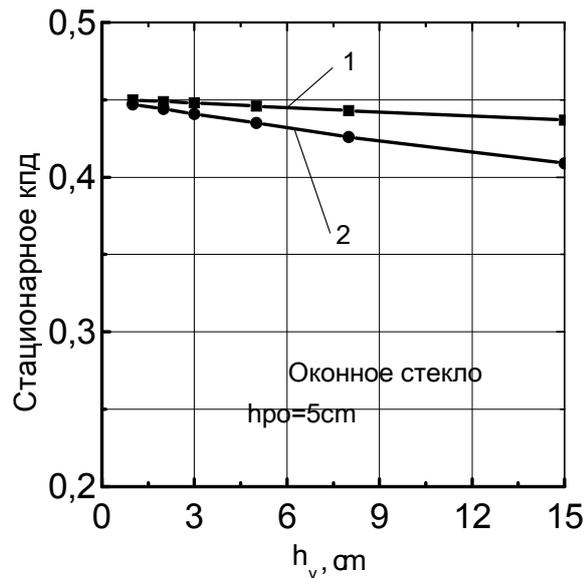


Рисунок 2.21- Влияние увеличения расстояния между слоем воды и ПО h_v на КПД СО без увеличения площади ПО (1) и с увеличением площади ПО (2).

Для случая «2» также имеет место этот процесс, но в связи с увеличением площади ПО (при этом входящая через ПО солнечная энергия постоянна, т.к. она определяется площадью поверхности воды), её температура снижается быстрее, что и объясняет больший наклон кривой 2. В тоже время это доказывает, обнаруженное рядом авторов закономерность о необходимости малых воздушных зазоров (объема) между водой и ПО. Причем можно отметить, что использование боковых поверхностей как конденсаторов приводит к заметному, порядка 5% уменьшению КПД. Хотя с теплотехнической точки зрения это нежелательно, однако, как будет показано в дальнейшем это позволяет разрабатывать новые, малометаллоемкие конструкции парниковых солнечных опреснителей. С учетом указанных модификаций тепловой модели солнечного парникового опреснителя были приведены исследования по влиянию различных параметров опреснителя на её характеристики для солнечного опреснителя с ПО из оконного стекла толщиной 5мм. На рисунке 2.22 показано влияние плотности прямой солнечной радиации E_c на скорости испарения и конденсации во времени.

Как видно, влияние величины E_c существенно, так с уменьшением E_c уменьшаются и скорости испарения и конденсации, при этом уменьшение ис-

парения и конденсации происходит быстрее, чем уменьшение E_c . Также можно видеть, что в начальные моменты времени скорость конденсации запаздывает относительно скорости испарения, и эта разница уменьшается с уменьшением E_c .

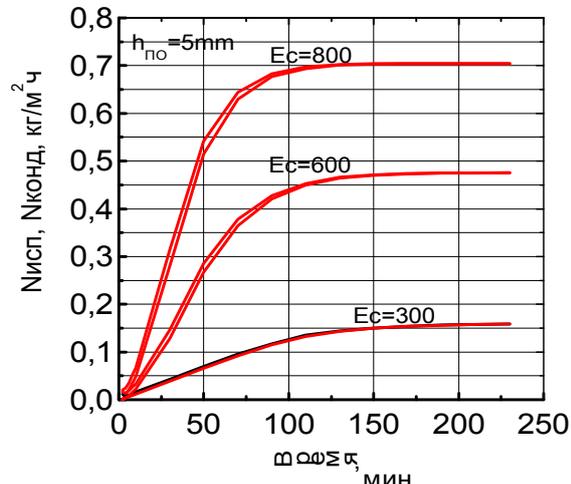


Рисунок 2.22 - Скорости испарения и конденсации во времени при различных плотностях прямой солнечной радиации.

На рисунке 2.23 приведено различие между средним в течение дня «дневным» КПД испарения и конденсации.

Как видно, если разница между скоростями испарения и конденсации не так заметна, то разница между КПД испарения и конденсации существенна, что обусловлено эффектом накопления этой разницы между скоростями во времени.

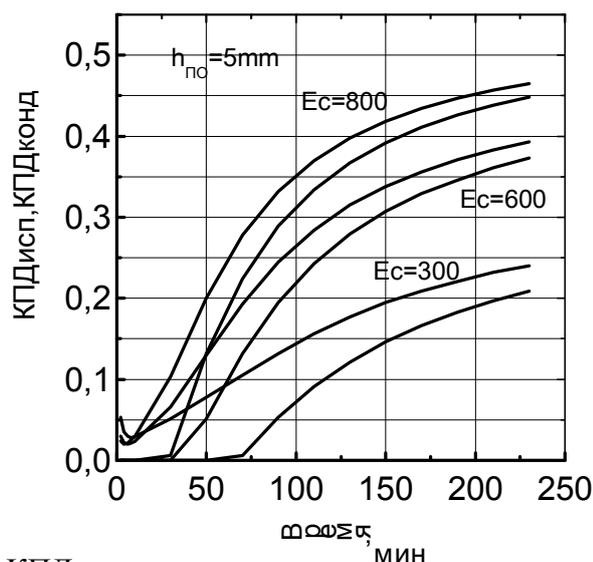


Рисунок 2.23 - КПД испарения и конденсации во времени при различных плотностях прямой солнечной радиации

Как известно из экспериментальных исследований солнечных опреснителей одним из важных факторов, влияющих на характеристики СО является толщина слоя (объем), заливаемой в опреснитель воды. Хотя оценки влияния этого фактора проводились, однако до сих пор не были проведены расчетные исследования этого фактора во времени. На рисунке 2.24 приведено изменение во времени скоростей испарения и конденсации воды в солнечном парниковом опреснителе при двух характерных значениях начальной толщины слоя воды.

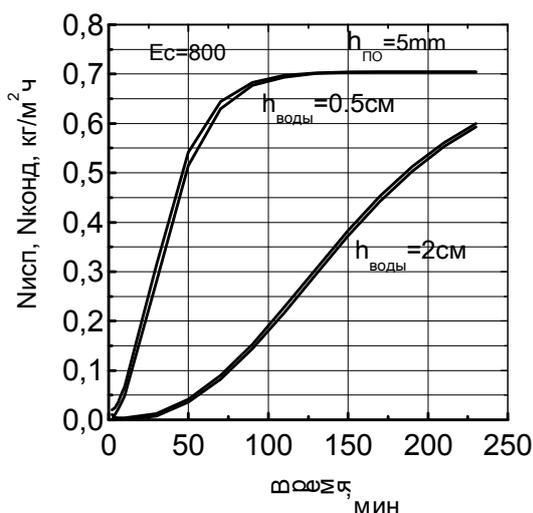


Рисунок 2.24 - Скорости испарения и конденсации во времени при различной начальной толщине слоя заливаемой воды.

Как видно, начальная толщина слоя воды оказывает существенное значение на характер процесса. Существенно уменьшаются скорости испарения и соответственно конденсации. Однако также видно, что со временем различие в скоростях испарения и конденсации начинает уменьшаться и теоретически они могут стать почти одинаковыми. Т.е. этот факт можно рассматривать и как запаздывание, хотя процесс идет в течение ограниченного времени это может оказать влияние на дневную производительность. Физически запаздывание объясняется достаточно просто - влияние тепловой инерция залитой воды, которая, как следует из баланса энергии- это влияние уменьшается при приближении к стационарному режиму работы опреснителя. Т.е. мгновенные КПД опреснителя при приближении к стационарному режиму не зависят толщины слоя воды и при одинаковых условиях облучения сближаются.

Это имеет и практическое значение, особенно при экспериментальных исследованиях характеристик солнечных опреснителей, которые проводятся в первую очередь в предположении, что имеет место стационарный режим. Так из проведенных модельных оценок, следует, что время подхода к стационарному режиму даже на модели, в предположении постоянства E_c существенно зависит от тепловой инерции не только толщины слоя воды (объема), но и других элементов. Поэтому в результатах эксперимента одновременно с производительности важно указывать время от начала процесса, так как в зависимости от тепловой инерции время выхода на стационарный режим заметно сдвигается. Так если, при толщине воды 5мм оно составляет около 70-100мин, то при толщине воды 20мм оно составляет уже более 200 мин. Учитывая, что эти времена выхода на стационарный режим работы велики, это фактически означает что на практике СО не выходит на стационарный режим в течение всего дня.

Отсюда следует, что на КПД и производительность опреснителя, как средние так и мгновенные может влиять и тепловая инерция других элементов СО, в первую очередь корпуса. Т.е. при проектировании СО важно учитывать тепловую емкость элементов.

Выводы по главе 2

По результатам исследований влияния оптико-геометрических и теплотехнических параметров опреснителя на её производительность можно сделать следующие выводы.

1. Показано, что обобщение коэффициентов потока, характеризующих падающий и входящий через прозрачное ограждение солнечный поток, необходимо проводить относительно некоторой постоянной площади, например, рабочей или замыкающей плоскости.
2. Разработан алгоритм и программа расчета коэффициентов потока, площади, пропускаемого в заданный момент времени дня и их составляющих, как локальных, так и средних полуцилиндрических и сегментных ПО.

3. Показано, что для полуцилиндрических ПО меридиональная ориентация обеспечивает в течение дня больший, чем при широтной ориентации солнечный поток, входящие через ПО, в то время как в сегментных имеем обратную ситуацию – более целесообразна широтная ориентация ПО, причем это не зависит от длины ПО.
4. Определены коэффициенты площади и потока скатных ПО, разработана программа, позволяющая проводить расчетные исследования по определению их эффективных параметров для самого различного их сочетания и расположения. Показано, что для скатных ПО также более эффективна меридиональная ориентация.
5. Показано, что коэффициенты площади, пропускания и потока пленочных и стеклянных ПО величины одного порядка, причем желательна объемная форма ПО.
6. Развита нестационарная одномерная модель парникового солнечного опреснителя в части учета, пропускания прозрачным ограждением солнечного опреснителя теплового излучения воды.
7. Впервые показано, что для стеклянных прозрачных ограждений солнечных опреснителей имеется оптимальная толщина, при которой достигается максимальное КПД, которое для оконного составляет около 3.5 мм.
8. Расчетно обоснованы низкие по сравнению со стеклянными ПО КПД опреснителей с пленочными ПО, обусловленные существенным влиянием пропускания собственного теплового излучения, а также тем, что температуры пленочных ПО достигают температур, сравнимых со стеклянными ПО, вследствие малой их излучательной способности.
9. Показано, что в пленочных ПО, в отличие от стеклянных ПО не имеется максимума КПД в зависимости от толщины, вследствие «серости» их радиационных характеристик.

ГЛАВА III. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОМЕТАЛЛОЕМКИХ СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

3.1. Разработка малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя

В данной главе, с учетом результатов численного исследования влияния параметров солнечного опреснителя на её теплотехнические характеристики (тепловая инерция, производительность и КПД), была поставлена задача разработка конструкции СОУ, минимально содержащей металлические материалы в своей рабочей зоне, где происходит испарение воды и конденсация пара, т.е. условия работы элементов СО в рабочей зоне достаточно тяжелые и происходят при повышенной, фактически при 100% относительной влажности.

В первую очередь, как показывает анализ эта задача важна для прозрачного ограждения, которая в парниковых СОУ, как правило, включает собственно прозрачное ограждение и металлический каркас. В связи с этим нами была поставлена задача разработки СОУ, в которой отсутствует металлический несущий каркас для стеклянного прозрачного ограждения [65,66]. Для решения этой задачи нами предложено использовать в качестве прозрачного ограждения СОУ не плоские, а выпуклые стеклянные листы, близкие по форме к полуцилиндру. Такое решение позволяет полностью исключить металлический каркас, т.к. такая стеклянная элемент имеет существенно более высокую прочность. Каждый такой стеклянный элемент формовался (см. ниже) из половины стандартного плоского стекла. Соединение таких стеклянных элементов между собой производилось через герметизирующие упругие неметаллические элементы, схема которой приведена на рисунке 3.1 *а, б, в*. Отметим, что как показал анализ размеры единичного модуля СО должны быть достаточно большими, так как это позволяет существенно снизить расход материала на единицу рабочей площади, а значит уменьшить стоимость и теплоемкость СО.

а

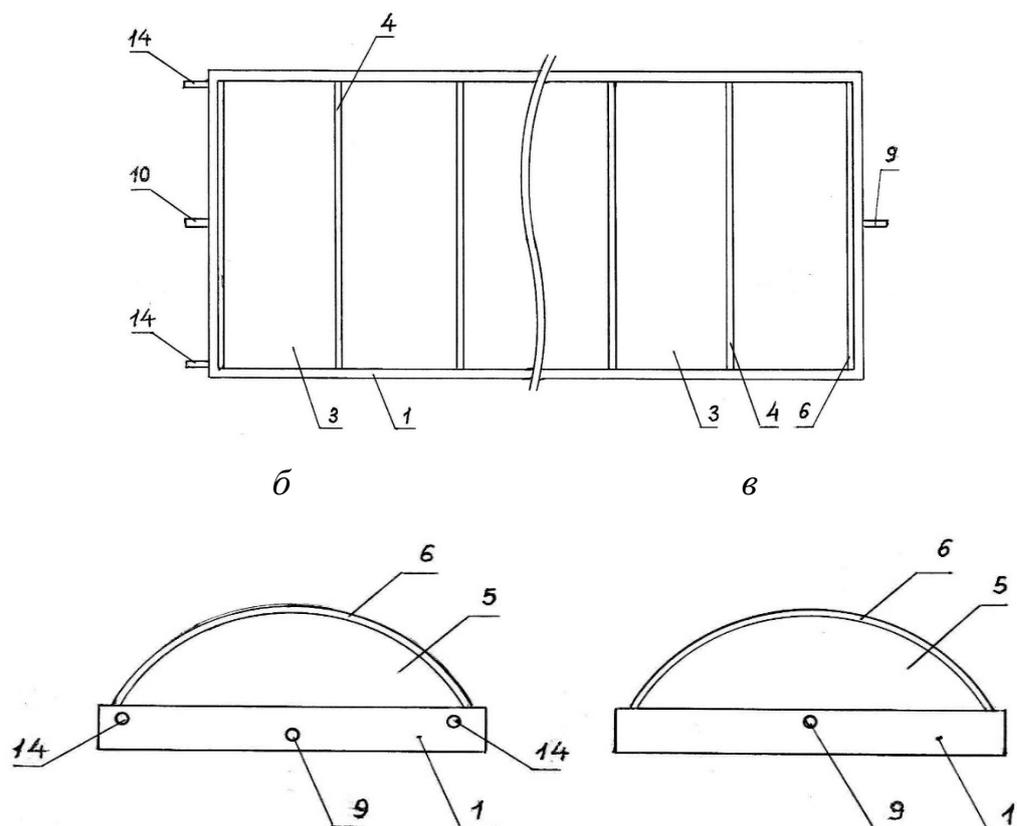


Рисунок 3.1 - Схема малометаллоемкой солнечной опреснительной установки, вид сверху (а), с передней (б) и тыльной (в) сторон.

Схема конструктивного варианта разработанной СОУ приведена на рисунке 3.2а, а на рисунке 3.2.б приведено сечение корпуса СОУ.

Как видно СОУ состоит из следующих основных элементов: основания 1 (грунтовый с гидроизоляцией, или железобетонный корпус), имеющего в плане прямоугольную форму, которая в случае бетона, армирована стальной арматурой (для придания жесткости конструкции). Одновременно основание является корытом с невысоким бортом. Внутренняя часть корпуса для увеличения коэффициента поглощения солнечных лучей и гидроизоляции изнутри покрывается битумом (на рисунке 3.2. не показан) и прозрачного стеклянного ограждения.

Элементы прозрачного ограждения, имеющие полуцилиндрическую форму, получается моллированием листового стекла на специальной матрице, имеющей соответствующую полуцилиндру форму.

a

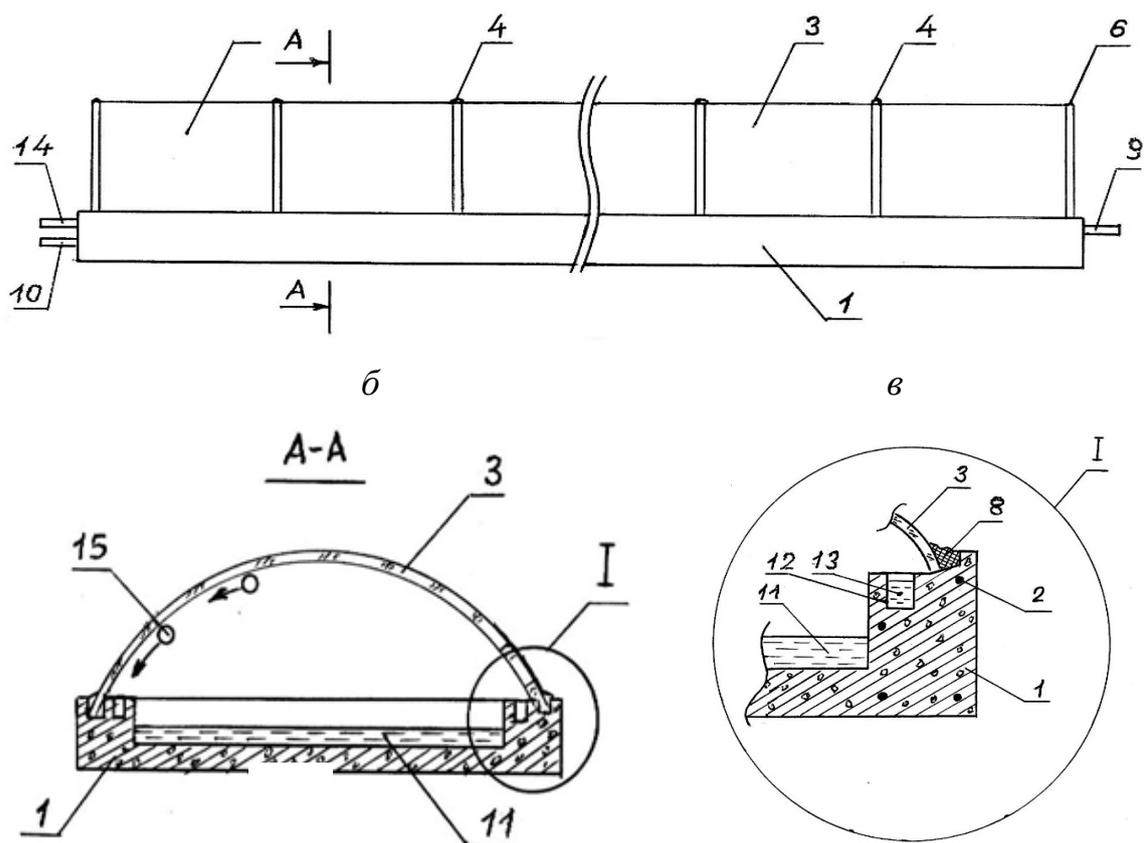


Рисунок 3.2 - Конструкция малометаллоемкого СОУ.

Модули прозрачного ограждения 3 устанавливаются на боковые ребра железобетонного основания 1 и соединяются между собой резиновым уплотнителем 4 (см. рисунок 3.3.), имеющего пазы для стекла (аналогично резиновым держателям автомобильных стекол). Торцевые стороны ПО закрываются листовым стеклом 5, имеющего форму сегмента. Боковые стороны конечных листов ПО и боковые сегменты соединяются между собой уголковым резиновым уплотнителем 6. Для предотвращения светового старения резиновых уплотнителей они с внешней стороны обертываются) алюминиевой фольгой. Концы овальных и сегментных ПО герметизируются водостойкой мастикой. Для заливки соленой воды в корпус 1 СОУ имеется специальный патрубок. На внутренних боковых сторонах корпуса, как указано выше, в корпусе сделаны канавки для скапливания и стекания пресной воды. Из корпуса СОУ пресная вода вытекает через патрубки, нижняя часть которого находится на одном уровне с дном канавки.

Соленая вода заливается толщиной от 1см до 2 см в корпус (основание)

СОУ. Работа такой СОУ, как и всех парниковых опреснителей происходит следующим образом - солнечные лучи, проникая во внутрь СОУ через стеклянное ПО, поглощаются зачерненным дном и боковыми частями основания, а также, частично, самой водой. Температура воды повышается и процесс испарения начинает интенсифицироваться. Пары воды, поднимаясь вверх (показаны пунктирной линией), соприкасаются с относительно холодной внутренней поверхностью ПО и конденсируются. Агрегируясь, пары воды превращаются в капли и стекают по наклонной внутренней поверхности вниз к желобкам. Скапливающаяся в желобках вода через патрубки выходит наружу и далее по коллекторным трубопроводам поступает в бак-аккумулятор пресной воды (на рисунке не показаны).

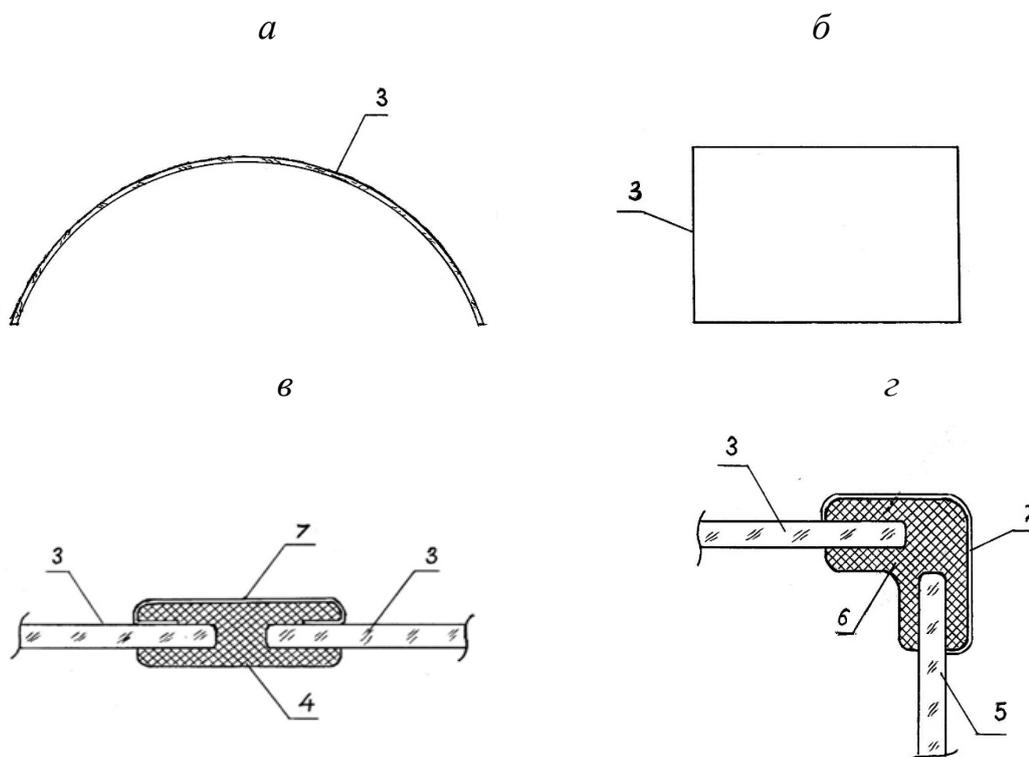


Рисунок 3.3 - Крепление стеклянных элементов ПО в ряду (в) и в торце (г).

Как видно, во-первых, такая конструкция СОУ не содержит металлические детали, которые портятся сами и портят качество пресной воды ржавчиной. Во-вторых, СОУ покрыт стеклом, который является долговечным материалом, сохраняющим длительное время свои оптические и механические (прочностные) свойства в атмосферных условиях. Резиновые уплотнения, за-

щищенные алюминиевой фольгой, также долго сохраняют свои механические свойства.

На изготовленном нами СОУ ширина модуля стеклянного моллированного прозрачного ограждения составляла 800мм, длина-1600 мм. Ширина бетонного основания на месте установки модулей прозрачного ограждения составляла 1350 мм, вертикальное расстояние от верхней грани бетонного основания до верхней точки дуги прозрачного ограждения составляло 240 мм. На бетонном основании устанавливались 8 модулей прозрачного ограждения.

Модули прозрачного ограждения устанавливаются на боковые ребра железобетонного основания впритык. Остающийся зазор шириной не более 0,5 мм между ними закрывается клейкой лентой «Скотч».

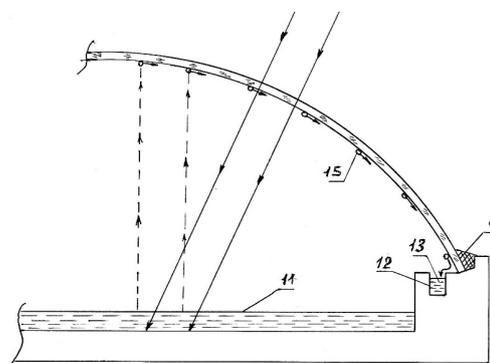


Рисунок 3.4- Схема работы малометаллоемкой солнечной опреснительной установки.

Торцевые стороны прозрачного ограждения закрываются листовым стеклом, имеющего форму сегмента. Общий вид изготовленного опытного образца СОУ приведен на рисунке 3.5.

Предлагаемая СОУ с сегментным ПО долговечна и относительно дешева. Отсутствие металлического каркаса, удерживающего модули стеклянного покрытия СОУ, позволяет не только улучшать её технико-экономические характеристики, но также облегчает возможность получения пресной воды, не загрязненной продуктами ржавчины. Можно также отметить, что выполнение торцевых поверхностей прозрачными, для солнечного излучения позволяет увеличивать поток солнечного излучения, входящего в СОУ, которые в принципе компенсируют тепловые потери торцевых частей, в том числе при их ис-

пользовании, как дополнительных поверхностей конденсации. Вторым вариантом развития малометаллоемкой конструкции СО является конструкция типа, рассмотренных в глава 1 и 2 (рисунок 1.5 и рисунок 2.1з).



Рисунок 3.5- Общий вид опытного образца малометаллоемкой солнечной опреснительной установки с рабочей площадью 5.4кв.м.

3.2. Экспериментальные исследования теплотехнических характеристик малометаллоемкого солнечного парникового опреснителя

Нами в 2015 и 2016 гг. в течение всех двенадцати месяцев проведены экспериментальные исследования дневных и среднемесячных эксплуатационных характеристик (производительности) ММСОУ в условиях г.Ош, Кыргызской Республики [67,68].

3.2.1. Методика эксперимента

Основной задачей экспериментального исследования солнечных установок обычно является определение их реальных характеристик, так для солнечного опреснителя это в первую очередь определение её общей m (кг/ч) и удельной m_y (кг/(чм²)) производительности, которые определяются, как

$$m = \Delta m / \Delta \tau, \quad (3.1)$$

где Δm – масса вытекшей из опреснителя воды за время $\Delta \tau$, соответственно удельная производительность равна

$$m_y = m / S_B, \quad (3.2)$$

где S_B – площадь зеркала воды в опреснителе или площадь опреснителя

Т.е. при экспериментальном определении производительности опреснителя необходимо знать две величины Δm и $\Delta \tau$. При этом Δm определяется по массе или объему вытекшей за время $\Delta \tau$ воды. Так как в процессе исследования изменяется плотность солнечного излучения, а значит и температурный режим внутри опреснителя, то желательно измерять также солнечную радиацию и температуры воды и воздуха в опреснителе и окружающей среде.

Учитывая, достаточно медленное изменение этих параметров измерения проводились вручную один раз в час, при этом для измерения солнечной радиации использовался пиранометр, а для измерения температур – ртутный термометр с ценой деления 0.50. Погрешности измерения определяются точностью измерения массы (объема) воды Δm и времени $\Delta \tau$. Предварительные измерения показали, что масса Δm воды за 1 час изменяется от 5 грамм до 2 кг. Масса воды измерялась электронными весами типа "Весы настольные CAS PW-2H" с пределом измерения до 2кг и точностью 0.5г.

Т.е. они подходят для проведения измерений массы, например, при массе воды 5г погрешность составляет около 10%, а уже при массе воды 50г погрешность измерения составит 1%.

3.2.2. Исследование производительности малометаллоемкого

солнечного опреснителя

Основной целью экспериментальных исследований модуля ММСОУ являлось определение её реальной производительности в натуральных условиях.

Максимальные дневные часовые производительности для января, апреля, июля и октября месяцев приведены на рисунке 3.6.

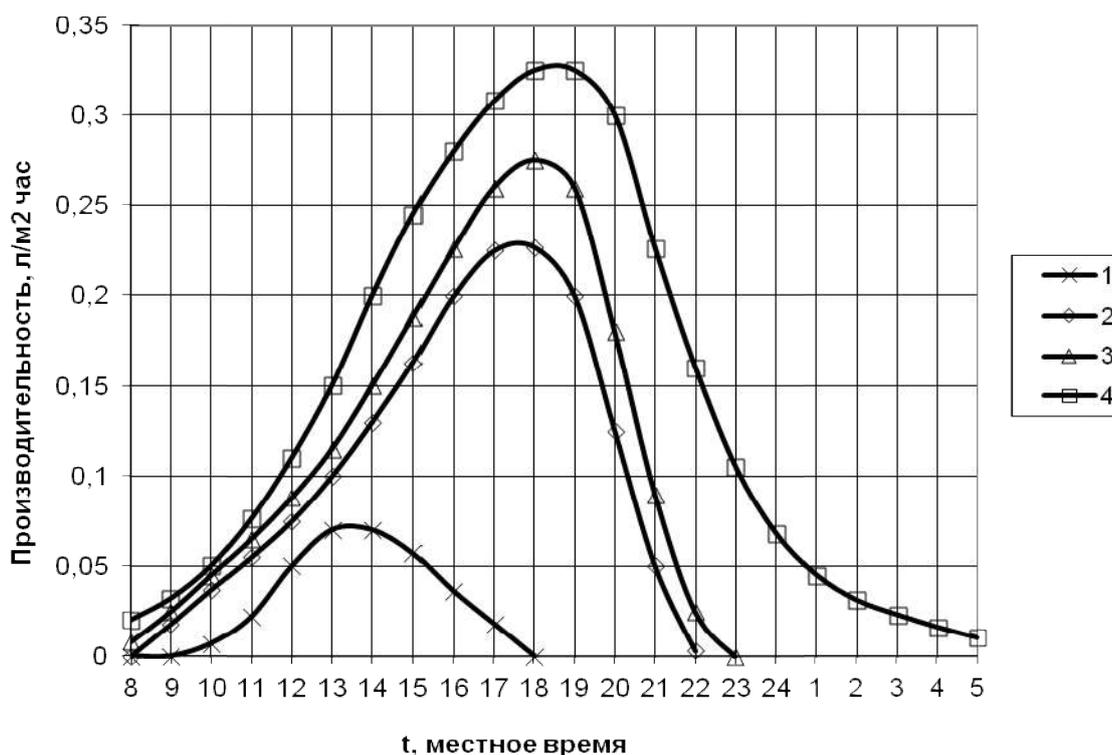


Рисунок. 3.6- Часовые производительности ММСОУ для января (кривая 1), апреля (кривая 2), октября (кривая 3) и июля (кривая 4) месяцев

Как видно, максимум производительности ММСОУ, кроме января месяца отличается от максимума плотности солнечной радиации, наблюдающегося в условиях г. Ош в 13 часов дня. Чем больше плотность солнечной радиации и продолжительность часов солнечного сияния, тем на большее время смещается максимум производительности от времени, когда плотность солнечной радиации максимальна [68]. Это объясняется аккумулярованием определенной части тепла, полученной от солнечной радиации в материалах (в теле) корпуса и прозрачного покрытия ММСОУ.

Аккумулятивная таким образом тепловая энергия в дневное время идет на испарение воды в опреснителе после захода солнца.

На рисунке 3.7. показано время дня, при которой достигается максимум часовой производительности ММСОУ в различные месяцы года.

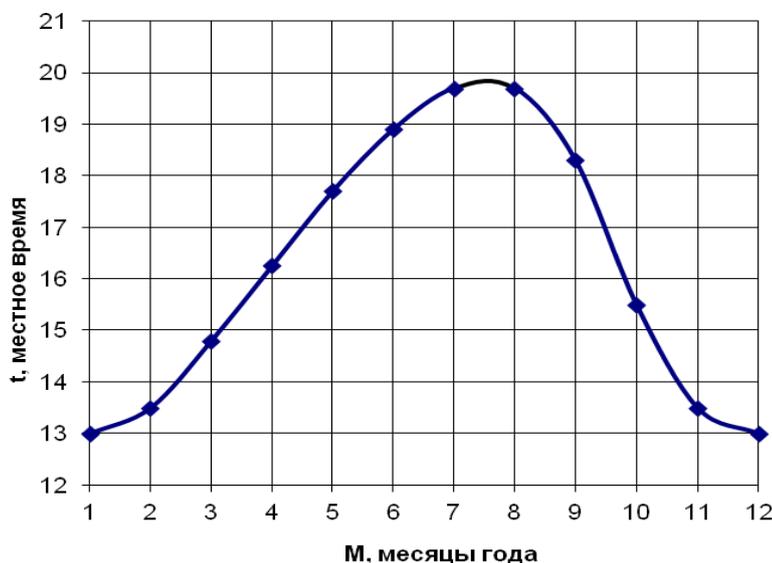


Рисунок 3.7- Время дня максимума часовой производительности ММСОУ в течение дня по месяцам года

Как видно, на характер производительности в течение дня существенное влияние оказывает теплоемкость элементов СОУ и температура окружающего воздуха. В то же время, чем больше тепла аккумулируется в летние месяцы, тем дольше она работает и вырабатывает воду и после прекращения поступления солнечной радиации (в темное время суток). В летние месяцы испарение и конденсация водяных паров идет почти до начала нового светового дня.

В холодное время года, в зимние месяцы, СОУ не может аккумулировать достаточное количество тепла и соответственно испарение от зеркала воды идет только в светлое время суток, под действием поглощенной солнечной радиации. С окончанием времени поступления солнечной радиации практически одновременно прекращается и испарение, и конденсация воды в ММСОУ.

Теплоемкость всей конструкции СОУ складывается из теплоемкости её составляющих элементов. В таблице 1 приведены теплоемкости элементов ММСОУ и их общая теплоемкость. Значения коэффициентов удельных теплоемкостей материалов взяты из [70,71].

Таблица 3.1- Теплоемкость элементов и модуля ММСОУ

№ пп	Элемент	Материал	Плотн., кг/м ³	Уд. тепл. кДж/кг.град	Масса, кг	Теплоем-кость кДж/град
1	Основание	Бетон	2400	1,13	1044,0	1179,7
2	Арматура	Сталь	7600	0,462	4,65	2,25
3	Сетка-мак	Сталь	7600	0,462	2,59	1,19
4	Битумное покрытие	битум	1350	1,67	3,37	5,62
5	ПО	Стекло	2500	0,67	80,0	53,6
6	Торцевое ПО	Стекло	2500	0,67	4,87	3,36
6	Патрубки	Полиэтилен		1,78	0,43	0,8
7	Герметик	Композит.	800	2,09	3,20	6,7
8	Теплоизол.	Шебень	1840	0,88	664,60	584,9
9	Опресняемая вода	соленость 5%	1010	4,174	77,87	325,1
	Суммарная теплоемк.					2163,2

Как видно из табл. 1, основными теплоемкими элементами заправленного модуля ММСОУ являются бетонное основание (54,8%), теплоизоляционная подстилка (27,1%) и сама опресняемая вода (15,1%). (В расчетах толщина воды взята равной 1,5 см, а не 2 см – как в ряде экспериментах).

Вклад стеклянного прозрачного покрытия в общую теплоемкость ММСОУ составляет всего 2,17%.

В случае использования полиэтиленовой пленки (толщиной 0,2 мм) в качестве прозрачного покрытия, ее теплоемкость будет составлять (масса 1,10 кг, удельная теплоемкость - 1,780 кДж /кг град) 1,96 кДж. Это составляет 4,37% от теплоемкости стеклянного покрытия.

Следует отметить, что не вся теплота, аккумулированная в элементах ММСОУ идет на испарение воды.

Часть ее теряется в результате кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена с гравийной подстилкой и окружающей средой.

При классической конструкции двухскатных СОУ добавляется металлическим каркас для стеклянного покрытия.

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. В разработанном ММСОУ на режим испарения опресняемой воды основное влияние оказывает теплоемкость материала основания;
2. Максимумы производительности ММСОУ в весеннее – летнее осеннее время сдвинуты на послеполуденное время. Чем больше плотность солнечной радиации, тем больше выражена величина такого смещения.
3. В зимние месяцы, из-за малого количества аккумулируемой материалами ММСОУ тепловой энергии и низкой температуры воздуха максимум дневной производительности ММСОУ совпадает с максимумом плотности солнечной радиации. Это объясняется тем, что температуры нагрева в зимнее время малы и в связи с этим влияние тепловой инерции практически мало, что и приводит к практическому совпадению максимума солнечной радиации с максимумом производительности модуля.

3.3. Сравнительные характеристики малометаллоемкой солнечной опреснительной установки со стеклянным и пленочным покрытием

В 2015 и 2016 гг. при исследовании характеристик ММСОУ, также для сравнения была исследована аналогичная ММСОУ с пленочным из полиэтилена прозрачным ограждением такой же формы. Толщина полиэтиленовой пленки составляла 0,2 мм. Результаты испытаний приведены в таблицах 3.2 и 3.3.

В таблицах – ΣQ – среднее количество солнечной радиации (МДж/м² день), Q - в % от максимальной среднемесячной солнечной радиации, G – среднее количество производительности ММСОУ за месяц, л/м² день, G' - в % от максимальной дневной производительности, η – КПД опреснителя.

Таблица 3.2 – Результаты эксплуатационных испытаний ММСОУ

Месяцы года	ΣQ , МДж/м ² день	Q , %	G , л/м ² день	G' , %	η , %
1	7,39	28,4	0,11	3,1	5,6
2	10,66	40,9	0,50	14,5	19,3
3	11,51	44,2	1,01	29,2	21,0
4	16,03	61,5	2,04	59,1	29,7
5	20,31	77,9	2,59	75,1	32,2

6	25,57	98,15	3,42	99,2	36,5
7	26,04	100	3,45	100	37,3
8	23,81	91,4	2,53	89,7	35,3
9	20,06	77,0	3,17	73,5	33,8
10	12,19	46,8	1,49	43,3	27,0
11	8,38	32,1	0,86	25,0	19,7
12	4,73	18,1	0,13	3,7	3,1
Средне- годовое	15,55		1,77		25,04

Таким образом, удельная годовая производительность ММСОУ со стекляннм ПО составляет: $G = 365 \times 1,77 = 646,05 \text{ л/м}^2$.

Годовая производительность одного модуля ММСОУ составляет ($S = 1,1 \times 4,75 = 5,22 \text{ м}^2$): $G = 646,05 \times 5,22 = 3372,38$ литров.

Таблица 3.3 – Результаты эксплуатационных испытаний модуля СОУ с пленочным (полиэтиленовым) ПО – СОУ ПП

Месяцы года	ΣQ , МДж/м ² день	Q, %	G, л/м ² день	G', %	η , %
1	7,39	28,4	0,07	2,8	2,7
2	10,66	40,9	0,25	10,1	9,8
3	11,51	44,2	0,67	27,0	13,9
4	16,03	61,5	1,73	69,7	20,4
5	20,31	77,9	1,83	73,8	22,9
6	25,57	98,15	2,28	91,9	24,0
7	26,04	100	2,48	100	26,9
8	23,81	91,4	2,21	89,1	25,4
9	20,06	77,0	1,84	74,2	24,3
10	12,19	46,8	1,07	43,1	18,9
11	8,38	32,1	0,53	21,3	12,3
12	4,73	18,1	0,04	1,6	2,5
Среднее за год	15,55		1,25		17,00

Удельная годовая производительность СОУ с пленочным ПО – СОУ ПП:

$$G = 365 \times 1,25 = 456,25 \text{ л/м}^2.$$

Годовая производительность ММСОУ: ($S = 1,1 \times 4,75 = 5,2 \text{ кв.м.}$)

$$G = 456,25 \times 5,22 = 2381,62 \text{ литров.}$$

Среднегодовая производительность СОУ ПП составляет $1,27 \text{ л/м}^2$ день, что составляет 70,5% от производительности ММСОУ. Среднегодовой КПД СВУ ПП составляет 17,7%, что составляет 67,8% от КПД ММСОУ.

Меньшее значение производительности и КПД СОУ ПП по сравнению с ММСОУ объясняется тремя факторами:

1 - большими теплотерями в окружающую среду от полиэтиленовой пленки по сравнению со стеклянным покрытием;

2 – плохой смачиваемостью полиэтиленовой пленки капельками конденсата, что приводит к частому отрыву капелек конденсата от полиэтиленовой пленки и падением их обратно в бассейн;

3 – дополнительным отрывом капель конденсата от полиэтиленовой пленки в результате ее колебаний под воздействием ветра.

Как видно из таблицы 3.1, максимальная производительность и КПД ММСОУ составляют соответственно 3,45 л/м² день и 37,3%.

Средняя максимальная производительность и КПД наиболее распространенных двухскатных СОУ со стеклянным покрытием и металлическим уголко-вым каркасом при аналогичных условиях составляет соответственно 4,03 л/м² день и 40 % [72].

Несколько меньшие значения производительности и КПД ММСОУ от двухскатных (соответственно на 14,6% и на 6,75%) объясняется большей вероятностью отрыва капелек воды от средней части арочного прозрачного покрытия ММСОУ, имеющего в центральной части форму, близкую к плоской.

Сравнительные эксплуатационные характеристики исследованных модулей СОУ приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Сравнительные эксплуатационные характеристики модулей СОУ со стеклянным и полиэтиленовым покрытиями

№ пп	Параметры модулей СОУ	ММСОУ	СОУ ПП	СОУ ПП/ ММСОУ, %
1	Максимальная дневная удельная производительность, G, л/м ² день	3,45	2,48	71,9
2	Максимальный дневной удельный КПД η, %	37,3	26,9	72,1

3	Среднегодовая дневная удельная производительность G , л/м ² день	1,77	1,25	70,62
4	Среднегодовой удельный КПД η , %	25,04	17,00	67,89
5	Годовая удельная производительность одного модуля, G_M , л/м ² год	646,05	426,25	65,97
6	Годовая производительность одного модуля СОУ, л	3372,38	2381,62	70,62

Таким образом, производительность и КПД модуля СОУ с полиэтиленовым покрытием составляет около 70 % от аналогичных показателей модуля СОУ со стеклянным покрытием.

ММСОУ имеет ряд преимуществ перед известными СОУ: она не содержит металлические детали в рабочей зоне (в зоне испарения и конденсации воды), корродируя и портящие качество пресной воды ржавчиной. Во-вторых, установка покрыт стеклом - долговечным материалом, сохраняющим длительное время свои оптические и механические (прочностные) свойства в атмосферных условиях. в – третьих – за счет отсутствия металлического уголкового каркаса, поддерживающего плоские стеклянные листы, которые затеняют определенную площадь прозрачного покрытия СОУ, увеличивается площадь на 50-75 мм в ширину на каждый метр длины СОУ (в нашем СОУ выигрыш в целом составляет 0,25 м²). Следовательно, предлагаемая солнечная опреснительная установка долговечна, дешевая благодаря отсутствию металлического каркаса, удерживающего модули стеклянного покрытия. Она позволяет получать чистую, не загрязненную продуктами ржавчины каркаса опресненную воду за все время функционирования (как правило, не менее 15-20 лет).

Предлагаемая солнечная опреснительная установка может быть востребована не только в Кыргызстане, но и в других странах с засушливым климатом, где значительную долю питьевой воды составляет подземная вода из ко-

лодцев. Зачастую эти подземные воды содержат вредные для здоровья соли и другие минералы. Для безопасного потребления эти воды необходимо опреснить - удалить из них соли и минералы.

В частности, в Кыргызстане немало сел (село Ак-Таш Карасуйского района, село Жалпак -Таш Узгенского района, ряд сел Баткенской области, село Араван Араванского района и др.), где потребляемая из колодцев и артезианских скважин вода – соленая и её необходимо опреснять. Все это, несомненно, даст не только экономический, но и социальный эффект - улучшится здоровье населения. Как показывает практика, это существенно снижает мочекаменное заболевание населения.

В результате сравнительных испытаний модуля ММСОУ были проведены разработки по улучшению её теплотехнических характеристик за счет уменьшения теплоемкости корпуса. В связи с этим были рассмотрены аналогичные конструкции, состоящие из железобетонного основания в виде корыта и двухскатного прозрачного ограждения из листового стекла [73].

Анализ показал, что такой корпус аккумулирует значительную тепловую часть солнечной энергии, поступающей в установку через прозрачное покрытие. Однако около 70% этой аккумулированной энергии теряется в окружающую среду и только примерно 30% после захода солнца возвращается к воде и идет на ее испарение, т.е. на опреснение.

Известна солнечная опреснительная установка, состоящая из эмалированного металлического корпуса (основания) для соленой воды, плоского прозрачного ограждения из листового стекла [74]. Корпус размерами 1300x800x80 мм изготавливается из листового кровельного железа толщиной 0,5-0,7 мм. Основание корпуса имеет ряд перегородок, расположенных перпендикулярно основанию.

После изготовления металлический корпус эмалируется неорганической эмалью при температуре около 80⁰С в ванне с эмалью по технологии эмалирования металлической посуды (окунается в эмаль). Далее, для уменьшения теплотерь в окружающую среду наружная поверхность эмалированного основа-

ния, включая и боковые стенки, покрываются пенополиуретаном толщиной 3-4 см. Таким образом, не считая защитный эмалевый слой, основание получается двухслойной: первый слой – металлический лист и второй – наружный (теплоизолирующий) – пенополиуретан. Один модуль такой установки весит 11-12 кг.

Устанавливается такая установка под углом 30 - 35° к горизонту (она - наклонно-ступенчатого типа). При таком расположении перегородки создают ряд своеобразных полок, в которые заливается соленая вода.

Недостатком данной установки является использование металлического материала (железный лист) в качестве корпуса и эмали – тонкого неэластичного (хрупкого) материала в качестве антикоррозионной защиты основания. Из-за относительной малой толщины железного листа при переносе, транспортировке и монтаже она искривляется с небольшой остаточной деформацией. При этом в эмалевом покрытии появляются трещины. Соленая вода через имеющиеся в эмалевом покрытии микроскопические поры, а также образующиеся трещины проникает к металлическому основанию и приводит к его коррозии. Ржавчина достаточно быстро (в течение 1-2 месяцев) распространяется под эмалевым покрытием. Таким образом ржавчина портит эмалевое покрытие: оно вспучивается и отделяется от металлического основания. В целом установка постепенно выходит из строя.

Напомним, что в разработанной нами ММСОУ [65] корпус имеет следующие габариты: основание с внутренними размерами 4800x1150мм; высота бортов 100 мм; толщина боковых стенок – 100 мм; а донной части -50 мм. Оно сделано из однородного материала- бетона имеет вес 1094,40 кг и теплоемкостью 1236,67 кДж/град. Эта значительная величина и поэтому большая доля солнечной радиации, проникающей в установку, превращаясь в тепловую энергию, аккумулируется этим основанием. Это, в первую очередь, уменьшает долю тепловой энергии, идущей непосредственно на испарение воды, а во – вторых, ее значительная часть теряется в окружающую среду. Это снижает как КПД, так и производительность установки. Это и является недостатком данной

установки, хотя эти конструктивные решения были обусловлены задачами создания долговечного опреснителя.

Поставленная задача уменьшения теплоемкости ММСОУ решается тем, что основание выполнено состоящим из последовательно расположенных трех основных слоев несущего наружного бетонного слоя, пенопластового теплоизолирующего слоя и внутреннего слоя, выполняемого из цементно – песчаного раствора, при этом для прикрепления листов пенопласта к несущему наружному бетонному слою используются крепежные штыри из пластмассы и ввинчены, между пенопластовым теплоизолирующим слоем и внутренним слоем для хорошего их сцепления уложена мелкая металлическая сетка, которая также прикреплена к пенопласту с помощью крепежных пластмассовых штырей.

На рисунке 3.8 показана схема поперечного сечения разработанной СОУ.

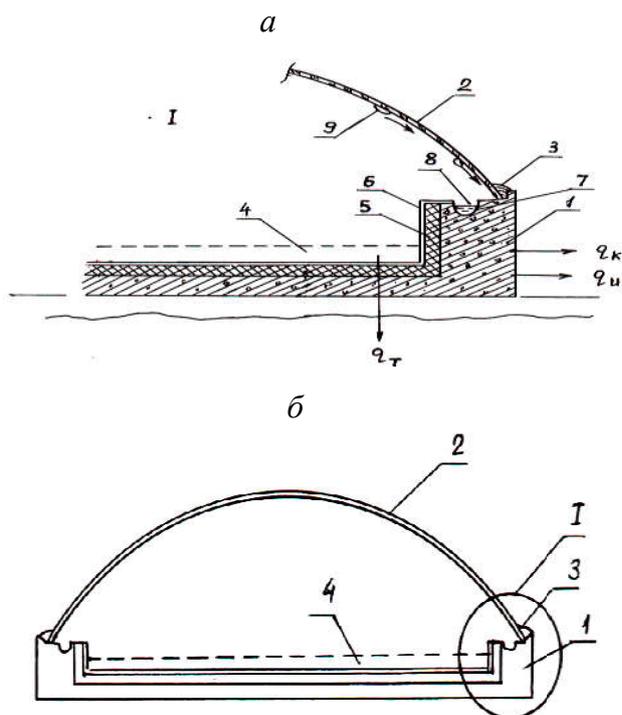


Рисунок 3.8- Поперечное сечение СОУ с улучшенными теплотехническими характеристиками, общий вид (а) и вид бокового торца (б), где:

- 1- бетонное основание, 2 – прозрачное покрытие, 3 - герметик – мастика, 4 – слой опресняемой воды, 5 – теплоизолирующий слой, 6 – цементно – песчаный слой, 7 - канавка для сбора дистиллята, 8 – дистиллированная вода, 9 – капля конденсата.

Как и предыдущая СОУ, данная СОУ состоит из бетонного основания 1, имеющего в плане форму прямоугольного корыта с невысоким бортом и ее прозрачное ограждение также имеет дугообразную форму и состоит из пяти модулей 2. Модули 2 прозрачного ограждения устанавливаются на боковые ребра бетонного основания 1. Небольшие зазоры (менее 0,5 мм), остающиеся между дугообразными модулями прозрачного ограждения закрываются липкой лентой (на фигуре не показаны).

Торцевые стороны прозрачного ограждения закрываются также листовыми стеклами, имеющими форму сегмента. Крайние модули 2 прозрачного ограждения и боковые сегменты соединяются между собой также липкой лентой.

Нижние концы дугообразных модулей прозрачного ограждения, соприкасающиеся с бетонным основанием 1, с наружной стороны герметизируются водостойкой упругой мастикой 4.

Основание данной СОУ состоит из трех основных слоев: несущего наружного бетонного слоя 1 (толщиной 50-60 мм, второго – пенопластового теплоизолирующего слоя 5 (толщиной 20 -30 мм) и третьего – внутреннего слоя 6, выполняемого из цементно – песчаного раствора толщиной не более 5 мм. Для прикрепления листов (плит) пенопласта к несущему бетонному основанию используются крепежные штыри (гвозди) из пластмассы (на рисунке не показаны) и подобно шурупам ввинчены в основание. Между пенопластовым теплоизолирующим слоем 5 и слоем цементно – песчаного раствора 6 для хорошего их сцепления уложена мелкая металлическая сетка, которая также прикреплена к пенопласту с помощью крепежных пластмассовых штырей (на фигуре не показаны). Для гидроизоляции на цементно – песчаный раствор наносится слой битума толщиной 1-2 мм. (на рисунке не показан. Заливка соленой воды также производится через наружный патрубок. На противоположной торцевой стороне основания 1 имеет патрубок для слива воды при промывке дна основания от образующегося со временем рассола.

На длинных боковых ребрах основания 1 сделаны канавки 7 для скапливания и стекания пресной воды 8.

Из основания установки пресная вода вытекает через патрубки, нижняя часть которых находится на одном уровне с дном канавок.

Соленая вода заливается в основание 1 толщиной 1-2 см. Солнечные лучи, проникая во внутрь через модули 2 прозрачного ограждения, поглощаются зачерненным (битумирован) дном и боковыми частями основания 1, а также частично и самой водой 10. При работе установки температура опресняемой воды в летние месяцы достигает 75-85°C.

В случае использования трехслойного основания расход материалов, следовательно, и его общая масса при тех же габаритных и внутренних размерах основания, будет другой. В таблице 3.5 приведены расход материалов, теплоемкости отдельных слоев и всего основания предлагаемой установки.

Таблица 3.5- Теплоемкость трехслойного основания опреснительной установки и ее элементов.

№ пп	Основание	Материал	Плотн., кг/м ³	Масса, кг	Уд. теплоемк. кДж/кг.гр	Теплоемк. кДж/град.
1	Несущий слой	Бетон	2400	984,0	1,13	1111,9
2	Теплоизоляционный слой	Пенополиуретан	80	16,02	1,47	23,6
3	Внутренний слой	Цементно-песчаный раствор	1800	59,9	0,84	50,3
	Три слоя					1185,7
	Остальные элементы					387,93
	Суммарная					1573,7

У модуля установки с однослойным основанием теплоемкость равна 1236,67 кДж/град, а у многослойного основания - 1185,74 кДж/град, что на 4,2% меньше, чем теплоемкость однослойного основания.

В данном случае важно не только соотношение теплоемкостей однослойного и многослойного оснований, но и важна их теплопроводность.

Коэффициент теплопередачи однослойной или многослойной стенки определяется выражением [75]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \left(\frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.3)$$

где α_1 – коэффициент тепловосприятия внутренней стенки основания установки, α_2 – коэффициент теплоотдачи наружной стенки основания установки, δ_i - толщина i - слоя стенки, λ_i - коэффициент теплопроводности i – слоя стенки.

Для тепловосприятия внутренней поверхности основания, контактирующего с водой $\alpha_1 = 100$ Вт/м² град, а для теплоотдачи от наружной поверхности основания к воздуху $\alpha_2 = 20$ Вт/м² град [75].

Расчеты, проведенные для рассматриваемых двух типов стенок основания, показывают, что коэффициент теплопередачи однослойного бетонного основания равняется $k_{\text{осн}} = 5,882$ Вт/м² град, а для ребер основания $k_{\text{реб}} = 5,025$ Вт/м² град.

Расчеты для трехслойного основания установки показывают, что $k_{\text{осн}} = 1,275$ Вт/м² град и для ребер основания $k_{\text{реб}} = 1,230$ Вт/м² град.

Следовательно, при использовании трехслойного основания установки коэффициент теплопередачи его донной части в 4,61 раз меньше, чем у однослойного бетонного основания.

Так же, коэффициент теплопередачи ребра трехслойного основания установки в 4,08 раза меньше чем у однослойного бетонного основания.

Коэффициент теплопередачи слоев цементно – песчаного раствора и пенополиуретанового теплоизоляционного слоя составляет $k = 1,338$ Вт/м² град. Слой бетона такой же толщины, что и суммарная толщина цементно – песчаного раствора и пенополиуретана – (35 мм) имеет коэффициент теплопередачи $k = 6,963$ Вт/м² град.

Таким образом, использование многослойного основания, содержащего теплоизоляционный слой в 5,20 раза, меньше передает тепло несущему бетонному слою основания, чем такой же слой бетона, контактирующего со опресняемой водой.

Это позволит в свою очередь уменьшить долю аккумулируемой основанием количество тепловой энергии при работе установки и повысить производительность, что позволит при одинаковой площади, традиционной и предлагаемой установок получать на 25-30% больше пресной воды или, для получения одного и того же количества пресной воды можно строить предлагаемую установку с площадью, меньшей на 25-30 %, чем аналогичные установки с однослойным основанием.

Выводы по главе 3

1. Разработан и изготовлен опытный образец новой конструкции парникового солнечного опреснителя, отличающейся технологичностью изготовления и малым расходом металла на прозрачное ограждение.
2. Показано, что учитывая сезонность работы СО (лето, весна-осень), а также реальное время работы в течение дня даже в летнее время (не более 8 часов в день) перспективной конструкцией парникового СО является плоский «горячий ящик» с горизонтальным расположением.
3. Получены экспериментальные данные по производительности парникового солнечного опреснителя в течение года на широте г. Ош. Выявлено, что максимум производительности парникового СО, вследствие тепловой инерционности сдвинут относительно местного полудня, причем этот сдвиг увеличивается с увеличением плотности солнечной радиации, т.е. в летнее время он больше, чем в зимнее.
4. Расчетными оценками получено и экспериментально подтверждено, что КПД СО с пленочным ПО почти в два раза меньше, чем КПД солнечного опреснителя со стеклянным ПО.

Глава IV. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКИХ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ

КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

4.1. Техничко-экономические характеристики малометаллоемких солнечных опреснительных установок

Анализ состояния водных ресурсов и водного хозяйства Кыргызской Республики, в том числе подземных вод изложен в ряде документов, например, [76,77]. Рассмотрим технико – экономические характеристики разработанного малометаллоемкого солнечного опреснителя с точки зрения их применения и проектирования. Для проектирования СОУ в общем случае необходимы следующие исходные данные:

- потребность в воде (суточная, месячная, сезонная, годовая), P_B [л/год];
- транспортабельность (стационарная, переносная).

Далее, необходимо знать технические и экономические характеристики СОУ, например:

- удельная производительность (максимальная, средняя за день, месяц, сезон и год) – G [л/м²];
- удельная стоимость СОУ, C_T [сом/м²];
- удельная стоимость опресняемой воды, C_B [сом/л].

Основные технические характеристики ММСОУ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики ММСОУ.

№ пп	Показатель	Единица измерения	ММСОУ
1.	Полезная площадь, $S_{П}$	м ²	5,22
2.	Габаритная площадь, $S_{Г}$	м ²	7,92
3.	Максимальная дневная удельная производительность, $G_{м}$	л/м ² день	3,45
4.	Максимальный дневной кпд $\eta_{м}$,	%	37,3
5.	Средняя за год дневная удельная производительность $G_{Г}$,	л/м ² день	1,77
6.	кпд установки η ,	%	25,04
7.	Годовая удельная производительность одного модуля, $G_{М}$,	л/м ² год	646,05

8.	Годовая производительность одного модуля СОУ, л		3372,38
----	---	--	---------

Согласно заданию на проектирование, СОУ является стационарной, при этом с целью удешевления строительства и повышения универсальности СОУ наиболее целесообразна модульная конструкция, например на основе ММСОУ.

Проектируемый модуль СОУ выполнен по лотковой схеме. Он имеет прямоугольную в плане форму с наружными размерами 5350x1480 мм и высотой 280 мм и выполняется из бетона. Толщина боковых стенок и дна составляет 100 мм. По верхней и нижней части боковых и торцевых сторон проложена арматура диаметром 14 мм.

На донную часть модуля СОУ уложена сетка мак 4 из металлической проволоки диаметром 4 мм.

Поверх такого «лотка» в отличии от ММСОУ с криволинейной ПО, с целью упрощения технологии изготовления прозрачного ограждения монтируется двухскатный каркас с продольным профилем 5 из металлического профиля 20x20 мм. Скаты выполнены вдоль длины модуля СОУ. Каркас для удержания стекла имеет поперечные, а также боковые планки. На такой металлический каркас устанавливается листовое оконное стекло, боковые (торцевые) стороны каркаса также закрываются стеклом. Длина боковой стороны и вообще длина модуля СОУ выбраны исходя из экономного использования стандартного листа оконного стекла, имеющего размеры 160x130 см. на каждую из боковых сторон, укладывается по два листа стекла. При этом длина наклонной части каркаса составляет 0,8 м, а расстояние между поперечными планками – 1,3 м, так что лист оконного стекла разрезается пополам на две равные части размерами 1,3x0,8 м и укладывается на поверхность каркаса.

Место контакта стекла и металлического каркаса герметизируется атмосферостойкой шпаклевкой. Для заправки соленой водой в модуле СОУ имеется патрубок (пластмассовая труба диаметром 20 мм). Зеркало соленой воды равномерно распределяется по всей площади дна модуля СОУ.

Соленая вода, находящаяся на дне СОУ, под действием солнечного излучения, нагревается и испаряется.

Для промывки модуля СОУ, т.е. очистки от остатков концентрированного раствора соли имеется пластмассовая труба диаметром 25 мм., которая закрывается затычкой.

4.2. Разработка солнечной опреснительной установки для водоснабжения сел

Пусть разрабатываемая СОУ «СОУ-10000» должна иметь производительность до 10000 литров воды в день. Учитывая, что средняя в течение года дневная удельная производительность модуля составляет 1.77л/м^2 (см. таблицу 4.1) или 9.24л на модуль в среднем за год, а для максимальной дневной производительности получаем $3.45 \cdot 5.22 = 18\text{л/день}$. Отсюда следует, что для обеспечения заданной производительности 10000л/день необходимо

при средней за год дневной производительности, число модулей составит $N_1 = 10000/9.24 = 1082$, а их общая площадь 8569м^2

а при максимальной дневной производительности, число модулей составит $N_M = 10000/18 = 555$, а их общая площадь 4386м^2 .

Учитывая, что достаточно высокие производительности имеют место в течение 5 месяцев, а также возможность сбора СОУ дождевой воды в осенне-весенний период можно принять, что среднее число модулей равно $(1082+555)/2 = 818,5$, или с учетом непредвиденных случаев можно считать, что n равно 840. Так как найти одну большую площадь для всех модулей сложно, то разбиваем их на две группы по 420 модулей.

Исходя из рельефа местности и свободного пространства места строительства СОУ нами выбрана параллельно-последовательная схема соединения модулей СОУ в общий комплекс. Модули СОУ располагаются на поверхности земли по меридиональной схеме, т.е. они ориентированы длинной стороной по направлению север-юг.

При таком расположении модулей, с учетом отражения от поверхности их стеклянных покрытий, поступление солнечной радиации во внутрь модулей, как было показано в гл.2 будет максимальное и достаточно равномерное в течение дня. При этом в каждом ряду расположим по 7 модулей. Тогда количество рядов модулей будет равно 60.

Таким образом, каждый ряд содержит 7 модулей. Длину ряда определяем согласно предлагаемой схемы расположения модулей в группе на рисунке 4.1.

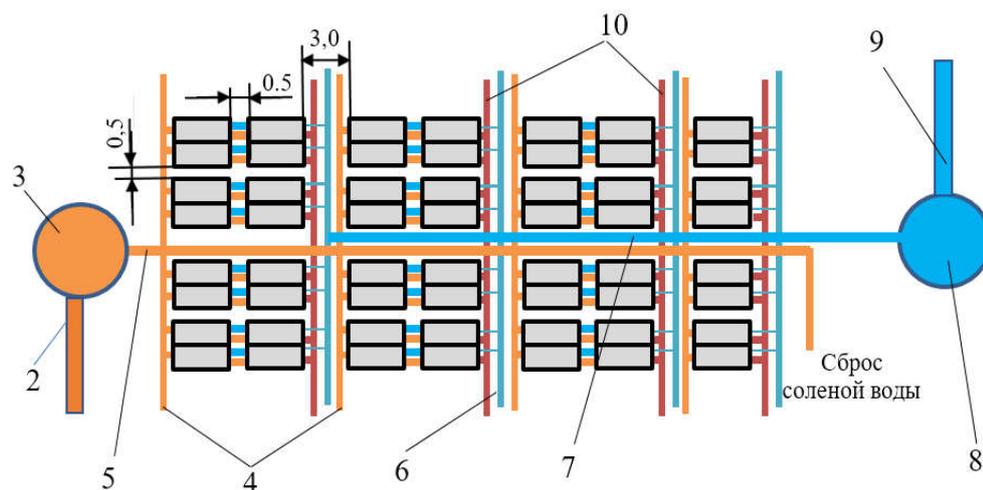
Так длина одного модуля составляет 5,35 метров. Для обслуживания и ремонта оставляем между ними проход шириной в 0.5м и 3,0м для транспорта (см. рисунок 4.2а). Тогда длина ряда поля СОУ будет равна: $L = 5,35 \times 7 + 0,5 \times 3 + 3,0 \times 3 = 47,9\text{м}$ (берем 50м). С целью более эффективного использования поля опреснители модули по ширине устанавливаются попарно беззазорно (при этом возможен и совмещенный корпус) и между каждой парой оставляем зазор в 0.5м (см. рисунок 4.2а). Таким образом относительно центра поля имеем по 15 пар с каждой стороны относительно центральной части и ширина поля опреснителей будет равна $H = 60 \times 1,48 + 0,5 \times 14 + 1 = 97\text{м}$.

Общая площадь одной группы поля опреснителей будет равна $S_{\text{общ}} = L \times H = 97 \times 47,9 = 4637,0 \text{ м}^2$, а общая площадь СОУ-10000 составит $9274,0 \text{ м}^2$.

При этом полезная площадь СОУ -10000 равна для двух групп $S_{\text{пол}} = 5,2 \text{ м}^2 \times 840 = 4368,0 \text{ м}^2$, соответственно для одной группы 2184 м^2 .

Соленая вода подается из местного водопровода 2 (по местному водопроводу подается населению вода из скважины, имеющая соленость) в бак-аккумулятор 3 для соленой воды. Бак-аккумулятор выполнен в виде цилиндра и имеет емкость в 17 м^3 .

a



б

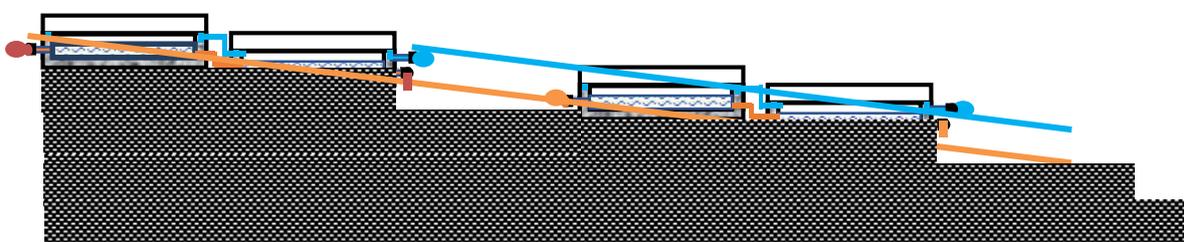


Рисунок 4.1- Схема расположения опреснителей в группе из 420 модулей, в плане (а) в профиле (б).

Такой объем выбран нами исходя из максимальной производительности СОУ -10000 – 15 тонн воды в день при максимальной плотности солнечного излучения в 900 Вт/м^2 .

Для подачи соленой воды в модули СОУ сделаны горизонтальные поперечные распределительные трубы 4 диаметром в 25 мм длиной по 87,5 метра в количестве 7 шт, т.е. общей длиной 612 метра.

В модули СОУ каждого ряда соленая вода подается по поперечной распределительной трубе 5 диаметром в 25 мм.

Для сбора конденсата (опресненной воды) также проложены поперечные пластмассовые трубы 6 диаметром 25 мм, которые соединяются с продольной коллекторной пластмассовой трубой 7 диаметром 25 мм.

Опресненная вода с центрального коллектора 7 собирается в баке-аккумуляторе для пресной воды 8 и затем подается потребителям по трубе 9.

Для перекрытия соленой или пресной воды по трубопроводам в различных частях коллекторных и распределительных трубопроводов установлены вентили.

Кроме этого, для центральной распределительной трубы соленой воды нужен трубопровод диаметром в 25 мм длиной в 49 метра.

Причем оценки показывают, что для всей группы из 420 модулей могут быть использованы трубы одного диаметра в 25 мм.

Для перекрытия подачи соленой воды и стекания опресненной воды на коллекторных трубах установлены пластмассовые вентили, как минимум 3 штуки на каждый модуль, или на одну группу 1260, а также на центральной магистрали для соленой 18шт и пресной воды 8шт. также из рисунка 4.2а видно, что необходимы отдельные трубы для отвода промывочной воды от модулей 10, которые соединены с общей магистралью соленой воды. Таким образом длина продольных и поперечных труб для соленой воды для одной группы равна $97 \times 7 + 60 \times 0.5 \times 10 + 50 = 679 + 300 + 50 = 1029\text{м}$ (берем 1050м), а для пресной воды $97 \times 4 + 60 \times 0.5 \times 6 + 50 = 388 + 180 + 50 = 618\text{м}$ (берем 650м).

Баки-аккумуляторы как для соленой, так и для опресненной воды выполнены из бетона и имеют наружные диаметры $D_H = 3,48$ м, высоту $h=2$ м и толщину стенок 100мм. Причем нижнее основание бака для соленой воды находится на одном уровне с опреснителями, а для пресной воды с опреснителем совпадает верхний уровень бака.

Объем бетона для изготовления бака-аккумулятора составляет

$$V = \pi \cdot (R_H^2 - R_B^2) \cdot h = 2.12 \text{ м}^3$$

Таким образом, для изготовления каждого бака –аккумулятора требуется 2,12 м³ бетона. Длина кольцевой арматуры диаметром 12мм, укладываемой в середине стенки бака-аккумулятора составляет $L = 2\pi R_{cp} = 6,28 \times 1,64 = 10,6$ м. По высоте бака-аккумулятора они уложены с интервалом в 15 см в количестве 13 шт. Тогда общая длина арматуры для боковой стороны бака-аккумулятора составляет $L = 10,6 \times 13 = 141\text{м}$, а количество вертикальной арматуры длиной по 2 м составляет $2 \times 13 = 26\text{м}$.

На донную и верхнюю часть также укладывается арматура через 15см, при этом потребуется 44 шт арматуры с общей длиной в 60 м.

Таким образом, для одного бака-аккумулятора потребуется $141 + 26 + 60 = 227$ м арматуры диаметром в 12 мм.

Бак-аккумулятор для соленой воды имеет патрубок для его заправки соленой водой, патрубок для подачи соленой воды в модули СОУ и сливной патрубок для слива излишка соленой воды, а также патрубок для промывки (очистки от ила и рассола) и для ремонта и осмотра в верхней части имеется смотровой люк из металлического листа и скобы и поручни из металлического прутка. Бак-аккумулятор для пресной воды имеет аналогичные параметры.

Каждый модуль СОУ устанавливается на поверхности земли строго горизонтально. Для этого грунт, имеющий небольшой уклон в южную сторону срезается и готовится горизонтальная площадка для укладки первых модулей рядов (60 шт). Каждый опреснитель в ряду расположен горизонтально и ниже вышестоящего ряда на 0,5 м.

Баки для соленой и дистиллированной воды имеют емкость в 17 м^3 , обеспечивая тем самым производительность всей СОУ в самые жаркие дни с максимальной производительностью в 15 м^3 воды в день.

Бак-аккумулятор для пресной воды устанавливается ниже уровня центральной коллекторной трубы.

Под каждым модулем СОУ сделан настил из щебня. Толщина такого настила составляет 100 мм. Это уменьшает теплопотери теплопроводностью от дна модуля СОУ в грунт, так как щебень контактирует с плоским дном модуля в определенных точках. Кроме того, воздух, остающийся между частицами щебня, играет роль хорошего теплоизолятора.

Если модуль будет установлен непосредственно на грунт, то площадь контакта дна и грунта будет достаточно большой, практически равной площади дна модуля СОУ, что приводит к значительным теплопотерям через дно модуля.

Разработанная нами СОУ отличается простотой конструкции, не требует дорогих материалов и может быть изготовлена в домашних условиях.

Рассмотрим технико–экономические характеристики разработанной малометаллоемкой солнечной опреснительной установки для водоснабжения сел Кыргызстана с дефицитом питьевой воды, а также сравним их с двумя альтернативными вариантами водоснабжения - подвозом воды автотранспортом и прокладыванием стационарной водопроводной линии от источника питьевого водоснабжения.

Отметим, что в тепловых опреснителях, работающих на органическом топливе (нефть, мазут, природный газ и др.) примерно 40% себестоимости опресненной воды приходится на энергетические затраты, еще 40% - на амортизационные расходы, на текущий ремонт, и еще 20% - на обслуживание опреснительной установки [72].

Следует отметить, что имеются большие расхождения между показателями, полученными на одинаковых СОУ даже в одинаковых климатических условиях.

Наиболее обоснованной по экономике солнечного опреснения следует считать работы Дж. Леффа (США), где проведено обобщение данных по экономическим показателям солнечного опреснения [78]. Однако, в качестве сравнимого варианта принята установка мгновенного вскипания и парокомпрессионной дистилляции, что несколько снижает ценность данных работ.

Анализ технико – экономических показателей, разработанной СОУ проведем на примере двух сел, в которых отсутствует водопроводная сеть: села Алмалык, расположенного в 23 км от г. Ош и села Жаны Чек, расположенного на расстоянии 12 км от г. Кара-Суу Карасуйского района [79].

Количество жителей и дворов в этих селах взяты из данных Ошской областной государственной администрации. Количество домашнего скота и птиц взяты исходя из среднестатистических данных по Карасуйскому району Ошской области.

Как известно, вода используется потребителями для самых различных целей, но все расходы воды можно свести к трем основным категориям [76,77]:

- хозяйственно – питьевые или бытовые нужды.
- производственные нужды;
- тушение пожара.

В нашем случае последние две категории рассматривать не будем, так как в рассматриваемых селах отсутствует промышленное производство и нет необходимости строительства водопроводной системы пожаротушения.

К хозяйственно – питьевому водоснабжению относят расход воды на питье, гигиенические нужды, приготовление пищи, уборку помещений, а также полив зеленых насаждений.

Потребность воды определяют по количеству жителей и нормам водопотребления с учетом коэффициента неравномерности. При этом нормой хозяйственно – питьевого водопотребления называют среднесуточное количество воды, которое расходуется одним человеком.

В зависимости от степеней благоустройства жилого дома и его санитарно – технического оборудования, климатических и других местных условий колеблется в довольно широких пределах – от 50 до 400 л/сутки.

На нормы водопотребления оказывают влияние размеры населенного пункта, его месторасположение, жизненный уровень населения, наличие канализационной сети и другие условия [79].

Расчеты проведем для двух сел, находящихся на разных расстояниях от источника питьевого водоснабжения и отличающихся количеством жителей, дворов и количеством содержащихся в них домашних животных и птиц: Алмалык и Жаны Чек Карасуйского района Кыргызской Республики. Село Алмалык расположен на расстоянии 23 км от г. Ош, в пригороде которого находится крупная станция хозяйственно – бытового водоснабжения.

Село Жаны Чек расположено на расстоянии 12 км от г. Карасу и на таком же расстоянии от источника питьевого водоснабжения.

Проблему исследуем на примере СОУ, предназначенной для питьевого водоснабжения села Алмалык Карасуйского района Ошской области.

По данным областного акимията и сельской управы села Алмалык, там проживает 574 жителя и имеется 62 двора.

Среднестатистические данные по Карасуйскому району показывают, что в этих селах в одном дворе в среднем содержатся 3 коровы, 2 теленка, 1 лошадь, 10 баранов, 6 ягнят, 15 кур, 10 индюков.

В расчетах водопотребления для рассматриваемых сел учтем также расход воды для поения животных, содержащихся в индивидуальных хозяйствах (дворах) и полива зеленых насаждений,

Норма водопотребления для одного человека при наличии водопровода и без канализации по нормативам Кыргызской Республики составляет 60 л/день[78].

Нормы потребления для жителей взяты по [79]. Исходные данные для расчетов для этих сел приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 –Данные по потребителям воды для сел Алмалык и Жаны Чек

№ пп	Потребители воды	Ед. измерения	Колич-во	Норма расхода воды л/сутки	Всего, литр/сутки
Село Алмалык					
1	Дворы	шт	62		
2	Жители	чел	574	60	34440
3	Крупный рогатый скот	голова	3x62= 186	50	9300
4	Телята	голова	2x62= 124	30	3720
5	Мелкий рогатый скот	голова	10x62=620	8	4960
6	Ягнята	голова	6x62= 372	3	1116
7	Лошади	голова	1x62= 62	50	3100
8	Куры	шт	15x62=930	0,46	4278
9	Индюки	шт	10x62=620	1,30	806
10	Всего	литр			61720
11	Среднее количество жителей в одном дворе	чел	9-10		
12	Один двор	литр			995,5
Село Жаны Чек					
1	Дворы	шт	27		

2	Жители	чел	192	60	11520
3	Крупный рогатый скот	головы	3x27=81	50	4050
4	Телята	головы	2x27=54	30	1620
5	Мелкий рогатый скот	головы	10x27=270	8	2160
6	Ягнята	головы	6x27=162	3	486
7	Лошади	головы	1x27=27	50	1350
8	Куры	шт	15x27=405	0,46	1863
9	Индюки	шт	10x27=270	1,30	351
10	Всего	литр			23400
11	Среднее количество жителей в одном дворе		7-8		
12	Один двор	литр			866,7

Сначала оценим стоимость изготовления одного модуля ММСОУ.

В таблице 4.3 приведены стоимость затрат на изготовление одного модуля ММСОУ. Цены на материалы взяты из их розничной рыночной стоимости, а также из сайтов торгующих организаций на декабрь месяц 2016 г. [80-83].

Таблица 4.3 – Смета расходов на изготовление одного модуля ММСОУ

№ пп	Наименование материалов и работ	Ед. измер.	Стоимость, сом	Колич-во	Сумма, сом/доллар
1	Основание				
1.1	Бетон	м ³	1900	0,435	826,5
1.2	Арматура d = 4 мм	кг	41	4,65	190,6
1.3	Сетка - мак	кг	42	2,59	108,8
1.4	Битум	кг	40	7	280,0
1.5	Патрубки полиэтилен. d= 15мм и d= 25 мм	м	70	0,8	56,0
1.7	Шпатлевка	кг	7,3	3,2	23,4
1.8	Подстилка из щебня	тонна	800	0,54	432,0
1.9	Опалубка деревянная	м ³	13000	0,09	1170
1.10	Стоимость материалов	сом			3087,3
1.11	Стоимость работ по изготовлению основания	сом	50% от стоимости материалов		1543,6
	Всего	сом			4630,9
2	Прозрачное покрытие				
2.1	Стекло оконное (дуга) (5 шт)	м ²	380	5,2	1976,0
2.2	Стоимость работ по моллированию	сом/шт	300	5	1500,0

2.2	Стекло оконное (боковые сегменты, 2 шт.)	м ²	380	0,76	288,8
2.3	Стоимость материалов	сом			3764,8
2.3	Монтаж прозрачного покрытия на основании	сом	10% от стоимости материалов		376,5
	Всего	сом			4141,3
	Всего, один модуль ММСОУ	сом/ доллар			8772,2/ 126,6

Примечание: курс доллара к сому взяты за декабрь месяц 2016 г. (1 доллар США = 69,30 сом)

Строительство комплекса СОУ для рассматриваемых сел предусматривает в свою очередь планировку места строительства, сооружение всего СОУ из единичных модулей, монтаж трубопроводов для соленой и опресненной воды, баков – аккумуляторов для соленой и опресненной воды и др.

Количество необходимых для обеспечения потребности сел модулей ММСОУ определим, как отношение дневной нормы потребления воды G к производительности одного модуля ММСОУ – g . Для села Алмалык:

$$n = G/g = 61720 / 18,09 = 3411 \text{ модулей.}$$

С учетом возможного ремонта некоторых модулей примем количество модулей ММСОУ равным 3420 шт.

Для села Жаны Чек:

$$n = G/g = 23400 / 18,09 = 1293 \text{ модулей.}$$

Также с учетом возможного ремонта некоторых модулей примем количество модулей ММСОУ равным 1300 шт.

Для удобства расположения модулей ММСОУ на местности распределим их на несколько групп по 420 - 500 шт. В этом случае, СОУ для села Алмалык будет состоять из 430 модулей ММСОУ.

Для расположения модулей примем схему, предложенную нами (см. рисунок 4.1а, б), а именно попарное расположение опреснителей между рядами и в рядах, позволяющее экономить общую площадь и проводить текущее обслуживание модулей ММСОУ и их капитальный ремонт с применением меха-

низмов - расстояние между парами соседних рядов 0.5м, а расстояние между парами в рядах 3м.

ТЭП нашей ММСОУ мы будем сравнивать с двумя альтернативными вариантами водоснабжения, которые могут быть использованы в условиях Кыргызской Республики, а именно:

- подвоз питьевой воды автотранспортом от источника питьевого водоснабжения до места водопотребления;

- прокладывание трубопровода от источника питьевого водоснабжения до места водопотребления;

Варианты использования тепловых опреснителей, работающих на углеводородном топливе или на электрической энергии, исходя из их импортируемости, следовательно, дороговизны углеводородных энергоносителей и дефицита электроэнергии, не рассматриваются.

Отметим, что разработанная ММСОУ имеет следующие характеристики:

1. Площадь зеркала воды – $1,10 \times 4,75 = 5,22 \text{ м}^2$.
2. Максим. производительность – 3,45 литр/м²день.
3. Производительность одного модуля ММСОУ – $5,22 \times 3,45 = 18,09$ литр/день.

Под источником водоснабжения подразумевается станция водоснабжения, включающего весь комплекс сооружений для подготовки (отстаивание, очищение, обеззараживание и т.д.) и подачи питьевой воды, отвечающей требованиям соответствующего ГОСТа в водопроводную сеть.

Сначала рассмотрим первый вариант.

В качестве автотранспортного средства для подвоза воды выберем серийно выпускаемую водовозную грузовую автомобиль с цистерной КАМАЗ грузоподъемностью 10 тонн.

Для устойчивого водоснабжения на высотном месте необходимо устанавливать металлический или бетонный, гидроизолированный резервуар для воды.

Во втором варианте водоснабжения необходимо произвести следующие работы:

1. Расчет и проектирование водопроводной линии от села Озгор в пригороде г. Ош до села Алмалык;
2. Прокладывание (рытье) траншеи;
3. Нанесение антикоррозионного защитного покрытия на трубопровод;
4. Сварка частей трубопровода в единую нить;
5. Укладка трубопровода в траншею;
6. Закапывание трубопровода в траншею.

Расчет стоимости водоснабжения сел Алмалык и Жаны Чек

с помощью автотранспорта. Расчеты стоимости водоснабжения сел Алмалык и Жаны Чек с помощью автотранспорта были выполнены в *ОшГУ на кафедре «ЭТиУТ» факультета «Автомобильный транспорт» под руководством зав.каф. Жакыпджановой Вахиды Саипджановны* (приложение 1).

Расчеты стоимости и далее себестоимости продукции являются основными элементами при определении экономической эффективности.

Т.е. экономическая эффективность базируется на расчетах себестоимости. В данном случае для автотранспорта на использовании действующих тарифов на перевозки, положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава, системы заработной платы водителей, норм расхода материалов, амортизационных отчислений, прибыли, дохода и рентабельности предприятия.

Полученные данные по стоимости водоснабжения автотранспортом (приложение 1) будут ниже использованы для проведения сравнительных экономических оценок обеспечения водоснабжения с помощью солнечных опреснителей.

Расчет стоимости водоснабжения сел Алмалык и Жаны Чек прокладыванием трубопровода от источников питьевого водоснабжения. Расчеты стоимости водоснабжения сел Алмалык и Жаны Чек прокладыванием трубопровода от источника питьевого водоснабжения выполнены нами при содействии ОСОО (Проектный институт) «Мусай», расположенного в г. Ош и специализирующегося на выполнении проектно – сметной документации в области водоснабжения и канализации отдельных объектов а также населенных пунк-

тов.

Согласно, проведенных расчетов стоимость прокладки трубопровода диаметром 100мм в зависимости от рельефа и геологической сложности трассы составляет от 1,5 до 2,5 млн. сом.

При определении толщины стальной водопроводной трубы учитывается её зависимость от высоты, на которую подается вода, берется: на высоту до 100 метров – 6,6 мм (на 10 бар), на 120 м (12 бар) – 8,1 мм и при высоте 160 м (16 бар) – 10 мм.

Во втором варианте водоснабжения, прокладкой трубопровода необходимо произвести следующие работы:

Расчет и проектирование водопроводной линии со всеми вспомогательными сооружениями и оборудованием от села Озгор в пригороде г. Ош до села Алмалык;

- Прокладывание (рытье) траншеи;
- Нанесение антикоррозионного защитного покрытия на трубопровод;
- Сварка частей трубопровода в единую нить;
- Укладка трубопровода в траншею;
- Закапывание трубопровода в траншею и т.д.

Учитывая особенности рельефа трассы прокладки водопроводной линии от села Озгор до села Алмалык (она – умеренно пересеченная и не гориста) примем среднее значение стоимости прокладки 0.2 млн. сом за 1 км. Тогда, стоимость прокладки такой водопроводной линии СА составит:

$$СА = 23 \text{ км} \times 0.2 \text{ млн. сом} = 4.6 \text{ млн. сом.}$$

Так же, исходя из этих же соображений, такую же стоимость берем и для прокладки водопроводной линии от г. Карасуу до села Жаны Чек составит:

$$СЖ = 12 \text{ км} \times 0.2 \text{ млн. сом} = 2.4 \text{ млн. сом.}$$

К особенностям водопроводного снабжения пресной водой можно отметить, что в целом, из-за потепления климата Земли сокращается площадь ледников и уменьшаются стоки рек. Т.е. объемы доступной пресной воды в приро-

де с каждым годом уменьшаются. При этом одновременно заметно растут поливные площади, растет численность населения. Одним из способов пополнения ресурсов питьевой воды в нашем регионе — это вовлечение для питьевого водоснабжения населения подземных водных ресурсы. Однако не все ресурсы подземных вод пригодны для питья. Большая их часть соленая.

В целом по Кыргызстану только около 83% населения обеспечена чистой питьевой водой.

На основе проведенных сравнительных вариантов водоснабжения проведем оценку технико-экономических показателей разработанного второго варианта СОУ: с точки зрения возможного экономического эффекта и срока окупаемости.

Смета расходов на покупку материалов и изделий СОУ-10000 приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4- Смета расхода материалов на строительство СОУ

№ пп	Наименование материалов и изделий	Ед. измер	Стоимость единицы (сом)	Кол-во	Сумма (сом)
1	Модуль СОУ	шт			
	Песок	м ³	1000	1,06	1060
	Цемент	кг	6,5	400	2600
	Арматура d = 12 мм	м	18	27,32	491,7
	Сетка-мак	м ²	20	7,9	15,8
	Трубка для слива дистиллята d = 15мм (2 шт)	м	40	0,4	16
	Трубка для подачи соленой воды d = 15мм (1 шт)	м	40	0,2	8
	Стекло листовое 5 мм, моллированное	м ²	800 (400+400)	7,96	6368
	Резиновые уплотнители	м	13,4	16,0	214,4
	Шпатлевка	кг	60	1,2	72
2	Гравийная подушка под СОУ	м ³	1000	0,79	790
	Всего				9185,5

	Всего	шт	9185,5	420	3857910
3	Бак-аккумулятор для соленой воды				
	Песок	м ³	1000	2.12	2120
	Цемент	кг	6,5	860.2	5591,4
	Арматура d = 12 мм	п	18	227	4086
	Люк смотровой	шт	250	1	250
	Смывная труба d = 50 мм	м	100	1	100
	Труба для подачи соленой воды d = 25 мм	м	50	5	250
	Вентиль d = 25 мм	шт	1	100	100
	Вентиль d = 50 мм	шт	1	150	150
	Ступени лестницы	м	30	4	120
	Поручни	м	30	5	150
	Фундамент				
	Песок	м ³	1000	3,62	3620
	Цемент	кг	6,5	1200	7800
	Всего				38146,0
4	Бак-аккумулятор для пресной воды				
	Песок	м ³	1000	5,92	5920
	Цемент	кг	6,5	2400	15600
	Арматура d = 12	м	18	227	4086
	Ступени лестницы	м	30	4	120
	Поручни	м	30	5	150
	Труба сливная	м	50	1	50
	Труба заправочная	м	50	1	50
	Труба смывная	м	70	1	70
	Смотровой люк	шт	250	1	250
	Вентиль d = 25	шт	100	1	100
	Вентиль d = 50	шт	150	1	150
	Фундамент				
	Песок	м ³	1000	3,62	3620
	Цемент	кг	6,5	1200	7800
	Всего				37966
5	Коллекторные трубопроводы				
	Для соленой воды d =25	м	50	630	31500

Для пресной воды d =25	м	50	630	31500
Магистральные трубопроводы				
Для соленой воды	м	70	48	3360
Для пресной воды	м	70	48	3360
Вентили				
Для коллекторных трубопроводов d =25	шт	56	100	5600
Для магистральных трубопроводов d = 42	шт.	14	140	1960
Всего				77280
Итого				4011302

Стоимость работ по изготовлению СОУ условно примем равной 30% от стоимости материалов, так как здесь имеет место простые бетонные и слесарные работы.

Тогда, стоимость работ по изготовлению будет равна

$$4011302 \times 0,3 = 1203390 \text{ сом.}$$

Тогда общая стоимость СОУ будет равна

$$4011302 \times 1,3 = 5214692 \text{ сом.}$$

Экономический эффект от использования СОУ рассчитаем следующим образом. Будем исходить из очевидного факта, что экономическая эффективность в общем, это сравнительная величина и зависит не только, собственно, от экономических характеристик, но главным образом от условий её использования. Так для солнечных установок экономические характеристики, получаемой от неё продукции зависят, в первую очередь от отдаленности района использования установки. Поэтому будем оценивать экономическую эффективность использования солнечного опреснителя относительно этого фактора.

Пусть 10000 литров пресной воды привозится грузовым автотранспортом от источника, находящегося на расстоянии 10 км. Например, автомашина КАМАЗ использует 40 литров дизтоплива на 100 км. Следовательно, для перевозки и возврата на исходное состояние автомобиль проходит 20 км и расходует 6 литров дизтоплива.

Стоимость дизтоплива равна 45 сом (цена на май месяц 2019 г.)

Для перевозки 10000 литров КАМАЗ делает 1 рейс.

Тогда стоимость топлива составит $20 \times 45 \text{ сом} = 90 \text{ сом}$.

За один год эта сумма составит $240 \times 270 \text{ дней} = 64800 \text{ сом}$.

Здесь взято 9 месяцев - период работы СОУ в течение года.

Если автомобиль двигается со скоростью 40 км/час, то на дорогу туда и обратно уходит 30 минут. С учетом заполнения емкости водой, это может составлять 120 минут.

Для подготовки и осмотра машины также потребуется один час времени. Таким образом, для выполнения одного рейса водителю потребуется 3 часа.

Допустим, что водитель, занятый перевозкой воды, имеет среднюю месячную заработную плату 15000 сом.

При 8 – часовом рабочем дне и количеством рабочих дней в месяц 30 (так как вода привозится ежедневно, включая и дни отдыха), стоимость одного рабочего дня составит

$$15000 \text{ сом} / 30 = 500 \text{ сом}.$$

Тогда стоимость 180 минут рабочего времени будет равна 187,5 сом. С округлением примем равной 188 сом.

Если СОУ работает в течение 9 месяцев в году, то эта сумма за 9 месяцев составит

$$9 \text{ месяцев} \times 30 \text{ дней} \times 188 \text{ сом} = 50760 \text{ сом}.$$

Затраты на смазочные материалы и на ремонт автотранспорта за эти 9 месяцев примем равной (исходя из 1000 сомов за 1 месяц)

$$9 \times 1000 \text{ сом} = 9000 \text{ сом}.$$

Тогда, общие затраты на транспортировку пресной воды будут составлять

$$64800 + 50760 + 9000 = 124560 \text{ сом}.$$

Пусть стоимость автомашины КАМАЗ составит 20000 долларов США. По курсу доллара 46 сомов это составит 920000 сом. Срок службы автомашины примем равным 20 лет.

Отсюда можем найти себестоимость воды при водоснабжении автотранспортом. Для этого запишем итоговые данные расчета и их зависимость от расстояния автоперевозки при перевозке 2700 т в год.

1. Затраты на транспортировку – 124560 сом (можно принять пропорциональными расстоянию).
2. Амортизационные отчисления на автомобиль – 46000 сом, (не зависят от расстояния перевозки).

Отсюда следует, что стоимость (себестоимость) перевозки 1 м³ воды на 10 км составит

$$C_{\text{ТП}} = (124560 + 46000)/2700 = 63.17 \text{ сом/м}^3$$

Отметим, что расчеты проведены для минимального варианта, когда не учитываются затраты автопредприятия, которые увеличивают принятые амортизационные затраты, как минимум в 1.5 раза (приложение 1). При этом себестоимость воды при доставке автотранспортом составит около 86,2 сом/м³

При изменении условий задачи, например, при сроке службы автомобиля 10 лет себестоимость будет равна $C_{\text{ТП}} = 80.2 \text{ сом/м}^3$. При увеличении дальности перевозки до 30 км в минимальном варианте, без учета затрат автопредприятия себестоимость воды составит

$$C_{\text{ТП}} = (124560 * 3 + 46000)/2700 = 155,4 \text{ сом/м}^3 \quad (4.1)$$

Рассмотрим теперь себестоимость воды, получаемой в солнечном опреснителе. Пусть срок службы разработанной СОУ равен 30 лет. Эти сроки получены исходя из анализа срока службы применяемых в СОУ основных материалов – бетонного корпуса и стеклянного прозрачного ограждения.

1. Амортизация - $4011302/30 = 133710 \text{ сом}$
2. Эксплуатационные расходы (обслуживающий персонал 2 чел.)

$$2 * 1500 * 9 = 270000 \text{ сом.}$$

Себестоимость 1 м³ воды в солнечном опреснителе составит

$$C_{\text{ТП}} = (133710 + 270000)/2700 = 149,5 \text{ сом/м}^3$$

Отметим, что стоимость одного кубометра питьевой воды, по данным городского Управления водного хозяйства г. Оша составляет 6 сом 5 тыйынов.

Как видно, вопросы определения экономической эффективности в данном случае достаточно сложны. Во-первых это связано, со многими неопределенностями, связанными с определением стоимости солнечного опреснителя – масштабы производства, неопределенность затрат на эксплуатацию (такого опыта пока нет), срок службы элементов и в целом опреснителя. И во-вторых, и это, как следует из (приложения 1) связано с неопределенностью, связанной и с другими средствами доставки – расходы автопредприятия и даже доставка воды водопроводной сетью (определение стоимости строительства укрупненными нормативами).

Т.е. расчеты экономической эффективности являются достаточно оценочными, показывающими возможные границы их изменения, которые могут колебаться как в сторону увеличения, так и уменьшения показателей эффективности. Отметим, что такая ситуация во многом имеет место и для других достаточно отработанных систем. Это связано с имеющимся при расчетах экономического эффекта понятием "замыкающих затрат", характеризующего пределы учета факторов, влияющих на экономическую эффективность. Так, например, за рубежом при расчете экономической эффективности начинают учитывать и экономию за счет уменьшения выбросов парниковых газов.

В этом смысле представляет интерес обширный анализ вопросов опреснения в мире различными способами, в частности роль отдаленности потребителя воды, в том числе возможные отдаленные экономические эффекты, например, от развития сельского хозяйства или развития животноводства, при наличии источника воды /83/.

В связи с указанным при нашем анализе экономической эффективности, ограничимся обычными формулами расчета экономической эффективности, например, которые рекомендованы в [84]. Так сравнительная экономическая эффективность E и срок окупаемости T для модернизируемого производства, когда делаются дополнительные капитальные вложения определяется в виде

$$E = (C_1 - C_2) / (K_2 - K_1) \quad (4.2)$$

где C_1, C_2 – годовая себестоимость продукции по различным вариантам, соответственно $(C_1 - C_2)$ – снижение годовой себестоимости продукции, K_1, K_2 – капиталовложения, соответствующие затратам на производство.

Или учитывая, что $T = 1/E$, получаем

$$T = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2) \quad (4.3)$$

Как видно, здесь проводится сравнение по стоимости годового производства продукции и предполагается, что срок окупаемости одинаков для обоих вариантов производства. В нашем случае имеем различные сроки производства, поэтому себестоимость относим к единице продукции, также в связи с этим и соответственно отнесем годовые капитальные затраты (амортизация) к единице продукции.

С учетом полученных выше соотношений о связи себестоимости с расстоянием имеем,

для себестоимости воды при доставке автотранспортом

$$C_{\text{ТП}} = (124560 (L/L_0) + 46000)/2700 \quad (4.3)$$

где L – расстояние подвоза воды, L_0 – расстояние подвоза, для которого рассчитаны расходы по подвозу – 10км.

Для водопроводной сети при средних расходах на строительство 2 млн сом/км и без учета эксплуатационных расходов для срока службы труб сети T_B в 20 лет получаем, что себестоимость единицы продукции при поставке воды водопроводом C_B составит

$$C_B = (200000 / T_B) * L \quad (4.4)$$

Стоимость продукции, получаемой от солнечного опреснителя будем считать постоянными, т.е. без учета зависимости расходов на перевозку материалов, т.к. они являются единовременными.

Приближенные зависимости стоимости 1 м^3 воды, получаемые по различным вариантам приведены на рисунке 4.2.

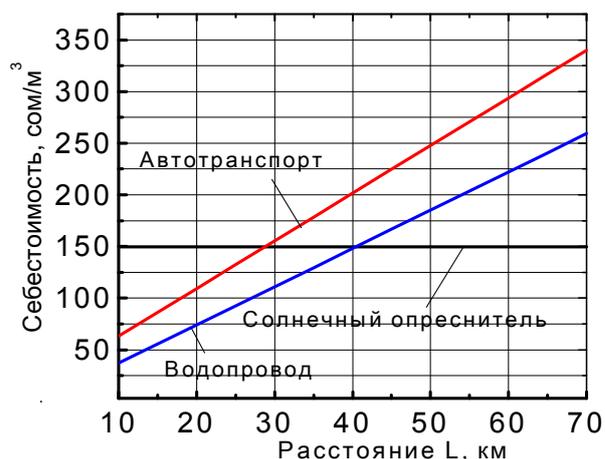


Рисунок 4.2- Себестоимость кубометра воды при различных способах её доставки в зависимости от расстояния до потребителя.

Таким образом, сведем все основные характеристики разработанной СОУ в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Технико-экономические показатели СОУ для села Алмалык

№ пп	Параметры	Единица измерения	Значения параметров
1	Общая площадь	м ²	4253,5
2	Полезная площадь	м ²	2772,0
3	Производительность	литр/день	10000
4	Стоимость	сом	4011302
5	Годовые капитальные вложения	сом	4011302

Таблица 4.6 - Технико-экономические показатели СОУ для села Жаны Чек

№ пп	Параметры	Единица измерения	Значения параметров
1	Общая площадь	м ²	4253,5
2	Полезная площадь	м ²	2772,0
3	Производительность	литр/день	10000
4	Стоимость	сом	4011302
5	Годовые капитальные вложения	сом	4011302

Как видно, для солнечных опреснителей, как в прочем и для других типов солнечных установок нормативные сроки окупаемости должны быть достаточно большими. Такие проблемы в общем имеют место и для некоторых в настоящее время широко применяемых типов установок. Например, это гидро-

электростанции, для которых срок окупаемости составляет около 30 лет. Это обусловлено значительными капитальными затратами на их строительство.

Для солнечных установок имеем аналогичную ситуацию - значительные капитальные затраты на строительство. Однако здесь важен и второй аспект, а именно эксплуатационные затраты. Т.е. для обеспечения экономической конкурентоспособности солнечных установок в больших масштабах, необходимо, чтобы их срок службы был по возможности большим и при этом малыми эксплуатационными затратами. При применении солнечных установок также важны экономические характеристики альтернативных вариантов. Так видно, что отдельных удаленных от централизованного снабжения местностей солнечные опреснители могут быть экономически целесообразными уже в настоящее время.

Выводы по главе 4

Таким образом, исходя из полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Строительство и эксплуатация СОУ экономически оправдывает для населенных пунктов, удаленных не менее 40-60 км от источника питьевого водоснабжения.
2. При расстояниях до 40 км от населенного пункта до источника водоснабжения целесообразно прокладка стационарной водопроводной линии.
3. Снабжение питьевой водой рассмотренных населенных пунктов автотранспортом экономически не целесообразно, уже при расстояниях более 30 км.
4. Использование СОУ позволяет снабжать жителей населенных пунктов питьевой водой, что, несомненно, улучшает здоровье её жителей.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

По результатам проведенных исследований и разработок можно сделать следующие выводы:

1. Предложена новая методика обобщения коэффициентов солнечного потока, входящих через прозрачные ограждения солнечных установок, отличающаяся тем, что они определяются относительно некоторой постоянной площади установки, например, рабочей или замыкающей плоскости. Разработан алгоритм и программа расчета коэффициентов потока плоских, полуцилиндрических, сегментных и скатных ПО.

2. Установлено, что для полуцилиндрических ПО меридиональная ориентация обеспечивает в течение дня больший, чем при широтной ориентации солнечный поток, входящие через ПО, в то время как в сегментных имеем обратную ситуацию – более целесообразна широтная ориентация ПО, причем это не зависит от длины ПО.

3. Развита нестационарная одномерная теплотехническая модель парникового солнечного опреснителя, отличающаяся учетом пропускания прозрачным ограждением теплового излучения воды. Определено оптимальная толщина для ПО сегментной формы из оконного стекла при которой достигается максимальный КПД солнечного опреснителя (около 3.5 мм).

4. Разработан и исследован опытный образец парникового солнечного опреснителя, отличающейся технологичностью изготовления и малым расходом металла на прозрачное ограждение. Получено, что учитывая сезонность работы СО (лето, весна-осень), а также реальное время работы в течение дня даже в летнее время её возможные рабочие часы составляют не более 8 часов в день. Определено что, перспективными по производительности конструкциями парниковых СО в нашем регионе является конструкции с горизонтальным расположением.

5. Определено, что строительство и эксплуатация СОУ при сроках окупаемости близких к нормативным экономически целесообразно при расположении

потребителей удаленных от центрального водоснабжения не более, чем на 30-40 км.

6. Получены экспериментальные данные по производительности парникового солнечного опреснителя в различные времена года на широте г. Ош. Доказано, что максимум мгновенной производительности парникового СО смещен, причем этот сдвиг в летнее время больше, чем в зимнее.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Слесаренко, В.Н.** Современные методы опреснения морских и соленых вод [Текст] / В.Н. Слесаренко. - М.: Энергия, 1973. - 426 с.
2. **Слесаренко, В.Н.** Дистилляционные опреснительные установки [Текст] / В.Н. Слесаренко. - М.: Энергия, 1980. - 248 с.
3. **Сейиткурбанов, С.** Опреснение воды с использованием тепла энергетических установок [Текст] / С. Сейиткурбанов, Г.С. Ратеева. - Ашхабад: Ылым, 1973. - 264 с.
4. **Колодин, М.** Вода и пустыни [Текст] / М. Колодкин.- Москва: Мысль, 1981.- 91с.
5. <http://banksolar.ru/?p=5687/>.
6. **Walker, P.T.** Development of direct contact flash distillation concepts: [Текст] / P.T. Walker, J.N. Newson // 1976. – vol. 2. –p.201-216.
7. Месторождения подземных пресных и минеральных вод Central Asian Countries. Geoportal of Kyrgyzstan. <http://www.geoportal-kg.org>
8. **Баум, В.А.** Технические характеристики солнечных водоопреснителей парникового типа [Текст] / В.А. Баум. - Теплоэнергетика. М.: Из-во АН СССР, 1960. - 122-132 с.
9. **Hart, J.** Apparatus for Solar Distillation. J. Hart .London, 1883.
10. **Ricphhard, J.** La Nature Лз 2804. 1929; Recherches cl Inv., Kb 173, 1029.
11. **Maurian, Ch. C.** Brazie r. Rech. ct Inv.. .Ys» 65-1, 1927; Mi 173, 1929.
12. **G i н c s t o и s, W.** Bull. Doc. Gener. [Agriculture, 1928; Revue Agricole de l'Afrique tlu Nord, 1928.
13. **Вейнберг, Б. П.** «Природа» [Текст] / В. Б. Вейнберг. -1930. Л/ 2.
14. **Вейнберг, Б. П.** Солнечные опреснители. [Текст] / Б.П. Вейнберг.- 1933.Л.
15. **Трофимов, К.Г.** Использование солнечной энергии в народном хозяйстве [Текст] / К.Г.Трофимов. - Ташкент, 1935.
16. **Текучев, А. Н.** «Труды Узбек, гос. ун-та» [Текст] / А.Н. Текучев. Самарканд , 1955.- Л 59.
17. **T e I k e s, M.** Proceedings, World Symposium Appl. Sol. En., P, Arizona-Ind. and Eng. Chemistry, May 1953, p. 1108.

18. **G o m e I 1 a, С.** Torres et Eaux. 3 trimestre, С. G o m e I 1 a 1955; 2 trimestre, 1955.
19. **Неббия.** Использование солнечной энергии [Текст] / Неббия. Сб. № I, - Изд-во: АН СССР, 1957.
20. **Новикова, В.И.** Некоторые особенности работы и расчета солнечных опреснителей [Текст] / Р. Байрамов, А. Хамадов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1984. - № 2. - С 44-48.
21. **Баум, В.А.** Массоотдача в парниковых солнечных опреснителях [Текст] / В.А. Баум // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1967. - №3. - С 46-49.
22. **Баум, В.А.** Метод расчета технических характеристик солнечного опреснителя с учетом не стационарности его работы [Текст] / Р. Байрамов, К. Тойлиев // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1967. - №5. - С 52-55.
23. **Лёф, О.Г.** Опреснение соленых вод [Текст] / О.Г. Лёф // Материалы 137 национальной конференции Американского химического общества, 1963.
24. **Авезов, Р.Р.** К методике расчета солнечного опреснителя. [Текст] / Р.Р. Авезов, Э.Ж. Норов // Гелиотехника. -Ташкент: АН РУз, 1974.- №5. - С 25-28.
25. **Ботиров, К.** Экспериментальное исследование влияния толщины паровоздушной прослойки на производительность солнечных водоопреснителей лоткового типа [Текст] / К. Ботиров, А.Т. Вахидов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 2003. -№4. - С 81-84.
26. **Ачилов, В. М.** Математическая модель тепломассообменных процессов в гелиоопреснительной установке [Текст] / В.М. Ачилов, К. Ботиров, В. Чугунков // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1993. -№6. - С 42-45.
27. **Клычев, Ш.И.** Теплотехнические характеристики солнечных парниковых опреснителей [Текст] / Г.Г. Эркинбаева, С.А. Бахрамов, А.И. Исманжанов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 2002. -№2. - С 38-43.
28. **Аргымбаева, Э.Ч.** Моделирование процесса радиационной сушки сельхозпродуктов [Текст] / Н.Т. Алдашева, А.И. Исманжанов, Ш.И. Клычев // Наука. Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2000.- №2. - С 81-83.
29. **Исманжанов, А.И.** Тепломассообмен в солнечных парниковых опреснителях с дополнительной камерой конденсации [Текст] / Г. Эркинбаева, Ш.И. Клычев // Наука. Образование. Техника. – Ош:

- КУУ, 2002. - №1. - С 87-90.
30. **Bouzaida, M.** Numerical Analysis of Thermal Performances for a Novel Cascade Solar Desalination Still Design. O. Ansarib, M. Taha-Janana, N. Mouhsina, M. Oubreka. [Текст] / Energy Procelia, 157, 2019. pp 1071-1082.
 31. **Исманжанов, А.И.** Конструктивно-компоновочные решения солнечных сушилок и опреснителей [Текст] / С.А. Бахрамов, Н.Т Алдашева, Г.Эркинбаева, Ш.И. Клычев // Сб. науч. тр. Кыргызско-Узбекского университета. вып. 3. под ред. акад.Мамасаидова М.Т., г.Ош, РК. 2003. - С 259-260.
 32. **Камилов, О.С.** Исследование регенеративной солнечной наклонно-ступенчатой опреснительной установки [Текст] / О.С.Камилов, Кахаров // 1978.-С.451.
 33. **Bhupendra, Guptaa** Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: An experimental approach. Raghvendra Sharmaa, Prem Shankara, Prashant Baredar. [Текст] / Perspectives in Science. 2016.- № 8, pp191—194.
 34. **Salman, H.** Theoretical analysis of humidification – dehumidification process in an open type solar desalination system. Hammadi. [Текст] / Case Studies in Thermal Engineering, 2018.- №12 pp843-851.
 35. **Авезов, Р.Р.** Расчетно – экспериментальное исследование теплотехнических характеристик многоступенчатой испарительно-конденсационной камеры солнечной опреснительной установки [Текст] / Р.Р.Авезов, Ш.И Клычев Ж.С Ахатов // Гелиотехника.- Ташкент: АН РУз, 2005. -№3. - С.30-34.
 36. **Ahatov, J.S.** Solar desalination plants for arid areas of Uzbekistan [Текст] / J.S. Ahatov, R.R Avezov, Sh.I. Klichev, S.A. Bahramov, M.M. Kenisarin Solar World Congress, Orlando-2005. USA.
 37. **Ахатов, Ж.С.** Дис. к.т.н. «Разработка и исследование солнечных парниковых водоопреснителей с многоступенчатыми рекуперативными испарительно-конденсационными камерами», Ташкент 2007, 124с.
 38. **Рзаев, П.Ф.** О вхождении солнечной радиации в гелиотеплицу [Текст] / П.Ф.Рзаев // Гелиотехника.- Ташкент: АН РУз, 1965.- №4. - С. 43-48.
 39. **Гликман, М.Т.** Метод расчета сравнительной освещенности теплиц различных конструкций [Текст] / М.Т. Гликман // Гелиотехника.- Ташкент: АН РУз, 1968. -№6. - С.47-56.
 40. **Якубов, Ю.Н.,** Расчет солнечной радиации, падающей на цилиндрическую поверхность [Текст] / Г.Я. Умаров, К.Б .Байбутаев // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1972.- №3. - С. 52-56.
 41. **Авезов, Р.Р.** Расчет среднеинтегрального значения угла падения пря-

- мых солнечных лучей на боковую поверхность полуцилиндрических теплоприемников [Текст] / Р.Р. Аvezов, Ш.К. Аvezова, Ниязов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1996. -№3. - С. 62-68.
42. **Хавалджи, Г.И.** Учет изменения освещенности при запылении остекления теплиц [Текст] / Г.И. Хавалджи, М.Т. Гликман // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1970. -№4. - С.24-28
43. **Умаров, Г.Я.** К определению коэффициента вхождения солнечных лучей через остекленный переплет гелиоустановок типа «горячий ящик» [Текст] / Г.Я. Умаров, Р.Р. Аvezов, Ф. Соатов, К.Бабакулов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1975. -№3-4. - С. 70-73.
44. **Аvezов, Р. Р.** Коэффициент пропускания прямой солнечной радиации светопрозрачных оболочек цилиндрической формы [Текст] / Р.Р. Аvezов, Н. Р. Аvezова // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 2002. №1. - С. 23- 30.
45. **Рыбакова, Л. Е.** Радиационный баланс гелиотеплиц при их системном расположении [Текст] / Л.Е. Рыбакова, Н.Г. Гурбано // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1980. - №4. - С. 55.
46. **Строй, А. Ф.** Влияние ограждающих конструкций на эффективность использования солнечной энергии в теплицах [Текст] / А.Ф. Строй // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1980. -№1, - С. 49.
47. **Садыков, Т.** О выборе угла наклона скатов блочных гелиотеплиц [Текст] /Т. Садыков, М. Хасанов, Б. Хайритдинов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1982. - №6. - С. 59.
48. **Марков, И.Е.** Радиационный режим и продуктивность различно ориентированных зимних ангарных теплиц в центральных районах страны [Текст] / В.П. Шарупич, И.П. Николаева // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1982. -№5. - С. 67.
49. **Якубов, Ю.Н.** Метод расчета входящей радиации в шедовых блочных теплицах. [Текст] / Ю.Н. Якубов, А. Имамкулов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1982. -№4. - С. 67.
50. **Аvezов, Р. Р.** Моделирование сквозного лучистого теплопереноса через частично проницаемые для инфракрасного излучения светопрозрачные пленочные ограждения плоских солнечных коллекторов [Текст] / Р.Р. Аvezов, Ш. К. Ниязов, Н.Р. Аvezова // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1997. -№4. - С. 24.
51. **Аvezов, Р. Р.** Расчет и сопоставление теплотехнических качеств частично проницаемых для инфракрасного излучения светопрозрачных пленочных покрытий плоских солнечных коллекторов [Текст] / Р.Р. Аvezов, Н. Р. Аvezова, Ш.К. Ниязов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1998.- №5. - С. 61.

52. **Авезова, Н.Р.** Тепловая оптимизация оптической толщины частично лучепоглощающего слоя светопрозрачных ограждений инсоляционных пассивных систем солнечного отопления [Текст] / Н.Р. Авезова, К.А. Самиев // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 2005.- №4. - С. 45.
53. **Авезов, Р.Р.** Коэффициент пропускания светопрозрачной изоляции плоских гелиоустановок диффузной солнечной радиации [Текст] / Р.Р. Авезов, Н.Р. Авезова, К.А. Самиев // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 2007.- №1. - С. 11.
54. Пленка для теплиц: Теплицы: виды и преимущества.
<https://1teplica.com>
55. **Спэрроу, Э.М.** Теплообмен излучением [Текст] / Э.М. Спэрроу, Р.Д. Сесс. -М.: Энергия, 1977. -294с.
56. **Гершун, А.А.** Избранные труды по фотометрии и светотехнике [Текст] / А.А. Гершун.-М.: Гостехиздат, 1958. - 548с.
57. **Клычев, Ш.И.** Концентраторы солнечного излучения - моделирование и расчет [Текст] / Ш.И. Клычев, С.Ю. Никитин // LAP Lambert Academic Publishing. Deutshland, 2016 pp 195.
58. **Ахманов, С.А.** Физическая оптика [Текст] / С.А. Ахманов. 2-е издание - М: Наука, Издательство МГУ. 2004.
59. **Клычев, Ш.И.** Фактор косинуса в низкопотенциальных солнечных установках [Текст] / А.И. Исманжанов, М.М. Мухаммадиев, К.С. Джураев, Ж. Кулонов, З.К. Эрмекова // Гелиотехника. –Ташкент: АН РУз, 2015. - №3. - С. 17-22.
60. **Исманжанов, А.И.** Пропускание солнечного излучения полуцилиндрическими и сегментными прозрачными ограждениями [Текст] / Ш.И. Клычев, Б.С. Расаходжаев, З.К. Эрмекова // Гелиотехника. –Ташкент: АН РУз, 2018.- №6. - С. 55-62.
61. **Исманжанов, А.И.,** Моделирование и расчет светопропускания прозрачного ограждения солнечных установок [Текст] / А.И. Исманжанов, Ш.И. Клычов, З.К. Эрмекова // Наука. Образование. Техника. -Ош: КУУ, 2015. - №1 - С. 33-37.
62. **Клычев, Ш.И.** Коэффициент вхождения потока солнечного излучения через плоское прозрачное ограждение [Текст] / Ш.И. Клычов, С.А. Бахрамов, В.В. Харченко, З.К. Эрмекова // Наука. Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2019. - № 1 - С.8-12.
63. **Эрмекова, З.К.** Коэффициенты потока скатных прозрачных ограждений солнечных установок [Текст] / З.К. Эрмекова // Наука. Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2019. № 1 -С. 12-17.
64. **Латыев, Л.Н** Излучательные свойства твердых материалов [Текст] /

- Л.Н. Латыев, А.Е. Шейндлина, В.М. Петров, В.Я. Чеховской, Е.Н. Шестаков. -М.: Энергия, 1974. - 472с.
65. Патент КР №1825, МПК F24J 2/42. Солнечная опреснительная установка [Текст] / А.И. Исманжанов, З.К. Эрмекова; Бишкек. Кыргызпатент. - № 20140135.1; заявл. 26.12.2014; опубл. 29.01.2016 Бюллетень №2.
 66. **Исманжанов, А.И.** Разработка малометаллоемкой солнечной опреснительной установки [Текст] / А.И. Исманжанов, З.К. Эрмекова // Известия. - ОшГУ, 2015.- №1, - С.19-22.
 67. **Исманжанов, А.И.** Исследование эксплуатационных характеристик малометаллоемкой солнечной опреснительной установки [Текст] / А.И. Исманжанов, З.К. Эрмекова // Наука. Образование. Техника. - Ош: КУУ, 2016. - №3,4. - С.13-17., www.not.kg
 68. **Исманжанов, А.И.** Исследование суточных эксплуатационных характеристик малометаллоемкой солнечной опреснительной установки [Текст] / А.И. Исманжанов, З.К. Эрмекова // Интерактивная наука.-Чебоксары, 2017. -№11 -С.133-136, [www. Interactive-science.MediaRU](http://www.Interactive-science.MediaRU)
 69. **Исманжанов, А.И.** Разработка и исследование эксплуатационных характеристик малометаллоемкой солнечной опреснительной установки [Текст] / А.И. Исманжанов , З.К. Эрмекова // Инновация.-Ташкент , 2017. -№ 22 , - С. 12-14. www.Innovation.uz.
 70. **Аметистов, Е. В.** Тепло и массообмен. Теплотехнический справочник. [Текст] / Под ред. Е.В. Аметистов, В.А. Григорьева, В.А. Григорьев и др. - М.: Энергоиздат, 1972. - 512 с.
 71. **Михеев, М.А.** Основы теплопередачи. [Текст] / И.М. Михеева.- М.: Энергия, 1973. - 319 с.
 72. **Байрамов, С.** Опреснение воды с помощью солнечной энергии [Текст] / С. Байрамов, Сеиткурбанов. -:Ашхабад, Ылым, 1977.- 147 с.
 73. **Сейиткурбанов, С.** Результаты испытаний трех конструкций типовых секций солнечной опреснительной установки [Текст] / Р.Б. Байрамов, Б. Ташназаров, С. Сейиткурбанов // Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1975.- №5, - С.30-34.
 74. **Комилов, О.С.** Результаты испытаний солнечных дистилляционных установок с эмалированными теплоприемниками и др. (СДУ-Э) [Текст] / О.С. Комилов, Г.Я. Умаров, Б.М. Ачилов и др. Гелиотехника. - Ташкент: АН РУз, 1981г. -№6, - С.28-31.
 75. **Лариков, Н.Н.** Теплотехника. Учебник для вузов. [Текст] / Н.Н. Лариков. –М.: Стройиздат, 1985, - 432 с.
 76. ВОДНЫЙ КОДЕКС КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ от 12 января 2005

- года №8, <http://base.spinform.ru>
77. Анализ регулятивного воздействия. К проекту постановления Правительства Кыргызской Республики «Об утверждении Порядка определения и взимания платы за пользование поверхностными водами в Кыргызской Республике» Бишкек, 2018, 37с. <http://mineconom.gov.kg>
 78. **Lof George, O. G.** A Rational basis for the engineering development of solar still. [Текст] / O. G. Lof George, Solar Energy, vol. 12, issue 4, pp. 547-549.
 79. СНиП 2.04.01-85 Нормы расхода воды потребителями. Нормы водопотребления. Внутренний водопровод и канализация зданий и для жилых домов, оборудованных водопроводом без канализации.
 80. <http://kyrgyzstan.metaltorg.ru>
 81. <http://www.stroy.kg/okna-steklo>
 82. <http://ss-ss.su/glassprice.html>
 83. **Колодин, М.** Вода и пустыни [Текст] / М.Колодин.-Москва: Мысль, 1981, 91с.
 84. Срок службы водопроводных труб. <https://www.gkh.ru/article/102233>
 85. **Валицкий, С. В.** Пособие по курсу «Экономика строительства» для учащихся [Текст] / С.В.Валицкий, О.С. Голубова.- Минск, 2009. -180с. <http://nedvigovka.ru/biblioteka/is6/>.

Анализ ошибок экспериментальных измерений и достоверности полученных результатов

Основной задачей экспериментального исследования, разработанного парникового солнечного опреснителя являлось определение её производительности.

Измерение производительности или массовой или объемной скорости конденсата, вытекающего из солнечного опреснителя производится по формуле

$$m_v = \Delta m / \Delta \tau , \quad (1)$$

где m_v - массовая или объемная скорость истечения воды из опреснителя, Δm – масса или объем, вытекающей из опреснителя воды за время $\Delta \tau$. Удельная производительность опреснителя при этом определяется по формуле

$$m_y = m / S_B , \quad (2)$$

где S_B – площадь зеркала воды в опреснителе или площадь опреснителя

Т.е. при экспериментальном определении производительности опреснителя необходимо знать две величины Δm и $\Delta \tau$.

Масса воды Δm определяется по измерению массы или объема вытекшей из опреснителя воды за время $\Delta \tau$.

Так как в процессе исследования изменяется плотность солнечного излучения, а значит и температурный режим внутри опреснителя, то для контроля процесса желательно измерять также солнечную радиацию и температуры воды в опреснителе и воздуха в опреснителе и окружающей среде.

Учитывая, что тепловые процессы в солнечном опреснителе протекают достаточно медленно, то измерение этих параметров можно проводить вручную один раз в полчаса или час. Интервал времени измерения также определяется исходя из количества вытекающей воды. Так, если производительность опреснителя мала и соответственно мала и масса вытекающей воды, то могут

быть достаточно большими погрешности измерения этой массы, при этом необходимо либо увеличивать интервал времени измерения, либо применять высокоточные весы.

Для определения плотности солнечной радиации необходим прибор Пиранометр, который должен быть установлен строго горизонтально, при этом также необходимо фиксировать положение Солнца на небосводе. Т.е. в указанных выше измерениях могут иметь место погрешности.

В связи с этим в экспериментах солнечная радиация не измерялась, а эти данные получали из метеостанции г. Ош.

Для измерения температур окружающего воздуха и воздуха в опреснителе, а также температуры воды в опреснителе использовались ртутные термометры с ценой деления 0.5° и с диапазоном измерений до 70°C , при этом при температуре воздуха 10°C погрешность измерения составит 5%, что для контроля температур вполне достаточно. Таким образом, основные погрешности измерения производительности опреснителя в экспериментах определяются точностью измерения массы (объема) воды Δm и времени Δt . Погрешность измерения времени в течении часа или получаса существенно мала. Таким образом, основная погрешность заключается в измерении массы или объема вытекшей воды.

Предварительные измерения показали, что масса Δm воды за 1 час изменяется от 5 грамм до 2 кг. Масса воды измерялась электронными весами типа «Весы настольные CAS PW-2H» с пределом измерения до 2кг и точностью 0.5г.

Т.е. они подходят для проведения измерений массы, например при массе воды вытекающей из опреснителя равной 5г погрешность измерения массы составляет около 10%, а уже при массе воды 50г погрешность измерения составит только 1%. Таким образом получаем, что погрешности эксперимента составляют от 1% до 5% за счет того, что рабочие отсчеты проводились для случаев, когда вытекающая масса была более 10г.

Расчет себестоимости перевозки воды автотранспортом
на расстояние до 10км.

Расчет себестоимости является одним из этапов и основой для определения экономической эффективности.

Экономическая эффективность определяется на основе расчетов себестоимости, использования действующих тарифов на перевозки, положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава, системы заработной платы водителей, норм расхода материалов, амортизационных отчислений, прибыли, дохода и рентабельности предприятия.

При этом производятся расчеты производственной программы и технико-экономических показателей использования подвижного состава, затраты на эксплуатацию подвижного состава и калькуляция себестоимости перевозок, прибыли и рентабельности предприятия

- Списочное количество автомобилей $A_{\text{сп}}=2$ ед. КамАЗ 43118
- Коэффициент выпуска автомобилей на линию $\alpha_{\text{в}}=0,8$
- Время в наряде ч. $T_{\text{н}}=8$ ч.
- Эксплуатационная скорость, км/ч $V_{\text{т}}=35,5$ км/ч
- Коэффициент использования вместимости $\gamma_{\text{в}}=1,0$
- Коэффициент использования пробега $\beta=0,5$

Потребность в топливе (переменные расходы) определяется исходя из установленных норм расхода по каждому типу подвижного состава на 100 км пробега. Нормы расхода должны учитывать дорожные, климатические условия и специфику осуществления перевозок. В эту статью расходов входит общая стоимость всех видов топлива, израсходованных для эксплуатации автомобилей.

Потребность в топливе для автобусов, такси и грузовых автомобилей с почасовой оплатой труда определяется по формуле:

$$Q_{\text{мон}} = \frac{n * L_{00}}{100} = \frac{40 * 165856}{100} = 66342,4 \text{ л},$$

где: n – норма расхода топлива на 100 км пробега; $L_{\text{общ}}$ – общий годовой пробег автомобилей определяется:

$$L_{\text{общ}} = A_{\text{сп}} * D_{\text{к}} * \alpha_{\text{в}} * L_{\text{сс}} = 2 * 365 * 0,8 * 284 = 165856 \text{ км.},$$

где: $L_{\text{сс}}$ – среднесуточный пробег и определяется по формуле:

$$L_{\text{сс}} = T_{\text{н}} * V_{\text{э}} = 8 * 35,5 = 284 \text{ км.}$$

Дополнительная потребность в топливе на зимний период зависит от продолжительности зимнего периода и рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{т.з}} = Q_{\text{топ}} * \frac{H_{\text{з}} * Z_{\text{м}}}{12 * 100} = 66342,4 * \frac{4 * 3}{12 * 100} = 663,4 \text{ л},$$

где: $H_{\text{з}}$ – надбавка к нормам зимний период; $Z_{\text{м}}$ – количество зимних месяцев.

№	Наименования показателей	Ед. изм.	Усл. Обоз	количество
1	Общий годовой пробег автомобил.	Км	$L_{\text{общ}}$	165856
2	Норма расхода на 100 км пробега	л	n	40
3	Топливо на транспортную работу	л	$Q_{\text{топ}}$	66342,4
4	Доп. Топливо на зимний период.	л	$Q_{\text{т.з}}$	663,4
5	Топливо на внутригаражные нужды	л	$Q_{\text{внут}}$	670,0
6	Общий расход топлива.	л	$Q_{\text{общ}}$	67675,8
7	Цена 1л топлива.	Сом	Ц	39
8	Сумма затрат на автомобильное топливо	сом	$S_{\text{топ}}$	2639356,2

Потребность в смазочных материалах определяют, исходя из установленных норм по каждому виду смазок. Нормы расхода смазочных материалов установлены в процентах от расхода топлива в весовом выражении, а для обтирочных материалов 48-60 кг на единицу подвижного состава, прочие материалы в размере 100-120 сом на единицу подвижного состава. Потребность и затраты на смазочные и прочие эксплуатационные материалы можно представить в виде, представленной в таблицу.

Наименование показателей	Моторное масло	Транс. Масло	Консист масло	Прочие материалы	
				Обтир	Прочие
Нормы расходов в % от веса топлива	3,5	0,8	0,6	48-60кг на 1 ПС	100–120с на 1 ПС
Общий расход, л.	2368,6	541,4	406	50	2
Цена 1 л.	250	200	150	100	100
Затраты на приобретения	592163	108281	60900	100000	2000
Всего затраты в сомах	773344				

Отчисления на восстановление автомобильных шин и их ремонт; расходы, связанные с установкой шин на колеса; стоимость материалов, израсходованных на ремонт шин в пути следования.

Расходы планируются на основании действующих нормативов, установленных в процентах от стоимости 1-го комплекта шин на 1000 км пробега.

Потребное количество в автомобильных шинах определяется по формуле:

$$N_{\text{шин}} = \frac{n * L_{\text{ооб}}}{L_{\text{норм}}} = \frac{6 * 165856}{42000} = 23_{\text{шт}},$$

где: n – количество шин, смонтированных на 1 автомобиле, не включая запасного колеса; $L_{\text{норм}}$ – норма пробега автомобильных шин.

Затраты на восстановление износа и ремонт шин определяются по формуле:

$$S_{\text{шин}} = \frac{C_{\text{к}} * N_{\text{ш}} * L_{\text{ооб}} * n}{100 * 1000} = \frac{10000 * 1,7 * 165856 * 23}{100000} = 648496,9_{\text{сом}},$$

где: $C_{\text{к}}$ – цена одного комплекта шин; $N_{\text{ш}}$ – норматив отчислений на восстановление износа и ремонт шин на 1000 км пробега;

Расчет численности и фонда заработной платы водителей. В эту статью входят все виды основной заработной платы водителей за время их работы на линии, премии, дополнительная зарплата, начисления на зарплату, а также сумма резерва, начисляемого на оплату отпусков.

Среднесписочная численность водителей определяется по формуле:

$$N_B = \frac{AЧ_{л} = Ч_{п / з}}{\Phi_{год}} = \frac{4964 + 198,5}{1870} = 2_{чел.},$$

где: АЧ_л – авто-часы работы на линии и определяется в следующей последовательности:

Авто-дни в хозяйстве:

$$AД_x = A_{сп} * D_k = 2 * 365 = 730$$

Количество автомобиле – дней работы

$$Aдр = Aд_x * \alpha_b = 730 * 0,85 = 620,5$$

$$AЧ_{л} = Aдр * T_n = 620,5 * 8 = 4964$$

Объем подготовительно-заключительного времени определяем по формуле:

$$Ч_{п / з} = AЧ_{л} \frac{2,5}{60} = 4964 \frac{2,5}{60} = 198,5ч$$

1.6. Расчет фонда заработной платы водителей

Годовой фонд заработной платы водителей при повременной оплате труда определяется по формуле:

$$З_{осн} = AЧ_{л} * C_ч = 4964 * 50 = 248200 \text{ сом,}$$

где: С_ч – часовая тарифная ставка водителя.

Прочие доплаты и премии принять в размере 30-40% от сдельной заработной платы водителя:

$$З_{проч} = З_{ед} * (0,30 - 0,40) = 248200 * 0,3 = 74460 \text{ сом}$$

Годовой фонд основной заработной платы водителей составит:

$$\Phi_{осн} = З_{осн} + З_{проч} = 248200 + 74460 = 322660 \text{ сом}$$

Дополнительная зарплата водителей принимается в размере 8-10 % от основной заработной платы:

$$З_{доп} = З_{осн} * (0,08 - 0,1) = 322660 * 0,1 = 32266 \text{ сом}$$

Фонд основной заработной платы вместе с дополнительной заработной платой составляет общий годовой фонд заработной платы:

$$\Phi_{общ} = \Phi_{осн} + З_{доп} = 322660 + 32266 = 354926 \text{ сом}$$

Категория ра- ботающих	Кол чел.	Основной фондоплаты	Доплата в сомах	фонд оп- латы	Ср/мес. Зарплата
Водители	2	322660	32266	354926	14788

1.7. Расчет общих затрат по ТО и ТР

Расходы на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава предусматривают все виды ТО и ТР кроме капитального ремонта.

Общие затраты на ТО и ТР включают:

- затраты на материалы и запчасти.
- годовой фонд заработной платы ремонтных рабочих с начислениями на соцстрах в сомах;

Общие затраты на материалы и запчасти определяется по формуле:

$$S_{ТО,ТР} = \frac{L_{об} (H_m + H_{з/ч})}{1000} = \frac{165856 * (17,5 + 23,4)}{1000} = 6783,5 \text{ сом},$$

где: H_m , $H_{з/ч}$ – норма затрат на материалы и запасные части в сомах на 1000 км пробега.

Сумма амортизационных отчислений на подвижной состав включает в себя отчисления, предназначенные для капитального ремонта (КР), модернизации и восстановления подвижного состава.

Амортизационные отчисления по подвижному составу выделяются в отдельную статью по группе переменных затрат себестоимости перевозок. Амортизационные отчисления рассчитывается по формуле:

$$A_c = \frac{N_B * B_A * L_{об}}{100 * 1000} = \frac{1,7 * 963000 * 165856}{100000} = 2715228,5 \text{ сом},$$

где: N_B – нормативы отчислений на восстановление в процентах от балансовой стоимости ПС на 1000 км пробега; B_A – балансовая стоимость данной марки подвижного состава:

$$B_A = Ц * 1,07 = 900000 * 1,07 = 963000 \text{ сом},$$

где: Ц – рыночная цена данной марки ПС; 1,07 – коэффициент, учитывающий стоимость доставки ПС.

К постоянным расходам на АТ относятся накладные расходы и заработная плата всех категорий работающих, а также амортизационные отчисления. Величина накладных расходов зависит от типа подвижного состава, мощности, технической оснащенности предприятия.

Укрупнено, постоянные расходы можно принять в пределах 15-20% от суммы переменных расходов, т.е.:

$$Z_n = 0,15 \div 0,2 * \sum Z_{пер}$$

№	Наименования статей расходов	Сумма затраты в сомах.
Переменные расходы		
1	Основная и дополнительная зарплата водителей	354926
2	Топливо для эксплуатации автомобилей	2639356,2
3	Смазочные и др. эксплуатационные материалы	773344
4	Затраты на восстановление износа и ремонт шин	688496,9
5	Затраты на ТО и ТР	6783,5
6	Амортизация ПС	2715228,5
Итого переменных расходов		6823209,1
Постоянные расходы		1364641,8
Всего: полная себестоимость		8187850,9

Себестоимость транспортной продукции равна

$$S_{10и} = \frac{\sum S}{\sum P} = \frac{9039673,3}{6716} = 1219_{сом},$$

где: $\sum P$ – транспортная работа; $\sum S$ – полная себестоимость

$$P = Q * L_{cp} = 292 * 23 = 6716 \text{ тн. Км}$$

$$Q = \frac{T_n \beta e V_{\text{Эг}}}{L_{cc} + \beta V_{\text{Э}}} * A_{Др} = \frac{8 * 0,5 * 35,5 * 1}{284 + 0,5 * 35,5} * 620,5 = 292 \text{ тн}$$

Расчет инвестиции в основной капитал. В данном подразделе определяется среднегодовая стоимость основных производственных фондов транс-

портного предприятия и показатели эффективности их использования: фондоотдача и рентабельность основных фондов; стоимость нематериальных активов.

Среднегодовую стоимость основных производственных фондов определяют, как сумму среднегодовой стоимости активной части фондов (подвижного состава) и производственно-технической базы.

Результаты расчетов по оценке основных производственных фондов представляются в виде таблицы.

Стоимость одного капитала определяется как сумма валовой стоимости ТС, строительства автохозяйств, инструмента и инвентаря, стоимость основных средств и соответствующие коэффициенты их корректирования. Расчет выполняется по формуле:

$$C_{\text{стр}} = A_{\text{сп}} * N_{\text{стр}} * K_{\text{пр}} * K_{\text{хр}} * K_{\text{сс}} * K_{\text{э}} = 2 * 1350000 * 1,25 * 0,91 * 1,1 = 3378375 \text{ сом}$$

где: $A_{\text{сп}}$ – списочное количество автомобилей; $N_{\text{стр}}$ – норматив, приходящийся на один списочный автомобиль (принять укрупнено в полтора раз больше стоимости нового автомобиля); $K_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий наличие прицепов и полуприцепов, норматив колеблется в пределах 1,08 – 1,32; $K_{\text{хр}}$ – коэффициент, учитывающий наличие закрытых стоянок – 1,25; $K_{\text{сс}}$ – коэффициент, учитывающий среднесуточный пробег подвижного состава – 0,91; $K_{\text{э}}$ – коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации – 1,1.

Стоимость приобретения транспортных средств.

При определении стоимости автомобилей учитываются стоимость приобретения, налог на приобретение транспортных средств и расходы по доставке – поправочный коэффициент -1,07.

$$C_{\text{пр}} = A_{\text{сп}} * B_{\text{А}} = 2 * 963000 = 1926000 \text{ сом.}$$

Стоимость инструмента принимается в размере 1,5-2,0% от общей стоимости строительства:

$$C_{\text{инс}} = (0,015 \div 0,02) * C_{\text{стр}} = 0,02 * 3378375 = 67567,5 \text{ сом.}$$

Стоимость прочих основных фондов принимается 0,5-1,0% от общей стоимости строительства:

$$C_{\text{проч}} = (0,005 \div 0,01) * C_{\text{стр}} = 0,1 * 3378375 = 33783,7 \text{ сом.}$$

№	Наименование групп основных средств	Стоимость в сомах
1.	Общая стоимость строительства	3378375
2.	Транспортные средства (ПС)	1926000
3.	Инвентарь, инструменты и приспособлений	67567,5
4.	Прочие основные средство	33783,7
<i>Основной капитал</i>		<i>5405726,2</i>
<i>Оборотный капитал</i>		<i>1621717,8</i>

Финансовые показатели работы предприятия складываются из доходов, прибыли и рентабельности. Доход представляет собой денежные средства, полученные от клиентов за выполнение услуги.

Основную часть доходов составляют поступления за перевозку грузов и пассажиров и др.

Прибыль характеризует экономическую эффективность работы АТ. Источником образования прибыли является объем доходов, полученных от всех видов эксплуатационной деятельности АТ за вычетом сумм затрат, необходимых на выполнение этих работ.

Показатели рентабельности исчисляются как отношение прибыли, полученной от выполнения транспортной работы по каждому виду перевозок и их полной себестоимости. В среднем рентабельность по отдельным видам перевозок колеблется в пределах от 4% до 30%.

Определения тарифа (доходной ставки) на единицу перевозок – d.

$$D = S_{\text{ед}} * Y + S_{\text{ед}} = 1219 * 0,2 + 1219 = 1462,8 \text{ сом}$$

где: $S_{\text{ед}}$ – себестоимость 10 ед. транспортной работы; Y- принимаемый уровень рентабельности 15-20% ($Y = 0.15 \div 0.2$).

Определение общих валовых доходов предприятия – Д

$$D = P * d = 6716 * 1462,8 = 9824164,8 \text{ сом}$$

Валовая прибыль – П

$$П = D - S_{\text{общ}} = 9824164,8 - 8187850,9 = 1636313,9 \text{ сом}$$

Общая рентабельность

$$R_{j,o} = \frac{\Pi}{\text{Косн} + \text{Обк}} * 100\% = \frac{1636313,9}{5405726,2 + 1621717,8} * 100\% = 23,2\%$$

где: Косн – стоимость основного капитала; Обк – стоимость оборотного капитала

Стоимость оборотных средств (оборотный капитал) принимается в размере 30% от стоимости основного капитала.

Затраты на маркетинг 0,15% от валовых доходов

$$\text{Змарк} = 0,0015 * \text{Д} = 0,0015 * 9824164,8 = 14736,2 \text{ сом}$$

Налог на прибыль – 30% от прибыли до уплаты налогов.

$$\text{З}_{\text{налог}} = 0,3 * \text{П} = 0,3 * 1636313,9 = 490894,1 \text{ сом.}$$

Налог на автодороги – 0,8% от валовых доходов.

$$\text{З}_{\text{д}} = 0,008 * \text{Д} = 0,008 * 9824164,8 = 78593,3 \text{ сом.}$$

Основные качественные показатели

№ п/п	Наименование показателей	Един. Измер.	Количественное выражение
1.	Списочное кол-во автомобилей	Ед.	2
2.	Автомобиле-дни в работе	Дн	620,5
3.	Автомобиле-часы работы на линии	Ч	4964
4.	Общий годовой пробег	Км	165856
5.	Общее количество водителей	Чел	2
6.	Среднемесячная зарплата водителей	Сом	14788
7.	Грузооборот	Тн.км	6716
8.	Объем перевозок	Тн	292
9.	Основной капитал	Сом	5405726,2
10.	Оборотный капитал	Сом	1621717,8
11.	Себестоимость тн. Км	Сом	1219
12.	Доходная ставка тн. Км	Сом	1462,8
13.	Валовые доходы	Сом	9824164,8
14.	Прибыль	Сом	1636313,9
15.	Общая рентабельность	%	23,2
16.	Налоги на автодороги	Сом	78593,3
17.	Налог на прибыль	Сом	490894,1
18.	Затраты на маркетинг	Сом	14736,2

Справки об использовании результатов диссертационной работы

«УТВЕРЖДАЮ»



Глава сельского управления Савай
Караульского района Ошской области
Сайпидинов М.А.
09 2019 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Эрмековой Зулайки Карыбековны на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности: 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» на тему: **«Разработка и исследование малометаллоемкой солнечной опреснительной установки»**

Комиссия в составе: председателя А. Абдуллаева - зам. главы сельского управления Савай и членов комиссии ответственного секретаря Н.Каратаевой, инспектора ВУС Ж. Токсонбаева и главного бухгалтера С.Р. Каримжанова свидетельствуют о том, что при внедрении опытного образца солнечной опреснительной установки для получение чистой питьевой воды были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Эрмековой Зулайки Карыбековны:

- Разработанная установка по очистке грязных и соленых вод с использованием солнечной энергии внедрена в сельском управлении Савай и позволяет обеспечивать жителей чистой питьевой водой
- С внедрением солнечной опреснительной установки прекратилось подвоз воды посредством автомобильного транспорта, что позволило значительно экономить бюджет сельской управы.

Реализации материалов диссертации Эрмековой З.К. позволила:

- улучшить условия быта жителей сельского населения путем применения на пище приготовления чистой питьевой воды;
- внедрение опреснительной установки позволить снизить риск заболевания жителей села острыми кишечными инфекциями, брюшного тифа, болезнью Боткина и другими болезнями передаваемыми через питьевую воду.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- Получены проектно-технические документации позволяющие самостоятельно изготавливать солнечные опреснительные установки парникового типа различной производительностью;
- В распоряжение сельской управы переданы документы позволяющие осуществлять инструктаж по эксплуатации и обслуживанию солнечной опреснительной установки.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- Предлагаемая установка позволила экономить средства на чистую воду;
- Улучшить состояния здоровья жителей сельской местности;

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ 16.09.19  А.Абдуллаев

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ: 16.09.19  Н.Каратаева

16.09.19  Ж.Токсонбаев

16.09.19  С.Каримжанов

Адрес: Ошская область Карасуйский район село Савай

УТВЕРЖДАЮ

Глава регионального
муниципального управления
№3 Керме-Тоо города Ош

Самиева Н.К.
« 18 » 09 2019 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Эрмековой Зулайки Карыбековны на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальности: 05.14.08 – «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» на тему: «Разработка и исследование малометаллоемкой солнечной опреснительной установки»

Комиссия в составе: председателя, заместитель территориального муниципального управления А.Аттокурова, и членов комиссии: главного специалиста Ж.Исмаиловой, специалиста Б. Абдыкадырова, председателя квартального комитета Алмалык К.Т.Маматова свидетельствуют о том, что малометаллоемкая солнечная опреснительная установка разработанная на основе исследований соискателя Кыргызско-Узбекского университета Эрмековой Зулайки Карыбековны внедрена в село Алмалык регионального муниципального управления №4 Керме-Тоо города Ош для обеспечения чистой питьевой водой жителей названного села. При эксплуатации внедренной малометаллоемкой солнечной опреснительной установки состоящей из основания и моллированного стеклянного прозрачного ограждения действительно получали чистой питьевой воды путем опреснения соленых вод выкачиваемых из скважин.

Реализации материалов диссертации Эрмековой З.К. позволила:

- эффективное и гарантированное обеспечение чистой питьевой водой для приготовление пищи и для бытовых нужд в течении летнего времени жителей село Алмалык;
- уменьшить риск заболевания жителей село Алмалык каменно-почечными, кишечно-инфекционными и другими видами заболеваний, связанными с водой
- позволяют рекомендовать широкомасштабное распространение малометаллоемкой солнечной опреснительной установки в местностях, в которых имеются проблемы водоснабжение.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- конструктивные решения, принятые при разработке солнечных опреснителей могут быть использованы при проектировании опреснителей различных мощностей и режимов в работы;

- В распоряжение сельской управы переданы документы, позволяющие осуществлять инструктаж по эксплуатации и обслуживанию солнечной опреснительной установки.

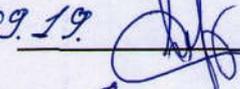
По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

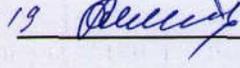
- солнечная опреснительная установка отличается надежностью, долговечностью, дешевизной и простотой изготовления и имеет достаточно высокую производительность по сравнению с аналогичными установками (на 25-30% больше).

- проведен лабораторный анализ, опресненной воды в лаборатории Ошского городского центра профилактики и госсанэпиднадзора с функциями координации деятельности службы по Ошской области (ОГРЦПЗ и ГСЕН с ФКДСОО) и получено заключение о возможности ее применения.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ 18.09.19  А.Аттокуров

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ: 18.09.19  Ж.Исмаилова

18.09.19  Б.Абдыкадыров

18.09.19  К.Т.Маматов

Адрес: г.Ош, село Алмалык

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор КУУ, д.э.н., профессор

Райымбаев Ч.К.

« 20 » 2019 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации **Эрмековой Зулайки Карыбековны** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.08 - «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии» на тему: **«Разработка и исследование малометаллоемкой солнечной опреснительной установки»**

Комиссия в составе: председателя, проректора по учебной работе КУУ, к.п.н., доцента Т.Э. Исакова и членов комиссии: декана инженерно – технологического факультета к.т.н., доцента Г.К.Омурбекова, заведующего кафедрой «Компьютерные технологии и энергетики» д.ф.м.н., профессора Ы. Ташполотова подтверждаем, что в учебном процессе подготовки инженеров по направлению 640200 - «Электроэнергетика и электротехника» в содержании дисциплины «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», а также курсовых и выпускных квалификационных работах студентов, используются результаты научных исследований преподавателя З.К. Эрмековой .

В частности:

- разработанная обобщенная методика определение значение падающего и входящего через прозрачные ограждения СОУ солнечного потока для случая ясных солнечных дней;
- методика определения потребного объема пресной воды для обеспечения сельских потребителей;
- методика определения теплотехнических характеристик солнечных опреснителей.

Реализация материалов диссертации Эрмековой З.К. позволила:

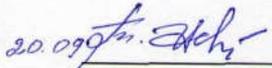
- усовершенствовать материалы лекционных и практических занятий по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»;
- повысить становление профессиональной компетентности студентов по направлению: 640200 - «Электроэнергетика и электротехника»;

Материал диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

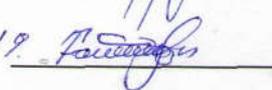
- в материалах рабочих программ, лекционных и практических занятий по дисциплине «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»;
- в программе прохождения производственной практики студентами по направлению: «Электроэнергетика и электротехника»;
- в перечне тем выпускных квалификационных работах для студентов по направлению: 640200 - «Электроэнергетика и электротехника».

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- улучшено качество выполнения квалификационные работы по направлению: 640200 - «Электроэнергетика и электротехника»;
- приобретены необходимые научно-исследовательские навыки по проектированию и разработке новых конструкций НПУ.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ КОМИССИИ 20.09.19.  Т.Э. Исаков

ЧЛЕНЫ КОМИССИИ: 20.09.19.  Г.К.Омурбекова

20.09.19.  Ы. Ташполотов

Адрес: 723500, г.Ош, ул.Г.Айтиев 27