

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи
УДК 696.2*

УЛМАСОВА АДОЛАТ САЙДМУРАДОВНА

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

**диссертация
на соискание академической степени магистра по специальности**

**5А340401 «Водоснабжение, канализация, охрана и рациональное
использование водных ресурсов»**

**Рекомендовано к защите
Руководитель отдела
магистратуры
_____ доц.М.С.Саидов**

**Зав. кафедрой к.т.н., доцент
Буриев Э.С. _____**

« ____ » _____ 2015 г

« ____ » _____ 2015 г

**Научный руководитель: д.т.н.,
проф. Ризаев А.Н. _____**

ТАШКЕНТ – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ЗАДАНИЕ	3
	ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1	СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ	
1.1.	Способы обессоливания минерализованных вод	9
1.2.	Опреснение воды на основе обратного осмоса.....	9
1.3.	Солнечные опреснительные установки	15
1.4.	Цель и задачи исследования.....	35
	Выводы по главе I.....	36
ГЛАВА 2.	ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАТОРНОЙ КАМЕРОЙ.....	37
2.1.	Тепловой баланс солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой...	37
2.2.	Анализ эксергетического баланса солнечных водоопреснительных установок парникового типа.....	42
2.3.	Коэффициент использования тепла солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой	46
	Выводы по главе II.....	59
ГЛАВА 3.	РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАТОРНОЙ КАМЕРОЙ.....	53
3.1.	Принципиальная схема солнечной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой ...	53
3.2.	Результаты экспериментальных и расчётных исследований..	
	Выводы по главе III.....	59
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	61
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	62
	Приложения.....	

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ПСЭИК

к.т.н., доц. Буриев Э.С.

« ____ » _____ 2014 г.

ЗАДАНИЕ ПО ПОДГОТОВКЕ И НАПИСАНИЮ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Магистерская диссертация по теме: Использование солнечной энергии при разработке альтернативных методов водоснабжения

название (с указанием материалов конкретных организаций)

утверждённая приказом ректората института от «16» 12 2014 г.

за номером 2/373 по кафедре ПСЭИК

за слушателем Улмасова Адолат Сайдмурадовна

научный руководитель Ризаев А.Н. д.т.н., профессор

Ф.И.О., занимаемая должность, учёная степень, учёное звание

должна быть подготовлена и представлена к предварительной защите на кафедру 30 мая 2015 г.

число, месяц, год

В работе будут использованы: Авторефераты, справочная литература, КМК, статьи журналов, отчёты о научно-исследовательской работе,

Практические, балансовые и др. материалы, стат. данные др. ведомств и т.п. за годы публикации,

материалы семинаров, обзорные проспекты, брошюры, каталоги

труды и т.д. законодательные и нормативные акты, инструкции и т.п.

современного оборудования, руководство по проектированию, монтажу и эксплуатации отопления зданий

В работе предусматривается: разработка альтернативных методов водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов,

аналит. таблицы, группировочные таблицы, графики, схемы, диаграммы, математические модели и т.п.

анализ способов обессоливания минерализованных вод Опреснение воды на основе обратного осмоса Солнечные опреснительные установки Тепловой баланс солнечной опреснительной установки с многоступенчатой

испарительно-конденсаторной камерой Анализ эксергетического баланса солнечных водоопреснительных установок парникового типа Коэффициент

использования тепла солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой Принципиальная

схема солнечной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой Результаты экспериментальных и расчётных

исследований

В работе предусматривается изложение следующих групп вопросов:

1-я группа Современное состояние вопроса. Цель и задачи исследований

название

2-я группа Исследование солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

название

3-я группа Расчётно-экспериментальные исследования опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

название

4-я группа _____

название

Задание выдано _____

число, месяц, год

Научный руководитель Ризаев А.Н.

подпись, Ф.И.О., дата

Задание принял слушатель Улмасова А.С.

График завершения магистерской диссертации в первоначальном варианте

Глава I. Современное состояние вопроса. Цель и задачи исследований

название первой главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

Глава II. Исследование солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

название второй главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

Глава III. Расчётно-экспериментальные исследования опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

название третьей главы диссертации в первоначальном плане и сроки представления

Предварительная защита диссертация на кафедре 30 мая 2015 г.

срок, дата, год

Задание выдано д.т.н., профессор

научный руководитель магистерской диссертации

Ризаев Абдумалик Набиевич

Ф.И.О.

подпись дата

Задание принял Улмасова Адолат Сайдмурадовна

Ф.И.О., слушателя, подпись

Дата

ВВЕДЕНИЕ

Развитие цивилизации неразрывно связано с использованием воды, потребление которой происходит во все расширяющихся масштабах. Обеспечение населения водой, отвечающей определенным санитарно-гигиеническим требованиям, являются одной из основных задач водоснабжения. Системы водоснабжения представляют собой комплекс инженерных сооружений и устройств, обеспечивающих получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителям. Системы водоснабжения предназначаются также для удовлетворения потребителей воды промышленности и сельского хозяйства.

В настоящее время многочисленные потребители предъявляют к воде требования различные, как в количественном, так и в качественном отношении. Рост водопотребления привели во всем мире к количественному и качественному дефициту воды. Поэтому в современных условиях требуется комплексный подход к решению задач водоснабжения, учитывающий интересы различных групп потребителей воды. Рациональное ее использовании предусматривающий разработку мероприятий по охране источников от загрязнения и истощения, совершенствование систем водоснабжения, использованию научно-обоснованных норм водопотребления, разработку маловодных и без вредных технологических процессов совершенствование водного законодательства и др.

Обеспечение населения Республики питьевой водой и канализацией является одним из приоритетных направлений, по которому имеется ряд правительственных Постановлений №275 от 04.08.90 г. и № 117 от 03.03.95 г. «О программах обеспечения сельского населения питьевой водой и природным газом» и по которым в настоящее время подготавливается

«Схемы развития водоснабжения и канализации в Республике Узбекистан до 2020 года».

Актуальность темы. В настоящее время в сельской местности ряда областей Республики Узбекистан и Каракалпакстана испытывается острый дефицит в питьевой воде. Благодаря постоянным мероприятиям, проводимым Правительством Республики, охват населения питьевым водоснабжением составляет в среднем 78,2 % [1]. Однако, обеспечение питьевой водой малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов, остаётся довольно серьёзной проблемой, решение которой традиционными методами добывания, улучшения качества, транспортирования и распределения питьевой воды является довольно дорогостоящим мероприятием. В тоже время в этих районах имеются значительные запасы соленых вод, непригодных для питья. Поэтому разработка альтернативных методов водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов в условиях республики с применением новых технологий опреснения [2...7] представляет определённый научный и практический интерес. При этом в свете Указа Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии»¹ особый интерес представляет использование солнечной энергии для опреснения соленых вод.

Обессоливание минерализованных вод можно осуществлять различными способами [3-7]: путём замораживания и оттаивания соленой воды [3], её испарения и конденсации [3, 4], за счёт использования явления обратного осмоса [5].

Среди этих способов наиболее простым и доступным, для обеспечения питьевой водой малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов, является обессоливание минерализованных вод с

¹ Указ Президента Республики Узбекистан УП-4512 от 1.03.2013 г. «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии».

помощью использования солнечной энергии [3, 4, 6, 7], которой богаты районы, испытывающие дефицит питьевой воды.

Цель работы - использование солнечной энергии при разработке альтернативных методов водоснабжения.

Для этого в работе ставятся и решаются следующие задачи:

1. Проанализировать существующие методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов.
2. Разработать альтернативные методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов на основе использования нетрадиционных источников энергии для обессоливания минерализованных вод.
3. Выполнить анализ эффективности различных способов обессоливания минерализованных вод.
4. Рассмотреть существующие конструкции солнечных опреснителей и наметить возможные пути повышения их эффективности.
5. Исследовать конструкции солнечных опреснительных установок с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой.
6. Составить тепловой баланс многоступенчатого солнечного опреснителя.
7. Выполнить расчётно-экспериментальное исследование теплотехнических характеристик солнечных опреснительных установок с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

Научная новизна работы. Разработаны альтернативные методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов с использованием солнечной энергии.

Практическая значимость работы. Исследованы альтернативные методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов. Результаты исследований предназначены для использования в

процессе обучения студентов по дисциплине «Системы водоснабжения и канализации», они так же могут быть применены в проектных и научно-исследовательских учреждениях Республики Узбекистан при проектировании систем водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов.

Объект исследования. Альтернативные системы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на научно-технической конференции магистрантов Ташкентского Архитектурно-Строительного Института 2015 г.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Способы обессоливания минерализованных вод

В настоящее время в сельской местности ряда областей Республики Узбекистан и Каракалпакстана испытывается острый дефицит в питьевой воде. Благодаря постоянным мероприятиям, проводимым Правительством Республики, охват населения питьевым водоснабжением составляет в среднем 78,2 % [1]. Однако, обеспечение питьевой водой малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов, остаётся довольно серьёзной проблемой, решение которой традиционными методами добыwania, улучшения качества, транспортирования и распределения питьевой воды является довольно дорогостоящим мероприятием. В тоже время в этих районах имеются значительные запасы соленых вод, непригодных для питья. Поэтому разработка альтернативных методов водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов в условиях республики с применением новых технологий опреснения [2...7] представляет определённый научный и практический интерес.

Обессоливание минерализованных вод можно осуществлять различными способами [3-7]: путём замораживания и оттаивания соленой воды [3], её испарения и конденсации [3, 4], за счёт использования явления обратного осмоса [5].

1.2. Опреснение воды на основе обратного осмоса

Процесс обратного осмоса, как способ очистки воды используется с начало 60-х годов. Первоначально он применялся для опреснения морской воды.

Явление осмоса лежит в основе обмена веществ всех живых организмов. Благодаря нему в каждую живую клетку поступают питательные вещества и, наоборот, выводят шлаки.

Явление осмоса наблюдается, когда два полярных раствора с разными концентрациями разделены полупроницаемой мембраной с очень малыми порами, размер которых не превышает 10 нм.

Эта мембрана пропускает молекулы и ионы определенного размера, но служит барьером. Таким образом, молекулы воды способны проникать через мембрану, а молекулы растворенных в воде солей нет. Исследования по опреснению солёных вод в первой половине XX в, характеризовались тем, что велись они преимущественно по проторенным путям. Выбирались уже известные в то время не очень экономичные, но во всяком случае технически выполнимые методы. По мере накопления опытных и производственных данных они постепенно совершенствовались.

В последние годы стали вести интенсивные исследования по поискам и разработке новых методов опреснения солёных вод, в основе которых лежат различные физические и химические явления: осмос, экстракция, адсорбция, поглощение солей водорослями, физическое или химическое воздействие на гидратную оболочку ионов солей с целью ее разрушения и осаждения солей и т.д. Особенно большое внимание уделяется механизму осмоса, который имеет весьма большие перспективы осуществления экономичного процесса опреснения воды и сейчас детально исследуется [28, 24, 35, 29, 16, 19— 22, 15].

Как известно, диффузия веществ через проницаемую перегородку, разделяющую раствор и чистый растворитель или два раствора различной концентрации, называется осмосом. Если чистая вода и раствор соли разделены полупроницаемой мембраной (в идеальном

случае проницаемой для воды и непроницаемой для ионовсолей), то чистая вода проникает через мембрану в раствор.

Переход чистого растворителя в раствор вызовет увеличение его объема (и соответственно гидростатического давления) и он будет продолжаться до тех пор, пока давление молекул растворителя с обеих сторон мембраны не сравняется (рис. 31, б). Разница уровней по обе стороны мембраны при установившемся равновесии характеризует собой осмотическое давление растворенного вещества в растворе, и оно будет тем больше, чем выше концентрация солей в растворе.

Чтобы иметь представление о величинах осмотического давления, которое играет огромную роль в биологических процессах, приведем несколько примеров. Осмотическое давление морской воды с концентрацией солей 3,5% равно 24,5 *бар* (25 *ат*), а давление клеточного сока колеблется от 1—3 у пресноводных и до 60—80 *бар* и более у солончаковых и пустынных растений. У морских животных оно равно 9,8—14,7 (10—15) и млекопитающих — 7,35—8,82 *бар* (7,5—9,0 *ат*). У человека осмотическое давление поддерживается в пределах 7,55— 7,64 *бар* (7,7—7,8 *ат*).

Если раствор подвергнуть давлению, превышающему осмотическое, тогда чистая вода из раствора будет проходить через мембрану в обратном направлении (рис. 1, 1). Этот процесс получил название обратного осмоса, и он может быть использован для целей опреснения солёных вод. Относительно механизма обратного осмоса ещё нет определенных представлений, а с некоторыми предположениями можно ознакомиться в обзоре И. М. Миркиса [41].

В настоящее время применительно к задаче опреснения воды исследуются два осмотических процесса. В одном случае обратный осмос протекает при фильтровании солёной воды под давлением выше осмотического через мембраны, имеющие такие размеры пор, через

которые проходит только вода, а гидратированные ионы солей остаются в растворе. Это так называемая, гиперфльтрация, которая давно известна в химии и применяется для получения более концентрированных растворов.

В другом случае осмотический процесс протекает с фазовыми превращениями воды, то есть испарением воды на одной стороне мембраны, диффузией водяных паров сквозь мембрану или пористое тело и конденсацией их на противоположной стороне. Это явление получило название осмотической дистилляции воды.

Если по разные стороны полупроницаемой мембраны находятся соледержащие растворы с разной концентрацией, молекулы воды будут перемещаться через мембрану из слабо концентрированного раствора в более концентрированный, вызывая в последнем повышение уровня жидкости.

Из-за явления осмоса процесс проникновения воды через мембрану наблюдается даже в том случае, когда оба раствора находятся под одинаковым давлением.

Разница в высоте уровней двух растворов разной концентрации пропорциональна силе, под действием которой вода приходит через мембрану. Эта сила называется «Осмотическим давлением».

В случае, когда раствор с большей концентрацией воздействует внешнее давление, превышающее осмотическое, молекулы воды начнут двигаться через полупроницаемую мембрану в обратном направлении, то есть из более концентрированного раствора в менее концентрированный. Этот процесс называется «Обратным осмосом». По этому принципу и работает все мембраны обратного осмоса.

В процессе обратного осмоса вода и растворенные в ней вещества разделяются в молекулярном уровне. Большинство же обычных методов фильтрации воды основано на удалении нерастворенных веществ из воды. Полупроницаемая обратно осмотическая мембрана под

достаточным давлением пропускает очищенную воду, одновременно задерживая и концентрируя растворенные вещества и взвешенные твердые вещества.

В системах обратного осмоса бытового назначения давления входной воды на мембрану соответствует давлению воды в трубопроводе. В случае если давление возрастает, поток воды через мембрану также возрастает

Селективность обратноосмотических мембран увеличивается при повышении давления, что связано с уменьшением концентрации растворенного компонента в пермеате.

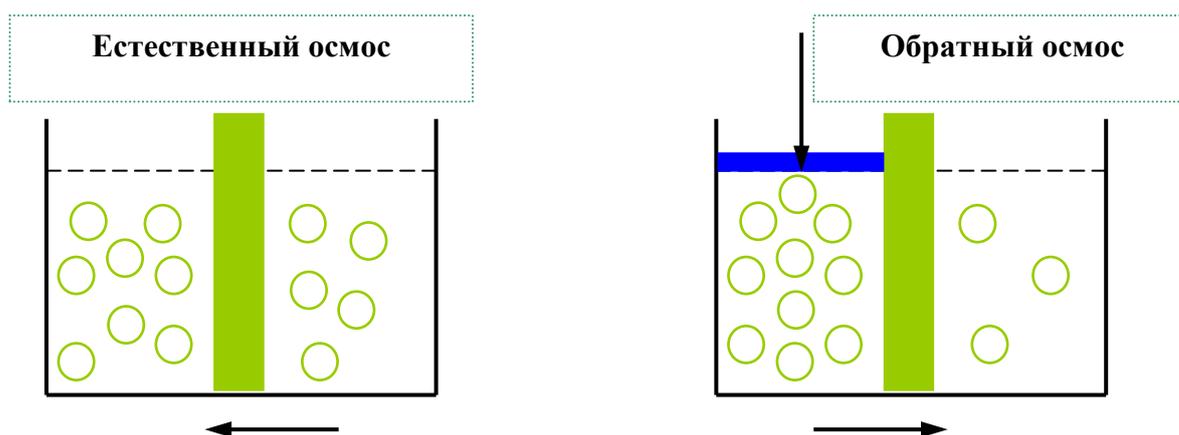


Рис.1.1. Принцип обессоливания минерализованных вод с использованием явления обратного осмоса

В обратном осмосе используются давления от 10 до 80 бар. Мембрана должна иметь высокое сродство к растворителю (главным образом к воде) и низкое сродство к растворенному компоненту.

На практике, мембрана не полностью задерживает растворенные в воде вещества. Они проникают через мембрану, но в ничтожно малых количествах. Поэтому очищенная вода все-таки содержит

незначительное количество растворенных веществ. Важно, что повышение давления на входе не приводит к росту содержания солей в воде после мембраны, но и улучшает качество очистки. Другими словами, чем выше давление воды на мембране, тем больше чистой воды лучшего качества можно получить.

При разделении растворов сильных электролитов с помощью одной и той же мембраны одновалентные ионы задерживаются хуже, чем двух- и многовалентные.

Ионы в порядке увеличения задержания располагаются в ряд, совпадающий в основном с рядом увеличения энергии гидратации:



Увеличение задержания одновалентных ионов из многокомпонентных растворов, по сравнению с их задержанием из бинарных растворов, хорошо известно в практике обратного осмоса. Это явление имеет большое практическое значение.

Основные параметры обратного осмоса

Мембраны	Асимметричные или композиционные
Толщина, мкм	Подложка 150 мкм
Верхний слой	1 мкм
Размер пор не менее, нм	2
Движущая сила, бар	Давление: Для соленой воды 15-20 Для морской воды 40-80
Принцип разделения	Растворение-диффузия
Мембранные материалы	Полимеры, керамика

В процессе очищения воды концентрация солей со стороны входа возрастает, из-за чего мембрана может засориться и перестать работать. Для предотвращения этого вдоль мембраны создается принудительный поток воды, смывающий «рассол» в дренаж.

Эффективность процесса обратного осмоса в отношении различных примесей и растворенных веществ зависит от ряда факторов:

давление, температура, уровень рН, материал, из которого изготовлена мембрана и химический состав исходной воды, влияют на эффективность работы систем обратного осмоса.

На кафедре «Проектирование, строительство и эксплуатации инженерных коммуникаций» ведутся исследования по разработке установок опреснения соленых вод методом обратного осмоса для эффективной их работы в условиях Республики. При этом выявляются закономерности влияния давления, температуры, уровня рН и материала, из которого изготовлена мембрана, а так же химического состава исходной воды на общую эффективность работы систем обратного осмоса.

1.3. Солнечные опреснительные установки

По ресурсам пресной воды страны СНГ занимают первое место в мире, но вода распределена по территории страны неравномерно: 20% приходится на густонаселенные районы, а 80% — на Сибирь и Дальний Восток. В некоторых районах Средней Азии, в частности в Туркменистане, Узбекистане, на юго-западе Казахстана, в Крыму и на Северном Кавказе водоснабжение весьма затруднено, поверхностные и грунтовые воды так засолены, что использовать их невозможно даже для технических целей.

В нашей республике пустыни и полупустыни занимают свыше 200 млн. га, а из-за отсутствия пригодной для водопоя воды в юго-

восточных районах около 100 млн. га земель не используются для круглогодичного отгонного животноводства. Обводнение этих районов дало бы возможность создать каракулеводческие и овцеводческие хозяйства более чем на 20 млн. голов овец.

В настоящее время вопросы орошения решаются в основном путем строительства крупных водохранилищ. Так, только в Узбекистане с 1941 по 1970 гг. было построено 12 водохранилищ с суммарным объемом 3- 10⁹ м³. Однако засушливые земли можно осваивать и с помощью солнечных опреснителей.

Существуют различные методы опреснения. Известно, что первые порции оттаявшей соленой воды содержат повышенное количество солей. Оставшаяся часть воды, содержащая меньше солей, вполне пригодна для питья и других целей. На этом принципе в США работает опытно-промышленная установка для опреснения соленых вод (с применением искусственного холода), производящая за сутки 56,6 т пресной воды.

Опреснение можно производить впрыскиванием в соленую воду сжиженного газа, который быстро испаряется, отбирает тепло, вследствие чего образуется лед. Опресненный лед плавится, а сжатый газ вновь переводят в жидкое состояние и процесс повторяется.

К 1974 г. во всем мире насчитывалось свыше 800 крупных стационарных опреснительных установок, суммарная производительность которых равна 1,3 млн. м³ пресной воды в сутки.

Для получения 1 т пресной воды в топливных установках-опреснителях необходимо сжечь 20 кг усл. т. Следовательно, для обеспечения пресной водой даже малых населенных пунктов необходимо ежегодно сжигать 850—900 т усл. т. Поэтому для экономии столь ценного сырья целесообразнее использовать атомные(если требуется очень большое количество пресной воды) и солнечные опреснители

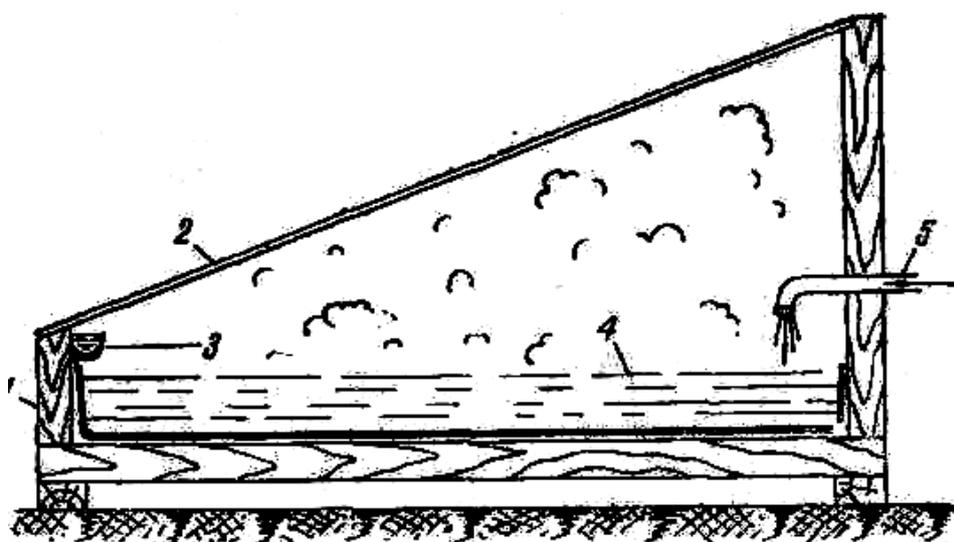


Рис. 1.2. Принципиальная схема парникового солнечного опреснителя.

Одни солнечные опреснители имеют концентраторы лучистой энергии, другие — нет. Действие последних основано на принципе «горячего ящика». Принципиальная схема солнечного опреснителя парникового (лоткового) типа представлена на рис. 1.2. Опреснитель состоит из «горячего ящика» 1 с прозрачным покрытием 2 (оконное листовое стекло или полиэтиленовая пленка). Дно ящика зачернено. Соленая вода 4 поступает через трубку 5. Под действием солнечной энергии вода испаряется и, соприкасаясь с внутренней поверхностью оконного стекла, конденсируется и стекает в виде тонкой пленки в желоб 3, откуда собирается в резервуар для сбора пресной воды. С помощью такого солнечного опреснителя можно получить 2,5—3,5 л дистиллированной воды с 1 м² прозрачной поверхности установки.

Первый в мире солнечный опреснитель был построен в 1872 г. в Чили. Установка площадью 4738 м² давала в день по 22,7 т пресной воды и проработала около 36 лет. Опреснитель был изготовлен из зачерненных испарительных деревянных лотков с асфальтовым покрытием, установленных на земле.

В 1929 г. В. П. Вейнбергом был сконструирован солнечный опреснитель типа «горячий ящик». В 1939 г. Государственным оптическим институтом был разработан проект передвижной солнечной регенеративной опреснительной установки производительностью 2,3 л дистиллированной воды в час (23 л в сутки). Паровой котел опреснителя состоял из параболического отражателя площадью 2,42 м², выполненного из электрополированного алюминия, и фасонной металлической трубы, в которую заливалась соленая вода. Пар поступал в конденсатор (рис. 25), который не только охлаждал пар и превращал его в воду, но и служил второй ступенью испарения. Конденсатор состоял из теплоизолированных и расположенных один над другим фасонных латунных сосудов 1, 2, в которые заливалась соленая вода. Верхний латунный сосуд 3 не теплоизолировался, а верхняя крышка служила для конденсации пара.

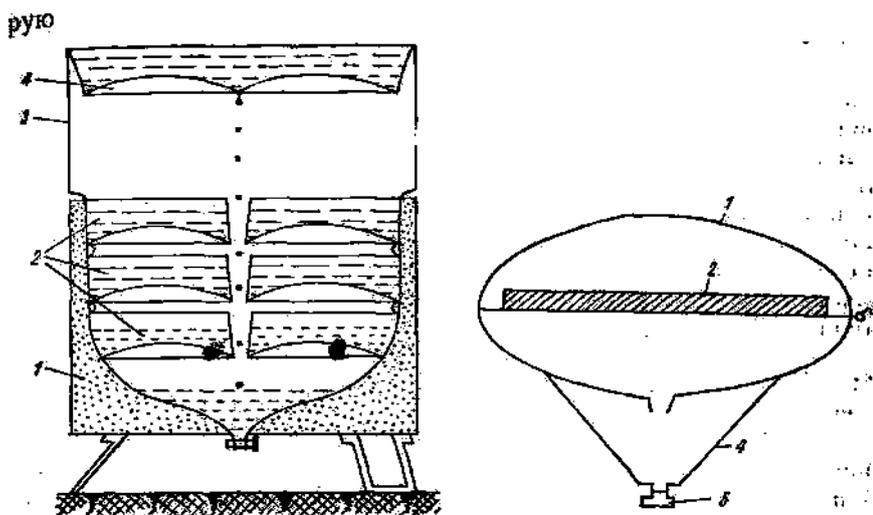


Рис. 1.3. Конденсатор опреснителя системы ГОИ.

Рис. 1.4. Схема надувного плавучего солнечного опреснителя:

- 1—пористая зачерненная губка, 2 —прозрачная пленка, 3 — сборный резервуар, 4 —крепежная лента;
5 — клапан, препятствующий выплескиванию пресной воды.

В годы второй мировой войны появился надувной плавучий солнечный опреснитель конструкции М. Телкес (рис. 26). Пористая

зачерненная губка 1 пропитывалась соленой морской водой, которая, испаряясь, конденсировалась на внутренней поверхности прозрачной пленки 2 и стекала в сборный резервуар 3, находящийся на дне опреснителя. Такие опреснители обеспечивали питьевой водой летчиков, потерпевших аварию и вынужденных выбрасываться в море. В настоящее время плавучие опреснители J выпускаются в промышленных масштабах и применяются в качестве стандартного оборудования для спасательных лодок.

В штате Калифорния в 60-х годах был построен лотковый опреснитель площадью 92 м^2 и производительностью 375 л/сут . Он состоит из пяти неглубоких деревянных лотков шириной 1,2 и длиной 15 м. Лотки заполняются слоем морской воды толщиной порядка 3 см. В 1967 г. в Греции на острове Патмос был построен солнечный опреснитель площадью 8630 м^2 для опреснения морской воды. Производительность установки составляет $3,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$. Бытовые опреснители различной производительности (от 7,7 до 770 л/сут) изготавливаются компанией «Сендотер» (США). Их использование устраняет необходимость подвозки пресной воды.

Физико-техническим институтом АН ТССР разработана солнечная опреснительная установка парникового типа. Отделом пастбищного водоснабжения Гипроводхоза Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР подготовлен проект этого опреснителя для строительства в совхозе «Бахарден» ТССР. Согласно проекту, общая рабочая площадь опреснителя составляет 2400 м^2 , а производительность его — 2400 м^3 дистиллята в год [15]. В 1968 г. был построен один отсек установки площадью $31,1 \text{ м}^2$, а в 1969 г. — 19 самостоятельных отсеков, составляющих одну секцию опреснителя площадью 600 м^2 .

С установок площадью 1000 м^2 за год было получено около 800 л дистиллята. Наибольшая производительность (132,58 л) отмечена в июне, а наименьшая (12, 13 л) — в декабре.

К 1970 г. на земном шаре было построено более 30 солнечных опреснительных установок, в том числе 12 промышленного типа. В настоящее время действует около 20 солнечных опреснителей с общей площадью $\sim 30 \text{ тыс. м}^2$.

Сотрудниками отдела гелиофизики Физико-технического института им. С. В. Стародубцева АН РУз совместно с физиками Бухарского государственного педагогического института им. С. Орджоникидзе разработаны, построены и испытаны солнечные опреснительные установки лоткового и наклонно-ступенчатого типов [7—12, 14]. На основе полученных экспериментальных данных «Узгипросельстроем» подготовлен проект солнечной водоопреснительной установки наклонно-ступенчатого типа СОУ-1000, предназначенной для снабжения пресной водой овцеводческих, каракулеводческих хозяйств в условиях отгонного животноводства и небольших сельских населенных поселков, расположенных в засоленных южных районах страны. Установка СОУ-1000 с полезной площадью 1000 м^2 состоит из 250 самостоятельных опреснительных элементов. Каждый элемент (рис. 27) представляет собой сборную; железобетонную ребристую плиту 4 с пятью железобетонными продольными перегородками на дне. Сверху элемент перекрывается листовым оконным стеклом 2 в металлическом переплете 3. Железобетонный элемент размерами $3,73 \times 1,3 \times 0,35 \text{ м}$ устанавливается под углом 90° к горизонту с южной ориентацией. Опреснители заполняются соленой водой. Испарившаяся под действием солнечной радиации вода осаждается на внутренней поверхности стекла и, конденсируясь, стекает по желобу 1 в резервуар для сбора дистиллята объемом 10 м^3 , где

разбавляется исходной водой. Согласно проекту, общая площадь, занимаемая опреснителем, равна 3520 м^2 .

В 1975 г. построен и сдан в эксплуатацию опреснитель СОУ-1000 с полезной площадью 500 м^2 в совхозе «40 лет Октября» Кенимехского района Бухарской области Республики Узбекистан.

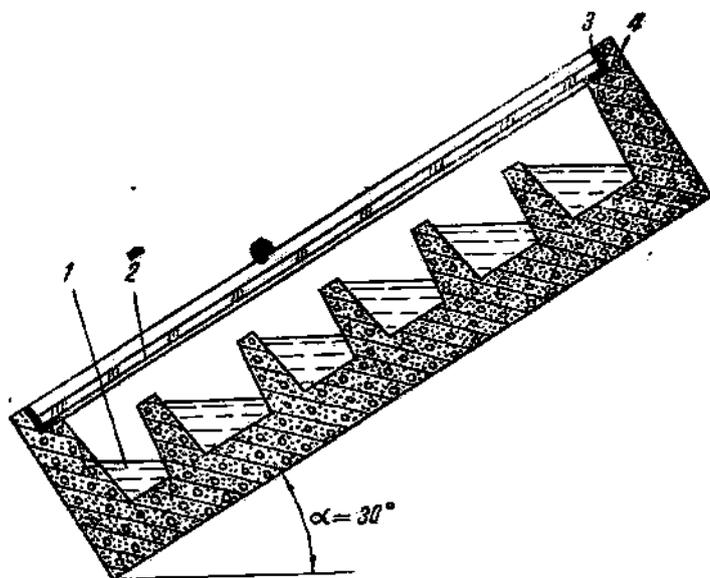


Рис. 1.5. Схема элемента солнечного опреснителя наклонно-ступенчатого типа.

В Физико-техническом институте им. С. В. Стародубцева АН РУз разработан, изготовлен и испытан солнечный переносной пластмассовый наклонно-ступенчатый опреснитель (рис. 28), предназначенный для снабжения питьевой водой сельских аптек, колхозных и совхозных автогаражей, экспедиционных отрядов и т. д. Пенопластовый корпус установки служит одновременно приемником солнечной радиации и изолятором. Сверху приемник покрыт листовым оконным стеклом. В корпус вставлены горизонтальные ступени из зачерненных алюминиевых листов. Снаружи Корпус также обшит алюминиевым листом. Средняя производительность переносного опреснителя 4 л дистиллята в сутки с 1 м^2 . В рассмотренных выше

опреснителях отсутствуют концентрирующие установки. Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского разработан переносной солнечный опреснитель (рис. 29) с параболическим концентратором 1 (гелиокухня МСКЗ) из электрополированного алюминия, площадь отражателя которого равна $1,13 \text{ м}^2$. Под действием концентрированной в фокальной плоскости солнечной радиации соленая вода, находящаяся в теплоприемнике — котле 2, испаряется и через гибкий паропровод 3 поступает в конденсатор 4.

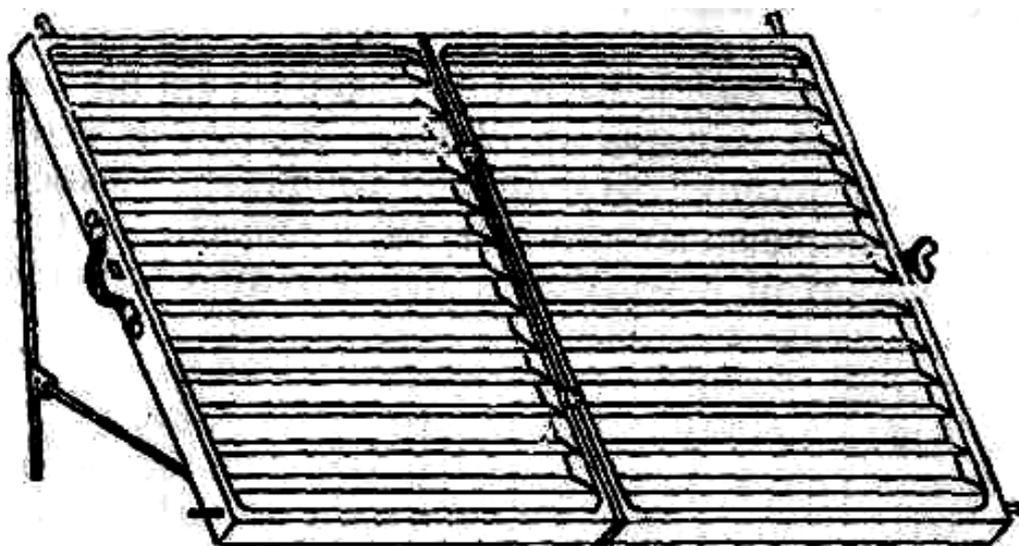


Рис. 1.6. Переносный пластмассовый наклонно-ступенчатый опреснитель.

Конденсатор такого опреснителя может быть использован как гелиокухня для кипячения воды, молока, приготовления пищи в полевых условиях.

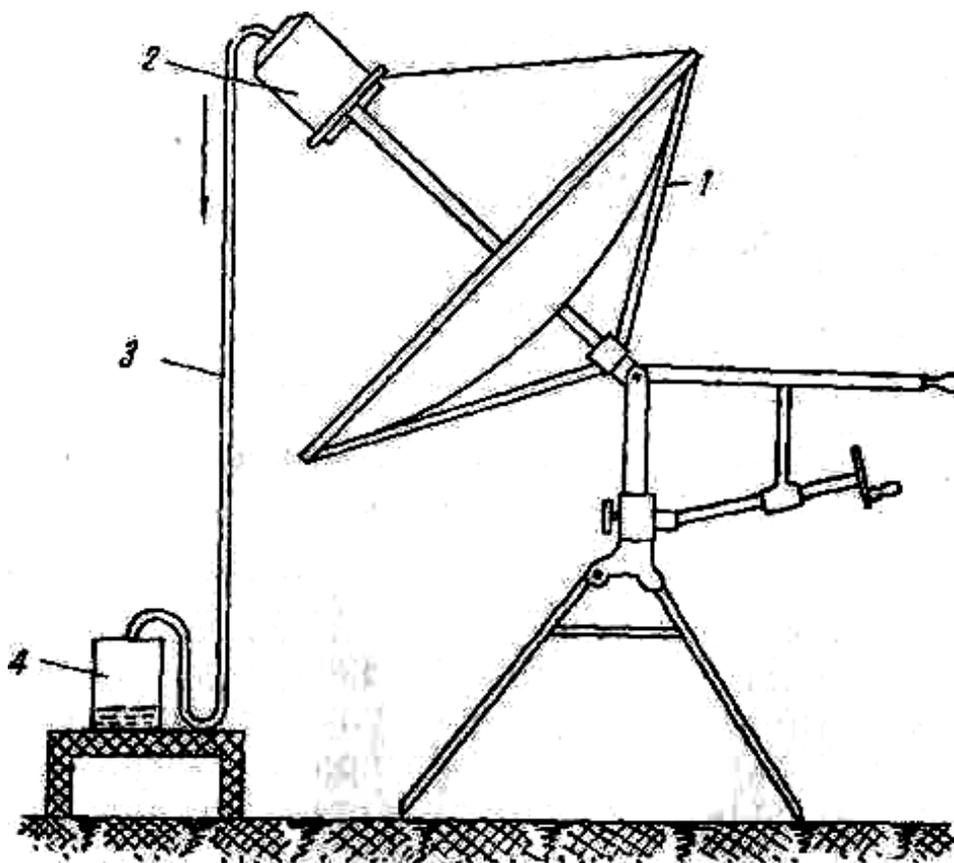


Рис 1.7. Схема переносного солнечного опреснителя с параболическим концентратором.

В существующих опреснителях в качестве светопрозрачного материала используется оконное листовое стекло. Однако высокая его стоимость, хрупкость и большие потери при транспортировке обусловили проводимые в последнее время исследования полимерной пленки. Так, в солнечном опреснителе с рабочей поверхностью 2167 м^2 , построенном в Индии, в качестве прозрачной изоляции использована фтористая поливиниловая пленка толщиной $0,1 \text{ мм}$.

Обилие в жарких и засушливых странах гелиоэнергетических ресурсов, с одной стороны, и недостаток пресных вод, с другой, заставило людей искать возможностей использования солнечной энергии для целей опреснения воды. Тем более, что в природе этот

процесс совершается с высокой эффективностью и в гигантских масштабах. Ежегодно за счёт солнечного тепла со всей поверхности земного шара испаряется в среднем слой воды 1000 мм и столько же выпадает в виде осадков, которые являются единственным источником пресных вод на Земле.

В южных районах, где солнечного тепла особенно много, условия для испарения и опреснения воды более благоприятны. Так например, на широте Ашхабада действительная сумма прямой солнечной радиации в год составляет $7\,812\,000\text{ кДж/м}^2$ ($1866\,000\text{ ккал/м}^2$) приемника солнечной энергии, установленного перпендикулярно к солнечным лучам [1]. Этого количества тепла достаточно, чтобы испарить слой воды в 3000 мм (то есть 3000 л/м^2). Было показано, что в прилегающих к экватору областях земного шара (40° северной и южной широты) можно с успехом использовать солнечную энергию для опреснения солёных вод [24].

Гелиоопреснение или **солнечная дистилляция** осуществляется в установках типа «горячий ящик» или аппаратах с концентрированием солнечных лучей. Первый солнечный опреснитель, работающий по принципу «горячего ящика», был построен Ч. Уильсоном в 1872 г. в Лас Салинасе (Чили). При площади остекления 4760 м^2 производительность опреснителя составила $22\text{ м}^3/\text{сутки}$. Установка в Лас Салинасе, которая работает по сегодняшний день, остается и сейчас одной из крупных в мире. Второй опреснитель площадью 375 м^2 на острове Св. Джона обеспечивает питьевой водой 750 жителей этого острова. Большое число новых опреснителей построено на греческих островах в 1964—1965 годах [26].

Простейшие солнечные опреснители типа «горячий ящик» (парниковые) представляют собой ящик или бассейн, верхняя часть которого застеклена (рис. 28), нижняя и боковые стороны (при одном

скате) имеют теплоизоляцию. На зачерненное дно заливается слой солёной воды, которую нужно опреснить. Солнечные лучи (прямая и рассеяная радиации), прошедшие через стекло и достигшие дна, нагревают солёную воду, которая начинает испаряться.

Паро-воздушная смесь, соприкасаясь с относительно холодным стеклом, конденсируется, и капли дистиллята, стекая по стеклу, собираются в желобки, по которым он выводится из опреснителя. В процессе работы опреснителя выпадения солей не происходит и необходимо лишь периодически производить продувку невыпаренного рассола. Опреснитель прост по устройству и не требует квалифицированного ухода. На рис. 29 показаны теоретическая и фактически полученная производительность парникового опреснителя в зависимости от интенсивности солнечной радиации [2, 89, 93]. В среднем производительность 1 м² опреснителя составляет 3—5 л/сутки и около 1000 л/год.

Рассеянность солнечной энергии предопределяет экстенсивность процесса гелиоопреснения, что является принципиальным недостатком данного метода. Попытки использования солнечной энергии для опреснения воды в крупных масштабах не дали положительных результатов. Например, город Лос-Анжелос (США), испытывает нехватку пресной воды, и для удовлетворения его нужд требуется не менее 570 000 м³/сутки. Так как гелиоопреснение было давно проверенным и отработанным методом опреснения воды, то в начале 50-х годов было высказано предположение о строительстве солнечного опреснителя для этой цели [28].

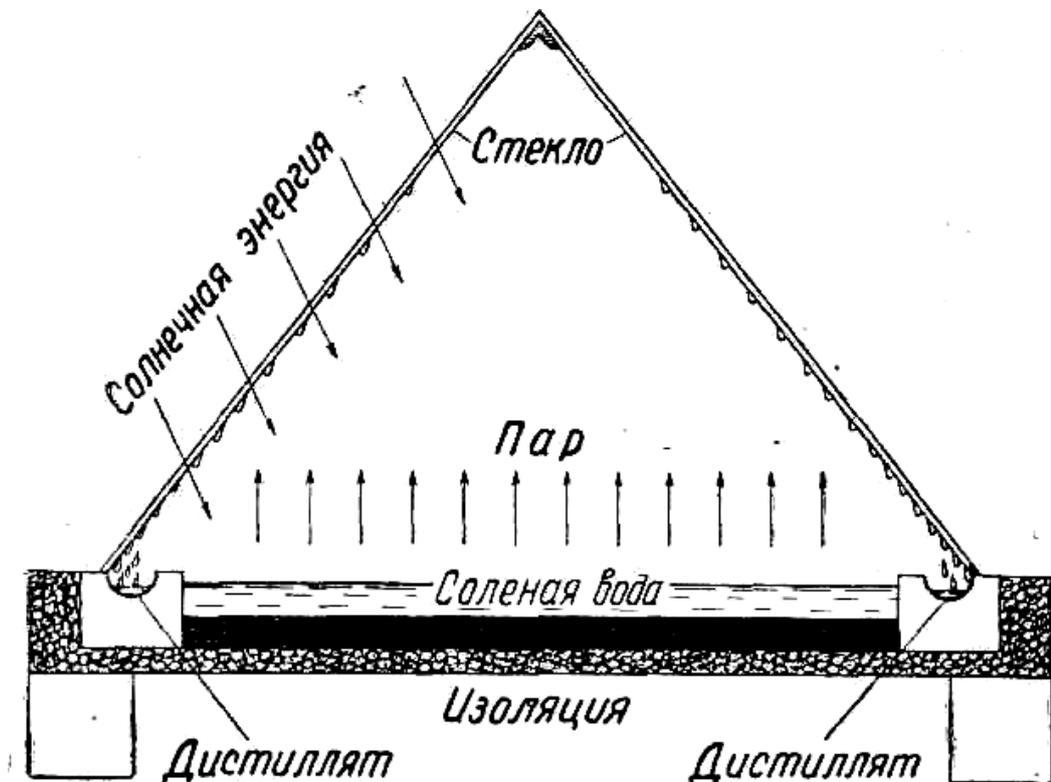


Рис. 1.8. Солнечный опреснитель парникового типа.

Чтобы получить такое количество воды, площадь опреснителя по расчётам должна была составить не менее 650 км^2 . Полная стоимость опреснителя по оптимистичным подсчётам была определена в 6 и по более осторожным — 15 млрд. долларов. Стоимость дистиллята составит 53—79 центов/ м^3 . Разумеется, при таких больших затратах от идеи строительства солнечного опреснителя отказались. В настоящее время разрабатывается проект строительства в этом городе опреснителя производительностью $570\,000 \text{ м}^3/\text{сутки}$, предназначенного для работы от

атомного парогенератора, общая стоимость которого составит лишь 0,5 млрд. долларов [29, 16, 19, 10, 22, 27].

Действительно, эффективность процесса солнечной дистилляции весьма низка по сравнению с промышленными методами дистилляции. Например, на широте Ашхабада максимальный поток солнечной радиации, падающий на поверхность опреснителя, равен 339,2— 387,6 $вт/м^2$ (7000—8000 $ккал/м^2сутки$), тогда как через 1 $м^2$ поверхности теплопередачи в современных испарителях передаются потоки тепла 14,5— 24,2 $квт/м^2$ (300— 500 тыс. $ккал/м^2сутки$). Отсюда вытекает и бесспорный факт. Если суточная производительность 1 $м^2$ солнечного опреснителя равна 5—7 л, то в строящемся в городе Шевченко пятикорпусном опреснителе производительность каждого квадратного метра теплопередающей поверхности составит в среднем 710 л.

Учитывая соотношение отдельных элементов стоимости опреснения воды на дистилляционной установке, проф. В. А. Клячко приходит к выводу, что «... применение солнечной энергии может быть экономически оправдано в том случае, если стоимость 1 $м^2$ поверхности, воспринимающей «даровую» солнечную энергию, будет в 20 раз и более дешевле стоимости поверхностей теплопередачи в испарителе с паровым обогревом» [35].

Совершенно очевидно, что нецелесообразно рассматривать возможность применения гелиоопреснения для городского и промышленного водоснабжения. Однако неприемлемое в одних условиях, гелиоопреснение может в других, например, на отгонных пустынных пастбищах, быть выгодным и на сегодняшний день пока единственным для этой цели технически выполнимым методом опреснения воды. Для обводнения безводных пустынных пастбищ в Туркмении в настоящее время строят либо искусственные площадки для сбора дождевой воды, либо подвозят воду на автомашинах. Полученная

таким образом вода стоит очень дорого (5—10 руб./м³). В этих условиях применение солнечных опреснителей может быть экономически оправданным.

«Гипроводхоз» ММиВХ СССР и Энергетический институт им. Т. М. Кржижановского (ЭНИН) совместно разработали проект солнечного опреснителя парникового типа площадью 2400 м² с годовой производительностью 2400 м³ дистиллята [19]. Опреснитель предполагается построить в Туркмении в совхозе «Бахарден». Он должен обеспечить водой в течение всего года две-три отары овец. Для годового регулирования выработки опреснителя на водопойном пункте запроектированы два бака емкостью по 250 м³ каждый. Кроме того, будут построены бак смешения емкостью 20 м³ и бак солёной воды — 50 м³, так как дистиллят будет наполовину смешиваться с исходной солёной водой. Стоимость опреснителя со всем комплексом сооружений составит 95 264 руб. Обслуживать его будут в течение всего года два человека. Данные о стоимости получаемого дистиллята приведены в табл. 1-8.

Крупный недостаток гелиоопреснения состоит еще в том, что из-за громоздкости опреснитель не может быть полностью или крупными узлами изготовлен в заводских условиях, Поэтому возникает необходимость транспортировки по труднопроходимым дорогам большого количества стройматериалов, выполнения строительно-монтажных работ на месте, в тяжелых природных условиях, куда даже воду для строительства нужно подвозить издалека. С другой стороны, удельные капитальные затраты на сооружение солнечных опреснителей (14 400 руб./м³сутки) являются самыми высокими по сравнению с затратами по другим методам опреснения воды (табл. 1-5). Видимо, этими недостатками и объясняется, что гелиоопреснение не получило широкого

распространения, и до сего времени во всем мире имеется лишь два крупных опреснителя, находящихся в хозяйственной эксплуатации.

В ряде стран ведутся исследования по повышению эффективности процесса гелиоопреснения. В СССР работы проводятся по созданию аппаратов с концентрированием солнечных лучей, за рубежом — они направлены на отыскание как конструкционных материалов, снижающих стоимость опреснения, так и способов, повышающих эффективность процесса гелиоопреснения.

Совершенствованием солнечных, опреснителей в СССР занимались многие ученые. Представляет интерес малогабаритные солнечные опреснители переносного типа (весом 40—132 кг), разработанные в ЭНИНе и ГОИ 21. В них солнечные лучи концентрируются с помощью оптических отражателей (обычно с параболоидной образующей), что повышает потенциал солнечного тепла и интенсифицирует весь процесс дистилляции.

Наиболее удачна конструкция опреснителя, разработанного ГОИ. Он состоит из солнечного парового котла, являющегося первой ступенью испарения и многочашечного конденсатора, служащего последующими ступенями испарения. Солнечный паровой котел с отражателем параболоцилиндрического типа площадью $2,42 \text{ м}^2$ вырабатывает $1,3—1,5 \text{ кг/час}$ пара. Проведенные в Западной Туркмении испытания показали надежность опреснителя в работе. Средняя производительность опреснителя составила 23 л/сутки или почти $10 \text{ л/м}^2 \text{ сутки}$, что более чем в 2 раза превышает производительность парникового опреснителя.

В 1952 г. в ЭНИНе был сконструирован и в Ташкенте построен солнечный трехступенчатый регенеративный опреснитель с параболоидным отражателем диаметром 10 м и полезной площадью 80 м^2 [24, 20].

Расчетная производительность опреснителя должна была составить $1,85 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $676 \text{ м}^3/\text{год}$, что в пересчёте на 1 м^2 поверхности отражателя составляет $23,1 \text{ л/сутки}$, или $8,45 \text{ м}^3/\text{год}$. У трехступенчатого опреснителя с параболоидным отражателем суточная производительность была почти в 5 раз и годовая — 8,5 раза выше, чем у парникового опреснителя. На испытаниях в Ташкенте была достигнута фактическая производительность $1,0\text{—}1,5 \text{ м}^3/\text{сутки}$, или $12,5\text{—}18,7 \text{ л/м}^2 \text{ сутки}$.

Капитальные затраты на сооружение солнечного опреснителя с концентратором исчисляются в зависимости от материала покрытий отражателя (полированный алюминий или зеркала) в $7400\text{—}10\ 900$ рублей¹. В пересчёте на достигнутую фактическую производительность удельные капитальные затраты в гелиоопреснение с установками подобного типа составят от $4920\text{—}7400$ до $7270\text{—}10\ 900 \text{ руб/м}^3 \text{ сутки}$, то есть они примерно такого же порядка, как у простейших опреснителей парникового типа. Многоступенчатые солнечные опреснители с параболоидными отражателями не нашли применения ни в нашей стране, ни за рубежом.

Большое внимание за рубежом уделяется исследованиям по подбору дешевых конструкционных материалов для опреснителей с целью снижения стоимости опреснения воды и повышения интенсивности процесса гелиоопреснения. Например, в США ряд университетов и институтов в штатах Аризона, Флорида, Калифорния и Джорджия проводят исследования по использованию солнечной энергии для опреснения солёных вод.

В 1958 г. Комиссия опреснения солёных вод США построила на побережье Флориды вблизи Дейтона научно-исследовательскую станцию по изучению солнечных опреснителей различного типа и новых материалов. На станции построены и испытываются двухскатный «глубокий» опреснитель (с толщиной слоя воды $25\text{—}30 \text{ см}$) с общей

поверхностью 230 м^2 и два опреснителя с покрытиями из полимерных пленок площадью 215 и 47 м^2 [29, 32].

Так называемый «пластиковый» опреснитель представляет собой бассейн с прозрачной крышей из полимерной пленки, поддерживаемой давлением воздуха. В них заливается слой воды всего в несколько сантиметров, поэтому аккумулирующая способность их ниже, чем опреснителя с глубоким бассейном. Ведутся работы по подбору покрытий полимерных пленок с целью обеспечения смачиваемости и снижения отражательной способности пленок.

Во время второй мировой войны американский ученый М. Телкес предложила конструкцию индивидуального пленочного надувного опреснителя, которым снабжались летчики и моряки армии союзников, сражавшихся на море. В центре надувного шара на ленточных растяжках укреплялась зачерненная полоса из губки, которая пропитывалась морской водой. Испаряющаяся вода конденсировалась на более холодной оболочке и стекала вниз в сборный резервуар, откуда выпускалась через сливную пробку. Этот опреснитель хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации и заслужил признание и благодарность тех, жизнь которых была спасена этим нехитрым устройством.

Позже фирма «Кертис-Райт» изготовила наклонный опреснитель М. Телкес новой конструкции с общей поверхностью 50 м^2 , который в настоящее время проходит испытания на станции во Флориде. Опреснитель Телкес представляет собой черный поглощающий солнечные лучи пористый материал, установленный под некоторым углом на листе водонепроницаемой пластмассы и покрытый сверху прозрачной крышей, а снизу тканью. Пористый материал в верхней части имеет канал для подачи солёной воды, а в нижней — для сброса и вывода рассола. Дистиллят стекает по прозрачной крыше в нижнюю часть опреснителя, где собирается и выводится наружу.

В 1963 г. на станции был построен еще один опреснитель площадью 144 м^2 из полимерных материалов. Проведенные испытания показали, что производительность опреснителя составила $5,45 \text{ л/м}^2 \text{ сутки}$ при интенсивности солнечной радиации $245,2 \text{ вт/м}^2$ ($5060 \text{ ккал/м}^2 \text{ сутки}$). Более крупный прототип этого опреснителя намечается построить в 1964 г. на одном из греческих островов близ Пирея. Действительно, на Первом Международном симпозиуме по опреснению воды [36] в докладе SWD 27 было сказано, что в течение 1964—1965 гг. в Греции на многочисленных островах построено большое количество опреснителей общей площадью $21\,800 \text{ м}^2$. Они строятся всюду, даже на крышах домов и гостиниц. В частности, на острове Патмос в 1965 г. сооружен самый крупный в мире солнечный опреснитель площадью 8000 м^2 , который обеспечит водой 1000 жителей острова. Недавно сотрудники сельскохозяйственной исследовательской службы США Р. Д. Джексон и С. Х. Ван Бейвл предложили сухопутный вариант «карманного солнечного опреснителя», который будет нужен каждому путешественнику и жителю пустыни. Главной частью дистиллятора является кусок гигроскопической (смачивающейся) полимерной пленки размером 2 м^2 . Человек, оказавшийся в пустыне без воды, может с ее помощью добыть $1,0\text{—}1,5$ литра воды в день.

Для этого нужно вырыть круглую яму диаметром 1 м и глубиной 50 см в виде конуса. На дно ямы положить чашку или иной резервуар для собирания воды (его можно сделать из маленького куска пленки). Накрыть яму полимерной пленкой так, чтобы она могла провиснуть и принять форму ямы. Для этого в центре пленки нужно положить камень, как раз над резервуаром воды. Края пленки следует закрепить или присыпать грунтом, и дистиллятор готов к действию.

В основе его работы лежит то, чем богата пустыня — солнце и песок. В песках в зоне аэрации всегда имеется вода в газообразном или жидком состоянии, которая поступает в дистиллятор под действием солнечного тепла, либо благодаря испарению имеющейся в капиллярах воды, либо за счёт возникшего градиента влажности. Паровоздушная смесь конденсируется на более холодной пленке, образующиеся капли скатываются вниз к вершине конуса и падают в резервуар.

Наибольший интерес представляет метод, разработанный Таксонской гелиолабораторией Института физики атмосферы Аризонского университета [22]. В парниковых опреснителях нагрев, испарение и конденсация водяных паров происходит в одном аппарате. В предложенном методе эти процессы происходят отдельно в изолированных аппаратах. Суть нового метода состоит в том, что нагретая в солнечных приемниках солёная вода подается в башню, где она испаряется и насыщает сухой воздух влагой, которая затем выделяется» в конденсаторе.

Таксонской конструкции опреснитель имеет пластмассовые нагреватели с двойным, остеклением. Подогретая солёная вода подается в башню с насадками, куда снизу противотоком вдувается сухой воздух, абсорбирующий испаряющуюся солёную воду. Влажный, воздух переходит в другую башню-конденсатор, содержащую пучок алюминиевых труб, по которым прокачивается холодная исходная вода. На стенках труб выделяется влага при конденсации. В течение 1963 г. проведены исследования на экспериментальной двухступенчатой установке, на которой, была получена производительность 14 л/сутки на 1 м³ солнечного нагревателя [12].

Мексиканский город Пуэрто-Пеньяско, расположенный на берегу Калифорнийского залива, не имеет источников пресной воды и ощущает нехватку воды, за которую жители города платят 3,17

доллара/м³. Получив обнадеживающие результаты, Аризонский университет совместно с мексиканским, университетом в Соноре приступил к строительству в этом городе опытно-промышленной установки подобного типа производительностью 11 м³/сутки [23]. На рис. 30 показана принципиальная схема установки Таксона.

Морская вода круглосуточно подается с расходом 13,6 м³/час через конденсатор 1 в сборный резервуар холодной воды емкостью 378 м³. В дневное время, когда солнечная радиация достигнет максимума, через солнечный нагреватель 3 площадью 540 м² прокачивается солёная вода (с расходом 40,9 м³/час). Нагретая вода накапливается во втором сборном резервуаре теплой воды такой же емкости (378 м³).

Из резервуара 4 подогретая вода также непрерывно с расходом 13,6 м³/час подается в испарительную башню 5. Воздуходувка обеспечивает продувку влажного воздуха из испарителя 5 в конденсатор 1, где конденсируется ежечасно 450 л дистиллята. Неиспарившаяся часть солёной воды сбрасывается в море (13,15 м³/час). Стоимость кубометра пресной воды, полученной на этой установке, составит 13—26 центов.

Ожидается, что на восьмиступенчатой увлажнительной установке будет достигнута удельная производительность 21 л/сутки с 1 м² солнечного нагревателя, который, собственно, не подвергся каким-либо принципиальным изменениям. Между тем, производительность увлажнительного процесса возросла в четыре-пять раз по сравнению с парниковым опреснителем. В данном случае требуются дополнительные затраты на сооружение испарительной башни, конденсатора и сборных резервуаров, однако увеличение эффективности процесса гелиоопреснения, видимо, оправдывает эти затраты.

¹Приведенные данные взяты из научного отчета С. Г. Пояркова, В. Т. Полторацкого, П. М. Брдлика и Р. Р. Апариси «Использование

солнечных и ветровых установок для подъема и опреснения грунтовых вод в глубинных районах пустыни Кара-Кум». Фонды ЭНИНа. М., 1951.

1.4. Цель и задачи исследования

Цель работы - Использование солнечной энергии при разработке альтернативных методов водоснабжения.

Для этого в работе ставятся и решаются следующие задачи:

1. Проанализировать существующие методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов.
2. Разработать альтернативные методы водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов на основе использования нетрадиционных источников энергии для обессоливания минерализованных вод.
3. Выполнить анализ эффективности различных способов обессоливания минерализованных вод.
4. Рассмотреть существующие конструкции солнечных опреснителей и наметить возможные пути повышения их эффективности.
5. Исследовать конструкции солнечных опреснительных установок с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой.
6. Составить тепловой баланс многоступенчатого солнечного опреснителя.
7. Выполнить расчётно-экспериментальное исследование теплотехнических характеристик солнечных опреснительных установок с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

Выводы по главе I

1. Проанализированы и классифицированы существующие современные методы опреснения соленых вод и выявлено, что, несмотря на технику и энергоемкость процесса, термический способ является основным способом опреснения соленых вод. Для термического способа опреснения соленых вод наиболее перспективным в условиях Республики Узбекистан является применение солнечной энергии, потенциал которой достаточен для этих целей.

2. Рассмотрена сущность и техническая преимуществом мембранных методов водоопеснения (в частности обратный осмос). Выявлены преимущества и недостатки технологии обратного осмоса. А также перспективы использования данной технологии. Подробно рассмотрены мембраны, применяемые в обратноосмотических аппаратах, произведен обзор рынка обратноосмотических мембранных элементов.

3. Выполнено сравнение современных методов опреснения морских и соленых вод. Показаны преимущества и недостатки каждого из сравниваемых методов. В ходе сравнения выявлена целесообразность применения солнечной энергии для опреснения соленых вод.

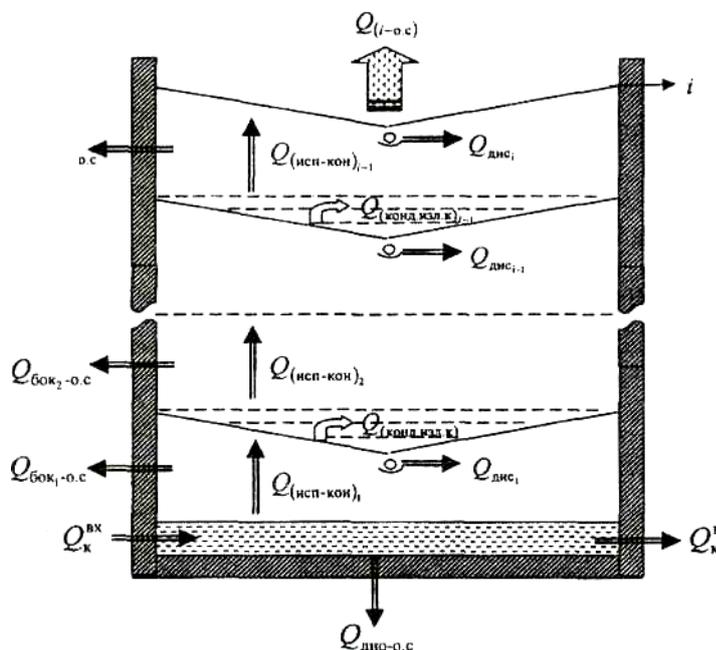
4. На основе изучения состояния вопроса сформулированы цель и задачи исследования по использованию солнечной энергии при разработке альтернативных методов водоснабжения.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАТОРНОЙ КАМЕРОЙ

2.1. Тепловой баланс солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

Один из путей повышения производительности опреснительных установок является регенеративное использование тепла. В рассматриваемой солнечной опреснительной установке используется плоский солнечный коллектор как источник тепла. Следовательно, задача повышения производительности опреснительных установок рассматриваемого типа сводится к изучению причин появления и поиску путей тепловых потерь, возникающих в соответствующих элементах установки.

На рисунке представлена принципиальная схема теплового баланса солнечной водоопреснительной установки с регенеративным использованием тепла.



Принципиальная схема теплового баланса солнечной водоопреснительной установки парникового типа с регенеративным использованием тепла.

Согласно принципиальной схеме (рисунок) и методике [2, 3], поток тепла, получаемый первой кюветой ($Q = Q_k^{вх} - Q_k^{вых}$), $Q_k^{вх}$ и $Q_k^{вых}$ соответственно, входящие в систему и выходящие из нее потоки тепла от солнечного коллектора, расходуется на компенсацию тепловых потерь через дно ($\Delta Q_{дно\cdot oc}$) и боковые стенки ($\Delta Q_{бок\cdot oc}$) участка между первой и второй кюветами, а также передается на вторую кювету путем испарения, излучения и конвекции, т.е.

$$Q = (\Delta Q_{бок\cdot oc} + \Delta Q_{дно\cdot oc}) + Q_{исп-кон} \quad (2.1)$$

В свою очередь, поток тепла, получаемый донной частью второй ступени $Q_{(конд.изл.к)}$, аналогичным образом расходуется на компенсацию тепловых потерь через боковые стенки участка между второй и третьей кюветами и, вследствие отвода конденсата, затем передается на следующую ступень, т.е.

$$Q_{(конд.изл.к)1} = (\Delta Q_{бок2\cdot oc} + \Delta Q_{дис1} + Q_{(исп-кон)2} \quad (2.2)$$

Таким образом, процесс продолжается до последней ступени и, наконец, для i -ой ступени поток тепла, передаваемый от $i-1$ ступени, расходуется на компенсацию тепловых потерь отводом конденсата и передается в окружающую среду путем излучения и конвекции,

$$Q_{(конд.изл.к)i} = \Delta Q_{i-oc} + \Delta Q_{дис i} \quad (2.3)$$

При линеаризации системы уравнений, значения составляющих определяются по формулам, т.е. тепловые потери через боковые стенки участка между первой и второй кюветами определяются как

$$\Delta Q_{бок1-oc} = F_{бок1} K_{бок1} (t_{в1} - t_{о.с}) \quad (2.4)$$

где

$$K_{бок} = \left[\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{нар}} \right]^{-1} \quad (2.5) \quad \text{коэффициент}$$

теплопередачи от боковой стенки толщиной (δ) с коэффициентом теплопроводности (λ) в окружающую среду; $\alpha_{вн}$ и $\alpha_{нар}$ - соответственно,

коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей стенки; $F_{бок1}$ - поверхность боковой стенки между первой и второй кюветами; $t_{в1}$ и t_{oc} - соответственно, температуры воды в первой кювете и окружающей среды.

Уравнение для определения тепловых потерь от донной части установки записывается в следующем виде:

$$\Delta Q_{дно-ос} = F_{дно} K_{дно} (t_{в1} - t_{о.с}) \quad (2.6)$$

$$K_{дно} = \left[\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{к}}{\lambda_{к}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{нар}} \right]^{-1} \quad (2.7)$$

- коэффициент теплопередачи от донной части толщиной кюветы ($\delta_{к}$) и стенки ($\delta_{ст}$), с коэффициентом теплопроводности кюветы ($\lambda_{к}$) и стенки ($\lambda_{ст}$) в окружающую среду;

$\alpha_{вн}$ и $\alpha_{нар}$ - соответственно, коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей донной части; $F_{дно}$ - поверхность донной части первой кюветы.

Тепловые потери, происходящие за счет отвода дистиллята в ступях определяются с помощью выражения

$$\Delta Q_{дис} = m_{дис} C_{в} F_{к} t_{к} \quad (2.8)$$

$m_{дис}$ - количество получаемого дистиллята от времени; $C_{в}$ - удельная теплоемкость воды; $t_{к}$ - температура поверхности конденсации.

Следовательно, поток тепла, передаваемый (испарением, излучением и конвекцией) от поверхности испарения к поверхности конденсации определяется

$$Q_{(\text{исп-кон})1} = F_k a_I \Sigma (t_{\text{в}1} - t_{\text{к}2}) \quad (2.9)$$

Где:

$$a_I \Sigma = a_{\text{изл}1} + a_{\text{исп}1} + a_{\text{кон}1} \quad (2.10)$$

- коэффициент суммарной теплоотдачи от поверхности испарения к поверхности конденсации; $t_{\text{в}1}$ и $t_{\text{к}2}$ - соответственно, температуры поверхности испарения и конденсации; $a_{\text{изл}1}$, $a_{\text{исп}1}$ и $a_{\text{кон}1}$ - соответствующие коэффициенты теплоотдачи излучением, испарением и конвекцией:

$$\alpha_{\text{изл}1} = \frac{\varepsilon \sigma \left((t_{\text{исп}1} + 273.15)^4 - (t_{\text{кон}1} + 273.15)^4 \right)}{(t_{\text{исп}1} - t_{\text{кон}1})} \quad (2.11)$$

$$a_{\text{исп}1} = 16.273 \cdot 10^{-3} a_{\text{кон}1} \quad (2.12)$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи определяется с помощью критериальных отношений, т.е.

$$\alpha_{\text{кон}1} = C (Gr_1 Pr_1)^n \frac{\lambda_1}{\delta_1} \quad (2.13)$$

Где:

$$C = 0.21; \quad n = 1/3 \quad 10^4 < Gr_i < 2.51 \cdot 10^5; \quad (2.14)$$

$$C = 0.1255; \quad n = 1/4 \quad 2.51 \cdot 10^5 < Gr_i < 10^7; \quad (2.15)$$

$$\lambda = 0.024 + 0.7673 \cdot 10^{-4} t_{\text{ср}}; \quad (2.16)$$

$$t_{\text{ср}} = (t_{\text{исп}} + t_{\text{кон}}) / 2 \quad (2.17)$$

δ - определяющий размер, т.е. высота между поверхностями испарения и конденсации в рассматриваемой системе; λ - коэффициент теплопроводности влажного воздуха.

Критерий Грасгофа, определяющий процесс конвективного тепло- и массообмена, имеет вид для рассматриваемой системы

$$Gr \frac{\delta^3 \rho^2 \beta g \Delta t}{\mu^2} \quad (2.18)$$

Где:
$$\rho = \frac{353.44}{(t_{cp} + 273.55)} \quad (2.19)$$

$t' = t_{исп}$ для определения $P_{исп}$

$$\Delta t' = \left[(t_{исп} + t_{кон}) + \frac{(P_{исп} - P_{кон})(t_{исп} + 273.15)}{268.9 \cdot 10^3 - P_{исп}} \right] \quad (2.20)$$

$t' = t_{кон}$ для определения $P_{кон}$

$$P = e^{\left[25.317 - \frac{5144}{t' + 273.15} \right]} \quad (2.21)$$

$$\mu = 1.718 \cdot 10^{-5} + 4.620 \cdot 10^{-8} t_{cp} \quad (22)$$

Подставляя (2.4) - (2.13) в (2.1) - (2.3), получим систему (i) уравнений по температуре воды в каждой ступени установки:

$$Q - (F_{\delta 1} K_{\delta 1} + F_{\delta} K_{\delta} + F_{\kappa 1} a_1^{\Sigma}) \cdot t_{\delta 1} + F_{\kappa 1} a_1^{\Sigma} t_{\delta 2} + (F_{\delta 1} K_{\delta 1} + F_{\delta} K_{\delta}) \cdot t_{o.c} = 0$$

$$F_{\kappa 1} a_1^{\Sigma} t_{\delta 1} - (F_{\kappa 1} a_1^{\Sigma} F_{\delta 2} K_{\delta 2} + m_{\delta uc 1} C_{\delta} F_{\kappa 2} + F_{\kappa 2} a_2^{\Sigma}) \cdot t_{\delta 2} + F_{\kappa 2} a_2^{\Sigma} t_{\delta 3} + F_{\delta 2} K_{\delta 2} \cdot t_{o.c} = 0 \quad (2.23)$$

$$F_{\kappa i-1} a_{i-1}^{\Sigma} t_{\delta i-1} - (F_{\kappa i-1} a_{i-1}^{\Sigma} + m_{\delta uc i-1} C_{\delta} F_{\kappa i} + F_{\kappa i} a_i^{\Sigma}) \cdot t_{o.c} + F_{\kappa i} a_i^{\Sigma} \cdot t_{o.c} = 0$$

Уравнения (2.23) можно записать в следующем виде:

$$[C]_{i,i} [T]_{i,1} = [D]_{i,1}$$

где [C] и [D] - соответственно, коэффициенты и константы матрицы. Температура воды в каждой ступени определяется по методу итерационного приближения.

2.2. Анализ эксергетического баланса солнечных водоопреснительных установок парникового типа

Результаты расчетных исследований по выражению [1]

$$\eta_e = \frac{K'(T_B - T_c) \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right)}{(1 - 2.314 \cdot 10^{-4} T_0) q_{\text{пад}}^{\Sigma}} \quad (2.24)$$

на основе исходных данных [2] показывают (таблица), что значение эксергетической эффективности солнечных водоопреснительных установок парникового типа, которое представляет меру необратимости тепловых процессов, происходящих в их отдельных элементах [3], составляет в пределах 0.004÷0.007.

Характеристики	T_B	T_c	K	η_T	η_e
$\alpha_n=12$ ккал/м ² ·ч·град (ограждающая конструкция – железобетон); $\lambda=0.9$ ккал/м·ч·град; $\delta=0.08$ м	40	32	2.25	0.120	0.004
	55	44.5	6.25	0.209	0.017
	70	59.5	14.1	0.280	0.035
$\alpha_n=20$ ккал/м ² ·ч·град (ограждающая конструкция – железобетон); $\lambda=0.9$ ккал/м·ч·град; $\delta=0.08$ м	40	32	2.25	0.125	0.004
	55	44.5	6.25	0.216	0.017
	70	59.5	14.1	0.300	0.038
$\alpha_n=12$ ккал/м ² ·ч·град (с дополнительной тепловой изоляцией); $\lambda_{\text{из}}=0.07$ ккал/м·ч·град; $\delta_{\text{из}}=0.05$ м	40	32	2.25	0.257	0.009
	55	44.5	6.25	0.375	0.031
	70	59.5	14.1	0.450	0.056
$\alpha_n=20$ ккал/м ² ·ч·град (с дополнительной тепловой изоляцией); $\lambda_{\text{из}}=0.07$ ккал/м·ч·град; $\delta_{\text{из}}=0.05$ м	40	32	2.25	0.270	0.009
	55	44.5	6.25	0.408	0.033
	70	59.5	14.1	0.589	0.074

В формуле (1) T_v , T_0 и T_c – соответственно, абсолютные температуры соленой воды в опреснителе, окружающей среды и поверхности конденсации; значение K' определяется из

$$K' = \left(\frac{1}{\alpha_{\text{исп}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{конд}}} \right)^{-1}, \quad (2.35)$$

где $\alpha_{\text{исп}}$ и $\alpha_{\text{конд}}$ – соответственно, коэффициенты теплообмена при испарении и конденсации.

В таблице α_n – коэффициент наружного теплообмена, зависящий от скорости и направления ветра; λ и $\lambda_{\text{из}}$ – коэффициенты теплопроводности железобетонного корпуса и изоляции дна опреснителя; δ и $\delta_{\text{из}}$ – толщины стенки железобетонного корпуса и изоляции.

Следовательно, задача повышения эксергетической эффективности солнечных водоопреснителей рассматриваемого типа сводится к изучению причин появления и поиску потенциальных путей уменьшения эксергетических потерь, возникающих в процессе теплового преобразования солнечной энергии в их соответствующих элементах и узлах.

Согласно методике [3], уравнение эксергетического баланса солнечных водоопреснителей парникового типа может быть представлено в виде

$$e_{\text{пад}}^c = e_{\text{пол}} + \Sigma \Delta e, \quad (2.36)$$

где

$$e_{\text{пол}} = K' (T_v - T_c) \left(1 - \frac{T_0}{T_v} \right) \quad (2.37)$$

– поверхностная плотность потока полезной эксергии в водоопреснителе;

$$\Sigma \Delta e = \Delta e_{\text{отр}}^c + \Delta e_{\text{погл}}^c + \Delta e_{\text{отр}}^B + \Delta e_q + \Delta e_{\text{дно}} + \Delta e_{\text{бок}} + \Delta e_c \quad (2.38)$$

– сумма эксергетических потерь в отдельных элементах опреснительной установки;

$$\Delta e_{\text{отр}}^c = \rho_c \left[1 + \frac{(1 - \rho_c)^2 (1 - \alpha_c)^2}{1 - \rho_c^2 (1 - \alpha_c)^2} \right] \cdot q_{\text{пад}} \Psi \quad (2.39)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь в результате отражения эксергии солнечного излучения от светопрозрачного покрытия водоопреснителя, одновременно являющегося поверхностью конденсации водяных паров; ρ_c и α_c – соответственно, коэффициенты отражения и поглощения стекла;

$$\Delta e_{\text{погл}}^c = \alpha_c \frac{1 - \rho_c}{1 - \rho_c (1 - \alpha_c)} \cdot q_{\text{пад}} \Psi \quad (2.40)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь в результате поглощения эксергии солнечного излучения в процессе ее прохождения через светопрозрачное покрытие водоопреснителя [4];

$$\Delta e_{\text{отр}}^B = (1 - \alpha_B) \tau_c q_{\text{пад}} \Psi \quad (2.41)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь в результате отражения эксергии, прошедшей через светопрозрачное покрытие водоопреснителя, при отражении от поверхности соленой воды в опреснителе; α_B – коэффициент поглощения воды; τ_c – коэффициент пропускания стекла;

$$\Delta e_q = \alpha_B \tau_c q_{\text{пад}} \left(\Psi - 1 + \frac{T_0}{T_B} \right) \quad (2.42)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь при поглощении соленой водой и преобразование энергии солнечного излучения в тепло;

$$\Delta e_{\text{дно}} + \Delta e_{\text{бок}} = \frac{\kappa(T_B - T_0)^2}{T_B} (F_{\text{дно}} + F_{\text{бок}}) \quad (2.43)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь в результате потери тепла в окружающую среду через дно и бока опреснительной установки; κ – коэффициент теплопотерь через поверхность; $F_{\text{дно}}$ и $F_{\text{бок}}$ – соответствующие поверхности дна и бока опреснительной установки;

$$\Delta e_c = \left(1 - \frac{T_0}{T_B}\right) \left[\frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{В-С}}} \right]^{-1} (t_B - t_c) \quad (2.44)$$

– поверхностная плотность эксергетических потерь в результате потери тепла от поверхности светопрозрачного покрытия опреснителя в окружающую среду при конденсации и излучением; $\alpha_{\text{нар}}$ – коэффициент суммарного (конвективного и лучистого) теплообмена наружной поверхности светопрозрачного покрытия опреснителя; $\alpha_{\text{В-С}}$ – коэффициент теплообмена между поверхностью испарения и конденсации опреснителя.

Выражения для эксергетической эффективности водоопреснителя рассматриваемого типа, полученное на основе отношения

$$\eta_e = \frac{e_{\text{пол}}}{e_{\text{пад}}}, \quad (2.45)$$

имеет вид

$$\eta_e = 1 - \frac{\Sigma \Delta e}{q_{\text{пад}} \Psi}. \quad (2.46)$$

С учетом значения составляющих $\Sigma \Delta e$, выражение (13) может быть представлено, как

$$\eta_e = 1 - \rho_c \left[1 + \frac{(1 - \rho_c)^2 (1 - \alpha_c)^2}{1 - \rho_c (1 - \alpha_c)^2} \right] - \left[\alpha_c \frac{1 - \rho_c}{1 - \rho_c (1 - \alpha_c)} \right] - \tau_c (1 - \alpha_B) -$$

$$- \tau_c \alpha_B \frac{\left(\psi - 1 + \frac{T_0}{T_B} \right)}{\psi} - \frac{\kappa (T_B - T_0)^2}{q_{\text{пад}} \psi \cdot T_B} (F_{\text{дно}} + F_{\text{бок}}) - \left(1 - \frac{T_0}{T_B} \right) \left[\frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{В-С}}} \right]^{-1} \frac{(t_B - t_c)}{q_{\text{пад}} \psi}. \quad (2.47)$$

Значение ψ – в (2.34) –(2.35), (2.46) и (2.47) определяется по аппроксимационной формуле [5]

$$\psi = 1 - 2.314 \cdot 10^{-4} T_0. \quad (2.48)$$

Результаты численных расчетов показывают, что $\sum \Delta \eta_e = 0.926$, в том числе $\Delta \eta_{e, \text{отр}}^c = 0.075$ и $\Delta \eta_{e, \text{погл}}^c = 0.039$ при $\alpha_c = 0.04$, $\rho_c = 0.04$; $\Delta \eta_{e, \text{отр}}^B = 0.088$ при $\alpha_B = 0.9$, $\tau_c = 0.8$; $\Delta \eta_{e, q} = 0.63$ при $T_0 = 303.15 \text{ K}$ и $T_B = 343.15 \text{ K}$; $\Delta \eta_{e, \text{дно}} + \Delta \eta_{e, \text{бок}} = 0.068$ при $T_0 = 303.15 \text{ K}$ и $T_B = 343.15 \text{ K}$, $q_{\text{пад}} = 700 \text{ Вт/м}^2$, $\kappa = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$, $F_{\text{дно}} = 1 \text{ м}^2$, $F_{\text{бок}} = 0.2 \text{ м}^2$; $\Delta \eta_{e, c} = 0.088$ при $\alpha_{\text{нар}} = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ и $\alpha_{\text{В-С}} = 8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$, $t_B = 70 \text{ °C}$; $t_c = 59.5 \text{ °C}$. При этом эксергетическая эффективность солнечных водоопреснителей является $\eta_e = 0.074$.

Как следует из результатов расчетов, при одинаковых внешних условиях значения эксергетической эффективности солнечных водоопреснителей парникового типа, определенных на основе расчетной формулы (1) и формулы (14), полученной из эксергетического баланса рассматриваемого опреснителя, составляет 0.074, т.е. совпадает полностью, что свидетельствует о достоверности предложенной методики анализа формирования эксергетической эффективности солнечных водоопреснителей рассматриваемого типа.

2.3. Коэффициент использования тепла солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

В целях повышения удельной производительности солнечных водоопреснительных установок парникового типа предложен принцип рекуперативного использования теплоты конденсации водяных паров с применением многоступенчатых испарительно-конденсационных камер (МИК) [1-5].

По конструктивному исполнению солнечные водоопреснительные установки с МИК могут быть разделены на две группы: с косвенным и непосредственным подводом тепла солнечного излучения к соленой воде.

Принцип действия солнечной водоопреснительной установки с МИК и горизонтально расположенными в ней кюветами, с косвенным подводом тепла [5] солнечного излучения к соленой воде заключается в следующем. Энергия солнечного излучения, преобразовываясь в тепловую энергию с помощью плоского солнечного водонагревательного коллектора, передается соленой воде в поддоне МИК через теплообменник, вложенный в нем. За счет подведенной теплоты происходит процесс нагрева и испарения соленой воды в поддоне. Пары, образованные при этом, при соприкосновении с дном кюветы первой ступени, имеющей меньшую температуру, конденсируются и отдают большую часть своего тепла соленой воде в кювете первой ступени, испаряющейся за счет теплоты конденсации паров из паровоздушной смеси. Образовавшийся пар первой ступени, соприкасаясь с дном кюветы второй ступени, отдает ему свое тепло и при этом конденсируется и т.д., процесс продолжается до последней ступени. В МИК рассматриваемого типа с первой ступени до последней продолжается процесс рекуперативного использования теплоты конденсации паров. Производительность солнечных водоопреснительных установок рассматриваемого типа при прочих равных условиях зависит от числа горизонтальных кювет в МИК и количества соленой воды в них. По данным опытных исследований [5], при числе кювет 5 с расстоянием между собой 8 см, общем объеме соленой воды в них 10 л и дневной сумме падающего суммарного солнечного излучения 17.3 (МДж/м²-день), удельная производительность данного опреснителя

составляет 8 (кг/м²-день). По данным [3, 4], аналогичный показатель водоопреснительных установок рассматриваемого типа составляет 8-12 (кг/м²-день).

В солнечных водоопреснительных установках с непосредственным подводом тепла, водяные пары, образовавшиеся в односкатной камере парникового опреснителя с одним или двумя слоями светопрозрачного покрытия, в поддоне которого находится соленая вода, поступают в МИК с вертикально расположенными пластинками с пропитывающими слоями со стороны протока соленой воды, совмещенной с задней стенкой камеры опреснителя [2]. Согласно результатам лабораторных испытаний [2], дневная производительность солнечного опреснителя с МИК с вертикальными пластинками, отнесенная к единице площади поверхности испарения соленой воды внутри камеры опреснителя, при числе вертикальных пластин 10, с расстоянием между собой 5 мм и дневной сумме падающего суммарного солнечного излучения 22.4 (МДж/м²-день) составляет 15.4 (кг/м²-день).

Как видно, удельная производительность солнечных водоопреснительных установок с МИК по дистилляту в 2-3 раза выше, чем у солнечных водоопреснительных установок парникового типа, имеющих коэффициент полезного действия, т.е. тепловую эффективность 0.4 ч- 0.5 [1, 2].

Сравнивая тепловые эффективности солнечных водоопреснительных установок с МИК и парникового типа (т.е. без МИК), некоторые исследователи считают, что в силу большой удельной производительности по дистилляту тепловая эффективность солнечных водоопреснительных установок с МИК существенно (в 2-3 раза) больше, чем у солнечных водоопреснительных установок парникового типа [1-4]. Так, по данным [2] тепловая эффективность солнечной водоопреснительной установки с МИК с вертикальными пластинками, при ее удельной дневной производительности по дистилляту 15.4 (кг/м²-день) составляет 162%, что противоречит основным принципам термодинамики. Как нам кажется, это является причиной необоснованного

подхода к определению тепловой эффективности солнечных опреснительных установок с МИК.

Тепловая эффективность солнечных водоопреснительных установок парникового типа представляет собой отношение произведения количества полученного с их помощью в течение дня дистиллята (G) на скрытую теплоту парообразования воды (r) к дневной сумме энергии солнечного излучения, падающего на плоскость поверхности испаряемой соленой воды (Q_{nad}):

$$\eta = \frac{G * r}{Q_{nad}},$$

а коэффициент использования тепла (μ_n) - отношение $G*r$ к количеству подведенного к соленой воде в поддоне опреснителя тепла, которое равно дневной сумме поглощенной ей суммарной солнечной радиации ($Q_{nozл}$), т.е.

$$\mu_n = \frac{G * r}{Q_{nozл}}.$$

Если учесть, что

$$Q_{nozл} = \alpha_p * \tau * Q_{nad}, \quad (2.49)$$

то

$$\mu_n = \frac{\eta}{\alpha_p * \tau}, \quad (2.50)$$

где α_p - интегральный коэффициент поглощения суммарного солнечного излучения поверхности поддона опреснителя с соленой водой; τ - коэффициент пропускания суммарного солнечного излучения светопрозрачного покрытия оп-

реснителя, одновременно являющегося поверхностью конденсации водяных паров из паровоздушной смеси внутри его камеры; Q_{nad}) - дневная сумма падающей на лучевоспринимающую поверхность опреснителя суммарной солнечной радиации.

В связи с тем, что $a < 1$ и $\tau < 1$, значение μ_n для солнечных водоопреснителей рассматриваемого типа $\mu_n > \eta$.

В солнечных опреснителях с МИК, в отличие от солнечных водоопреснительных установок парникового типа, благодаря многократному рекуперативному использованию теплоты конденсации водяных паров значение μ_n должно быть намного больше, чем η .

Выводим выражения для расчета μ_m для солнечной водоопреснительной установки с МИК с косвенным подводом тепла солнечного излучения к соленой воде.

Для солнечных водоопреснителей рассматриваемого типа значение $Q_{ногл}$ в (2) и (3) в соответствии с [7]

$$Q_{ногл} = \eta_k * Q_{nad},$$

где

$$\eta_k = \eta_{ТП2} \left[\alpha_p \tau - \frac{K_{np}}{q_{nad}} (t_{св} - t_0) \right] \quad (2.51)$$

тепловая эффективность двухконтурной системы подвода тепла от солнечного водонагревательного коллектора к солен

$$\eta_{ТП} = \left(\frac{1}{\eta_{ТП}} + \frac{F_k * K_{np}}{F_{зм} * K_{зм}} \right)^{-1} \quad \text{- коэффициент тепловой}$$

эффективности двухконтурной системы; $\eta_{ТП}$ — коэффициент тепловой эффективности солнечного водонагревательного коллектора;

F_k - площадь фронтальной поверхности солнечного коллектора; K_{np} - приведенный к единице фронтальной поверхности коэффициент суммарных тепловых потерь коллектора; F_{3M} - площадь поверхности нагрева змеевика; K_{3M} - коэффициент теплопередачи через змеевик.

Значение G для солнечных водоопреснительных установок с МИК определяется суммой полученных в его отдельных ступенях дистиллята, т.е.

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum_{i=1}^n G_i. \quad (2.52)$$

Подставляя (3) и (8) в отношение (2), получим

$$\mu_n = \frac{\sum_{i=1}^n (G * r)_i}{\eta_k * Q_{над}}. \quad (2.52)$$

В связи с тем, что значение $\sum_{i=1}^n (G * r)_i$ в (9) для солнечной водоопреснительной установки с МИК, как уже отмечалось, в 2-3 раза больше, чем $G * r$ (для солнечных водоопреснительных установок без МИК), а значение η_k при нагреве соленой воды до 70°C при $\eta_{ТП} = 0.95$; $\alpha_p \tau = 0.72$; $K_{np} = 7\text{ч-}8$ ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);

$K_{3M} = 350$ ($\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{C}$); $\frac{F_k}{F_{3M}} = 5$; $q = 700$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) и $t_0 = 25\text{-}35^\circ\text{C}$ составляет 0.4.

Подставляя значения $\sum_{i=1}^n (G * r)$ и η_k в (7), получи, что

$$\mu_m = \frac{2..3}{0,4} * \frac{G * r}{Q_{над}} = \frac{2..3}{0,4} * \eta = 5..7,5 \mu_n$$

Как видно, благодаря многократному рекуперативному использованию теплоты конденсации в солнечных опреснителях с МИК значение коэффициента

использования теплоты в них (μ_m) может быть в 5-7.5 раза больше, чем у парниковых опреснителей (μ_n).

Результаты проведенных экспериментальных исследований на опытном образце солнечной водоопреснительной установки с МИК с косвенным подводом тепла солнечного излучения к соленой воде с числом ступеней 4, общий объем соленой воды в кюветах которых составляет 10 л, показали, что температурный перепад в ступенях составляет в пределах 8-9°C (рис. 1).

Результаты экспериментальных исследований по определению влияния числа ступеней на дневную производительность опытного образца МИК с горизонтальными кюветами и с косвенным подводом теплоты солнечного излучения к соленой воде с температурой 70 - 80 °С приведены на рис. 2. Как следует из графика рис. 2, оптимальное число ступеней в МИК составляет 4 - 5. Температура соленой воды шестой и седьмой ступеней и далее почти становится равной температуре окружающей среды. Дальнейшее увеличение не приводит к повышению производительности, поскольку процессы испарения и конденсации не происходят. В связи с этим, оптимальным значением числа ступеней в МИК для солнечной водоопреснительной установки рассматриваемого типа можно считать 5.

ГЛАВА 3. РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ИСПАРИТЕЛЬНО-КОНДЕНСАТОРНОЙ КАМЕРОЙ

3.1. Принципиальная схема солнечной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой

Вопросы повышения эффективности солнечных низкотемпературных установок, в том числе солнечных опреснителей (СО) являются одной из актуальных задач гелиотехники. Один из способов повышения эффективности СО – регенерация теплоты путем увеличения числа ступеней испарения-конденсации [1-4]. Этот способ впервые был предложен для СО с концентратором В.Б. Вейнбергом [1]. Расчетные и экспериментальные исследования СО с многоступенчатым конденсатором (МК) с учетом переменности солнечной радиации в течение дня были проведены в работах [2, 3]. Результаты анализа показали, что в виду многофакторности и существенной нестационарности процесса в СО необходимо раздельное исследование влияния различных факторов, что желательно проводить на моделях МК, которые позволяют выделять отдельные параметры задачи.

Цель настоящей работы – изучение теплотехнических характеристик таких МК на основе экспериментов и расчетов при заданных и постоянных значениях плотности потока, поглощаемого первой ступенью. Принципиальная схема солнечной СО с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой приведена на рис. 1. На основе принципиальной схемы и теплового баланса [5] были определены параметры экспериментальной модели многоступенчатой испарительно-конденсаторной камеры солнечной опреснительной установки. В разработанной экспериментальной модели тепло в первую ванну подавалось

от специального плоского электрического нагревателя, который позволял имитировать солнечные потоки плотностью до 750 Вт/м^2 . Площадь первой ванны S составляла 0.212 м^2 ($0.375 \times 0.575 \text{ м}$). Соответственно, первый конденсатор является второй ванной и т.д. Площадь конденсаторов была $0.403 \times 0.613 \text{ м}$, размеры внутреннего сечения МК составляли $0.413 \times 0.623 \text{ м}$ (расстояние между соседними ваннами – 0.08 м). Можно отметить, что экспериментальные исследования не только обеспечивают объективность изучения процессов, но и являются основой для разработки, уточнения и развития численных моделей тепломассообмена в СО и МК.

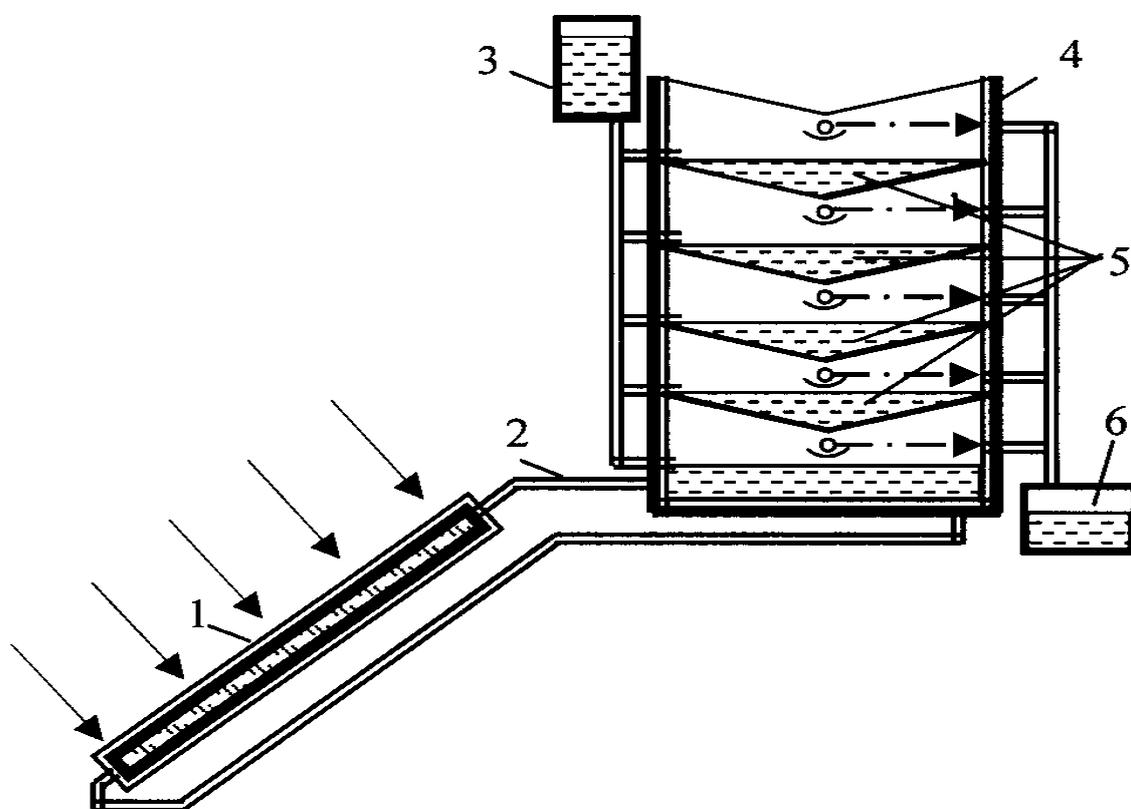


Рис. 3.1. Принципиальная схема солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой: 1 – плоский солнечный коллектор (источник тепла); 2 – трубопровод, соединяющий солнечный коллектор с испарительно-конденсационной камерой; 3 – соленая вода; 4 – многоступенчатая испарительно-конденсационная камера; 5 – соленая вода в ступенях испарительно-конденсационной камеры; 6 – конденсат.

Работа СО с МК происходит следующим образом. Промежуточный теплоноситель, нагреваясь в коллекторе, проходит через теплообменник в первой ванне МК, нагревает и испаряет в ней воду; пар, конденсируясь на нижней части первого конденсатора, отдает теплоту находящейся в ней воде (вторая ванна) и т.д. до последней ступени. Можно отметить, что такая МК может работать и от другого источника энергии, например, в составе стандартных одноступенчатых электрических опреснителей.

Экспериментальная МК позволяла изучать процессы испарения-конденсации с числом ступеней до 5. В процессе эксперимента фиксировались начальные массы воды, заливаемые в ванны, их температуры, а также масса конденсата, получаемая от каждой ступени. Температуры измерялись с помощью устройства, состоящего из двадцати ХА термопар с общим холодным источником. (Переключение термопар осуществлялось электрическим коммутатором вручную. Стандартная точность ХА термопары около 1%. Масса конденсата определялась взвешиванием, с точностью до 0.5 г.

В качестве основы для численной модели МК была использована одномерная нестационарная модель одноступенчатого солнечного опреснителя [4], которая позволяла реально исследовать МК с числом ступеней от 1 до 10.

3.2. Результаты экспериментальных и расчётных исследований

На рис.3.2 представлены экспериментальные и расчетные массы конденсата, получаемые с каждой из ступеней, четырехступенчатой МК. Начальная масса (или средняя толщина воды) составляла в обогреваемой ванне 11.6 мм, а в остальных – по 7.5 мм. Средняя плотность потока в эксперименте составляла 686 Вт/м^2 . Предварительный анализ результатов

показал, что в МК имеют место достаточно существенные потери тепла через боковые стенки и дно, несмотря на их достаточно хорошую теплоизоляцию (дерево 25 мм и поролон 20 мм), существенным оказалось и влияние негерметичности. Оценки показали, что эти теплопотери составляют порядка 20-28%. С учетом указанного, в расчетах была принята плотность потока в первой ванне, равная 490 Вт/м^2 . В целом можно отметить качественное совпадение результатов расчета и эксперимента. Так, например, за счет теплопотерь в первой секции, экспериментальная температура первой кюветы оказывается ниже ее расчетного значения и вследствие этого в эксперименте конденсация и, соответственно, выход конденсата начинаются раньше, чем в расчете. Это также подтверждается тем, что расчетная кривая выхода конденсата имеет больший наклон (более крутая). Аналогичное наблюдается и в других ступенях. Необходимо отметить, что стекание конденсата начинается после достижения им какой-то минимальной толщины, порядка 0.5 мм.

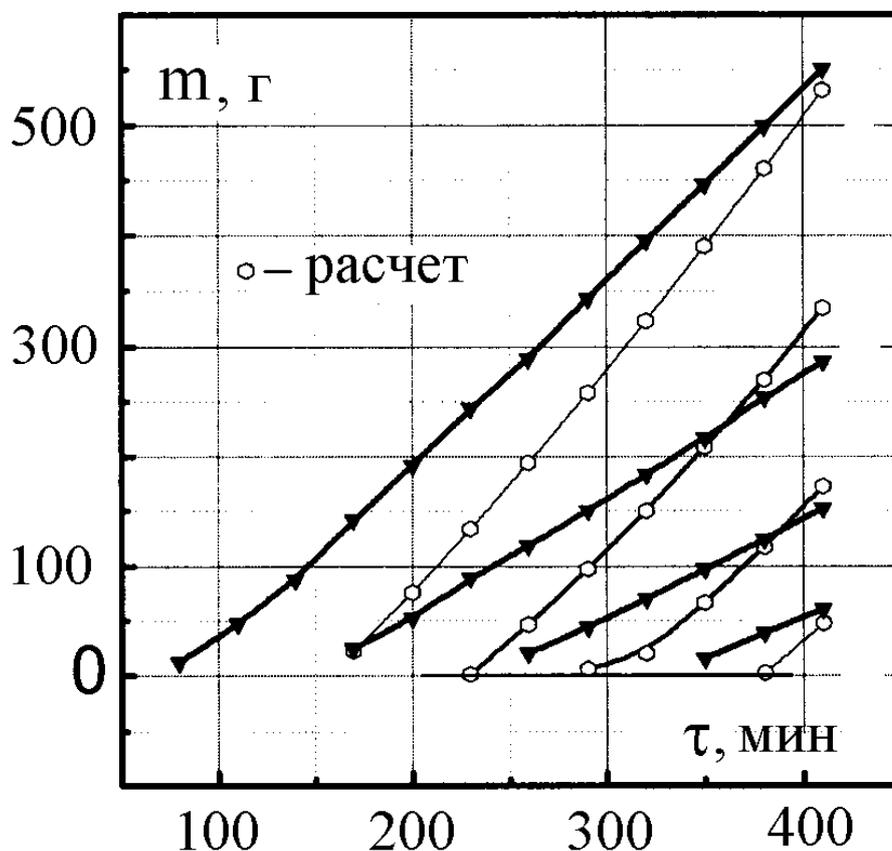


Рис. 3.2. Выход конденсата во времени с каждой из четырех ступеней МК.

Можно отметить, что рост крутизны кривых на рис. 3.2 должен иметь место в действительности, так как вследствие уменьшения толщины слоев залитой воды идет постоянный рост их температур и, соответственно, скорости выхода конденсата, особенно это должно проявляться в первой ступени, что и видно на графиках. На практике представляет интерес зависимость суммарного выхода воды от времени. Такая зависимость для четырехступенчатого МК приведена на рис. 3.3 (в граммах).

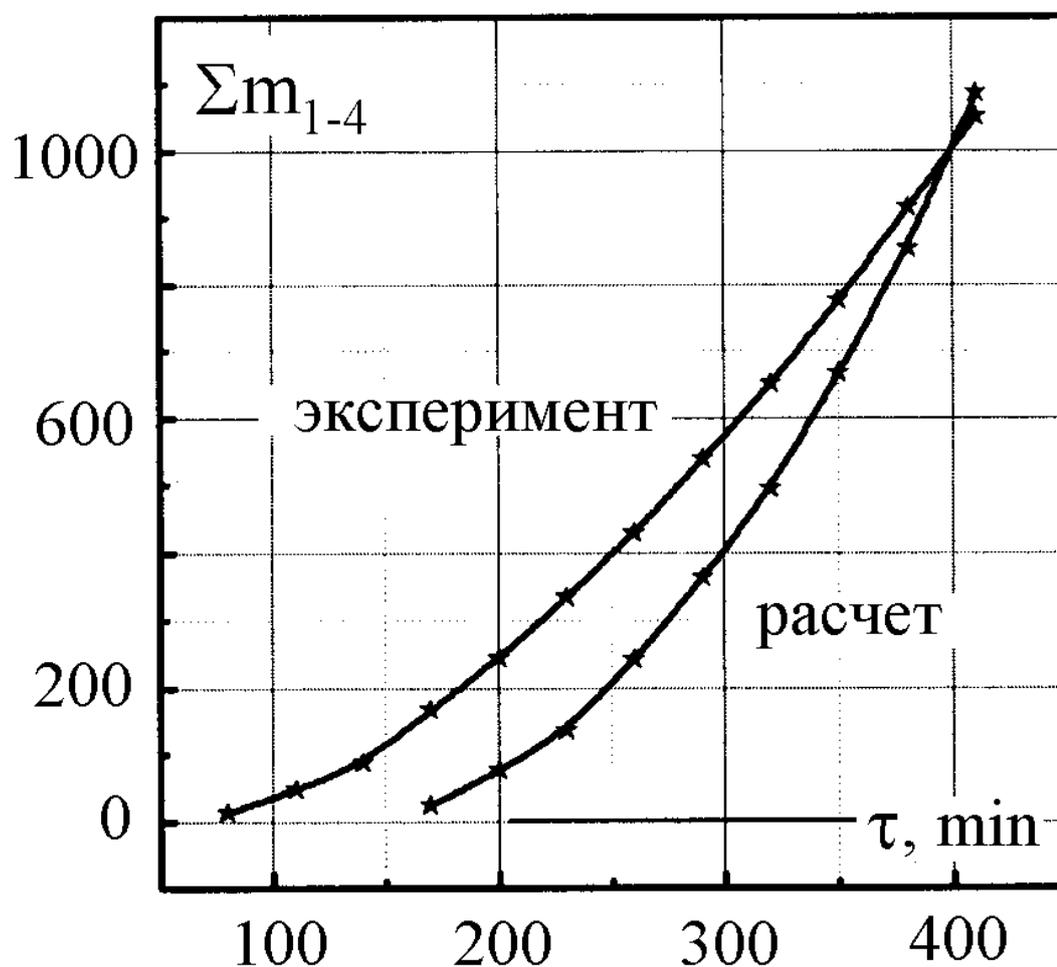


Рис. 3.3. Суммарный выход конденсата с четырех ступенчатой МК.

Как видно, здесь мы имеем даже большее согласование расчета с экспериментом. В целом можно отметить существенную нестационарность процесса.

Так, из расчета и эксперимента следует, что время выхода на стационарные производительности составляет (при данных толщинах залитой в ванны воды – 11.6 мм в первой и по 7.5 мм в остальных) порядка 120-150 мин. Далее было проведено сравнение тепловой эффективности одноступенчатой и четырехступенчатой МК.

Тепловая эффективность (или как принято называть тепловой КПД) в обоих случаях определялась в виде

$$\eta = \frac{r \cdot \Sigma \Delta m}{E \cdot S \cdot \tau},$$

где r – теплота конденсации воды (для данного интервала температур от 20 до 60°C было принято среднее значение 2441 кДж/кг); E – плотность теплового потока, выделяемого в первой ванне; S – площадь первой ванны; τ – время от начала процесса. При определении расчетного КПД значение E принималось равным 686 Вт/м².

Расчетные и экспериментальные КПД четырехступенчатой МК ($\eta_{\Sigma 4}$), а также КПД их первых ступеней (η_1), имитирующих одноступенчатый испаритель-конденсатор приведены на рис.3.4.

Как видно, КПД четырехступенчатой МК практически в два раза превышает КПД одноступенчатого конденсатора. С увеличением числа ступеней резко увеличивается время выхода КПД на стационарные значения. Так, как показали расчеты, для четырех ступеней оно превышает 800 мин. При этом тепловая эффективность может достигать значений порядка 2, но этот вопрос требует отдельного исследования. Так как КПД одноступенчатого опреснителя не превышает 0.5, то сравнительная эффективность МК может составить около 3.

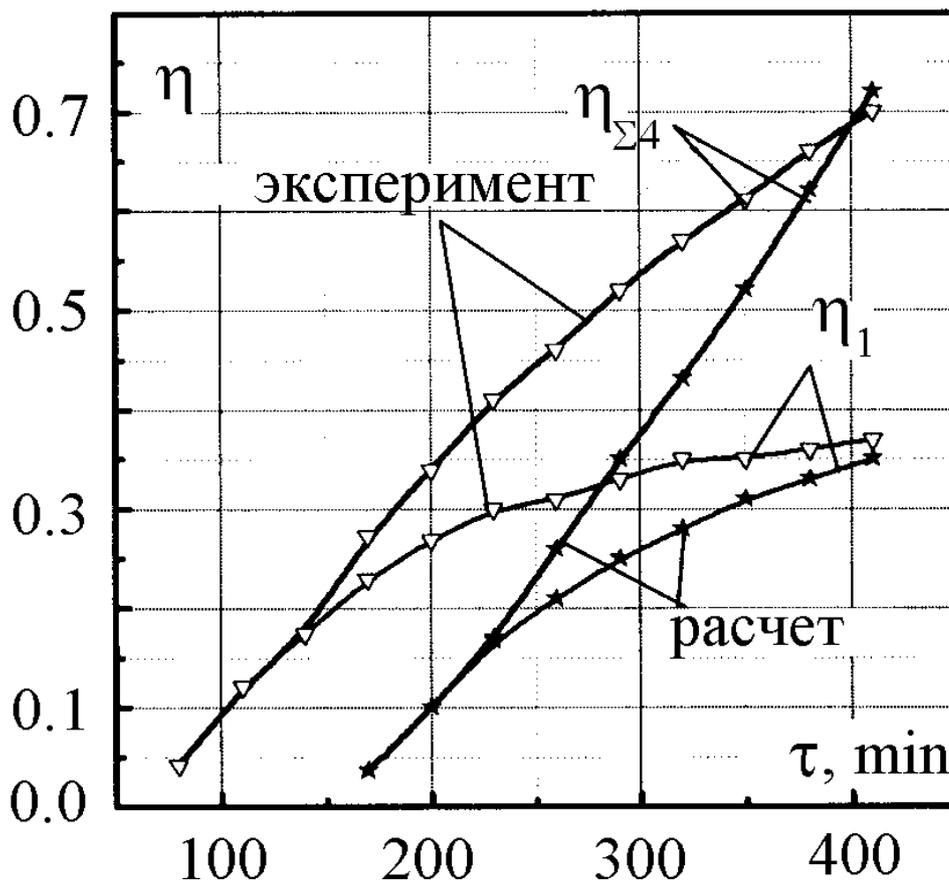


Рис. 3.4. Расчетные и экспериментальные КПД четырех ступенчатой МК, а также КПД их первых ступеней.

Выводы по главе III

В целом по результатам исследований можно отметить следующее:

1. Применение МК с точки зрения повышения производительности и КПД представляется оправданным, так, по сравнению с одноступенчатым опреснителем выход воды в МК может быть увеличен до двух раз. Эти результаты позволяют также утверждать, что применение МК в стандартном электрическом бытовом опреснителе позволит увеличить его производительность как минимум в 1.5-2 раза.

2. Подтвержден вывод [4] о том, что решающее значение для дневной эффективности СО (более быстрый выход на стационарные значения и, соответственно, большая дневная производительность) имеет толщина слоя опресняемой воды, заливаемой в ванны.

3. Разработанная многоступенчатая нестационарная модель может быть использована как для оценки производительности и КПД МК и в целом солнечного опреснителя, так и для исследования влияния на ее характеристики начальной толщины слоя заливаемой воды, плотности потока, расстояния между ваннами (кюветами).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Для альтернативного водоснабжения малозаселённых и труднодоступных населённых пунктов целесообразно использовать солнечные опреснители с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой.

2.. Применение многоступенчатой испарительно-конденсаторной камеры (МК) с точки зрения повышения производительности и КПД представляется оправданным, так, по сравнению с одноступенчатым опреснителем выход воды в МК может быть увеличен до двух раз. Эти результаты позволяют также утверждать, что применение МК в стандартном электрическом бытовом опреснителе позволит увеличить его производительность как минимум в 1.5-2 раза.

3. Подтвержден вывод о том, что решающее значение для дневной эффективности СО (более быстрый выход на стационарные значения и, соответственно, большая дневная производительность) имеет толщина слоя опресняемой воды, заливаемой в ванны.

4. Разработанная многоступенчатая нестационарная модель может быть использована как для оценки производительности и КПД МК и в целом солнечного опреснителя, так и для исследования влияния на ее характеристики начальной толщины слоя заливаемой воды, плотности потока, расстояния между ваннами (кюветами).

Список использованной литературы

1. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан от 17.09.2003 г. № 405.
2. Усаковский В.М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. – 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989.- 280 с.
3. Умаров Г.Я., Раббимов Р.Т., Авезов Р.Р., Усманов М.У. Использование низкопотенциальных солнечных установок. Т.: Фан, 1976.- 100 с.
4. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
5. Ризаев А.Н., Умматов Э.Э. К вопросу опреснения соленых вод методом обратного осмоса. Сборник материалов международного семинара-конференции «СУ Арнасы-2003» Водопользование: действительность, проблемы и перспективы. Шымкент, 26-27 июня 2003г, стр.112...113.
6. Ахатов Ж.С. Тепловой баланс солнечной водоопреснительной установки парникового типа с регенеративным использованием тепла// Гелиотехника, 2005, №2, стр.27...30.
7. Авезов Р.Р., Клычев Ш.И., Ахатов Ж.С. Расчётно-экспериментальное исследование теплотехнических характеристик многоступенчатой испарительно-конденсаторной камеры солнечной опреснительной установки// Гелиотехника, 2005, №3, стр.30...34.
8. Авезов Р.Р., Ахатов Ж.С. Коэффициент использования тепла солнечных водоопреснительных установок с многоступенчаткими испарительно-конденсационными камерами// Гелиотехника, 2007, №2, стр.3...7.
9. Бринкворт Б.Дж. Солнечная энергия для человека. Пер. с англ. В.Н.Оглоблева. Под ред. и с предисл. Б.В.Тарнижевского. М.Мир, 1976, 291 с.
10. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с

англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990.-392 с.

11. Ачилов Б.М. Исследование солнечных опреснителей лоткового и наклонно-ступенчатого типов и определение возможности их применения в пастбищном водоснабжении Узбекистана. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд.техн.наук, Ташкент, 1971.

12. Ачилов Б.М., Джураев Т.Д. Опреснение воды с использованием солнечной энергии и природного холода. «Гелиотехника», 1972, № 6.

13. Ачилов Б. М., Джураев Т.Д. и др. Результаты годовых испытаний солнечных опреснителей наклонно-ступенчатого типа. «Гелиотехника», 1972, № 3.

14. Ачилов Б.М., Джураев Т.Д. и др. Экспериментальное исследование процессов тепло- и массообмена в солнечном опреснителе наклонно-ступенчатого типа. «Гелиотехника», 1973, № 4.

15. Ачилов Б.М., Джураев Т.Д. и др. К выбору конструкционных материалов и технология изготовления солнечных опреснителей. «Гелиотехника», 1973, № 5.

16. Ачилов Б.М., Джураев Т. Д. и др. Годичные эксплуатационные данные солнечных опреснителей производственного назначения. «Гелиотехника», 1971, № 1.

17. Ачилов Б. М, Умаров Г. Я. и др. Об экономической эффективности внедрения солнечных опреснителей в системе водоснабжения пастбищ Узбекистана. «Гелиотехника», 1970, № 4.

18. Байбутаев К.Б., Ачилов Б.М. Сравнительные исследования солнечных опреснителей. «Гелиотехника», 1968, № 5.

19. Вардиашвили А. Б. Исследование энергетических характеристик и тепло- и массообменных процессов в солнечных конвективных опреснителях.. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, Ташкент, 1959.

20. Забелин В. Д. Водопойный пункт с солнечной опреснительной установкой. В сб. «Использование солнечной энергии в народном хозяйстве», М., «Наука», 1965, с. 97

21. Franklin Inst., Producing Permanently Hydrophilic Surfaces on Plastic Films for Solar Stills, Office of Saline Water, U. S. Dept. of Interior, Progress Rep. 29, 1959.

22. Hand I. F., Heating and Ventilating, 50 (7), 73 (July 1953).

23. Hardin J., Proc. Inst. Civil Engrs., 73, 284 (1883).

24. Lof G.O.G. Demineralization of Saline Water with Solar Energy, Office of Saline Water, U. S. Dept. of Interior Progress Rep. 4, 1954.

25. Lof G.O.G., Design and Evaluation of Deep-Basin, Direct Solar Heated Distiller for Demineralization of Saline Water, Rep. to Office of Saline Water, U. S. Dept. of Interior, 1959.

26. Wilkes G. B., Peterson C. M. F., Heating, Piping, and Air Conditioning, 9, 505 (1937).

27. Ахатов Ж.С., Джураев Т.Д. // Гелиотехника. 2003. №4. С. 84-86.

28. Авезов Р.Р., Норов Э.Ж. // Гелиотехника. 1974. №5. С.25-28.

29. Авезов Р.Р. // Гелиотехника. 2001. №1. С. 29-32.

30. Авезов Р.Р. // Гелиотехника. 2002. №2. С. 51-57.

31. Авезов Р.Р. // Гелиотехника. 1999. №3. С. 14-16.

32. Брдлик П.М. Испытание и расчет солнечных опреснительных установок // Теплоэнергетика. М., 1957. С. 136-150.

33. Sangeeta Suneja, Tiwari G.N. Parametric study of an inverted absorber triple effect solar still. Energy Conversion & Management. 40 (1999). 1871-1884.

34. Hamdan M.A., Musa A.M., Jubran B.A. Performance of solar still under Jordanian climate Energy Conversion & Management. 40 (1999). 495-503.

35. Клычев Ш.И., Эркинбаева Г.Г., Бахрамов С.А., Исманжанов А.И. // Гелиотехника. 2002. №2. С. 38-43.

36. Ахатов Ж.С. // Гелиотехника. 2005. №2. С. 27-30.
37. Ахатов Ж. С.//Гелиотехника. 2004. №2. С. 90-93.
38. Adhikari R.S., Kumar A., Sootha G.D. // Solar Energy. V. 54. 1995.№5. P. 317-325.
39. Suneja S., Tiwari G.N. // Energy Conversion & Management. V. 40. 1999. P. 1885-1897.
40. Toyama S., Aragaki T., Murase K., Tsumura K.//Desalination. 1983. V. 45. P. 101-108/
41. Рашидов Ю.К., Ризаев А.Н., Улмасова А. С. Использование солнечной энергии при разработке альтернативных методов водоснабжения. Архитектура ва қурилиш муаммолари. Магистрантларнинг XV-анъанавий анжумани илмий мақолалар тўплами, ТАҚИ, Тошкент, 2015, 152-153 бет.
42. Рашидов Ю.К., Ризаев А.Н., Улмасова А. С. Тепловой баланс солнечной опреснительной установки с многоступенчатой испарительно-конденсаторной камерой Архитектура ва қурилиш муаммолари. Магистрантларнинг XV-анъанавий анжумани илмий мақолалар тўплами, ТАҚИ, Тошкент, 2015, 153-155 бет.