

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

(наименование института полностью)

Центр

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему

**Использование солнечной энергии для подогрева сезонных
бассейнов на приусадебных участках Самарской области**

Обучающийся

А.Ю. Гаврилова

(инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

канд. техн. наук, доцент, М.Н. Кучеренко

руководитель

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Обзор существующих способов подогрева сезонных бассейнов в климатических условиях Самарской области	6
1.1 Предпосылки использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области	6
1.2 Обзор гелиосистем, применяемых для подогрева сезонных бассейнов.	12
1.3 Оценка поступления солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов в Самарской области	37
Глава 2 Расчет теплообмена сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области.....	45
2.1 Определение составляющих теплового баланса при эксплуатации сезонных бассейнов	45
2.2 Анализ потерь и поступлений тепла при эксплуатации сезонных бассейнов	51
Глава 3 Определение необходимой площади солнечного коллектора для подогрева сезонного бассейна в Самарской области	56
3.1 Определение необходимой площади солнечного коллектора для подогрева сезонного бассейна в Самарской области	56
3.2 Анализ эффективности применения солнечных коллекторов для подогрева сезонного бассейна в Самарской области и мероприятия, повышающих сроки эксплуатации такого бассейна	61
Заключение	64
Список используемых источников.....	66

Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования.

В последнее время наметилась устойчивая тенденция массовой миграции населения из городов на приусадебные участки, дачи, в сельскую местность для сезонного или круглогодичного проживания. Одним из элементов современного приусадебного участка превращающих его в свой личный курорт является не дорогой каркасный бассейн. Эксплуатация сезонных бассейнов на таких участках ограничена во времени в связи с температурой воды и воздуха, которая зависит от климатических особенностей нашего региона. Существенным образом продлить период эксплуатации бассейнов на приусадебных участках, можно применяя искусственный подогрев воды. Для этого наиболее интересным с экономической и экологической точки зрения представляется использование солнечной энергии.

При уменьшении стоимости гелиооборудования для подогрева сезонных бассейнов в Самарской области возможно появление серьезных предпосылок для активного внедрения в жизнь данного вида теплоснабжения.

Ввиду большого количества факторов, влияющих на мощность гелиоустановки и на потерю тепла бассейном, подбор необходимого оборудования нагрева воды в бассейне для рядового гражданина также представляет сложность, поэтому изучение вопроса использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области с последующей выработкой рекомендаций представляет актуальную задачу.

Объект исследования: Гелиосистема для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области.

Предмет исследования: Уменьшение стоимости (совершенствование) абсорбера солнечного коллектора, увеличения срока эксплуатации сезонного бассейна на приусадебных участках Самарской области.

Цель исследования: разработка и апробация технологических решений для увеличения сроков эксплуатации сезонного бассейна, а также расчет

необходимой площади конструкции солнечного коллектора с использованием его в качестве источника тепловой энергии для систем подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области.

Гипотеза исследования состоит в том, что при правильном подборе площади абсорбера применение солнечной энергии для подогрева воды сезонных бассейнов позволит продлить срок их эксплуатации в климатических условиях Самарской области.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Исследование способов использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области.

2. Анализ составляющих теплового баланса каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области, с оценкой возможностей применения солнечной радиации.

3. Анализ мероприятий, применяемых для максимально возможного увеличения срока эксплуатации сезонного бассейна на приусадебных участках Самарской области.

4. Анализ полученных результатов. Расчет увеличения сроков эксплуатации сезонного бассейна на приусадебных участках Самарской области в зависимости от площади солнечного коллектора с использованием его в качестве источника тепловой энергии для систем подогрева воды.

Методы исследования: Математическое моделирование с апробацией результатов.

Научная новизна исследования:

Теоретическое обоснование технологии использования гелиосистем для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области.

Практическая значимость работы заключается в прогнозировании срока эксплуатации сезонного бассейна (его увеличения), при использовании гелиосистем на приусадебных участках Самарской области.

Личное участие автора состоит в обосновании темы, постановке цели и задач, расчета и апробации способа прогнозирования срока эксплуатации сезонного бассейна (его увеличения), при использовании подогрева за счет гелиосистем на приусадебных участках Самарской области.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

– Всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция «Молодежь. Наука. Общество», Тольятти, 2021. Выступление с докладом «Предпосылки использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области».

– Научно-практическая конференция: «Дни науки ТГУ», Тольятти, 2022. Выступление с докладом «Расчет теплообмена сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области».

Полученные в работе результаты, опубликованы в научных журналах, в государственном университете города Тольятти сделаны доклады на конференции.

На защиту выносятся: Способ оценки увеличения срока эксплуатации при использовании солнечной энергии для подогрева воды каркасного сезонного бассейна на приусадебных участках Самарской области.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав, заключения, содержит 45 рисунков, 4 таблиц, список использованной литературы (70 источников). Основной текст работы изложен на 74 страницах.

Глава 1 Обзор существующих способов подогрева сезонных бассейнов в климатических условиях Самарской области

1.1 Предпосылки использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области

В последнее время наметилась устойчивая тенденция массовой миграции населения из городов на приусадебные участки, дачи, в сельскую местность для сезонного или круглогодичного проживания. Это связано с тем, что люди, потеряв надежду получать качественную медицинскую помощь, стали больше внимания уделять своему здоровью, экологии и питанию. С развитием цифровых технологий появились профессии, позволяющие работать удаленно (через Интернет), что делает не обязательной локализацию внутри города. Современные строительные и инженерные технологии позволяют относительно не дорого организовать приемлемые условия жизни в практически любом месте, где есть минимальная инфраструктура (дорога, электричество, вода). Ограничения свобод, связанных с пандемией вируса Covid 19, также способствовало оттоку населения на дачи.

Одним из элементов современного приусадебного участка превращающих его в свой личный курорт является бассейн. Бассейн – это не только спасение от жары и весёлый аттракцион для всей семьи, но и залог бодрости, здоровья, хорошего настроения. Даже самая простенькая надувная модель вносит в повседневную жизнь нотку роскоши (рисунок 1), а уж полноценный водоём с аккуратной плиткой и чистой голубой водой тянет на главное украшение участка.



Рисунок 1 – Сезонный бассейн на даче г. Жигулевск Самарской области

Классификация бассейнов довольно обширная. По типу они бывают: надувные, сборно-разборные (каркасные), стационарные и готовые переносные ванны. По виду системы фильтрации бассейны делятся на скиммерные и переливные. По виду отделки стен различают пленочные, полипропиленовые, плиточные, мозаичные, стеклопластиковые бассейны.

Эксплуатация сезонных бассейнов на приусадебных участках ограничена во времени в связи с температурой воды и воздуха, которая зависит от климатических особенностей нашего региона. Согласно современным нормам гигиены требования к температуре воды в зависимости от предназначения отличаются (табл. 1). Несоблюдения температурного режима воды и воздуха может привести к переохлаждению или перегреву организма, возникновению простудных заболеваний, судорог, спазмов, онемения мышц тела, потерей сознания и даже обморокам.

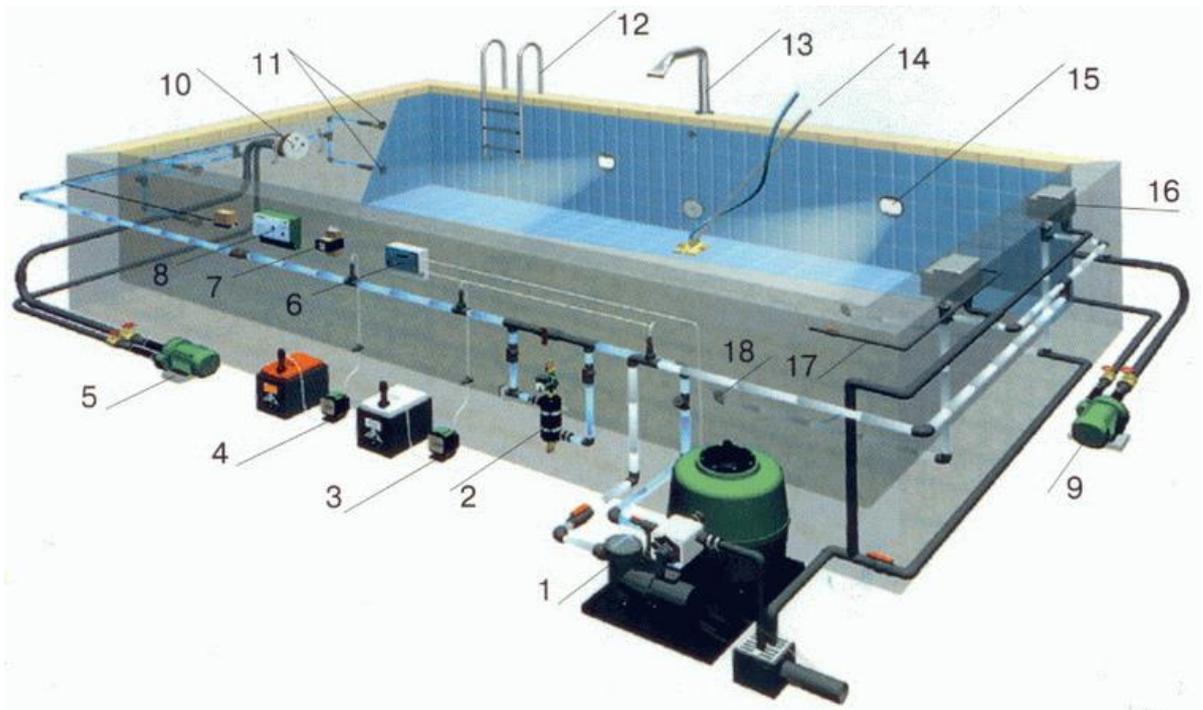
Ссылаясь не большие размеры на высокую подвижность согласно источнику [33], температуру воздуха в открытых бассейнах рекомендуют принимать в интервале 21–25°C. Что ниже чем в закрытых.

Согласно нормативной литературе [16] рекомендуемая температура воды в бассейнах зависит от типа бассейна (таблица 1). Жестких требований к частным не коммерческим сезонным бассейнам на приусадебных участках нет.

Таблица 1 – Рекомендуемая температура воды в бассейнах

Рекомендуемая температура воды в бассейнах	
Тип бассейна	Температура воды, °С
Спортивный	24-28
Рекреационный	28-30
Детский (от 7 лет)	29-32
Детский (младше 7 лет)	30-32
Лечебный	36
Джакузи	35-39
Бассейн в бане	
- холодный	15
- горячий	35

Продлить эксплуатацию сезонных бассейнов на приусадебных участках, существенным образом, можно применяя искусственный подогрев воды. В настоящее время в Самарской области наиболее распространена схема с электрическим или водоводяным теплообменником (рисунок 2).



«1 – фильтровальная установка; 2 – теплообменник; 3 – дозатор рН; 4 – дозатор средства дезинфекции; 5 – насос противотока; 6 – станция дезинфекции; 7 – трансформатор; 8 – блок управления фильтровальной установкой и теплообменником; 9 – насос водопада; 10 – противоток; 11 – подающие форсунки; 12 – лестница; 13 – водопад; 14 – подводный пылесос; 15 – подводный прожектор; 16 – скиммер; 17 – переливная труба; 18 – донный слив» [22]

Рисунок 2 – Схема с электрическим или водоводяным теплообменником

Наиболее редко встречается подогрев с помощью теплового насоса [9] с использованием низкопотенциальной энергии грунта или водоема (рисунок 3).

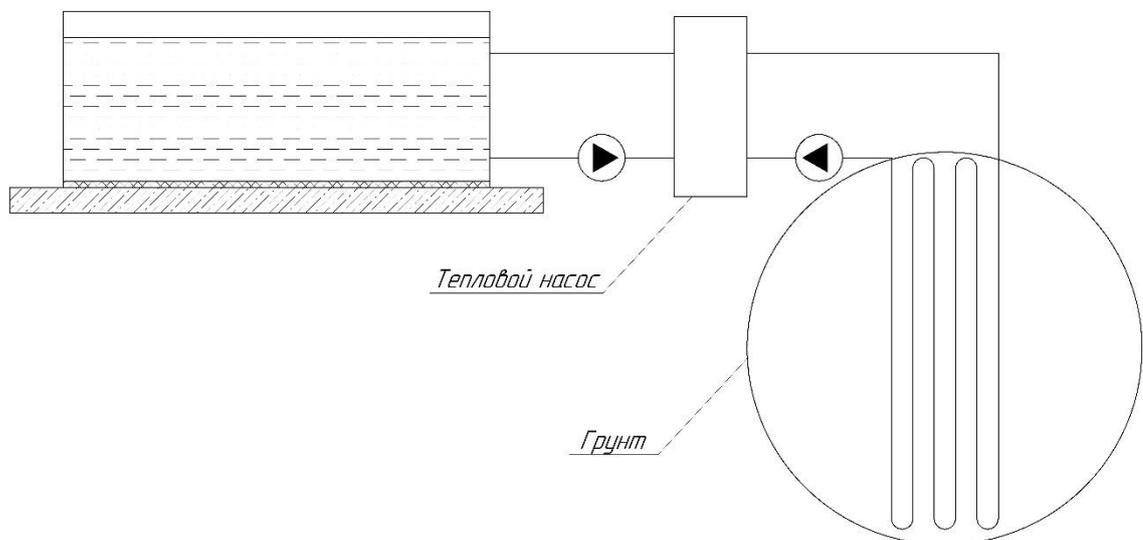


Рисунок 3 – Сезонный бассейн с подогревом с помощью теплового насоса

Однако у перечисленных систем есть ряд недостатков, таких как:

- Высокая стоимость электроэнергии.
- Отсутствие дешевого первичного энергоносителя (природного газа)

на большинстве СНТ Самарской области.

- Громадная стоимость инженерных систем бассейна и расходных материалов.

- Дорогое обслуживание инженерного оборудования и автоматики.

Рассмотренные недостатки для большинства домовладельцев (в том числе и для нашей семьи) являются существенными, поэтому при эксплуатации сезонных бассейнов для подогрева воды особенно актуально стало использование возобновляемой, экологически чистой, не дорогой солнечной энергии [1]-[15].

В Самарской области применение солнечной энергии круглый год уже осуществляется в промышленных масштабах (как правило через преобразование в электрическую). Так под Новокуйбышевском в 2019 году сдана в эксплуатацию солнечная электростанция (рисунок 4, 5).



Рисунок 4 – Пример использования солнечной энергии в Самарской области

На сегодняшний день она является крупнейшей электростанцией подобного типа в России. В ее состав входят 260 тысяч фотоэлектрических

модулей (рисунок 5), которые в солнечный день производят 75 МВт электрической мощности и способны снабжать энергией населенный пункт размером с Новокуйбышевск. К плюсам солнечных панелей можно отнести всепогодность и универсальность. Среди основных недостатков конвертации солнечной энергии в электрическую, а потом в тепловую, можно отметить низкий КПД, громадную стоимость и длительный срок окупаемости, к тому же сам принцип использования сезонных бассейнов предполагает отсутствие эксплуатации в холодный период.



Рисунок 5 – Пример использования фотоэлектрических модулей в Самарской области

Использование фотоэлектрических модулей для подогрева сезонных бассейнов имеет право на жизнь, но с экономической точки зрения в текущее время предпочтение отдается непосредственному нагреву воды в солнечных коллекторах.

1.2 Обзор гелиосистем, применяемых для подогрева сезонных бассейнов.

Исторически первая промышленная установка, предназначенная для использования солнечной энергии нагрева воды в бассейнах, была изготовлена в ГДР в 1977–1979 гг. во Фрейбурге (Унструт) а этом объекте удалось получить запроектированные параметры, т.е. повышение средней температуры воды в бассейне на 3–4 К.

В ряде источников указывается главное условие эффективной работы гелиосистемы – необходимость размещения коллекторов так, чтобы солнечные лучи проникали в коллекторы четыре-пять часов в сутки. В этом случае можно поднять температуру воды до 25-30°C. Солнечное излучение позволяет продлить купальный сезон в крытых бассейнах на 1,5...2 месяца в году и полностью заменить традиционный источник энергии (летом) экономит затраты на топливо [22].

На момент проведения литературного обзора в продаже существуют громадное количество дешевых и дорогих гелиосистем, применяемых для подогрева воды в бассейне, начиная с открытых водяных матов (рисунок 5), заканчивая сложнейшими системами (рисунок 6) с возможностью подключения теплового насоса. Однако рекомендаций по их расчету и подбору в климатических условиях Самарской области нет.

Ввиду большого количества факторов, влияющих на мощность гелиоустановки и на потерю тепла бассейном, подбор необходимого оборудования нагрева воды в бассейне для рядового гражданина представляет сложную вычислительную дилемму, поэтому изучение вопроса использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области с последующей выработкой рекомендаций представляет актуальную задачу.



Рисунок 5 – Нагреватель для воды INTEX Solar Mat



Рисунок 6 – Нагреватель бассейна на базе плоского солнечного коллектора Buderus Logasol CKN 2.0-s

На приусадебных участках Самарской области применяются две основные схемы солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов с естественной циркуляцией (рисунок 7) и с принудительной (рисунок 8).

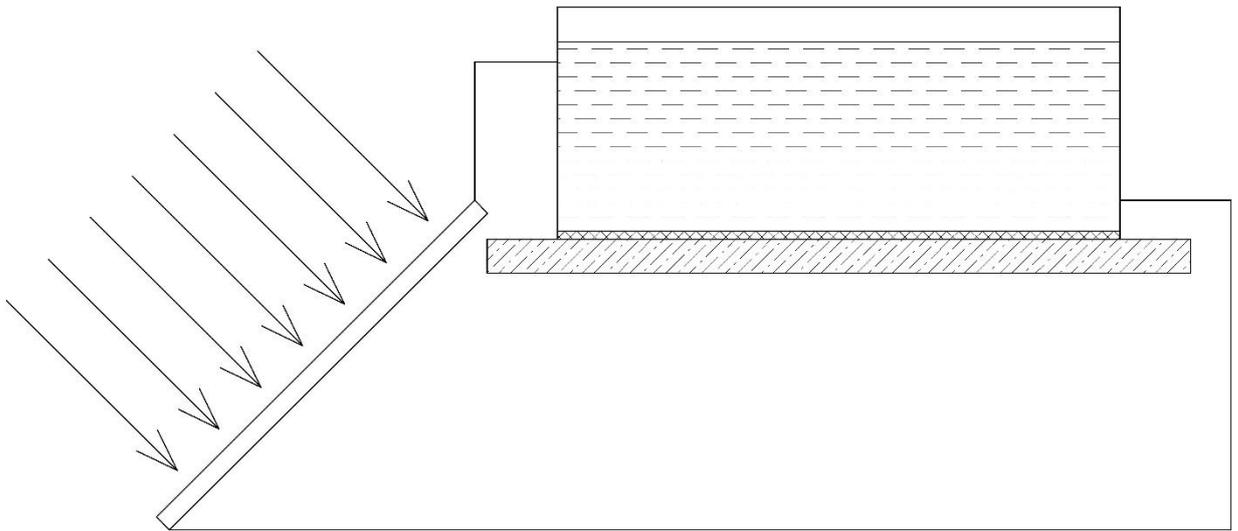


Рисунок 7 – Схема солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов с естественной циркуляцией

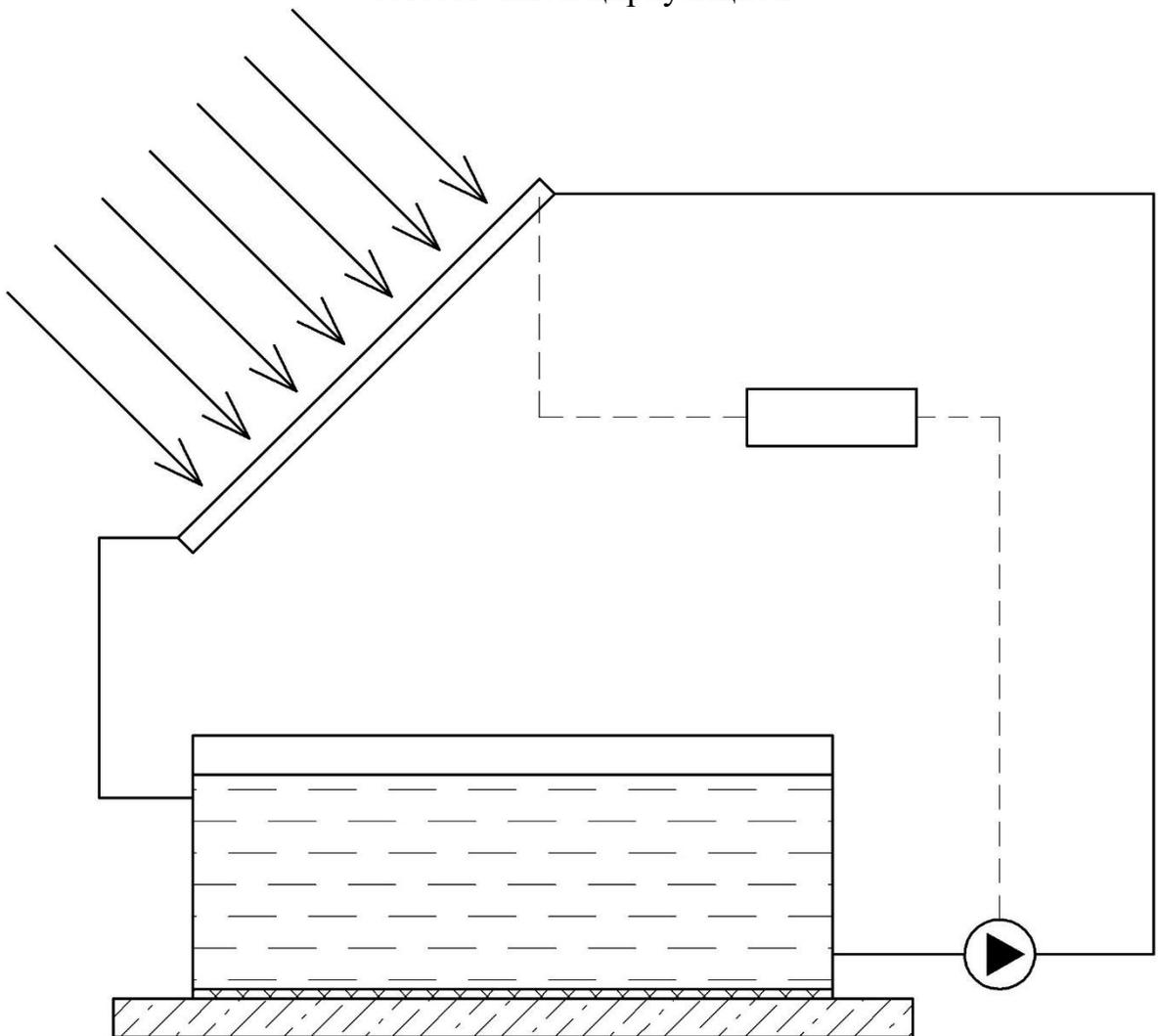


Рисунок 8 – Схема солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов с искусственной циркуляцией

Особенностью систем с естественной циркуляцией является то, что центр нагрева должен находиться ниже центра охлаждения. При этом движение воды происходит за счет разности плотностей нагретой (в солнечном коллекторе) и холодной (в бассейне) воды. Система обладает способностью к саморегулированию (циркуляция останавливается, если температура в коллекторе опускается ниже температуры бассейна), но получаемый располагаемый перепад давления очень мал и для обеспечения нужного расхода должна иметь малые сопротивления (большие диаметры трубопровода) что делает невозможным применение трубчатых коллекторов или матов.

За счет своей простоты на приусадебных участках Самарской области наибольшее распространение получила схема солнечного теплоснабжения с искусственной циркуляцией с приводом от фильтр-насоса (который входит в комплект бассейна) и нагревателей для воды типа INTEX Solar Mat (см. рисунок 5). Такая система занимает много функционального пространства, мешает росту растений и нарушает эстетическое восприятие приусадебного участка см. рисунок 9.



Рисунок 9 – Пример размещения солнечного коллектора с естественной циркуляцией на приусадебном участке

Более сложные системы с принудительной циркуляцией на приусадебных участках Самарской области применяются реже. Когда для эстетики или экономии пространства более целесообразно расположить коллектор далеко от бассейна, использовать поверхность забора, кровли дома (рисунок 10), бани (рисунок 11) или веранды, которая много выше уровня бассейна требуется применять с привод от фильтр-насоса нельзя, ввиду его низкого напора.

Подбор насоса должен учитывать схему теплоснабжения, сопротивление системы и высоту расположения коллектора.



Рисунок 10 – Установка коллектора для теплоснабжения сезонных бассейнов на конструкцию кровли здания



Рисунок 11 – Установка солнечного коллектора на кровлю бани

С теплотехнической точки зрения принудительная циркуляция должна прекратиться, если температура в солнечном коллекторе опускается ниже температуры бассейна (например, ночью). Для автоматизации процесса можно оснащать насос специальным устройством (контроллером).

Принцип работы контроллера бывает трех типов:

- Дифференциальный терморегулятор при превышении температуры коллектора температуры бассейна насос начинает циркуляцию.
- Работа насоса задается по таймеру (рисунок 12).
- Работа через фотореле (требуется настройки “включение по солнцу”) (рисунок 13).



Рисунок 12 – Розетка с таймером



Рисунок 13 – Фотореле

Для возможности управления циркуляционным насосом в установке, работающей с постоянным расходом теплоносителя, применяют современные дифференциальные терморегуляторы, один датчик которых устанавливается на нижней части пластины солнечного коллектора, а второй размещают в бассейне на высоте входящего патрубка холодной воды. Применение контроллера с работой по таймеру не учитывает реальную обстановку на месте (температуры теплоносителя в коллекторе, температуру бассейна, уровень излучения, ветер, состояние неба), но является очень простым и надежным устройством. Применение фотореле позволяет учитывать уровень солнечного излучения, но при этом устройства находящиеся в продаже нуждаются в доработке (необходимо перепаять выводы с “выключение по солнцу” на “включение по солнцу” и затенить (сделать менее чувствительным) пластиковый светофильтр).

В системах с принудительной циркуляцией солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов приусадебных участков Самарской области наиболее частым применяется способ включения насоса по таймеру (рисунок 14).

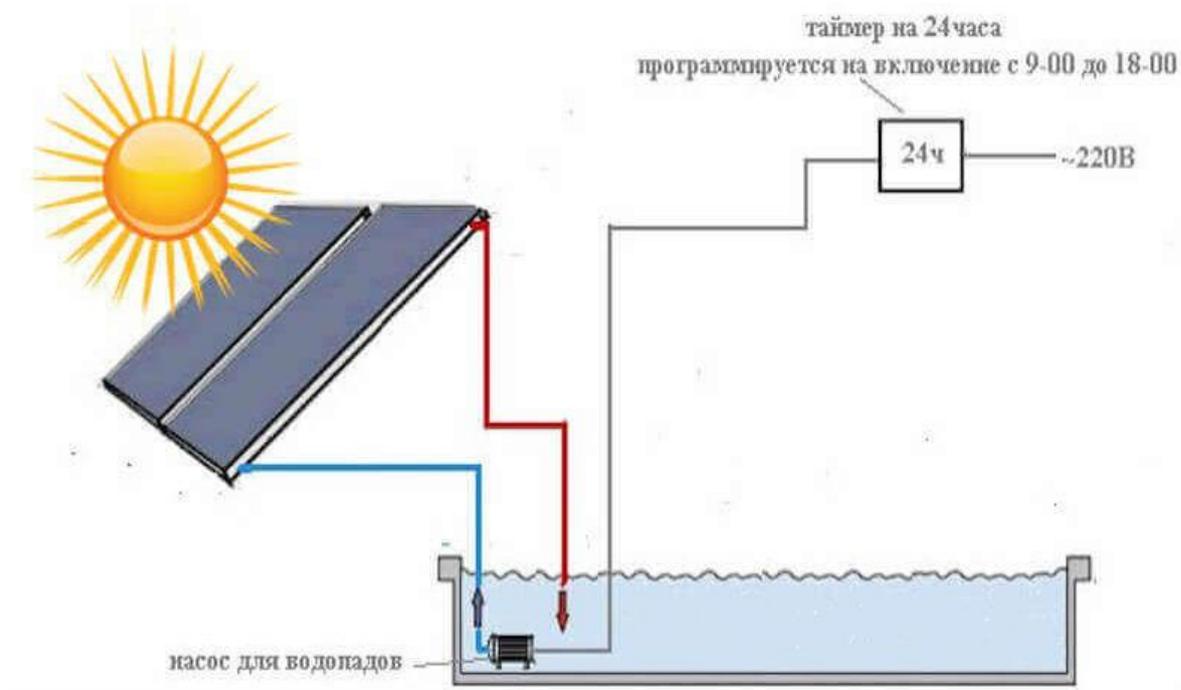
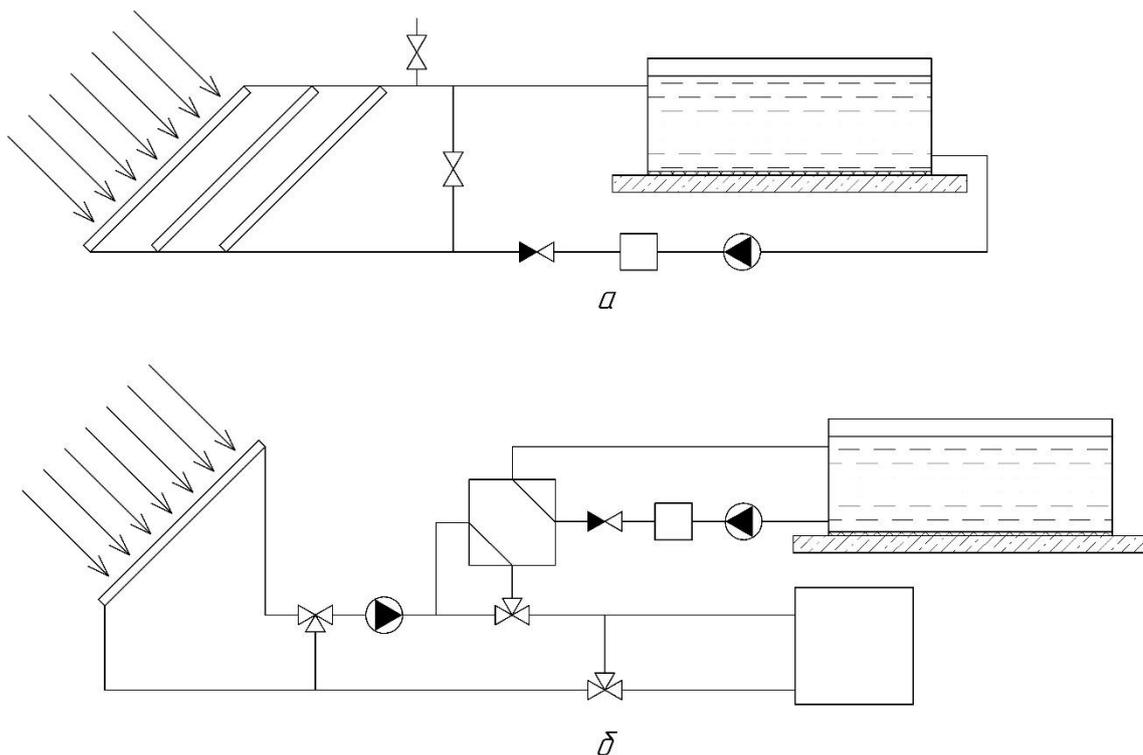


Рисунок 14 – Установка коллектора с включением через таймер

Механизм действия солнечного нагрева бассейна очень прост. Подогреваемая вода из бассейна направляется через фильтр в теплообменник (замкнутая система) или коллектор (открытая система) гелиосистемы. Фильтр используется для предотвращения попадания мусора в солнечные коллекторы. В некоторых случаях может понадобиться дополнительный насос или чуть более мощный насос для системы фильтрации. Наиболее эффективные из современных систем включают в себя автоматический сбросной клапан.

Когда речь идет о системах с солнечными коллекторами, предназначенными для обогрева бассейнов, следует принципиально различать два типа систем (рисунок 15):

- открытую систему (рисунок 15, а): — прямое использование солнечной энергии для нагрева воды в бассейне;
- замкнутую (рисунок 15, б) — солнечное отопление с дополнительным контуром.



1 – бассейн; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – обратный клапан; 5 – солнечный коллектор; 6 – воздушник; 7 – байпас с вентилем; 8 – тепловой насос; 9 – теплообменник; 10 – трехходовый клапан

Рисунок 15 – Системы с солнечными коллекторами для обогрева бассейнов с управлением через клапана

В закрытой системе (рисунок 15, б.) «фильтрация бассейна настраивается на работу при наиболее интенсивном солнечном свете. Если в течение этого времени датчики определяют, что в солнечный коллектор подается достаточное количество тепла, они дают команду воде бассейна проходить через теплообменник солнечного коллектора, где она нагревается. (Когда температура воды достигает температуры, установленной в программе нагрева, она просто проходит через теплообменник и попадает обратно в бассейн с водой, нагретой до нужной температуры). Внутри теплообменника вода нагревается под действием теплоносителя, который циркулирует в замкнутой системе соединенных солнечных панелей. Нагретая таким образом вода возвращается в бассейн. Когда солнечная панель остывает, вода через нее не протекает» [9].

Солнечная панель чаще всего размещается на крыше, но при ее установке необходимо соблюдать основные правила проектирования. Как

«обратный клапан, так и вентиляционные клапаны (воздушные клапаны) должны располагаться более чем на 1 метр выше уровня воды в бассейне, чтобы предотвратить обратный поток в бассейн и сплющивание шлангов, когда солнечный коллектор выбрасывает воду в конце каждого рабочего цикла. Все соединения с системой фильтрации бассейна должны быть подключены после фильтра, перед всеми существующими обычными нагревателями, чтобы избежать избыточного давления в системе.

В частных сезонных бассейнах сегодня, как правило, предпочтение отдается открытой системе (рисунок 15, а).

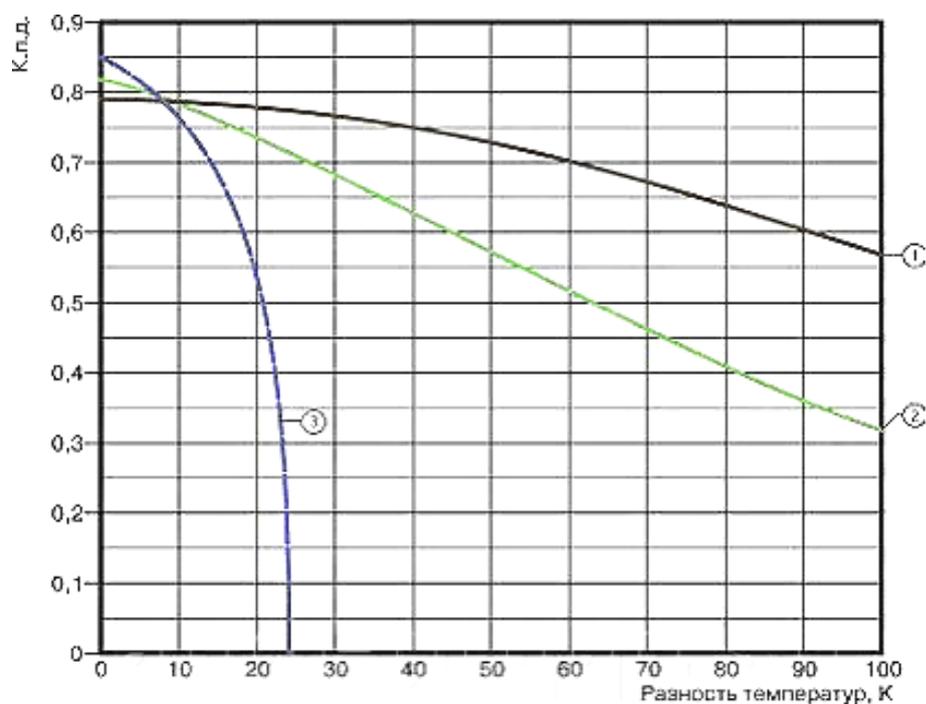
Что касается мероприятий при обслуживании и эксплуатации солнечных установок для обогрева плавательных бассейнов, то можно сказать, что они самые простые. На самом деле, в большинстве случаев не требуется никаких дополнительных мер, кроме обычной очистки фильтра и подготовки к зимнему сезону. На зиму вода сливается из системы; однако иногда в этом нет необходимости, если система делает это автоматически» [9].

Схема комбинированной системы солнечного теплового насоса для обогрева плавательного бассейна показана на рисунке 15, б. Летом в бассейне поддерживается температура не менее 20°C. Это обеспечивается солнечным коллектором. В случае неблагоприятных погодных условий включается тепловой насос, который использует солнечную панель в качестве испарителя.

Для нагрева воды в плавательном бассейне могут использоваться следующие типы солнечных коллекторов:

- вакуумные трубчатые солнечные коллекторы;
- плоские или высокоселективные плоские солнечные коллекторы;
- абсорберы;
- другие.

На рисунок 16 показан график КПД различных типов солнечных коллекторов при мощности солнечного излучения в 600 Вт/м².



1 – вакуумный трубчатый солнечный коллектор; 2 – плоский солнечный коллектор с селективным покрытием; 3 – открытый солнечный коллектор/абсорбер

Рисунок 16 – График КПД гелиоколлекторов

Устройство вакуумного трубчатого солнечного коллектора (рисунок 17) напоминает термос. «Он состоит из стеклянной трубы на внутренней поверхности которой нанесено высокоселективное покрытие, эффективно улавливающее солнечную энергию. Наружная сторона такой трубки прозрачна. Между внутренней и внешней стенкой находится вакуум. Вакуум служит естественным и эффективным теплоизолятором. Внутри коллектора есть жидкость с низкой температурой кипения кипящая или теплоноситель [9]. Полая стеклянная трубка – колба в зависимости от конструкции бывает одно и двух стенными. Медный стержень - это теплообменник» [11].

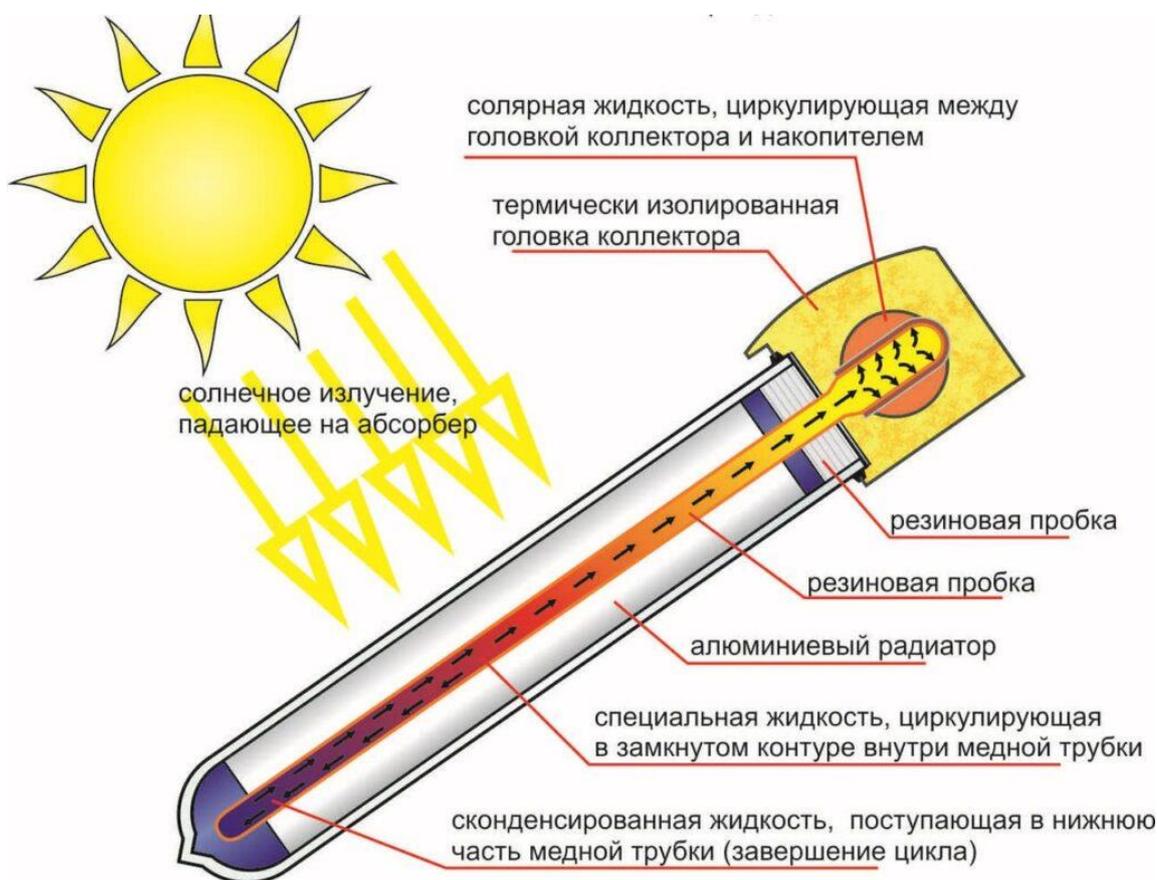


Рисунок 17 – Конструкция вакуумного коллектора солнечной энергии

«При облучении установки солнечным светом жидкость, находящаяся в нижней части трубки, нагреваясь, превращается в пар. Пары поднимаются в верхнюю часть трубки (конденсатор), где конденсируясь, отдают тепло коллектору» [11].

Преимущества вакуумированного трубчатого солнечного коллектора применительно к нагреву воды в сезонном бассейне:

- возможность совмещения с низкотемпературной системой отопления после окончания сезона эксплуатации бассейна;
- максимальный КПД на низких температурах воздуха среди всех коллекторов;
- способность улавливать как прямую, так и рассеянную радиацию;
- стационарная установка без применения гелиоследящих устройств;

Недостатки вакуумированного трубчатого солнечного коллектора:

- хрупкость светопрозрачного покрытия;

- малое отношение апертурной площади к общей площади плоского солнечного коллектора;
- использование промежуточного теплоносителя;
- высокая стоимость, сложность в изготовлении.

По данным производителя вакуумные коллекторы остаются эффективными даже зимой и пасмурную погоду, что дает возможность продлить купальный сезон для открытых водоемов на несколько месяцев (с апреля по октябрь). После наступления глубокой осени трубчатый водонагреватель будет компенсировать около 20% тепловой энергии.

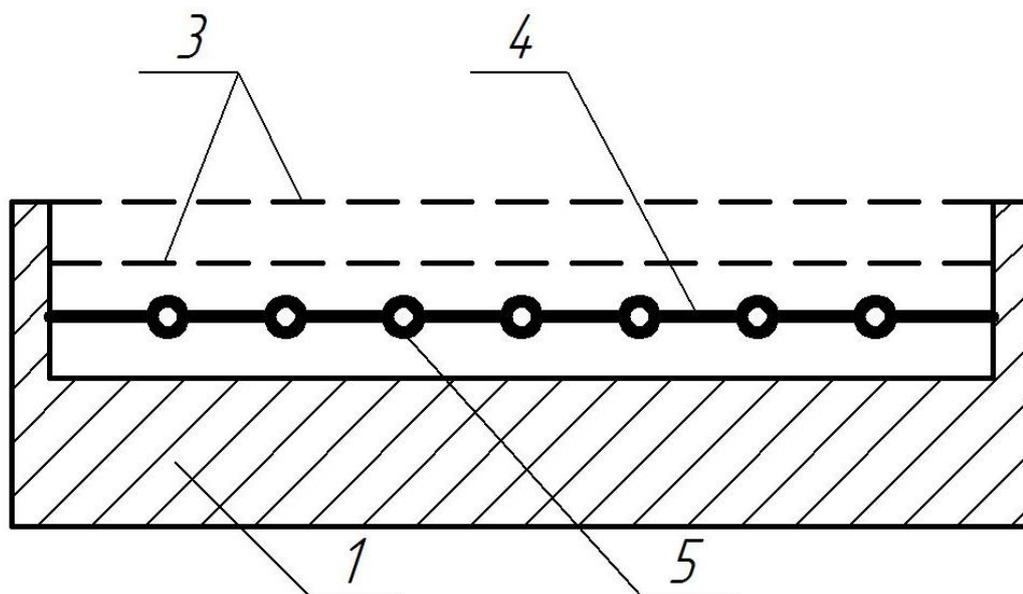
Менее сложные в изготовлении плоские коллектора состоят из элемента, поглощающего солнечное излучение (абсорбера), прозрачного покрытия и теплоизолирующего слоя (рис 18).



Рисунок 18 – Плоский коллектор

«Плоские водонагреватели рекомендуется использовать в регионах с умеренным и жарким климатом. После нагрева в коллекторе вода подается в бассейн. Плоские солнечные коллекторы для бассейнов особенно эффективны в ясную солнечную погоду. Осенью и в зимнее время года, теплоотдача панельной гелиоустановки снижается» [50].

На рисунок 19 схематично показано поперечное сечение высокоселективного плоского солнечного коллектора.



1 – тепловая изоляция; 3 – светопрозрачные покрытия; 4 – поглощающая пластина;
5 – трубы, соединенные с пластиной

Рисунок 19 – Схематическое изображение плоского солнечного коллектора для бассейна

«Прозрачное покрытие обычно состоит из стекла. Стекло обладает отличной атмосферостойкостью и хорошими механическими свойствами. Оно относительно недорого и может иметь высокую прозрачность при низком содержании оксида железа. Недостатки стекла – хрупкость и большая масса. В дополнение к стеклу также могут быть использованы пластиковые материалы. Пластик обычно менее подвержен поломке, легкий и недорогой в виде тонких пластин. Однако обычно он не так устойчив к воздействию вредных факторов, как стекло. Царапины легко наносятся на поверхность пластиковой пленки или листа, и многие пластмассы со временем разлагаются и желтеют, что снижает их пропускание солнечного излучения и снижает механическую прочность. Еще одно преимущество стекла перед пластиком заключается в том, что стекло отлично поглощает или отражает все длинноволновое (тепловое) излучение, попадающее на поглощающую панель.

При этом потери тепла в окружающую среду за счет излучения снижаются более эффективно, чем при пластиковом покрытии, которое пропускает часть длинноволнового излучения. Плоский коллектор поглощает как прямое, так и рассеянное излучение. Обычным способом повышения эффективности коллектора было использование поглотителя из медного листа из-за его высокой теплопроводности, стали и алюминия. Поглотитель покрыт черной краской или специальным оптически селективным покрытием, которое максимально поглощает тепловую энергию для повышения эффективности. Это покрытие является единственным научно сложным элементом конструкции устройства» [9].

Современные солнечные коллекторы способны нагревать воду до точки кипения даже при отрицательной температуре окружающей среды.

Преимущества плоского коллектора [11]:

- большая площадь поглотителя;
- большое отношение площади проема к общей площади гелиоколлектора;
- стоимость ниже, чем у вакуумных коллекторов;
- возможность применения как прямого, так и рассеянного излучения;
- стационарная установка без использования солнечных трекеров;
- стоимость гелиосистемы может быть значительно снижена за счет комбинирования конструкции крыши с плоским коллектором.

Недостатки плоского коллектора:

- хрупкость светопрозрачного покрытия;
- стоимость изготовления и монтажа системы.

В последнее время для обогрева сезонных бассейнов стали встречаться самодельные плоские солнечные абсорберы из трубы ПНД как со стеклом, так и без него (рисунок 20).



Рисунок 20 – Пример самодельного плоского солнечного абсорбера для бассейна

В продаже есть открытые пирамидные абсорберы заводского изготовления (рисунок 21). Гелиоустановки имеют компактные габариты, которые по словам производителя в летнее время года дают достаточно тепловой энергии, чтобы прогреть воду для комфортных 23-25°C. Однако для какого объема применяется данное утверждение не понятно. Принцип работы гелиопирамиды следующий: установка подключается к насосу, роль абсорбера играют шланги с диаметром от 25-40 мм, вся конструкция ставится на отражатель, вода нагревается и принудительно закачивается в бассейн.



Рисунок 21 – Пирамидные абсорберы заводского изготовления

Закрытые пирамидные абсорберы заводского изготовления показаны на рисунок 22, 23.

Использование солнечного коллектора Azuro Pyramid Spiral, по словам производителя, позволяет повысить температуру воды в бассейне на 6°C, однако данный показатель напрямую зависит от количества солнечных лучей. Для большей эффективности обогрева предусмотрены специальные ножки, обеспечивающие наклон коллектора на 30 градусов по направлению к Солнцу. Размещать панель рекомендуется на солнечных участках, озаряемых Солнцем не менее 6 часов в день. При этом необходимо помнить, что повышенная температура воды является идеальным источником для роста бактерий и водорослей, а также может отрицательно влиять на качество пленки бассейна, давая толчок к размягчению. Имеет характеристики:

- Длина: 120 см;
- Ширина: 80 см;
- Высота: 40 см;

- Поверхность: 0.96 кв.м;
- Вес: 5.5 кг;
- Цена 22355 руб;
- Объем бассейна: 15 куб.м.



Рисунок 22 – Коллектор солнечный Azuro Pyramid Spiral 1,2×0,8×0,4

Солнечный коллектор Kokido Keops рисунок 23, по словам производителя, станет подходит для бассейнов объемом до 10000 л.

Имеет характеристики:

- Длина: 57 см;
- Ширина: 57см;
- Высота:32см;
- Объем бассейна: 10 куб.м.



Рисунок 23 – Солнечный коллектор Kokido Кеорс

Наиболее часто для подогрева воды сезонных бассейнов используются гибкие коллекторы (абсорберы) (рисунки 24, 25, 26), которые визуально напоминают резиновый коврик. Относятся к типу открытых коллекторов абсорберов. В резиновом солнечном водонагревателе предусмотрены каналы для циркуляции теплоносителя «Открытый солнечный коллектор (абсорбер) должен быть изготовлен из коррозионностойких материалов, чтобы не подвергаться агрессивному действию воды из бассейна. Кроме того, материал должен:

- выдерживать температуру от -30 до 70°C ;
- обладать хорошей поглощательной способностью;
- обладать высоким коэффициентом теплопроводности.

Через гелиоколлектор прокачивается большое количество воды, и должно быть обеспечено такое поперечное сечение каналов, чтобы гидравлическое сопротивление было минимальным» [19].



Рисунок 24– Солнечный гибкий коллектор (абсорбер)



Рисунок 25 – Солнечный гибкий коллектор (абсорбер) Azuro



Рисунок 26 – Пример расположения гибкого коллектора (абсорбер)

Наиболее подходящими материалами являются окрашенные в черный цвет:

- полиэтилен;
- полипропилен;
- синтетический каучук.

Первые два материала дешевы, а каучук значительно дороже, но более стойкий. Гибкий солнечный коллектор для бассейнов не имеет остекления, вода в нем подогревается на $3,5^{\circ}\text{C}$, а ее КПД зависит от температуры воздуха.

«Гелиоколлекторы эффективно работают при солнечной погоде, быстро нагревая и поддерживая необходимую температуру воды в бассейне. Циркуляцию теплоносителя обеспечивает насосная станция, работающая в постоянном режиме. Гибкие солнечные коллекторы для бассейнов легко транспортировать. При необходимости их просто сворачивают как коврик. Размеры резинового коллектора подбираются индивидуально по площади бассейна» [23].

Продаются солнечные установки для домашнего и коммерческого использования. Наиболее популярными производителями являются:

Intex – это компания, которая производит аксессуары для плавания в бассейне под открытым небом, а также солнечные водонагреватели для него. В частности, началось производство гибких солнечных коллекторов.

Azuro – чешская компания, которая производит бассейны и все необходимое для их работы. Ассортимент включает в себя две линии водонагревателей:

Azuro Shelter – гибкие солнечные панели с возможностью установки как в виде прямого, развернутого листа, так и дуги. Поглощенная площадь 1,84 м².

Спиральные пирамидальные панели Azuro общей площадью поглощения солнечной энергии 0,96 м²;

Kokido Keops – это купольный коллектор, предназначенный для нагрева воды в каркасных и готовых бассейнах. Разрешено подключать 4 отдельных модуля к одной системе. Согласно техническим данным этой солнечной системе удастся нагреть 40 м³ воды.

Sunheater – торговая марка американской компании SmartPool Inc. Гибкий солнечный обогреватель можно установить на крыше или установить на раму рядом с бассейном. Длина всасывающей пленки 6 м, ширина 0,6 м.

Speck BADU BK – еще одна популярная модель гибкого солнечного коллектора. Согласно техническим данным эта солнечная система увеличивает температуру воды в бассейне на 10-15°C, после чего она автоматически поддерживает температуру. Продукт имеет хорошее качество сборки.

Описанные модели подходят для домашнего использования.

Для коммерческих целей рекомендуется установка полных трубчатых или пластинчатых солнечных систем следующих производителей: Atmosfera, Sidite, Vaillant, SunRain, Viessmann, YaSolar [9].

Применение гелио концентраторов (ω-образного или параболического концентратора) для подогрева воды в сезонных бассейнах (рисунки 27, 28, 29, 30), не смотря на перспективность, на сегодняшний день в Самарской области ограничено из-за высокой стоимости [12], [20]-[56].



Рисунок 27 – Пример использования ω -образного концентратора в системах ГВС



Рисунок 28 – Концентратор с системой гелиослежения



Рисунок 29 – Параболический концентратор энергии



Рисунок 30 – Параболический концентратор с двигателем Стирлинга для совместной выработки тепловой и электрической энергии

Применение гелиоконцентраторов солнечной энергии для подогрева воды в сезонных бассейнах на базе оптических линз и линз Френеля, на сегодняшний день в Самарской области ограничено из-за высокой стоимости.

1.3 Оценка поступления солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов в Самарской области

Применение солнечной энергии на нагрев воды в Самарской области, с научной точки зрения, достаточно полно рассмотрено в работах Алмаева А.Ю. [14], [17]-[21].

Расчет систем солнечных коллекторов для подогрева воды в плавательном бассейне зависит от интенсивности солнечного облучения площади абсорбера. Интенсивность солнечной радиации зависит от широты, времени года и долготы дня. Она – величина не постоянная и изменяется в течение дня. Кроме того, она хаотически колеблется при переменах погодных условий.

«Геометрические соотношения, описывающие положения плоскости, определенным образом ориентированной относительно Земли в какой-либо момент времени, и прямого солнечного излучения могут быть описаны с помощью ряда углов (рисунок 31) [9].

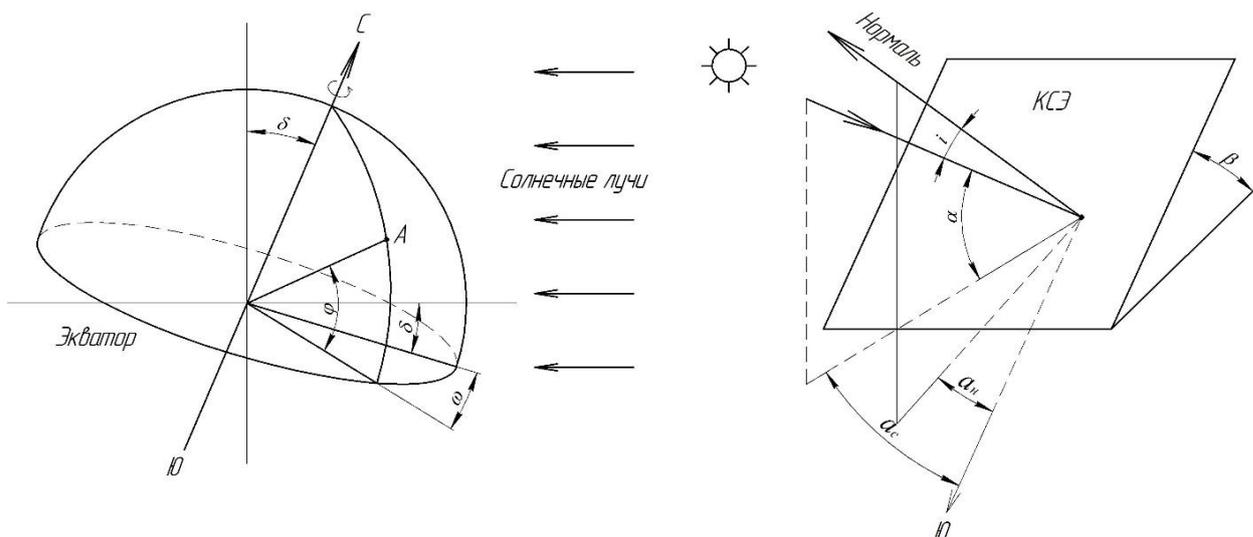


Рисунок 31 – Углы, характеризующие положение точки на земной поверхности (слева) и наклонной поверхности солнечной энергии (справа) относительно солнечных лучей

На рисунке 31:

– α – угол высоты Солнца, град;

- φ – широта местности, град;
- δ – склонение (угловое положение Солнца в солнечный день относительно плоскости экватора), град;
- β – угол между рассматриваемой плоскостью и горизонтальной поверхностью), град;
- ω_3 – часовой угол захода Солнца на горизонтальной поверхности, град;
- ω_3^1 – часовой угол захода Солнца на наклонной поверхности, град;
- a – азимутальный угол плоскости (с – Солнца, н – наклонной поверхности), град;
- i – угол падения прямого солнечного излучения на наклонную поверхность, град.

Среднемесячное дневное количество суммарной солнечной энергии, МДж/(м²·день), поступающей на наклонную поверхность, равно [9]:

$$\overline{E}_k = \overline{R} \cdot \overline{E}, \quad (1)$$

где \overline{E} – среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/(м²·день); \overline{R} – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную и горизонтальную поверхности.

Для наклонной поверхности с южной ориентацией [9]:

$$R = \left(1 - \frac{\overline{E}_d}{\overline{E}}\right) \cdot \overline{R}_n + \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \frac{\overline{E}_d}{\overline{E}} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (2)$$

где \overline{E}_d – среднемесячное дневное количество диффузной (рассеянной) солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность,

МДж/(м²·день); \bar{R}_n – коэффициент пересчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность; ρ – коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли. Обычно летом $\rho = 0,2$, а зимой при наличии снежного покрова $\rho = 0,7$ » [9].

«Для прогнозирования уровня солнечной радиации на практике используют усредненные данные многолетних актинометрических измерений, которые фрагментарно описаны в научных и прикладных справочниках [9, 10, 11, 12, 13]. Количество солнечной радиации зависит от прозрачности атмосферы, высоты солнца и времени года. Измерения солнечной радиации проводятся актинометрами и пиргелиометрами. Интенсивность солнечного излучения обычно измеряется с точки зрения его теплового эффекта и выражается в МДж или кВтч на единицу площади поверхности в единицу времени.

Для оценки потенциала солнечной энергии используют данные солнечной радиации (параметры временного распределения месячных и годовых часов солнечного сияния, часы солнечного сияния), компоненты радиационного баланса (часовые суммы прямой, рассеянной, суммарной, отраженной и поглощенной солнечной радиации, поступающей на нормальную и горизонтальную к лучу поверхность при средних условиях облачности) и др. На рисунок 32 показано распределение среднесуточного количества солнечной радиации на горизонтальную поверхность по территории Российской Федерации» [9].

«Для Самарской области суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при безоблачном небе (МДж/м²) по месяцам года приведена в таблице 2 [46], тоже при средней облачности в таблице 3 [9] и рисунок 33.



Рисунок 32 – Среднедневная сумма солнечной радиации на горизонтальной поверхности на территории Российской Федерации

Таблица 2 – Суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность при безоблачном небе ($\text{МДж}/\text{м}^2$)

Широта, с.ш.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
51	176	293	527	694	863	901	878	738	552	380	214	143	6358
52	161	279	514	683	858	899	875	731	540	364	200	130	6234
53	148	265	501	674	854	898	873	724	529	349	186	117	6119
54	135	252	488	666	852	898	872	719	517	334	173	105	6011
55	123	239	476	659	850	899	871	716	506	319	160	94	5912
56	112	226	464	653	850	901	872	713	495	305	148	82	5820

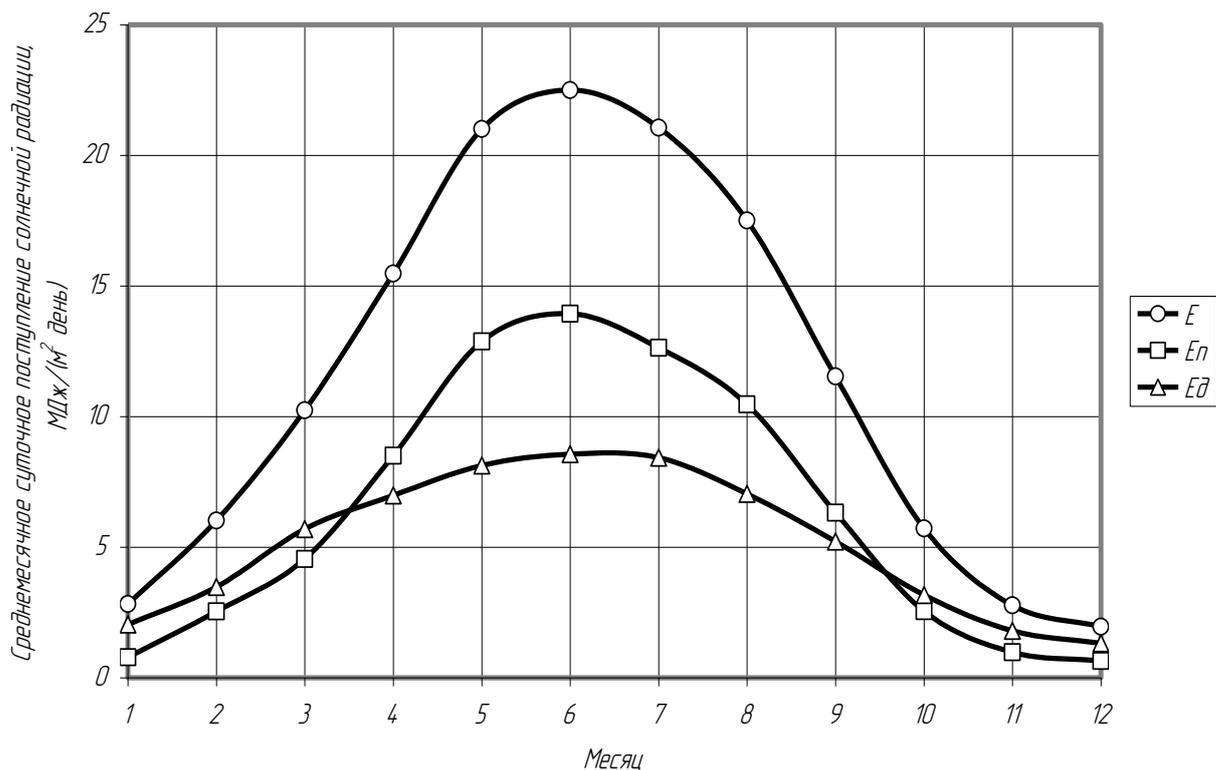


Рисунок 33 – Среднемесячное суточное поступление суммарной E диффузной E_d (рассеянной) и прямой E_n солнечной радиации МДж/(м²·день), поступающей на горизонтальную поверхность, для Самарской области Российской Федерации

Экономическая эффективность применения солнечного теплоснабжения для подогрева воды в сезонных бассейнах Самарской области зависит от продолжительности использования их в течение года. Поступление солнечной энергии летние месяцы многократно больше, чем осенью, весной и, тем более, зимой. При попытке увеличения срока эксплуатации бассейна применением гелиоустановок, для полного замещения теплопотерь солнечные водонагревательные установки должны иметь большую поверхность коллекторов. Ресурсы солнечной энергии с оценкой эффективности их практического использования на территории России наиболее полно изучены группой российских ученых (Попель О.С., Фрид С.Е., Киселева С.В., Тарасенко А.Б.) и представлены в работе» [9].

Таблица 3 – Среднемесячное суточное поступление суммарной E диффузной E_d (рассеянной) и прямой E_n солнечной радиации МДж/(м²·день), поступающей на горизонтальную поверхность, для Самарской области (рисунок 33)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
E_n	0,79	2,54	4,55	8,5	12,88	13,94	12,63	10,47	6,32	2,55	0,98	0,64	2344
E_d	2,04	3,48	5,69	6,98	8,13	8,56	8,43	7,04	5,22	3,17	1,8	1,32	1883
E	2,83	6,02	10,24	15,48	21,01	22,5	21,06	17,51	11,54	5,72	2,78	1,96	4227

«Оптимальная ориентация гелиосистем – южная. При отклонении до 30° к востоку или западу от южного направления годовое количество поступающей солнечной энергии уменьшается на 5–10%.

Размещение солнечных коллекторов в пространстве определяется с учетом ландшафтных и климатических условий, способа застройки. Ориентация солнечных коллекторов считается оптимальной, если она имеет направление на юг с небольшими отклонениями на восток до 20°, или на запад – до 30° [15].

Для Самарской области следует принимать угол наклона солнечных коллекторов к горизонту при круглогодичной работе установки, равным 53°; только в теплый период – 38°; в холодный период – 68°.

Обычно при проектировании предусматривают возможность очистки солнечных коллекторов солнечной энергии.

Опыт использования показывает, что для более эффективной работы солнечные коллекторы можно соединять в группы по смешанной схеме. Движение теплоносителя в солнечных коллекторах лучше предусматривать «снизу вверх» [9].

При установке вакуумного трубчатого солнечного коллектора на плоской крыше под углом <15° направление гелиоколлектора на стороны горизонта благодаря высокому солнцестоянию в летние месяцы имеет второстепенное

значение. Эффективный отвод тепла от гелиосистемы к воде в бассейне предполагает большую пропускную возможность системы при относительно небольшом повышении температуры. При пропускной возможности 70 - 100 литров в час/м² площади поверхности абсорбера при интенсивности солнечного облучения 800 Вт/м² устанавливается разбежка между температурами в подающем и обратном трубопроводах в пределах приблизительно 6-8 К.

Выводы по главе 1:

Основные предпосылки использования солнечной энергии для подогрева сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области:

- Устойчивая тенденция массовой миграции населения из городов на приусадебные участки, дачи, в сельскую местность для сезонного или круглогодичного проживания.

- Низкая стоимость каркасных и надувных бассейнов.

- Эксплуатация бассейнов осенью и весной.

- Высокая стоимость электроэнергии для нагрева бассейна

- Отсутствие дешевого первичного энергоносителя (природного газа)

на большинстве СНТ Самарской области

- Возможность совмещения строительных конструкций с гелиоустановкой.

На приусадебных участках Самарской области применяются схемы солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов с естественной и с принудительной циркуляцией. На момент проведения литературного обзора в продаже существуют громадное количество дешевых и дорогих гелиосистем, применяемых для подогрева воды в бассейне, начиная с открытых водяных матов, заканчивая сложнейшими системами с возможностью подключения теплового насоса. Однако четких рекомендаций по их расчету и подбору в климатических условиях Самарской области нет.

Экономическая эффективность применения солнечного теплоснабжения для подогрева воды в сезонных бассейнах Самарской области зависит от продолжительности использования их в течение года. Поступление солнечной энергии летние месяцы многократно больше, чем осенью, весной и, тем более, зимой. При попытке увеличения срока эксплуатации бассейна применением гелиоустановок, для полного замещения теплотерь солнечные водонагревательные установки должны иметь большую поверхность коллекторов.

Глава 2 Расчет теплообмена сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области

2.1 Определение составляющих теплового баланса при эксплуатации сезонных бассейнов

Для определения необходимой площади поверхности солнечного коллектора для подогрева воды сезонного бассейна находятся все теплопотери и теплопоступления с учетом нестационарности процессов.

Эксплуатация сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области ограничена во времени, так как зависит от целого ряда климатических особенностей региона [24, 25] и режима эксплуатации. В рамках работы рассмотрим влияние температуры наружного воздуха на примере расчета теплообмена бассейна Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см и высотой бортов 106 см (высота заполнения 96 см) установленный на подложку из пенополистирола (2 см) (рисунок 34).



Рисунок 34 – Бассейн Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см и высотой бортов 106 см

В качестве расчетной температуры воды примем 29°C (минимальная рекомендуемая для детского бассейна), а за расчетную температуру наружного воздуха, ввиду высокой тепловой инерции (масса воды около 10

тонн), примем среднюю температуру месяца согласно СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» (рисунок 35).

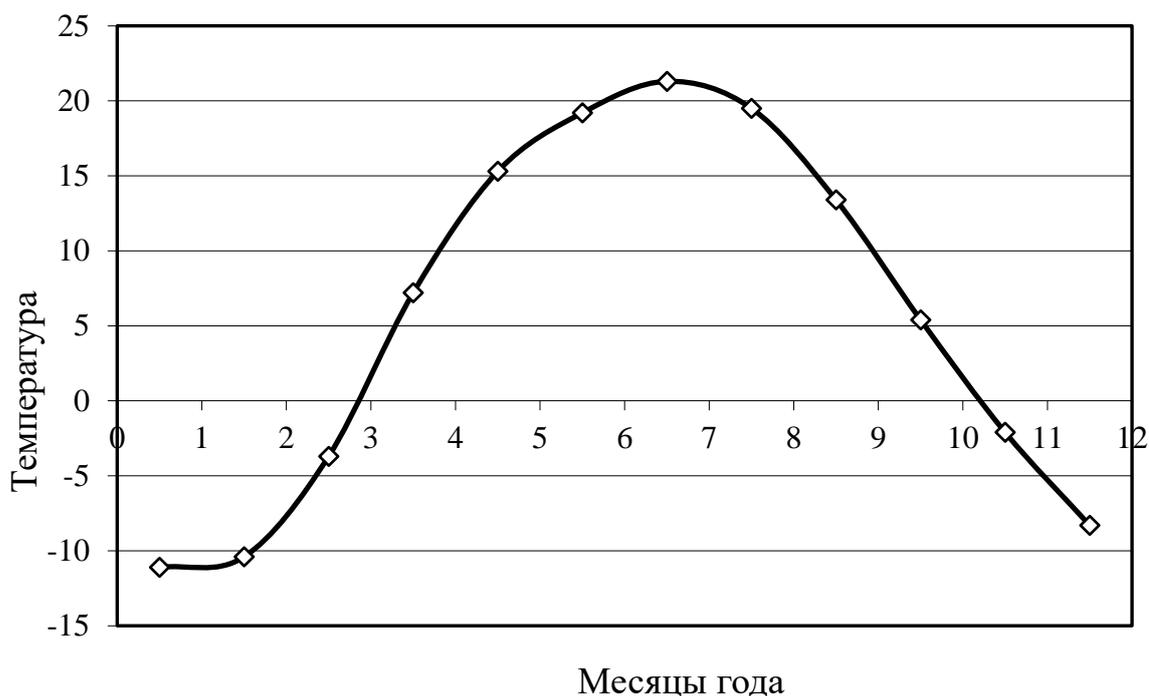


Рисунок 35 – Средние температуры по месяцам в Самарской области

Рассмотрим составляющие теплового баланса.

Бассейн теряет тепло при:

- Испарении воды;
- Нагреве подпиточной воды;
- Естественной конвекции и излучении в окружающую среду;
- Первичном подогреве воды;
- В грунт.

Потеря тепла также зависит от привычек пользователей бассейна. Анализ общей потери тепла в открытых бассейнах показал, что если потери тепла от контакта воды с чашей бассейна практически невозможно уменьшить без существенной доработки его конструкции, то потери тепла на открытой поверхности бассейна за счет конвекции, теплового излучения и переноса вещества могут быть значительно уменьшены. Наиболее благоприятно покрыть зеркало бассейна специальным, плохо теплопроводящим

энергосберегающим материалом на время, когда бассейн используется не по назначению (при простое) [30, 32]. Для небольших бассейнов между поверхностью воды и покрытием за счет его натяжения может быть оставаться воздушный зазор, обладающий определенным сопротивлением теплопередачи.

Общая потеря тепла в открытом бассейне составляет Вт:

$$Q_{\text{сумм}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{стен}} + Q_{\text{дна}} + Q_{\text{крыш}}. \quad (3 \quad)$$

В открытых бассейнах без солнечного подогрева температура воды повышается или остается постоянной в течение дня и значительно падает ночью. Проверки показывают, что потери тепла при нагревании воды искусственного водоема уменьшаются примерно в два раза, если используется специальное покрытие ночью или в то время, когда бассейн не используется. Устройство для покрытия значительно уменьшает испарение, сильно уменьшает излучение и в некоторой степени уменьшает потери тепла от конвекции. С помощью натянутого покрытия над поверхностью воды открытых бассейнов в период наибольших теплопотерь весной и осенью можно добиться их уменьшения. При этом следует отметить, что из-за большого удельного веса излучения в общих потерях тепла теплоизоляционные свойства покрытия имеют колоссальное значение. Экономия за счет использования пленки без теплоизоляции составляет всего 30-40% по сравнению с теплоизоляционным покрытием. В течение дня, когда бассейн не используется, следует заменить покрытие на прозрачное, чтобы использовать солнечный свет. Вода должна быть удалена с поверхности крышки, так как накопление дождевой воды на поверхности крышки способствует потере тепла из-за испарения. Как показали исследования, такое покрытие из полупрозрачного теплоизоляционного верхнего слоя и поглощающего слоя, прилегающего к воде, в благоприятных погодных условиях значительно улучшает поглощение солнечного света. Если глубина

бассейна не превышает 1 м, пол и стены можно покрасить краской с высокой поглотательной способностью. Используя эту технологию, можно превратить чашу для бассейна в солнечную панель.

В зависимости от режимов эксплуатации отличаются теплотери открытых каркасных сезонных бассейнов в момент заполнения водой, непосредственного использования (с открытым зеркалом) и накрытый герметичной (исключающей испарение) пленкой.

Для анализа распределения теплотери рассмотрим третий режим при отсутствии потерь тепла за счет испарения воды с поверхности бассейна, естественной и вынужденной конвекции с поверхности и на нагрев подпитки (рисунок 35).

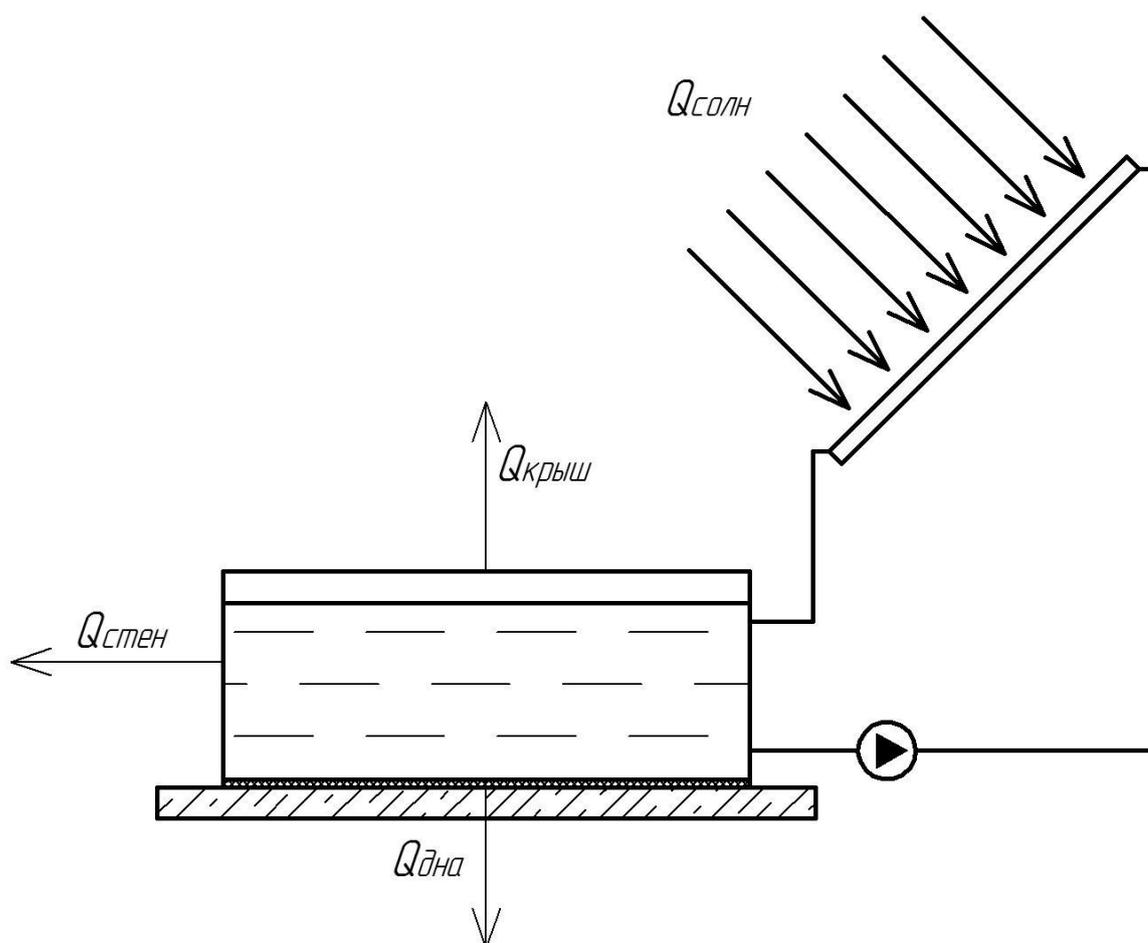


Рисунок 35 – Принципиальная схема потерь тепла каркасного бассейна, накрытого герметичной (исключающей испарение) пленкой

Потери тепла происходят через наружные стенки, через верхнюю поверхность через воздушную прослойку толщиной 10 см, и в грунт (через 2 см экструдированного пенополистирола). Расчет ведется классическими методами теории теплообмена [1]-[56] результаты расчета для разных средне месячных температур приведены в таблице 4 и на рисунке 36.

Таблица 4 – Потери бассейна Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см с покрытием

Месяц	$T_{в}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{стен}}$	$Q_{\text{крыш}}$	$Q_{\text{дна}}$	$Q_{\text{общ}}$
1	-11,1	11241	1733	1055	14028
2	-10,4	11045	1702	1036	13783
3	-3,7	9166	1413	860	11439
4	7,2	6111	942	573	7626
5	15,3	3840	592	360	4793
6	19,2	2747	423	258	3428
7	21,3	2158	333	203	2694
8	19,5	2663	410	250	3323
9	13,4	4373	674	410	5457
10	5,4	6616	1020	621	8256
11	-2,1	8718	1344	818	10880
12	-8,3	10456	1612	981	13049

Полученные значения можно использовать при расчете площади поверхности солнечных коллекторов для компенсации теплопотерь, однако при этом необходимо учитывать потери тепла за счет испарения воды с поверхности бассейна и затраты тепла на первичный нагрев бассейна и его подпитки.

Расход тепла на подогрев воды в режиме эксплуатации рассчитывается с учетом ежечасных потерь на испарение и нагрев воды на подпитку бассейна.

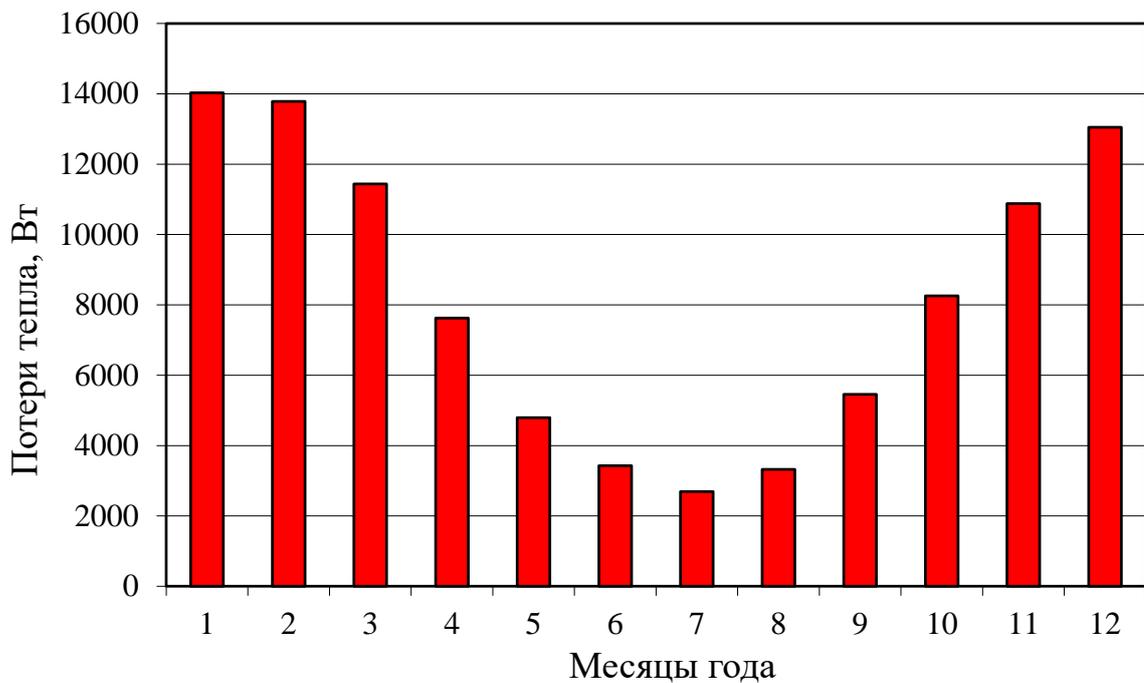


Рисунок 36 – Общие потери тепла накрытого каркасного бассейна Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см с покрытием в тени по месяцам года

Тепловые потери за счет испарения воды. В соответствии с [22] интенсивность испарения, кг/ч, с поверхности открытого бассейна в период бездействия составляет:

$$W_{\delta} = \frac{(320,4 + 281,52 v)}{r} F (P_{ж} - P_{в}), \quad (4)$$

где v – скорость окружающего воздуха над поверхностью зеркала бассейна, м/с; r – теплота парообразования при температуре воды в бассейне, кДж/кг; F – площадь поверхности бассейна, м²; $P_{ж}$ и $P_{в}$ – давление насыщенного водяного пара при температуре поверхности воды в бассейне и температуре окружающего воздуха соответственно, кПа.

В период использования бассейна интенсивность испарения увеличивается ввиду наличия волнообразования и разбрызгивания воды,

создаваемого купающимися, и может быть определена с учетом фактора активности [22, 32] (рисунок 37).

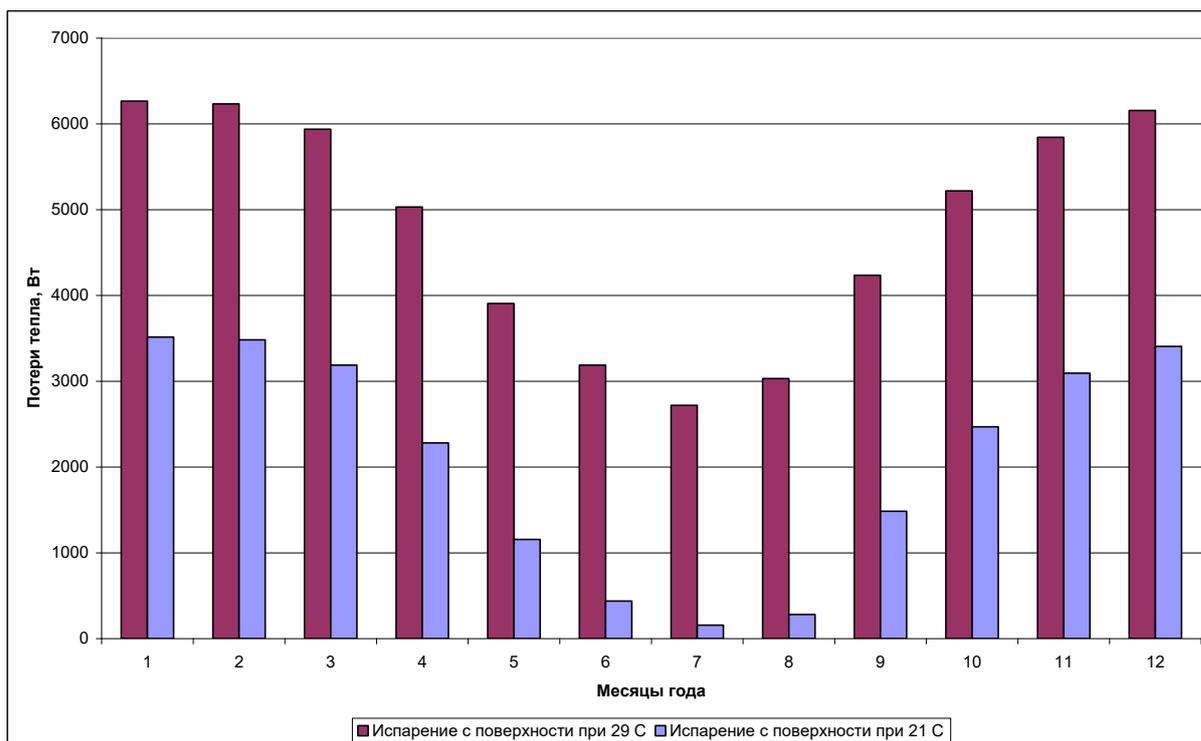


Рисунок 36 – Расход тепла на испарение с поверхности в режиме эксплуатации при температуре воды бассейна 29°С и 21°С

2.2 Анализ потерь и поступлений тепла при эксплуатации сезонных бассейнов

Наибольшие тепловые потери, при эксплуатации бассейнов, наблюдаются за счет испарения воды с поверхности бассейна. Это объясняется тем, что при этом процессе теряется теплота парообразования, которая составляет 2,33 МДж на каждый килограмм испаренной влаги. Теплотери бассейна с учетом поступления энергии солнца для открытого и закрытого бассейна через поверхность приведены на рисунке 38. При расчете принято, что первичный подогрев сильно растянут во времени и не учтен в балансе.

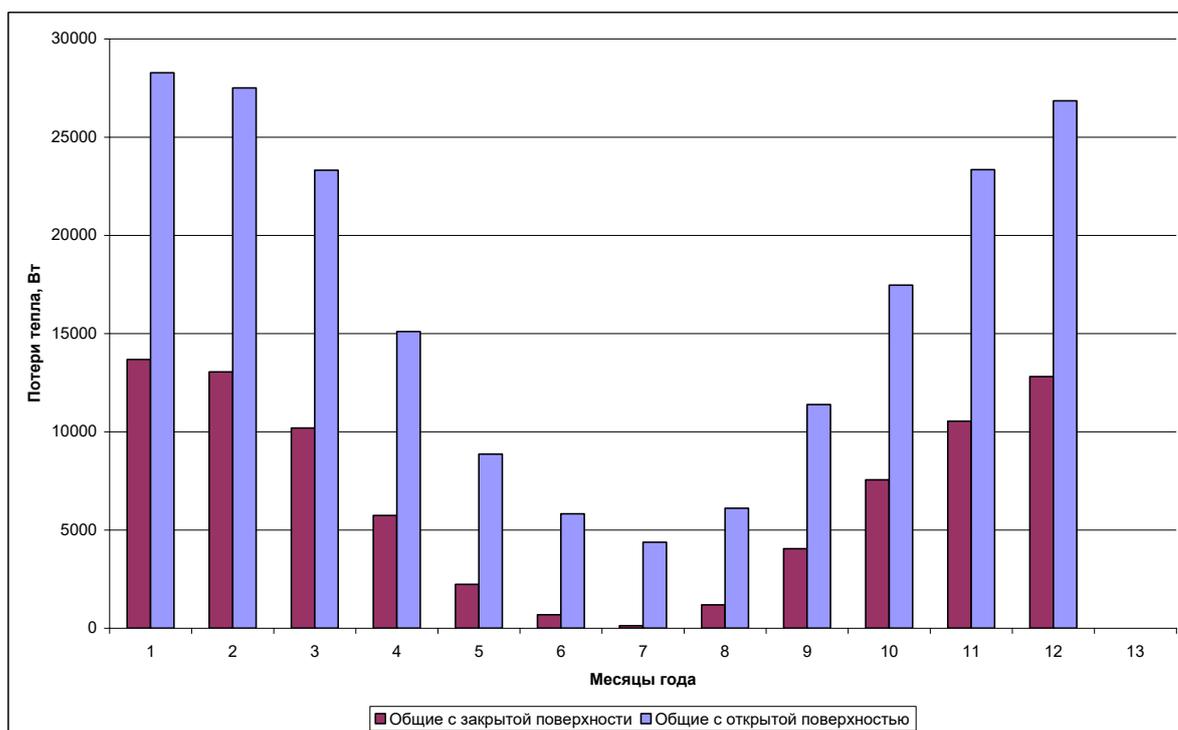


Рисунок 38 – Общие потери тепла бассейна с учетом поступления энергии солнца для открытого и закрытого бассейна через поверхность

Анализ теплового баланса показал, что комфортный срок эксплуатации десяти кубовых каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области при средней расчетной температуре воды 29°C без использования дополнительного обогрева составляет всего 1 месяц (июль), причем это возможно только при соблюдении энергосберегающих мероприятий (рисунок 38).

При снижении уровня гарантированной средней температуры эксплуатации воды в бассейне до 21°C (следует понимать, как 21 и выше) срок эксплуатации увеличивается до 4 месяцев (май, июнь, июль, август) при соблюдении энергосберегающих мероприятий и до 1 месяца если бассейн не накрывать (июль) (рисунок 39).

К энергосберегающим мероприятиям можно добавить утепление стен каркасного бассейна (рисунок 40), но это существенным образом удорожает конструкцию и превращает сезонный каркасный бассейн в стационарный.

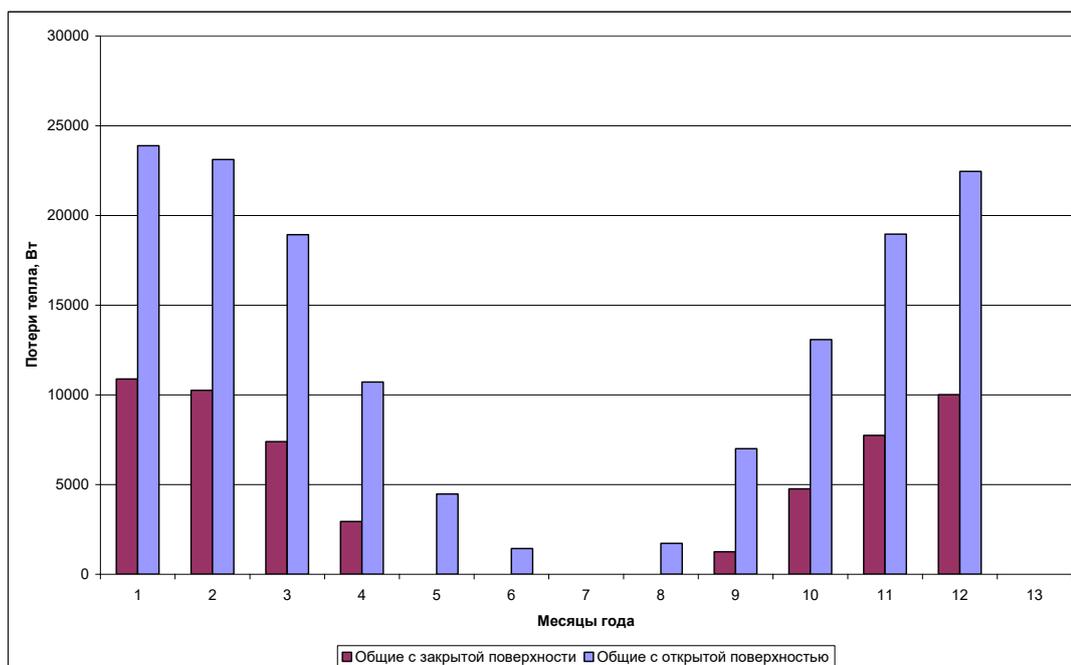


Рисунок 39 – Общие потери тепла бассейна с учетом поступления энергии солнца для открытого и закрытого бассейна через поверхность при минимальной средней температуре воды 21°C

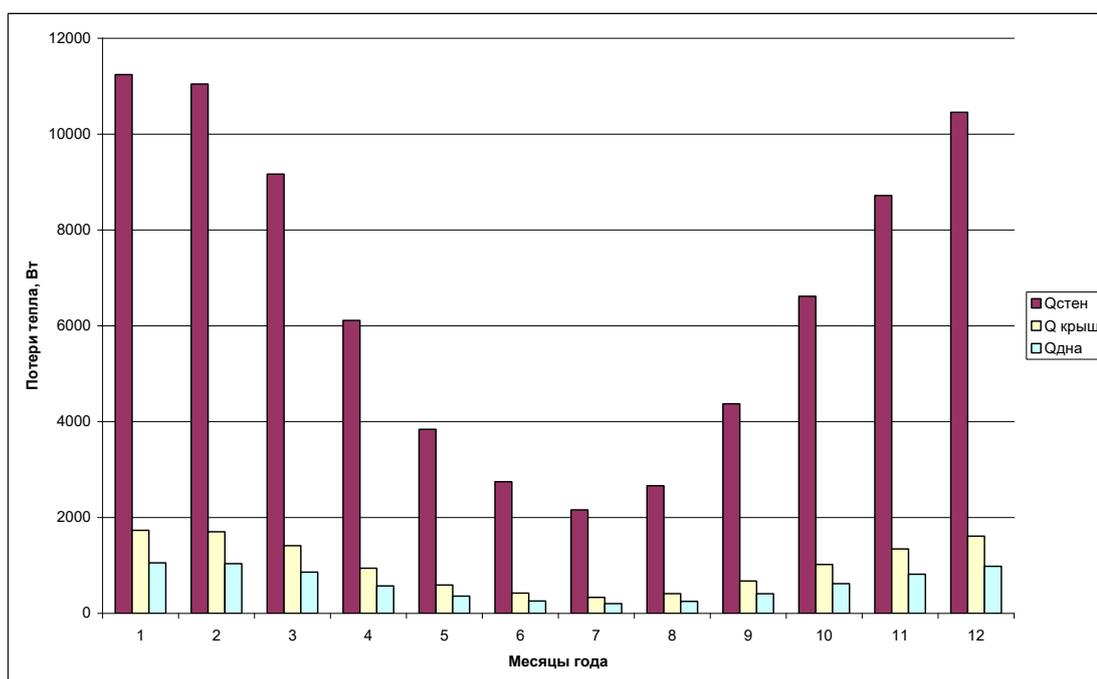


Рисунок 40 – Распределение составляющих теплового баланса накрытого каркасного бассейна Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см по месяцам года

Общие потери тепла при температуре воды 29°C открытого каркасного бассейна (с испарением) без учета солнечной радиации показаны на рисунке 41.

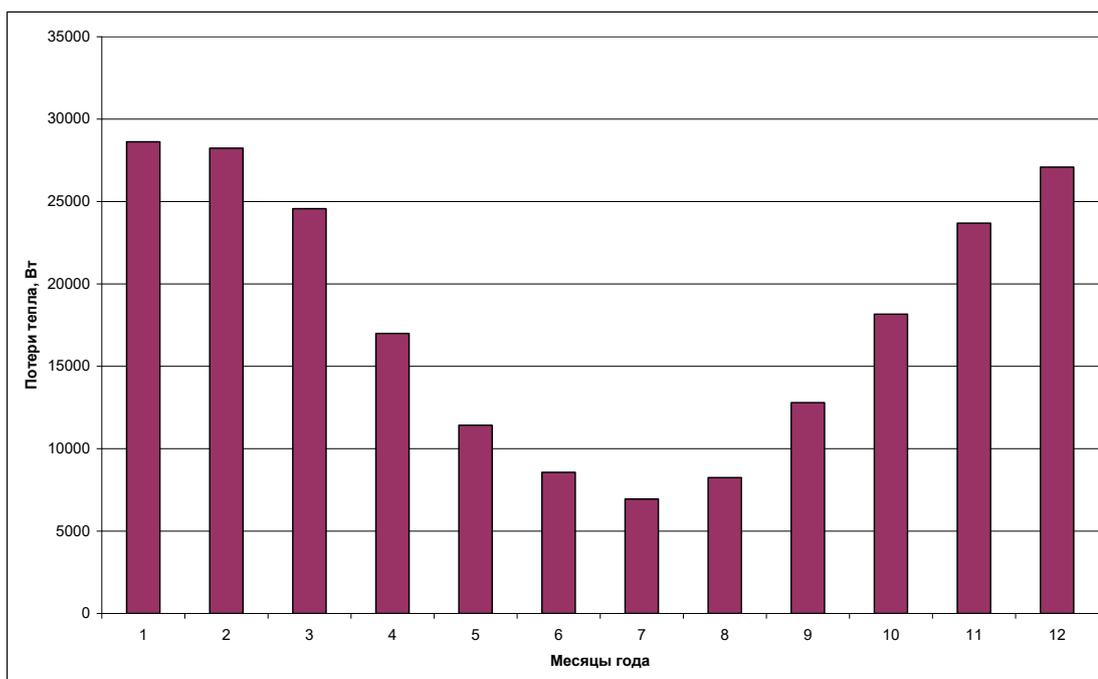


Рисунок 41 – Общие потери тепла открытого каркасного бассейна Bestway Steel Pro Max диаметром 366 см в тени

С учетом вышеизложенного можно построить область удельных потерь тепла бассейном при температурах от 21°C до 29°C в разные периоды года для случаев с энергосберегающими мероприятиями и без них (рисунок 42).

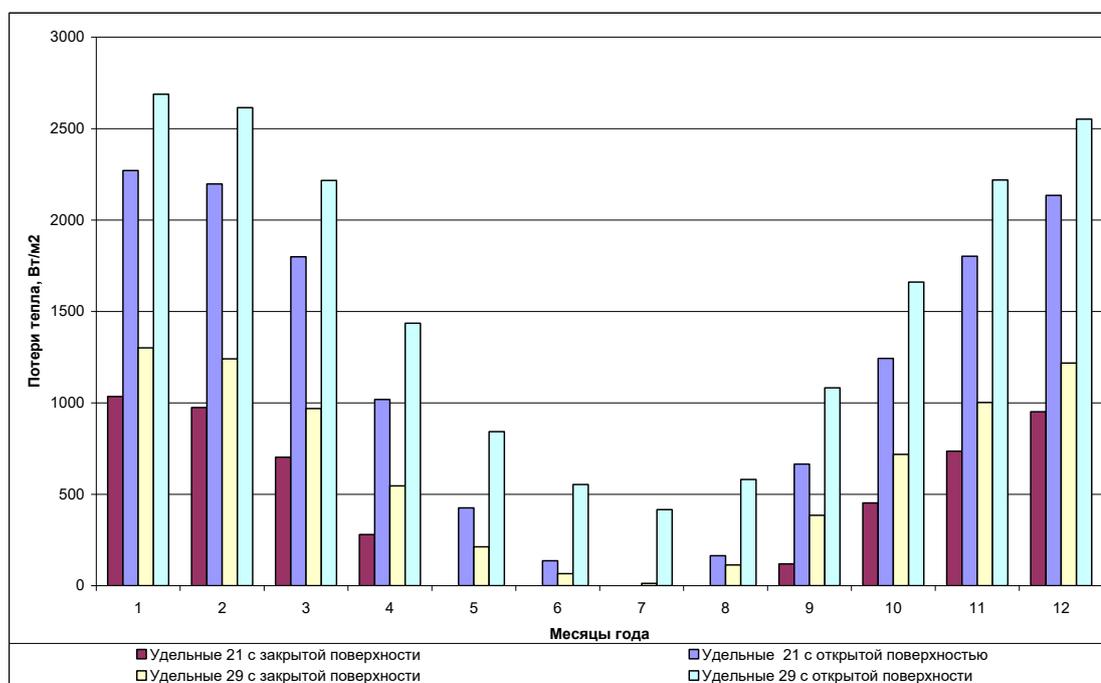


Рисунок 42 – Удельные потери тепла бассейна с учетом поступления энергии солнца для открытого и закрытого бассейна через поверхность при минимальной средней температуре воды 21°C и 29°C

Выводы по главе 2:

Анализ составляющих теплового баланса каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области, показал, что наибольшие тепловые потери, при эксплуатации бассейнов, наблюдаются за счет испарения воды с поверхности бассейна. Установка дополнительного покрытия позволит резко сократить потери тепла, что является энергосберегающим мероприятием. Расчет теплового баланса выявил, что комфортный срок эксплуатации десяти кубовых каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области при средней расчетной температуре воды 29°C без использования дополнительного обогрева составляет всего 1 месяц (июль), причем это возможно только при соблюдении энергосберегающих мероприятий. К энергосберегающим мероприятиям можно добавить утепление стен каркасного бассейна.

Глава 3 Определение необходимой площади солнечного коллектора для подогрева сезонного бассейна в Самарской области

3.1 Определение необходимой площади солнечного коллектора для подогрева сезонного бассейна в Самарской области

Особенностью работы солнечного коллектора для подогрева воды в каркасном сезонном бассейне является низкий температурный напор Δt_{cp} (для Самарской области при t воды 29°C (рисунок 43)), что позволяет при сезонной эксплуатации более широко использовать открытые коллектора. То есть выбор типа коллектора в Самарской области зависит от объема (габаритных размеров) бассейна, располагаемой площади на участке, продолжительности эксплуатации и стоимости. Информация по КПД большинства наиболее часто применяемых солнечных коллекторов для подогрева сезонных бассейнов отсутствует, поэтому для определения необходимой площади горизонтального солнечного коллектора возьмем зависимости, полученные для стальных панельных коллекторов (таблица 5) и (рисунок 44) [9].

Таблица 5 – КПД солнечного коллектора в зависимости от типа и температурного напора Δt

Тип	Δt_{cp}								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Открытый	88,105	85,895	81,895	72,105	50,105	5,8947	0	0	0
Со стеклом	77,053	75,895	74,105	70,947	68,105	61,895	54,737	47,053	34,842
Вакуумный	80,105	78,947	77,053	73,895	69,895	66,947	63,053	58,947	55,053

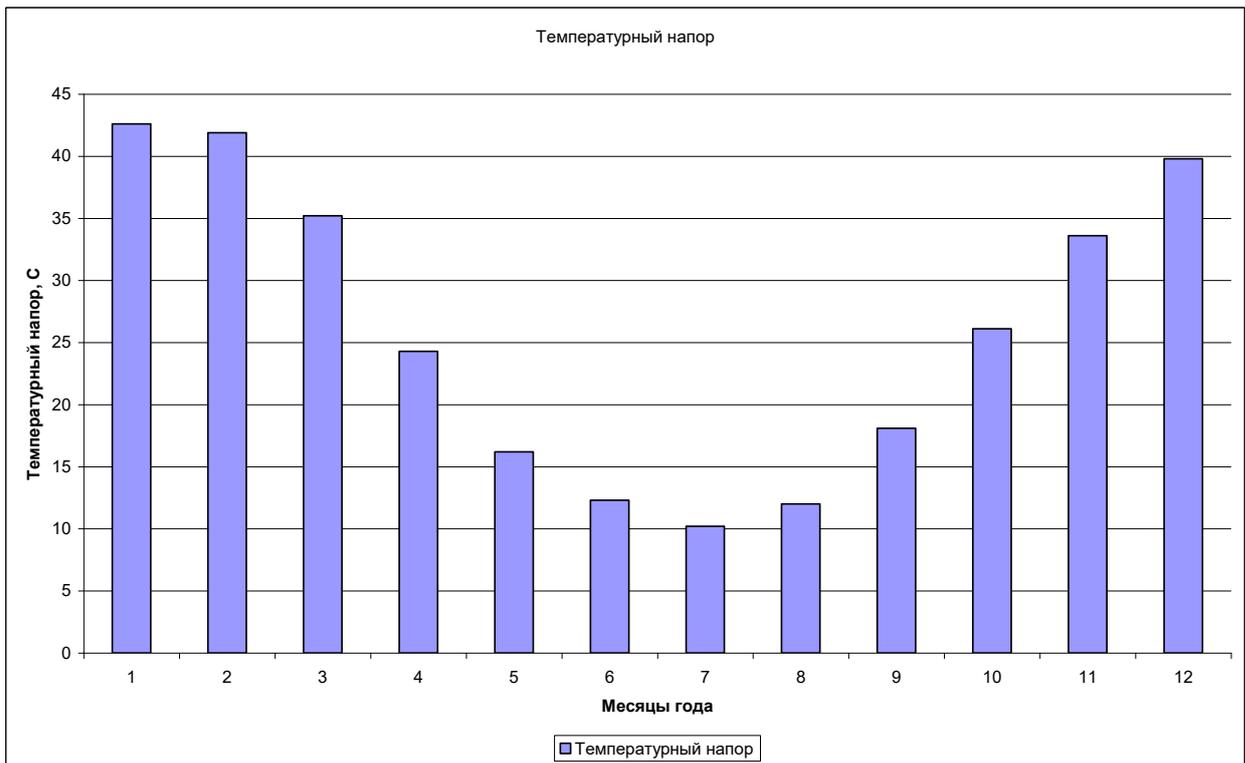


Рисунок 44 – Температурный напор Δt ср для Самарской области при t воды в каркасном сезонном бассейне 29°C

Определение необходимой площади солнечного коллектора для подогрева сезонного бассейна в Самарской области можно определить через коэффициент K (м^2 абсорбера/ м^2 бассейна) который найдем по формуле 3.2 с учетом изменения КПД и среднемесячного суточного поступления суммарной E солнечной радиации $\text{МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{день})$, поступающей на горизонтальную поверхность для Самарской области (см. рисунок 33).

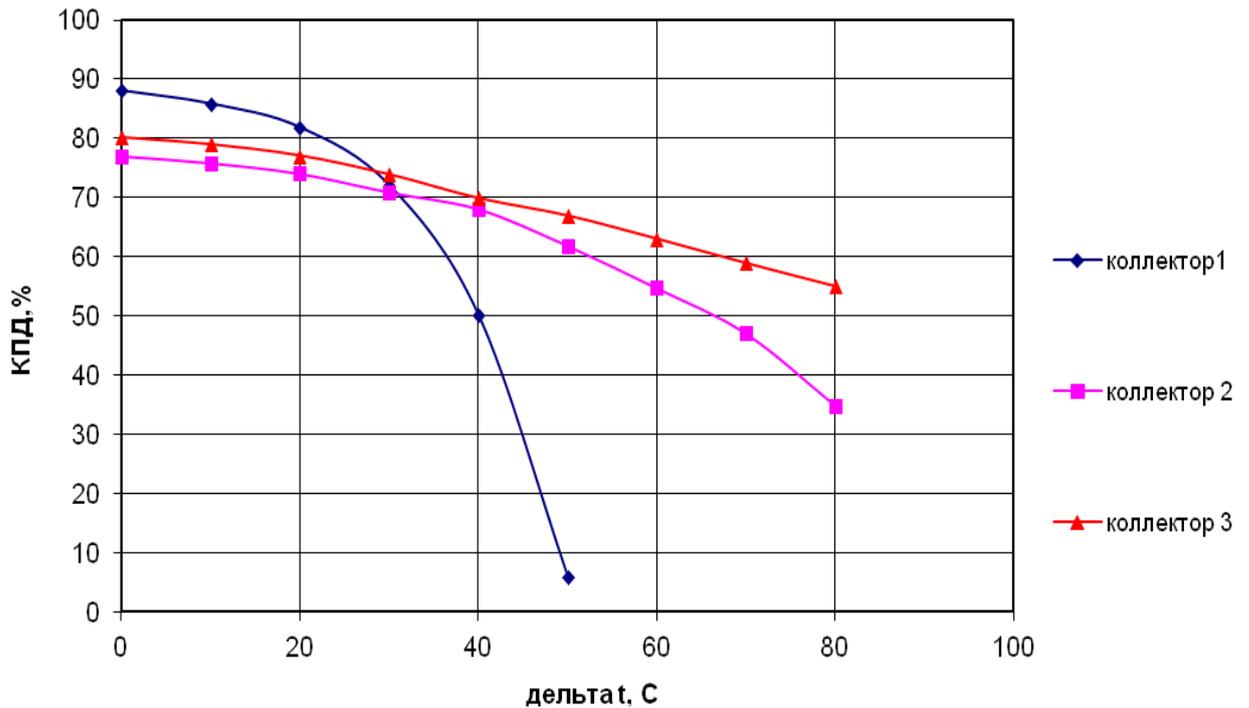
Общий КПД гелиосистемы для подогрева сезонного бассейна можно определить по формуле:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{с.к}} \cdot \eta_{\text{тр.}} \quad (5)$$

где $\eta_{\text{с.к}}$ – КПД солнечного коллектора зависит от типа прием по работе (рисунок 45) [9];

$\eta_{\text{тр.}}$ – КПД системы трубопроводов (зависит от конкретной конструкции системы, для нашего расчета примем $\eta_{\text{тр.}} = 0,92$).

КПД солнечного коллектора



- 1 – открытый коллектор солнечной энергии;
- 2 – плоский коллектор солнечной энергии (2 стекла);
- 3 – плоский коллектор солнечной энергии с частичной вакуумизацией $P=0,18$ мбар (в натуре 2 стекла 80 мм м/д стойками).

Рисунок 45 – КПД солнечного коллектора в зависимости от типа

Коэффициент пересчета площади абсорбера коллектора K (м^2 абсорбера/ м^2 бассейна) встречается на сайтах производителей и варьируется от 0,5 до 1, но при этом нет связи с параметрами климата региона использования и расчетным сроком эксплуатации в течении года.

Выполнив расчет для воды в каркасном сезонном бассейне с температурой 29°C получили следующие зависимости коэффициента пересчета площади абсорбера горизонтально расположенного солнечного коллектора K для разных периодов года (рисунки 46, 47, 48).

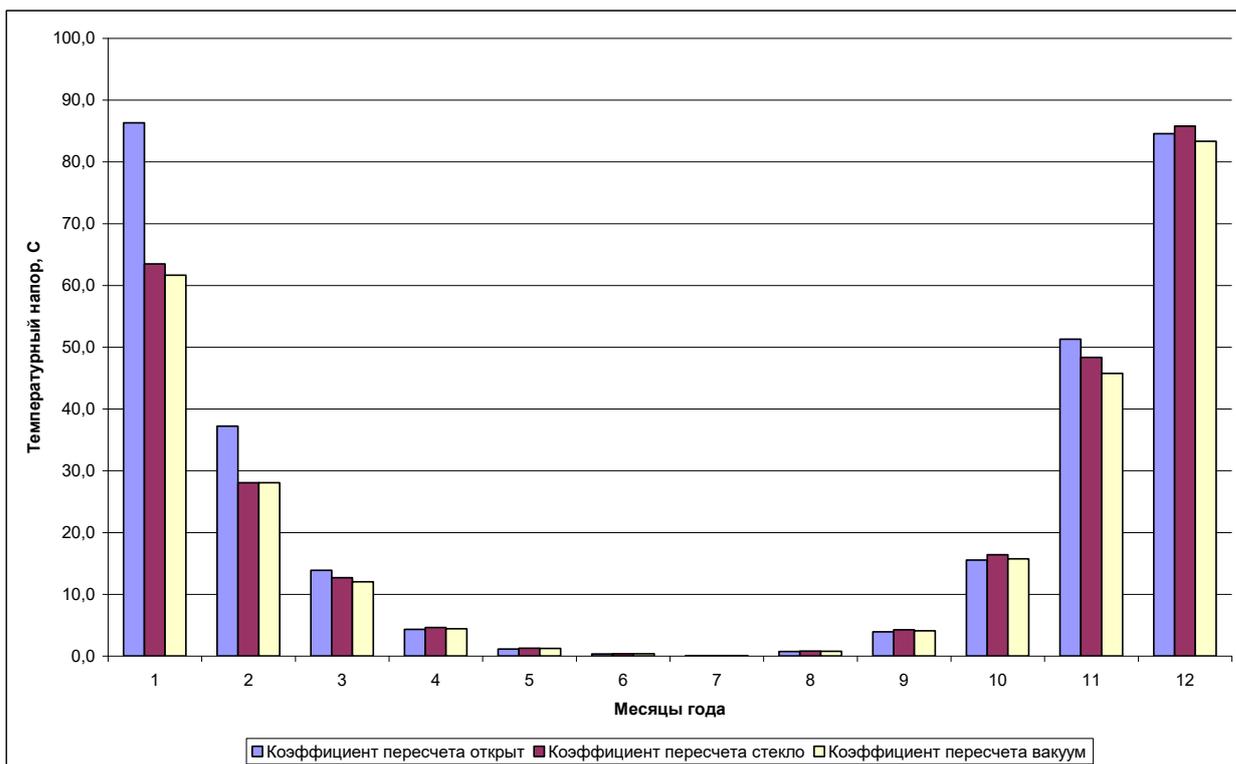


Рисунок 46 – Коэффициент пересчета площади абсорбера коллектора К для бассейна с покрытием по году в зависимости от его типа

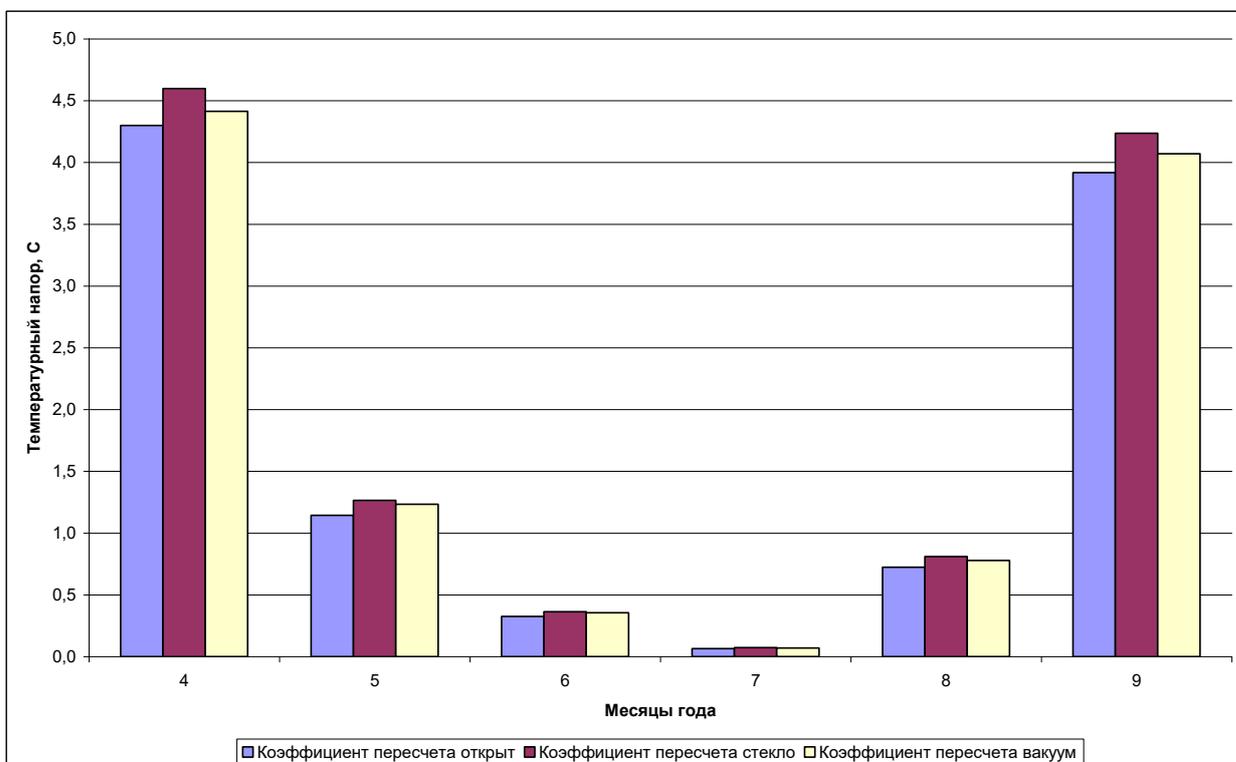


Рисунок 47 – Коэффициент пересчета площади абсорбера К коллектора для бассейна с покрытием в период апрель-сентябрь

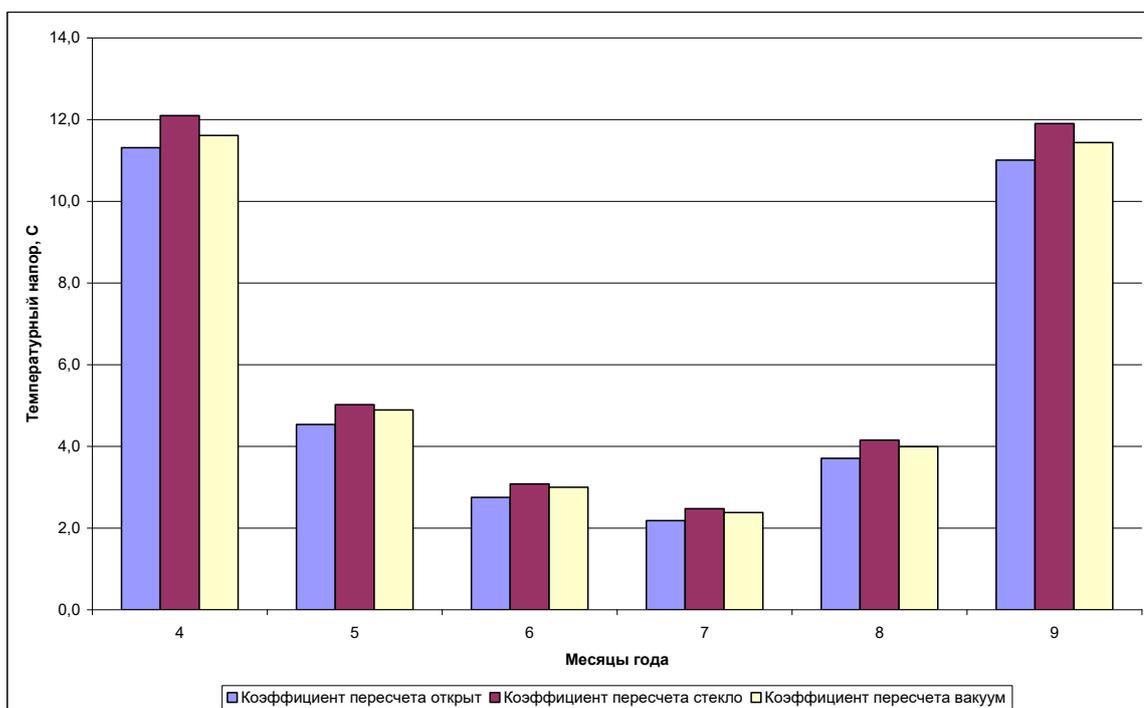


Рисунок 48 – Коэффициент пересчета площади абсорбера К коллектора для бассейна без покрытия в период апрель-сентябрь

Результат аналогичного расчета для воды с температурой 21°C показан на рисунках 49, 50.

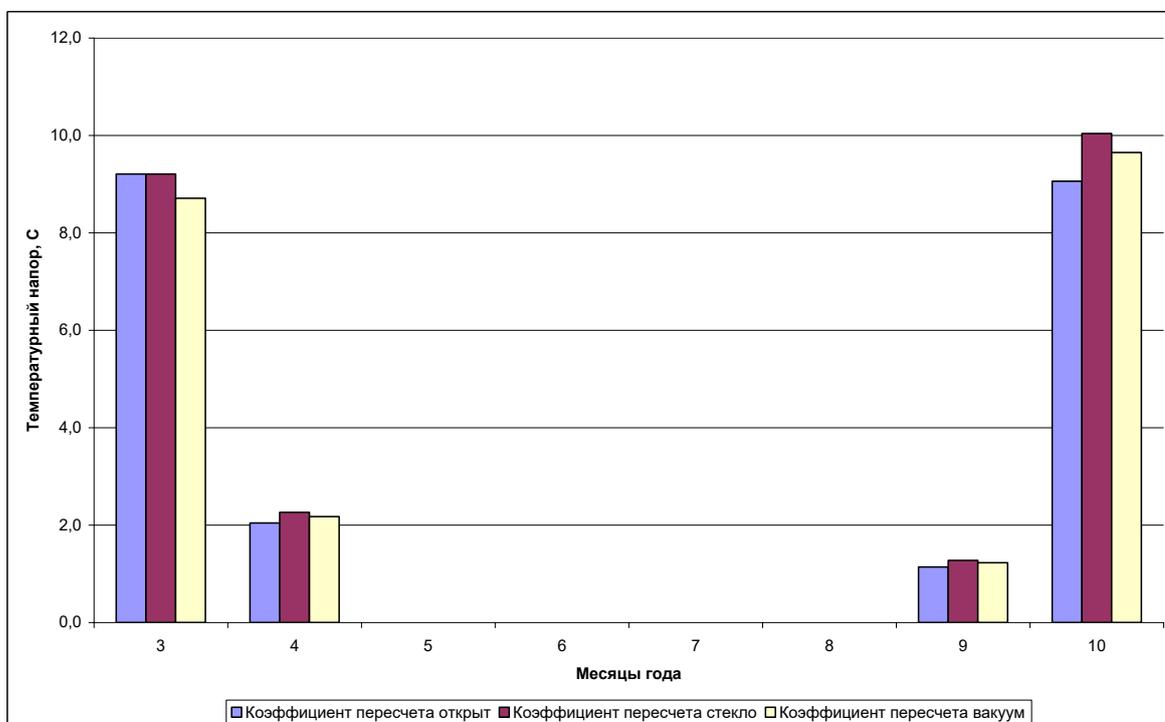


Рисунок 49 – Коэффициент пересчета площади абсорбера К коллектора для бассейна с покрытием в период март-октябрь

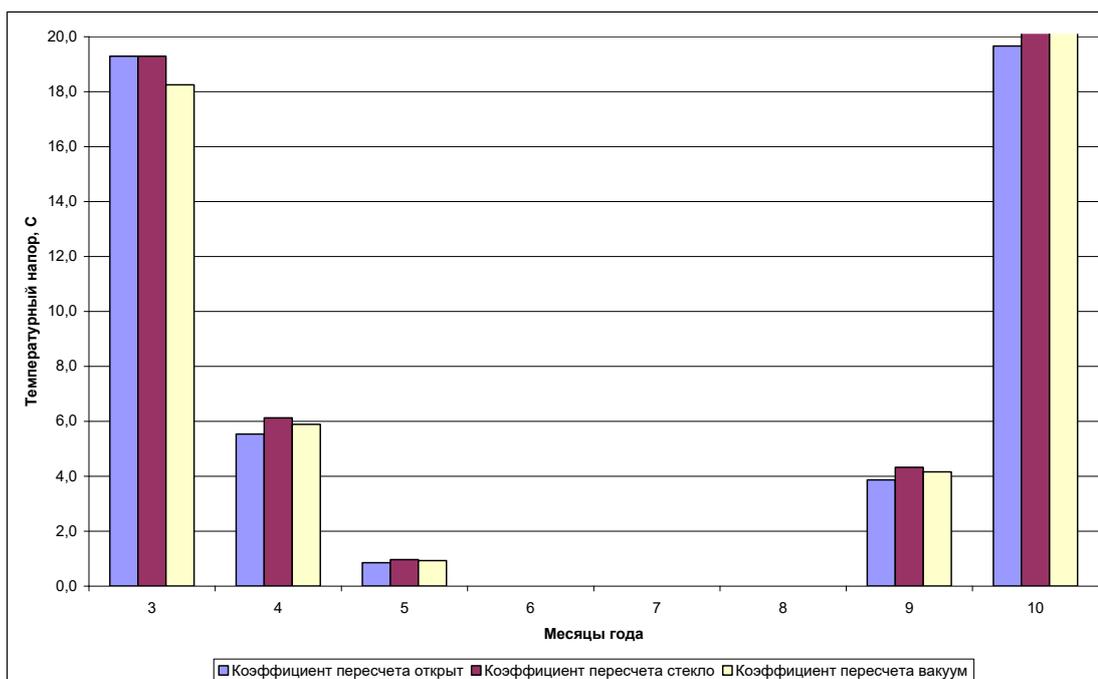


Рисунок 50 – Коэффициент пересчета площади абсорбера К коллектора для бассейна без покрытия в период март-октябрь

3.2 Анализ эффективности применения солнечных коллекторов для подогрева сезонного бассейна в Самарской области и мероприятия, повышающих сроки эксплуатации такого бассейна

В результате анализа эффективности применения солнечных коллекторов для подогрева сезонного бассейна применительно к климатическим условиям Самарской области выявлено, что решающее значение при расчете площади поверхности коллектора имеет выбранный период эксплуатации и мероприятия по энергосбережению бассейна. Причем ввиду низкого температурного напора $\Delta t_{\text{ср}}$ гелиосистемы экономически и теплотехнически более рационально применение открытых коллекторов (наиболее дешево для подогрева воды сезонных бассейнов использовать гибкие коллекторы (абсорберы) см. рисунки 24, 25, 26).

Наиболее перспективным в эстетическом и дендрологическом плане является установка конструкции коллектора с кровлей здания или веранд, для

чего идеально подходит конструкция открытого плоского солнечного коллектора.

Анализ полученных результатов показывает, что применение дорогих вакуумных коллекторов при эксплуатации сезонного бассейна с марта по октябрь бессмысленно, так как увеличение КПД гелиосистемы в этот период незначительно.

Если принять минимальную расчетную температуру воды в бассейне 21°C , то для климатических условий Самарской области, в летний период (июль, июнь, август) можно обойтись без применения систем подогрева см. рисунок 50. При этом поддержание комфортной температуры воды в бассейне выше 29°C в течении хотя бы одного месяца не возможно см. рисунок 48.

Среди технологических решений для увеличения сроков эксплуатации сезонного бассейна, при анализе процессов теплообмена (см. главу 2) наиболее перспективными являются:

- Исключение потерь тепла на испарение с поверхности бассейна применением специального покрытия.

- В начале и конце периода эксплуатации применения специального вкладыша черного цвета (желательно на дно и стенки) совместно со светопрозрачным покрытием.

Применение этих мероприятий позволит увеличить сроки эксплуатации сезонного бассейна в рамках климатических условий Самарской области на месяц (май).

Дополнительный подогрев сезонных бассейнов солнечными коллекторами на приусадебных участках Самарской области с коэффициентом пересчета площади абсорбера $K = 1,1$ продлит сроки эксплуатации до 5 месяцев (плюс сентябрь), а $K = 2,1$ до 6 месяцев (плюс апрель) см. рисунок 49. Дальнейшее увеличение площади гелиосистемы лишено смысла по климатическим соображениям.

Выводы по главе 3:

В результате анализа эффективности применения солнечных коллекторов для подогрева сезонного бассейна применительно к климатическим условиям Самарской области выявлено, что решающее значение при расчете площади поверхности коллектора имеет выбранный период эксплуатации и мероприятия по энергосбережению бассейна. Экономически и теплотехнически более рационально применение простых абсорберов.

Среди технологических решений для увеличения сроков эксплуатации сезонного бассейна максимальное влияние оказывает применение специального покрытия для исключения потерь тепла на испарение в период простоя. В начале и конце сезона рекомендуется установка вкладыша черного цвета (желательно на дно и стенки) совместно со светопрозрачным покрытием верха бассейна.

Подогрев сезонных бассейнов солнечными коллекторами на приусадебных участках Самарской области с коэффициентом пересчета площади абсорбера $K = 1,1$ продлит сроки эксплуатации до 5 месяцев, а $K = 2,1$ до 6 месяцев. Дальнейшее увеличение площади гелиосистемы лишено смысла по климатическим соображениям.

Заключение

В работе проведен обзор существующих систем способов использования солнечной энергии для подогрева воды сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области. Анализ существующих гелиосистем выявил следующее:

На приусадебных участках Самарской области применяются схемы солнечного теплоснабжения сезонных бассейнов с естественной и с принудительной циркуляцией. На момент проведения исследования в продаже существуют громадное количество дешевых и дорогих гелиосистем, применяемых для подогрева воды в бассейне, начиная с открытых водяных матов, заканчивая сложнейшими системами с возможностью подключения теплового насоса. Однако четких рекомендаций по их расчету и подбору в климатических условиях Самарской области нет.

Экономическая эффективность применения солнечного теплоснабжения для подогрева воды в сезонных бассейнах Самарской области зависит от продолжительности использования их в течение года. Поступление солнечной энергии летние месяцы многократно больше, чем осенью, весной и, тем более, зимой. При попытке увеличения срока эксплуатации бассейна применением гелиоустановок, для полного замещения теплопотерь солнечные водонагревательные установки должны иметь большую поверхность коллекторов.

Анализ составляющих теплового баланса каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области, показал, что наибольшие тепловые потери, при эксплуатации бассейнов, наблюдаются за счет испарения воды с поверхности бассейна. Установка дополнительного покрытия позволит резко сократить потери тепла, что является энергосберегающим мероприятием. Расчет теплового баланса выявил, что комфортный срок эксплуатации десяти кубовых каркасных сезонных бассейнов на приусадебных участках Самарской области при средней

расчетной температуре воды 29 °С без использования дополнительного обогрева составляет всего 1 месяц (июль), причем это возможно только при соблюдении энергосберегающих мероприятий. К энергосберегающим мероприятиям можно добавить утепление стен каркасного бассейна

Подогрев сезонных бассейнов солнечными коллекторами на приусадебных участках Самарской области с коэффициентом пересчета площади абсорбера $K = 1,1$ продлит сроки эксплуатации до 5 месяцев, а $K = 2,1$ до 6 месяцев. Дальнейшее увеличение площади гелиосистемы лишено смысла по климатическим соображениям.

В целях импортозамещения возникает необходимость в изготовлении гибких солнечных коллекторов в промышленных масштабах. Конструкция его предельно проста, а серийное производство позволит существенно сократить стоимость, что позволит сделать данное устройство доступным и продлить эксплуатацию сезонных бассейнов в климатических условиях Самарской области.

Список используемых источников

1. А.С.СССР № 1071894. Способ работы солнечной установки / Стребков Д.С., Сюлаев С.С., Тверьянович Э.В. // БИ. 1984, №5.
2. А.С. СССР № 1097563. Концентратор светового излучения и способ изготовления голограммы для него /Афян В.В., Вартанян А.В., Мартиросян Р.Г., Рябиков С.В. Стребков Д.С. А.С. Тверьянович Э.В. II БИ.
3. А.С.СССР № 1028966. Фокусирующий коллектор солнечной энергии / Тверьянович Э.В., Гранцев К.О., Корнеева Н.С., Стребков Д.С., Чумичев В.Б. // БИ. 1983, №26.
4. А.С.СССР № 1141368. Концентратор солнечного излучения / Рябиков С.В., Стребков Д.С., Сюслаев С.С., Тверьянович Э.В. // БИ. 1985, №7.
5. А.С.СССР № 1142707. Солнечный коллектор / Стребков Д.С., Тверьянович Э.В., Трушевский С.Н. // БИ. 1985, №8.
6. А.С.СССР № 1620784. Фотоэлектрический модуль / Стребков Д.С., Тверьянович Э.В., Потапов В.Н., Иродионов А.Е. // БИ. 1991, №2.
7. А.С.СССР № 808635. Солнцеулавливающее ограждение зданий / Карцев В.Н., Никифоров В.Г., Соколов Ю.Н., Тверьянович Э.В., Трушевский С.Н. // БИ. 1981, №8
8. А.С.СССР № 945603. Концентратор солнечного излучения / Невежин О.А., Сабельников В.А., Стребков Д.С., Тверьянович Э.В., Трифонов В.М. // БИ. 1982, №27.
9. Алмаев А.Ю. Разработка и применение технологии на солнечных коллекторах в качестве альтернативного источника тепловой энергии для систем горячего водоснабжения. Магистерская диссертация. ТГУ. Тольятти, 2015 г -100 с.
10. Алмаев А.Ю., Лушкин И.А. Использование солнечной энергии для теплоснабжения систем горячего водоснабжения в индивидуальном жилищном строительстве. - Вестник НГИЭИ. 2014. № 12 (43). С. 5-9.

11. Алмаев, А. Ю. Преимущества и недостатки плоских и вакуумных коллекторов солнечной энергии / А. Ю. Алмаев, И. А. Лушкин // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 6(49). – С. 16-20. – EDN UBIONX.
12. Бавин Максим Радомирович «Разработка и исследование преломляющих фотоэлектрических установок» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Москва – 2014г.
13. Баранов В.К. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике // Труды ГОИ, том 45, вып. 179, с. 57-70. Л., 1979.
14. ВСН 52-86 нормы проектирования установки солнечного горячего водоснабжения.- М.: Госгражданстрой СССР,1988.-16с.
15. Гелиотехника. 1970. №3. С. 23-27.
16. ГОСТ Р 53491.1-2009 Бассейны.
17. Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. Концентраторы солнечного излучения// Под ред. Академика РАСХН Д.С. Стребкова. – М.: ГНУ ВИЭСХ,2007. – 316 с.
18. Даффи Жд. А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. М.: Мир, 1977, с.420.
19. Ершов, С. В. Энергосберегающая технология подогрева искусственных водоемов / С. В. Ершов, И. Д. Касап // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 12-1. – С. 141-145. – EDN ZXGZMD.
20. Захидов Р. А. Зеркальные системы концентрации лучистой энергии.
21. Захидов Р. А., Умаров Г. Я., Вайнер А. А. Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем. Ташкент: ФАН, 1977, 144с
22. Ивин, В. Ф. Энергосбережение при эксплуатации открытых плавательных бассейнов / В. Ф. Ивин, Б. Е. Боднарь // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 5(47). – С. 40-46. – EDN SCPEAZ.
23. Интернет источник: <https://andi-grupp.su/articles/8025-solnechnyy-kollektor-dlya-basseyna> дата обращения 1.06.2022.

24. Интернет источник: <https://avtonomnoeteplo.ru/altenergiya/766-solnechnye-kollektory-dlya-basseynov.html> дата обращения 1.06.2022..

25. Интернет ресурс:
<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2010/08/skyfuels-parabolic-troughs-are-73-efficient.html>

26. Кивалов В.Н., Тверьянович Э.В. Исследование класса призматических V-образных стационарных концентраторов со сферическими образующими // Гелиотехника.2000, №3, с. 56-62.

27. Кивалов В.Н., Тверьянович Э.В. Фотоэлектрический модуль со стационарным концентратором // Гелиотехника.1999, №6, с. 65-71.

28. Кивалов В.Н., Тверьянович Э.В. Экспериментальное исследование фотоэлектрического модуля со стационарным V-образным призматическим концентратором // Гелиотехника.2000, №4, с. 30-34.

29. Красина Е.А., Тверьянович Э.В., Романкевич А.В. Оптический КПД гелиотехнических линз Френеля // Гелиотехника.1989, №6, с. 8-12.

30. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Л.: МАшгиз,1962. -456 с.

31. Лидоренко Н.С., Жуков К.В., Набиуллин Ф.Х., Тверьянович Э.В. Перспективы использования линз Френеля для концентрирующих систем гелиотехнических устройств // Гелиотехника.1977, №4, с. 22-25.

32. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. - 599 с.

33. Митрофанов, Д. М. Применение солнечных коллекторов для подогрева воды в бассейне / Д. М. Митрофанов, О. В. Наумова // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения : Материалы IX Национальной конференции с международным участием, Саратов, 11–12 апреля 2019 года / Под ред. Ф.К. Абдразаков. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2019. – С. 204-207. – EDN WBDGGBR.

34. Патент РФ № 2135906. Солнечный фотоэлектрический модуль / Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. // БИ. 1998. №24.
35. Патент РФ № 2154778. Концентратор солнечного излучения для фотоэлектрических модулей / Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. // БИ. 2000, №23.
36. Стребков Д. С., Тверьянович Э. В. «Концентраторы солнечного излучения» ГНУ ВИЭСХ, Москва 2007 г. Стр. 109
37. Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. Концентрирующие системы для солнечных электростанций // Теплоэнергетика, 1999, №2, с. 10-15. Ташкент: ФАН, 1986, 176 с.
38. Тверьянович Э.В. расчет профилей гелиотехнических линз Френеля // Гелиотехника.1983, №6, с. 31-34.
39. Тверьянович Э.В., Жуков К.В., Красина Е.А., Фарберов А.М. Оптико-энергетические характеристик линз Френеля // В сб.: Концентраторы солнечного излучения для фотоэлектрических установок. Л. Энергоатомиздат, 1986, с. 9-11.
40. Тверьянович Э.В., Красина Е.А., Жуков К.В., Мусихин М.В., Неужин О.А. исследование фотоэлектрических модулей на основе линз Френеля // Гелиотехника.1990, с. 33-36.
41. Тверьянович Э.В., Набиуллин Ф.Х. и др. Изготовление параболоидных концентраторов методом центробежной отливки с последующим съемом гальваноконкопий // Доклады Ереванской конференции по гелиотехнике. М.: ВНИИТ, 1969, с. 199-206.
42. Тверьянович Э.В., Романкевич А.В., Красина Е.А. Пассивные системы охлаждения для солнечных фотоэлектрических модулей с линзами Френеля // Гелиотехника.1990, №1, с. 27-31.
43. Тепляков Д.И., Тверьянович Э.В. Линзы Френеля в составе модулей СЭС: концентрирующая способность в монохроматическом приближении // Гелиотехника.1992, №5, с. 53-58.

44. Тепляков Д.И., Тверьянович Э.В. Линзы Френеля в составе модулей СЭС: хроматические абберрации и концентрирующая способность // Гелиотехника.1993, №1, с. 53-58.

45. Тепляков Д.И., Тверьянович Э.В. Особенности использования линейных линз Френеля в составе модулей СЭС: продольная угловая дефокусировка // Гелиотехника.1994, №6, с. 52-58.

46. ТСН 23-346-2003 Строительная климатология. Самарская область. // Приволжское межрегиональное территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. Утвержден администрацией Самарской области 25.07.2003.

47. Тудоровский А.И. Теория оптических приборов. Том 2. М.-Л., 1952.

48. Умаров Г. Я., Алавутдинов Дж. Н. Параболоцилиндрический концентратор с вторичным отражателем поверхности 4 порядка. //

49. фотоэлектрических установок» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Москва – 2014г.

50. Электронный ресурс Солнечный коллектор для бассейна: <https://vnovinky.ru/solnechnyj-kollektor-dlya-bassejna/>

51. Beckman W. A., Duffie J. A., Klein S. A. Simulation of solar heating systems. Chapter 9 of the ASHRAE book. Applications of solar energy for heating and cooling a building. ASHRAE GRP. 170. American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers. N. Y., 1977.

52. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar energy thermal process. Wiley interscience, N. Y., 1974.

53. Evdokimov V.M., Kivalov S.N, Strebkov D.S. Tver'yanovich E.V. Improvements in Energy Characteristics of Modules with Stationary Concentrators // Applied Solar Energy, 2001, Vol. 37, No. 4.

54. Mills D.R., Guitranich I.E. Ideal prism solar concentrators // Solar Energy, 1978, vol. 21, pp. 432-430.

55. Strebkov D.S., Tveryanovich E.Y., Tikhov I.I., Irodionov A.E., Bezukikh P.P. PVO – Thermal Static Concentrator Modules // Proceedings of the Solar 2002 Conference. Reno/Sparks Nevada. June 12-20, 2002. Editor R. Campebell-Howe 2002/ 7pp.

56. THE SRB SOLAR THERMAL PANEL C. Benvenuti – SRB Energy, c/o CERN – 1211 Genève 23, Switzerland – DOI: 10.1051/epr/2013301 <http://www.europhysicsnews.org> or <http://dx.doi.org/10.1051/epr/2013301>