

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

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ»**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**Ст. группы 35-09 ЭЭЭр РИСКУЛОВА ХИКМАТЖОНА
РАВШАНОВИЧА**

На тему:

**«МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ
ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ»**

РУКОВОДИТЕЛЬ: доц. М. А. Умурзакова

Фергана - 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	
1. ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ.	
1. ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ.	
2. ТИПЫ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ.....	
3 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛОСКИХ ТРУБЧАТЫХ ВОДЯНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ.....	
4.ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАЗМЕРНОСТЕЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ТЕПЛООБМЕНА СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ.....	
5.ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН В СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ.....	
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОТОКА И РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	
7.7ПРИВЛЕЧЕНИЕ ИНОСТРАННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ И УСКОРЕННОЕ ОБНОВЛЕНИЕ ВЕДУЩИХ ОТРАСЛЕЙ НАУКИ.....	
8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ, МОНТАЖЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
ЛИТЕРАТУРА	
ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Современные отрасли промышленности, сельского хозяйства, а также жилищно-бытовой сектор потребляют тепловую энергию в широких масштабах. Это связано с совершенствованием технологии, в частности, с использованием новейших методов обработки и получения сырья или готовой продукции. Тепловая энергия, в классическом варианте, есть результат сжигания органического топлива. Однако, на сегодняшний день, запасы топлива ограничены, о чем свидетельствуют материалы ученых, широко публикующиеся в научной и общественной печати.

1 марта 2013 года Президент Республики Узбекистан издал указ «О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии», определивший основные пути развития солнечных источников энергии.

Одним из важных направлений современной гелиотехники является совершенствование и развитие солнечных водяных коллекторов использующихся в целях экономии традиционных источников тепловой энергии, в частности низкопотенциальной тепловой энергии.

Важной задачей практической гелиотехники является моделирование и определение теплообмена в условиях свободно-конвективных течений. В зависимости от решения данной проблемы, находится и решение задачи максимальной эффективности солнечного теплоприготовительного комплекса в целом. Так как теплообмен в каналах гелиоприемников плоских солнечных водяных коллекторов (СВК) протекает в условиях свободно-конвективного движения, то учитывая, что свободно-конвективные течения в теоретическом плане изучены гораздо меньше, чем вынужденно-конвективные, в данной выпускной работе особое внимание уделено моделированию свободно-конвективного теплообмена, возникающего из-за неоднородности плотностей жидкости соприкасающейся с нагреваемой стенкой плоского трубчатого коллектора. Несмотря на различие формы поперечного сечения теплообменных каналов СВК, основными факторами вызывающими естественную циркуляцию (ЕЦ) являются массовые

гравитационные силы. Например, при тепловой конвекции (ТК) неоднородность поля плотности определяется температурным полем, которое, в свою очередь, формируется под действием процесса теплоотдачи.

Разработанные в рамках теории пограничного слоя в выпускной работе модели восходящего потока жидкости под действием тепловой конвекции позволят выполнять инженерные расчеты основных теплотехнических характеристик СВК.

Анализ данных других авторов по измерениям температур, расходу теплоносителя для СВК состоящих из труб приваренных к металлическому листу (как наиболее широко распространенные на практике) являются необходимыми опытными данными для моделирования процессов теплообмена.. Они позволяют получить в условиях Ферганского региона дополнительные сведения по теплопроизводительности трубчатых солнечных коллекторов. Кроме того, в процессе исследований получены формулы расчета эффективности теплообмена в условиях естественной конвекции. Также получена теоретическая формула расчета температуры и расхода теплоносителя в любом сечении трубы

В работе подробно рассмотрена методика моделирования теплообмена, которая может быть использована при теплотехническом испытании солнечных водяных коллекторов других конструкций. Особенностью предлагаемой методики является способ определения коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции, который практически не разработан для солнечных водяных коллекторов эксплуатирующихся в условиях естественной конвекции.

1. ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРУБЧАТЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГРАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ.

Одной из актуальных задач современной энергетики является разработка и создание малозатратных и экологически чистых источников тепловой энергии. В условиях Республики Узбекистан, где количество солнечных дней в году превышает 290, важной составляющей энергетики являются альтернативные источники энергии в частности энергия Солнца.

Следует отметить, что получаемая энергия от Солнца может иметь самые различные температурные границы, например, получаемая энергия от солнечных паровых котлов или, от солнечной печи. Однако, учитывая, что потребление тепловой энергии с низкой или средней температурой в системах отопления, вентиляции или горячего водоснабжения для коммунально-бытового сектора народной экономики составляет по некоторым оценкам около 60%, то использование солнечных коллекторов как воздушных, так и водяных позволит сэкономить значительное количество тонн условного топлива в год.

Анализ научной литературы показывает, что с развитием солнечной энергетики особое внимание уделяется вопросам разработки солнечных водяных коллекторов не только с точки зрения надежных и экономически оправданных конструкций, но и повышенной эффективности, а именно солнечных водяных коллекторов с высоким К.П.Д.

Солнечные коллекторы давно применяются для отапливания промышленных и бытовых помещений, для горячего водоснабжения и производственных процессов. Наибольшее количество производственных процессов, в которых используется тёплая и горячая вода (30—90 °С), встречается практически во всех областях экономики.

В гелиотехнике на протяжении ряда лет сформированы и получили свое внедрение два типа коллекторов; вакуумные и плоские солнечные водяные

коллекторы, причем плоскими называют коллекторы, состоящие из каналов с различной формой поперечного сечения в частности с обычными трубками. Анализ показывает, что вакуумные коллекторы могут обеспечить повышение температур теплоносителя вплоть до 250—300 °С в режиме ограничения отбора тепла. Существующие основные типы вакуумных солнечных коллекторов - с заполнением внутреннего пространства теплоносителем, и с тепловыми трубками имеют свои положительные и отрицательные стороны.

Если рассмотреть вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде, то может считаться как самый простой и распространенный тип вакуумных коллекторов. Вакуумные трубки расположены под определенным углом и соединены с накопительным баком. Из него вода контура теплообменника течёт прямо в трубки, нагревается и возвращается обратно. К преимуществам этой системы относится непосредственная передача тепла воде без участия других элементов. Существуют также коллекторы такого типа без накопительного бака. Термосифонные системы работают на принципе явления естественной конвекции, когда теплая вода стремится вверх. В термосифонных системах бак должен быть расположен выше коллектора. Когда вода в трубках коллектора нагревается, она становится легче и естественно поднимается в верхнюю часть бака. Более прохладная вода в баке течет вниз в трубки, таким образом, обеспечивается циркуляция во всей системе. В простых системах бак объединен с коллектором и не рассчитан на магистральное давление, поэтому термосифонные системы нужно использовать либо с подачей воды из вышерасположенной емкости, либо через уменьшающие давление редукторы. Такие коллекторы имеют минимальное гидравлическое сопротивление. Система обязательно должна быть безнапорной (с открытым расширительным баком), чтобы на трубки не могло действовать давление. Минусом можно считать несколько больший объем воды контура теплообменника (60-200 литров). Если трубка разобьется, происходит утечка

воды. Но основным преимуществом остается низкая стоимость со всеми выгодами коллектора с вакуумными трубками.

2. ТИПЫ ПЛОСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ВОДЯНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

2.1 Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником.

Такой коллектор имеет все преимущества и особенности предыдущего типа коллекторов. Отличием является наличие встроенного в бак эффективного теплообменника, что позволяет подсоединить коллектор с баком к напорной сети водоснабжения. При этом в трубках по-прежнему практически нет давления. Одним из преимуществ также является возможность заполнения водонагревательного контура незамерзающей жидкостью, что позволяет использовать его и при небольших минусовых температурах (до минус 5-10 градусов). Другим преимуществом является то, что в коллекторе не откладываются соли жесткости и другие загрязнения, так как объем теплоносителя один и тот же, а расходуемая вода проходит только по внутреннему медному теплообменнику.

Добиться этого можно за счёт уменьшения тепловых потерь в результате использования многослойного стеклянного покрытия, герметизации или создания в коллекторах вакуума.

2.2 Коллекторы на тепловых трубах. В современных вакуумных солнечных коллекторах нашли применение тепловые трубы, которые, выполняют роль проводника тепла. При облучении установки солнечным светом, жидкость, находящаяся в нижней части трубки, нагреваясь, превращается в пар. Пары поднимаются в верхнюю часть трубки (конденсатор), где, конденсируясь, передают тепло коллектору. Использование данной схемы получения теплоты позволяет достичь больших К.П.Д коллекторов (по сравнению с плоскими коллекторами) при работе в условиях низких температур и слабой освещенности.

Современные бытовые вакуумные солнечные коллекторы способны нагревать воду вплоть до температуры кипения даже при отрицательной окружающей температуре.

Коллектор применяется в системах как с активной циркуляцией теплоносителя (т.е. когда бак находится в помещении ниже уровня коллектора), так и с пассивной циркуляцией теплоносителя (бак находится в помещении выше уровня коллектора). При этом обеспечиваются минимальные теплотери, как в коллекторе, так и в баке.

Тепловая трубка не требует заполнения - легкоиспаряемая жидкость уже находится внутри медной трубки. Температура кипения теплопроводной жидкости 25-30°C, температура замерзания 0°C, но так как тепловая труба находится в вакуумной трубе, она не замерзает при температуре -30°C. Также, присутствует эффект "запирания" трубки, исключающий теплотери в ночное время через коллектор. При температуре трубок коллектора ниже примерно 30°C циркуляция теплоносителя в трубках прекращается. Этот факт можно отнести к недостаткам коллекторов на тепловых трубках.

Коллектор может работать под напором водопровода до 6-8 атмосфер. Вакуумные коллекторы выпускаются в 2-х модификациях, различающихся по величине теплоизоляции верхней части коллектора, в которой находится теплообменник. Стандартная толщина теплоизоляции – 140x130 мм. Специально для России разработаны коллекторы с улучшенной теплоизоляцией толщиной 170x160 мм. Эти коллекторы имеют букву X в обозначениях.

Технические параметры коллекторов серии KD-SC-HP модель. Площадь абсорбции, м² Количество трубок Длина/ширина/высота (мм) Вес, кг

KD-SC-HP58/1800-10	1.31	10	2020×995×155	39.9
KD-SC-HP58/1800-15	1.97	15	2020×1410×155	58.3
KD-SC-HP58/1800-20	2.62	20	2020×1825×155	77.1
KD-SC-HP58/1800-25	3.49	25	2020×2240×155	96.1
KD-SC-HP58/1800-30	3.93	30	2020×2655×155	114.1

Общие параметры: размер вакуумной трубы: Ø58 мм, длина 1800 мм
теплоизоляция: минеральная вата, толщина 35 мм, размер верхней части коллектора 140x130 мм. Модификации KD-SC-XHP - с усиленной

теплоизоляцией, толщина 65 мм, размер верхней части коллектора 170x160 мм. Максимальное рабочее давление: 0.6 МПа. Стойкость к граду размером до 25 мм. Срок международной гарантии качества: 3 года. Гарантия: 1 год. Сертификаты: ISO9001: 2000 / CE.

Согласно данным опубликованным в [] благодаря высокой теплоизоляции вакуумные солнечные коллекторы работают очень эффективно при низких температурах окружающей среды. Преимущество вакуумных коллекторов перед плоскими коллекторами, начинает проявляться при температуре воздуха ниже 15 градусов Цельсия. При отрицательных температурах воздуха вакуумным коллекторам альтернативы практически не существует.

Что касается плоских солнечных водяных коллекторов, то ограниченность информации по ним не позволяет полностью проанализировать их тепловые характеристики. Однако, последняя информация представленная украинскими учеными [] позволяет сделать вывод о том что, при одинаковой полезной площади солнечных коллекторов современные эффективные вакуумные коллекторы вырабатывают для отопления всего на 19-28% больше тепловой энергии, чем современные плоские коллекторы. Также следует учитывать, что в гелиосистемах с отоплением нужна большая площадь крыши для размещения коллекторов, чем для систем только с горячей водой, а вакуумные коллекторы при той же полезной площади занимают в 1.3-1.5 раза больше чем плоские коллекторы. Что касается вопроса о разнице в стоимости коллекторов, то она на данный момент является значительной.

2.3 Плоские трубчатые водяные солнечные коллекторы.

Солнечные водяные коллекторы, состоящие из труб, которые, являются наваренными на металлические листы для увеличения тепловой производительности коллекторов, являются широко известными конструкциями, они надежны и просты в эксплуатации и обслуживании.

Кроме того, также немаловажно, что такого типа коллекторы могут быть изготовлены из местных материалов (труб и листового материала).

Использование трубчатых солнечных водяных коллекторов возможно как при функционировании всей теплоприготовительной системы под давлением, так и без него, что является также важным при их подключении к системам с принудительной циркуляцией. А также учитывая сложность технологии изготовления вакуумных коллекторов и коллекторов с тепловыми трубками (что сказывается на их стоимости), следует подчеркнуть всю важность глубокого изучения происходящих гидродинамических и тепловых процессов в каналах трубчатых коллекторов и разработки инженерных методов расчета их тепловой производительности. Более того, анализ показывает, что в трубках коллектора могут быть организованы целенаправленные способы увеличения их тепловой производительности при помощи интенсификации теплоотдачи (которые могут быть организованы при помощи принудительной циркуляции).

Отметим, что трубчатые солнечные водяные коллекторы, несмотря на свою простоту, трудно поддаются теоретическому и математическому описанию в силу следующих причин:

- при движении при свободной конвекции невыясненными остаются режим развития пограничного слоя и его предельные размеры;
- какова интенсивность и эффективность теплообмена;
- какое влияние оказывает угол наклона коллектора на эффективность теплообмена;
- как изменяется температура теплоносителя по высоте трубки коллектора;
- каков расход теплоносителя при свободной конвекции в трубках коллектора;

Таким образом, из большого числа систем солнечного теплоснабжения нами для исследования выбрана система, состоящая из трубчатого

солнечного коллектора и бака – аккумулятора. Рассмотрим некоторые гидравлические и тепловые особенности такой системы [] и проанализируем их.

3 Гидравлические особенности плоских трубчатых водяных солнечных коллекторов

При использовании солнечной энергии для нагрева воды с целью применения ее в системах отопления можно наряду с уже разработанными системами солнечного отопления зданий и солнечного горячего водоснабжения, создать более технологически эффективные схемы подготовки воды в системах коллекторов.. Однако, имеется ряд характерных особенностей в теплоснабжении зданий , которые создают потенциально лучшие условия для инвестиций в эту технологию. Прежде всего, нагрузка на горячее водоснабжение в течение года сравнительно постоянна. Таким образом, коллектор и другие части солнечного водонагревателя будут работать при полной нагрузке максимально возможное время, экономя при этом топливо, что, в конечном счете, должно довольно быстро окупать высокую начальную стоимость системы. Общей для систем солнечного теплоснабжения всех типов является проблема переменного поступления солнечной энергии. Следовательно, в системе коллектор и сам узел горячего водоснабжения или солнечного отопления должен быть использован бак – аккумулятор – накопитель тепловой энергии. Однако и в этом отношении СВК часто имеют ряд преимуществ перед остальными солнечными отопительными системами (имеется ввиду гидродинамическую и тепловую устойчивость всей системы в целом) . Например, к режиму приготовления горячей воды предъявляются требования менее жесткие, чем к системе отопления.

Для обеспечения постоянной нагрузки на горячее водоснабжение в системе необходимо предусмотреть установку нагревателя, который может быть электрическим или работающим на органическом топливе. Самым простым является обычный водонагреватель с автоматикой, который надежен и прост в обращении. Его задача — восполнение разницы между температурой воды, поступающей из солнечного нагревателя и постоянной температурой воды, задаваемой потребителем. Если солнечный

водонагреватель полностью обеспечивает требуемую температуру, то вспомогательный подогреватель не включается. Поэтому управление такой системой проще, чем большинством отопительных систем. Габариты СВК и капитальные затраты как ранее было подчеркнуто невелики, коллектор сразу годен к эксплуатации. Все это делает их весьма привлекательными для установки. Для того, чтобы наилучшим образом обеспечить нагрузки, необходимо в каждом конкретном случае применять наивыгоднейшую схему СВК, а это может потребовать ряда компромиссов. Например, одним из самых простых видов СВК без аккумулирования тепловой энергии является черный резиновый шланг, обогреваемый солнечными лучами. Регулируя скорость потока воды через него, можно получить струю горячей воды с постоянной температурой. Если эту воду использовать немедленно, то она будет практически бесплатна. Если же ее необходимо использовать вечером, то требуется бак – аккумулятор. При необходимости использования воды следующим утром к баку нужно будет добавить теплоизоляцию, чтобы вода не остыла за ночь. Если вода необходима в облачные дни, то понадобится увеличить размеры бака и толщину теплоизоляции. Для обеспечения бесперебойного снабжения горячей водой потребуются также и вспомогательный подогреватель. Отсюда следует, что чем выше требования к СВК, тем более сложной и дорогостоящей становится система. Рассмотрим ряд классических схем СВК, которые в значительной мере подверглись усовершенствованию, но тем не менее имеющие отличительные стороны.

Наиболее простой и вполне надежный в работе солнечный водонагреватель состоит из мелкого корыта, наполненного водой и закрытого прозрачной крышкой.

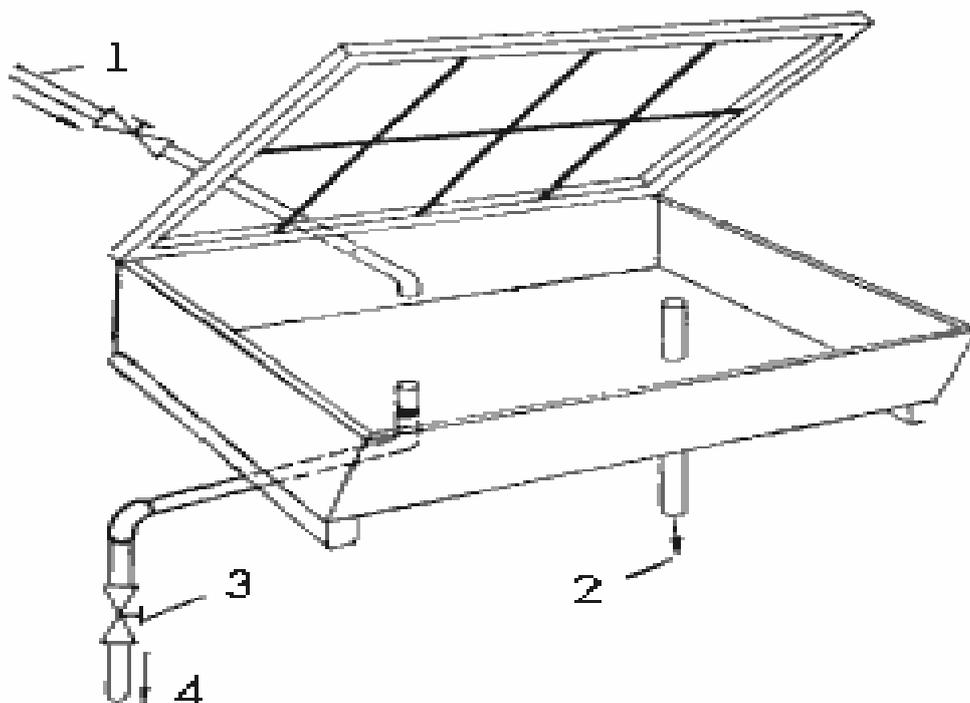


Рис. 1. Открытый корытообразный солнечный водонагреватель: 1 - труба для подвода холодной воды; 2 - переливная труба; 3 - вентиль; 4 - выпуск горячей воды.

Однако у этого нагревателя существует недостаток, он должен каждое утро наполняться и опорожняться днем или ранним вечером. Кто-то должен наполнить корыто, накрыть его крышкой, если солнце скрыто облаками, оценить степень нагрева воды и слить горячую воду для дальнейшего использования. Поэтому этот простой нагреватель будет неприемлем для большинства людей в качестве альтернативы их обычным водонагревателям, так как большинство привыкло получать горячую воду не задумываясь и не тратя усилий больше, чем это нужно для поворота крана.

Другой более усовершенствованной конструкцией солнечного водонагревателя является конструкция СВК показанная на рис 2.

Между этими двумя крайними случаями существует много нагревателей самых разнообразных типов, с разной стоимостью, с разной степенью участия пользователя, что является определяющими факторами при окончательном выборе системы.

Недостатком нагревателя с плоским бассейном является необходимость использования его только в горизонтальном положении. В этом случае горизонтальный коллектор значительно снижает свою эффективность из-за отражения большей части энергии им самим. Зимой, когда солнце еще ниже над горизонтом, КПД коллектора уменьшается еще больше. Поэтому в более высоких широтах используются, как правило, наклонные коллекторы.

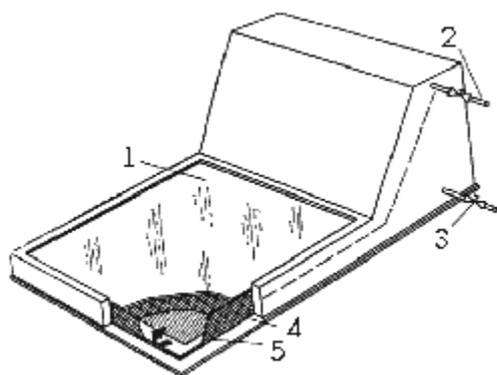


Рис. 2. Солнечный водонагреватель, объединенный с аккумулятором: 1 - стекло; 2 - выпуск горячей воды; 3 - впуск холодной воды; 4 - рабочая поверхность коллектора; 5 - разделитель потока воды.

Коллектор, изображенный здесь, размещен в плоском металлическом контейнере, окрашенном в черный цвет и имеющем покрытие из листового стекла. С одной стороны контейнер имеет выступающий резервуар для воды. Дефлектор внутри контейнера обеспечивает термосифонную циркуляцию, в результате которой нагретая вода из коллекторного отсека поступает в аккумуляторный отсек, а холодная вода со дна этого отсека поступает в коллектор. Аккумуляторный отсек нагревается в течение дня, а ночью теплоизолируется для уменьшения потерь тепла. Единственным крупным недостатком нагревателей объединенного типа (коллектор-аккумулятор) является их неспособность воспрепятствовать потерям тепла в облачную

погоду или ночью. По этой причине почти все выпускаемые системы СВК имеют отдельный коллектор и отдельный бак-аккумулятор.

Наиболее распространенной конструкцией, применяемой в Израиле, Австралии, Японии, США является конструкция состоящая из наклонного остекленного коллектора, отдельного, хорошо изолированного водяного бака-аккумулятора и теплоизолированных труб, соединяющих эти элементы (рис. 3).

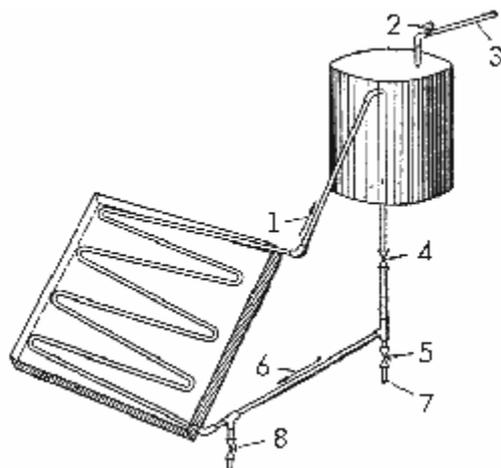


Рис. 3. Типичная конструкция промышленного солнечного водонагревателя (герметичный вариант):

1 - горячая вода; 2 - вентиль сброса давления; 3 - слив горячей воды; 4 - запорный вентиль; 5 - вентиль подпитки; 6 - холодная вода; 7 - подача холодной воды; 8 - сливной вентиль.

Днище бака-аккумулятора располагается, по крайней мере на 300 мм выше верхней части коллектора. Такая компоновка исключает затраты дополнительной энергии для циркуляции воды в системе. Циркуляция происходит только вследствие естественной конвекции (ЕЦ). При нагреве вода в коллекторе расширяется, становится менее плотной, поднимается вверх по коллектору и через трубу поступает в верхнюю часть бака-аккумулятора. В результате более прохладная вода у днища бака вытесняется и перетекает по другой трубе в нижнюю часть коллектора. Эта вода в свою очередь нагревается и поднимается в бак. Пока светит солнце, вода будет постоянно циркулировать по этому контуру, все более

нагреваясь. Вследствие того, что бак приподнят над коллектором, эффект опрокидывания циркуляции в результате ночного охлаждения теплоносителя в коллекторе сводится на нет, так как холодная вода просто скапливается в нижней точке системы (на дне коллектора), в то время как теплая вода остается в баке.

На практике нашли применение несколько конструктивных вариантов коллектора. Все они в своей основе представляют собой теплоизолированный ящик с одним или более прозрачным покрытием, в котором находится зачерненная металлическая теплоприемная панель с каналами для циркуляции воды через систему. В одном из вариантов СВК используется длинная, изогнутая по синусоиде трубка, по которой вода течет снизу вверх. Трубка коллектора припаяна к поверхности плоской металлической пластины, которая имеет большую площадь для поглощения солнечного тепла. В другом варианте коллектор имеет ряд параллельных труб, соединенных горизонтальными трубами в нижней и верхней частях коллектора. Кроме того, существует метод изготовления теплоприемной плиты коллектора путем соединения двух металлических пластин с рельефно отформованной сетью каналов между ними для прохода воды, получивший название метода «холодной прокатки». Этим методом можно получить сеть каналов любого вида. Вариантом этой технологии является поглотитель типа трубы в листе, в котором параллельные каналы в виде труб составляют единое целое с металлической пластиной и соединены между собой горизонтальными каналами сверху и снизу.

Основными задачами при создании коллектора являются следующие:

- обеспечение максимальной эффективности теплопоглощающей поверхности;
- использование наилучших средств для быстрого и равномерного переноса тепла к потоку воды;
- устойчивое и равномерное распределение воды в коллекторе;
- невысокая стоимость и надежность установки.

Теплоприемные пластины коллектора изготавливаются из: меди, алюминия, оцинкованной стали. Теплоприемник коллектора имеет покрытие, повышающее его поглощательную способность. Самым простым и дешевым покрытием является слой черной краски. Однако приближающимся к идеальному будет одно из [селективных покрытий](#), обладающих высокой поглощательной и очень низкой излучательной способностью, что сводит к минимуму вторичное излучение энергии. Изоляция корпуса, в котором находится теплоприемная панель, не должна допускать больших потерь энергии, поступающей в установку. Трубы, ведущие из коллектора в бак-аккумулятор, должны иметь хорошую изоляцию и создавать минимальные помехи циркуляции. В большинстве установок бак размещен рядом с коллектором для того, чтобы свести к минимуму длину труб и соединений. Изоляция труб помогает сохранить поглощенное коллектором тепло и поддерживать температурный напор между поступающей и отводимой водой с тем, чтобы не нарушить термосифонный эффект. Бак-аккумулятор должен быть достаточно велик, чтобы вмещать двухдневный запас горячей воды. Существенно и местоположение ввода в бак труб. Труба, подводящая холодную воду к нижней части коллектора, должна забирать ее из самой холодной, нижней части бака. Нагретая вода из коллектора должна поступать в верхнюю (самую теплую) часть бака. Выше впускного отверстия для отбора горячей воды должен быть оставлен объем для накопления полусуточного запаса самой горячей воды, так как вода, поступающая в данный момент из коллектора, не всегда будет достаточно горячей (облачный день, раннее утро) и не должна в этом случае охлаждать имеющийся в баке запас более горячей воды. Если вспомогательным источником тепла является погружаемый в воду электрический водонагреватель (общепринято для промышленных установок), то он должен устанавливаться ниже суточного объема воды в аккумуляторе. Это дает возможность подогревать только то количество воды, которое необходимо. Преимущество установки бака

внутри помещения, помимо снижения требований к изоляции, заключается в том, что какое бы количество тепла не терялось, все оно поступит в жилое помещение, а не во внешнюю среду. Местоположение, наклон коллектора и его взаимосвязь с баком являются важными факторами, которые в большой степени зависят от архитектурно-планировочного решения здания. Коллектор должен быть ориентирован строго на юг и наклонен к горизонтали под углом, равным широте места. Такая ориентация теоретически оптимальна для круглогодичной работы. В реальных условиях ориентация коллектора зависит от многих факторов. Например, если здание имеет крышу, на которой можно поместить коллектор, то, вероятно, это будет намного дешевле, чем возведение отдельной конструкции. По оценкам [1] если при этом азимут и угол наклона коллектора отклоняются от оптимальных на $10...15^\circ$, то уменьшение КПД не будет превышать 10% и его уменьшение легко можно будет компенсировать увеличением площади коллектора. При установке коллектора термосифонной системы на крыше бак-аккумулятор часто помещают на уровне конька крыши, а иногда даже в ложной дымовой трубе. Конструкция крыши в этом случае должна быть способной выдержать такую нагрузку. Другие способы организации циркуляции воды применяются там, где указанные требования к установке невыполнимы.

В холодном климате СВК должен иметь надежные предохранительные [приспособления против замерзания](#), а это усложняет его конструкцию по сравнению с обычной термосифонной системой, предназначенной для теплой погоды. Существуют три основных способа защиты коллектора:

- съемное изоляционное покрытие;
- устройство для слива воды;
- применение антифриза вместо воды.

Наиболее распространенным средством защиты против замерзания является [применение раствора антифриза](#) в воде. При этом теплообмен между нагретым солнцем раствором и водой в баке-аккумуляторе

осуществляется обычно с помощью трубчатого змеевика, погруженного в бак (рис.4). Змеевик своими концами соединен с питающей и отводной трубками коллектора, при этом термосифонная циркуляция теплоносителя происходит по обычной схеме.

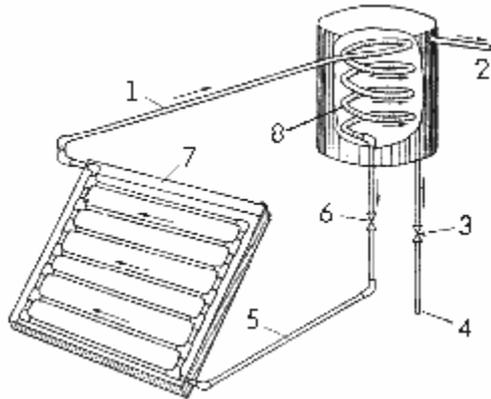


Рис. 4. Солнечный водонагреватель с теплообменником внутри бака: 1 - горячая вода; 2 - выпуск горячей воды; 3 - вентиль; 4 - подача холодной воды; 5 - холодная вода; 6 - обратный клапан; 7 - коллектор; 8 - теплообменник.

Ограничение, накладываемое термосифонным устройством на архитектурный проект, можно снять применением насосов, но при этом свобода размещения системы достигается дополнительными издержками. Еще одним вариантом системы, в которой устранены проблемы замерзания, является [коллектор Томасона](#), соединенный с небольшим насосом. Вместо прохождения по замкнутым каналам вода в этом коллекторе свободно стекает вниз по поверхности волнистого металлического листа. Внизу она собирается в желоб и самотеком поступает в бак-аккумулятор. Поскольку система не является герметичной, вода к потребителю также поступает самотеком, если не накачивается в водонапорный бак. Преимущество коллектора с открытым стеканием воды заключается в том, что вода сливается в бак-аккумулятор просто в результате отключения насоса. Вариантом использования этого принципа является коллектор Каваи, разработанный в Японии и состоящий из слоя ткани или волокнистого

материала, который помещен между двумя металлическими пластинами. Вода медленно просачивается через коллектор, сливаясь снизу.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что самой простой конструкцией солнечного водяного коллектора является конструкция водонагревателя, в которой вода нагревается в плоских прямых каналах, размещенных путем сварки или припоя на плоской поверхности. Затем она собирается в баке аккумулятора и используется по назначению. Такая конструкция является наиболее распространенной вследствие удобства монтажа обслуживания и эксплуатации. Однако, такие типы нагревательных коллекторов являются и малоэффективными с точки зрения протекающих в них теплообменных процессов. Следовательно, основной задачей данной диссертационной работы следует считать исследование теплообмена в плоских каналах путем моделирования их гидродинамических и теплообменных процессов и поиск путей увеличения интенсивности тепловых процессов в каналах водонагревателя.

Для ответа на первый вопрос необходим анализ процессов теплообмена при свободноконвективном движении теплоносителя в канале коллектора и получение основных расчетных зависимостей по расчету тепловой производительности коллекторов.

Для решения второй задачи, а именно поиска путей увеличения интенсивности теплообменных процессов в канале коллектора необходимы исследования приемлемых способов интенсификации процесса теплообмена в канале в условиях свободноконвективного и вынужденного движения.

4 Применение метода размерностей в исследовании теплообмена солнечных водяных коллекторов

Проектирование и полномасштабное производство солнечных водяных коллекторов (СВК) использующихся для восполнения теплоты низкого потенциала в системах отопления и горячего водоснабжения тесно связано с правильным выбором критериальных формул применяющихся в расчетах теплоотдачи в каналах СВК. Учитывая сложность протекающих гидродинамических процессов в теплоотводящих каналах (свободная конвекция, смешанная конвекция), невозможность полного их математического моделирования и в целях уточнения инженерных рекомендаций по применению существующих критериальных зависимостей, целесообразным считается проведение в СВК экспериментальных исследований процесса теплообмена, в основу которых может быть положен метод размерностей. При использовании данного метода должны быть соблюдены правила моделирования заключающиеся в следующем:

1. Процессы протекающие в объекте и в модели должны быть качественно подобными (т.е. иметь одинаковую физическую природу);
2. Процессы должны описываться одними и теми же уравнениями;
3. Должны быть соблюдены условия геометрического подобия;
4. Безразмерные краевые условия численно равны;
5. Определяющие критерии подобия численно равны

Следует отметить, что при испытании лабораторных моделей СВК выполнить первые четыре правила можно достаточно просто. Значительную трудность представляет нахождение определяющих конкретный гидродинамический и тепловой процесс критериев подобия.

Применим метод размерностей для определения основных критериев подобия процессов. В соответствии с[7] в теплоотводящих каналах СВК (

независимо от формы канала) наблюдается три типа движения теплоносителя:

первый тип – гравитационный; второй – вязкостно - гравитационный ; третий – вынужденный. Наиболее распространенным видом движения являются первый и второй типы течений. Число безразмерных критериев физического процесса определяется по теореме Бэкингема (π - теорема).

$$i=n-m \quad (1)$$

где i – наибольшее число безразмерных комплексов;

n - число размерных параметров; m – число первичных размерностей.

Рассмотрим задачу о теплообмене при гравитационном режиме. Коэффициент теплоотдачи α {Дж/м²сК} зависит в этом случае от протяженности теплоотводящего канала l {м}, температурного коэффициента объемного расширения β {1/К}, кинематической вязкости ν {м²/с}, ускорение силы тяжести g {м/с²}, удельной теплоемкости C_p {Дж/кгК}, теплопроводности λ {Дж/мКс}, плотности γ {кг/м³}.

Всего имеем 9 параметров описывающих процесс. Число первичных размерностей равно пяти (джоуль, килограмм, метр, Кельвин, секунда).

Число безразмерных комплексов $i = 9-5 = 4$

$$\alpha = A \cdot l^a \cdot \beta^b \cdot \nabla T^B \cdot \nu^\Gamma \cdot g^d \cdot C_p^x \cdot \lambda^y \cdot \gamma^z \quad (2)$$

Подстановка размерностей в уравнение (3-2) даст

$$\begin{aligned} \text{Дж/с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{К} = A \cdot (\text{м})^a \cdot (1/\text{К})^b \cdot (\text{К})^B \cdot (\text{м}^2/\text{с})^\Gamma \cdot (\text{м}/\text{с}^2)^d \cdot \\ \cdot (\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К})^x \cdot (\text{Дж}/\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{К})^y \cdot (\text{кг}/\text{м}^3)^z \end{aligned} \quad (3)$$

Суммирование показателей степени при одинаковых размерностях приводит к системе уравнений;

$$\left. \begin{array}{l} \text{Дж} \quad 1 = x + y \\ \text{кз} \quad 0 = -x + z \\ \text{м} \quad -2 = a + 2z + d - y - 3z \\ \text{с} \quad -1 = -z - 2d - y \\ \text{К} \quad -1 = -\bar{b} = \bar{v} - x + y \end{array} \right\} \quad (4)$$

Решение системы (3-4) дает

$$\left. \begin{array}{l} a = -1 + 3d \\ \bar{b} = \bar{v} \\ z = 1 - 2d - y \\ x = z \\ z = 1 - y \end{array} \right\} \quad (5)$$

После подстановки в (3-2) получим:

$$\alpha = A \cdot l^{-1+3d} \cdot \beta^{\bar{b}} \cdot \nabla T^B \cdot v^{1-2d-y} \cdot g^d \cdot C_p^z \cdot \lambda^{1-z} \cdot \gamma^z \quad (6)$$

$$\alpha \cdot l / \lambda = A \cdot l^{3d} \cdot \beta^{\bar{b}} \cdot \nabla T^B \cdot v^{1-2d-1+z} \cdot g^d \cdot C_p^z \cdot \lambda^{-z} \cdot \gamma^z \quad (7)$$

$$\alpha \cdot l / \lambda = A \cdot (l^3 \cdot g / v^2)^d \cdot (\beta \nabla T)^B \cdot (v \cdot C_p \cdot \gamma / v)^z \quad (8)$$

В итоге получаем 4 безразмерных комплекса;

$$Nu = A \cdot (Ga)^d \cdot (\beta \cdot \nabla T)^B \cdot (Pr)^z \quad (9)$$

Здесь

$Ga = l^3 \cdot g / v^2$ - критерий Галилея, он характеризует соотношение сил тяжести и вязкости в потоке.

$Nu = \alpha \cdot l / \lambda$ - критерий Нуссельта, характеризует соотношение между интенсивностями конвективной теплоотдачи и теплопроводности в пограничном слое потока.

$\beta \cdot \nabla T$ – безразмерный комплекс

$Pr = \nu/\alpha$ – критерий Прандтля, характеризует подобие скоростных и температурных полей.

Произведение

$$(Ga)^d \cdot (\beta \cdot \nabla T)^B = Gr^K \quad (10)$$

Здесь Gr – критерий Грасгофа, характеризует соотношение сил вязкости и подъемной силы, обусловленной термогравитационной конвекцией. Таким образом, критериальное уравнение для гравитационного режима движения имеет вид:

$$Nu = A \cdot (Gr)^K \cdot Pr^Z \quad (11)$$

Получим формулу теплообмена для вязкостно-гравитационного движения теплоносителя. Такое движение осуществляется с помощью вынужденной и естественной конвекции. Следовательно, необходимо добавить в уравнение (3-2) скорость движения U (м/с), получим

$$\alpha = A \cdot l^a \cdot \beta^b \cdot \nabla T^B \cdot \nu^\Gamma \cdot g^d \cdot C_p^X \cdot \lambda^Y \cdot \gamma^Z \cdot U^N \quad (12)$$

Составляем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} 1 &= x + y \\ 0 &= -x + z \\ -2 &= a + 2z + d - y - 3z + N \\ -1 &= -z - 2d - y - N \\ -1 &= -b + e - x - y \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Решение системы уравнений (3-13) дает следующие соотношения;

$$\left. \begin{aligned} x &= 1 - y \\ z &= 1 - y \\ z &= 1 - 2d - y - N \\ b &= e \\ a &= 1 + 3d + N \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Подстановка в (12) дает

$$\alpha \cdot l / \lambda = A \cdot (g \cdot l^3 / \nu^2) \cdot \beta^6 \cdot \nabla T^B \cdot (U \cdot l / \nu)^N \cdot (C_p \cdot \gamma \cdot \nu / \lambda)^Z \quad (3-15)$$

или

$$Nu = A \cdot Gr^K \cdot Re^N \cdot Pr^Z \quad (16)$$

где комплекс $U \cdot l / \nu = Re$ – критерий Рейнольдса характеризует гидравлический режим потока и определяет соотношение сил инерции и вязкости. Аналогично полученным уравнениям (11) и (16) для третьего – вынужденного движения теплоносителя формула теплообмена выглядит следующим образом.

$$Nu = A \cdot Re^N \cdot Pr^Z \quad (17)$$

Постоянные в уравнениях (11) (16) и (17) должны быть определены в ходе экспериментов на моделях СВК. Таким образом, в данном параграфе получены основные критериальные формулы по которым, при известных значениях коэффициентов уравнений могут быть проведены расчеты теплоотдачи в теплоотводящих каналах СВК.

5 Гидродинамика и теплообмен в солнечных водяных коллекторах

Совершенствование конструкций плоских солнечных водяных коллекторов (СВК) зависит от правильного понимания гидродинамических и теплообменных процессов протекающих в теплоотводящих прямоугольных каналах СВК, а следовательно их точного расчета. Очевидно, адекватное моделирование гидродинамики пристенных течений возникающих в начальных участках каналов позволит не только разработать метод теоретического расчета теплообмена но и оптимизировать режимы эксплуатации СВК, а также определить их энергетическую эффективность [5].

Тепловая конвекция, которая возникает в каналах СВК, является основной причиной вызывающей восходящее движение жидкости (свободная конвекция). Степень влияния на поток тепловой конвекции зависит от соотношения величин массовых и внешних сил.

Можно считать, что существуют три типа движения потока в канале СВК:

1. Массовые силы целиком определяют условия теплообмена не только при свободной конвекции, но и при вынужденном движении, когда внешние силы имеют относительно небольшую величину (свободная конвекция),
2. Массовые силы соизмеримы с внешними силами и режим течения определяется одновременным воздействием на поток массовых и внешних сил (смешанная конвекция),
3. Массовые силы обусловленные тепловой конвекцией, могут иметь значительно меньшую величину, чем внешние, и в этих условиях их влиянием на поток можно пренебречь (вынужденная конвекция).

Наиболее подробно исследован теплообмен при свободной конвекции. Однако, отсутствие полного представления о гидродинамике пристенного течения и как следствие неизученность влияния степени воздействия тепловой конвекции на поток жидкости а также на процесс теплообмена

создает определенные трудности при использовании эмпирических уравнений включающих критерии Nu , Gr и Pr с поправкой учитывающей влияние начального участка канала d/L .

Теплообмен между вертикальной стенкой и жидкостью приводит к появлению вдоль поверхности теплообмена гидродинамического и температурного пограничных слоев. В этих условиях [4] характер взаимодействия потока со стенкой имеет много общего со случаем вынужденного обтекания плоской стенки. В данной статье рассматривается задача определения скорости потока при свободной конвекции. Принимается, что плоский канал СВК имеет достаточную высоту при которой развитие гидродинамического пограничного слоя на стенках канала происходит независимо друг от друга, т. е. протекает процесс образования пограничного слоя характерный для вертикально расположенной пластины в большом объеме жидкости. Кроме того, рассматривается только начальный гидродинамический участок.

Если в жидкости разности температур приводят к разностям плотностей, то как уже отмечалось это приводит к появлению тепловой конвекции. Следовательно, к массовым силам, входящим в уравнение движения необходимо присоединить архимедову подъемную силу, возникающую вследствие изменения объема из за нагревания. В этом случае относительным изменением объема нагретой частицы будет $\beta \nabla$, где β - коэффициент кубического расширения, $\nabla = T - T_{\infty}$ - повышение температуры нагретой частицы жидкости по сравнению с температурой частиц, оставшихся ненагретыми Тогда относительное изменение объема нагретой частицы будет $\beta \nabla$, а архимедова подъемная сила на единицу объема будет равна $\rho \cdot g \cdot \beta \cdot \nabla$, где ρ - плотность жидкости до нагревания, g - вектор ускорения свободного падения с составляющими g_x, g_y, g_z . Принимая коэффициенты вязкости, а также другие теплофизические характеристики постоянными запишем в общем виде уравнения Навье – Стокса, которые вместе с уравнением неразрывности имеют следующий вид:

$$\partial(\rho u)/\partial x + \partial(\rho v)/\partial y + \partial(\rho \omega)/\partial z = 0 \quad (18)$$

$$\rho(u\partial u/\partial x + v\partial u/\partial y + \omega\partial u/\partial z) = -\partial p/\partial x + \rho g_x \beta \nabla + \mu(\Delta u + 1/3 \cdot \partial \operatorname{div} \omega / \partial x) \quad (19)$$

$$\rho(u\partial v/\partial x + v\partial v/\partial y + \omega\partial v/\partial z) = -\partial p/\partial y + \rho g_y \beta \nabla + \mu(\Delta v + 1/3 \cdot \partial \operatorname{div} \omega / \partial y) \quad (20)$$

$$\rho(u\partial \omega/\partial x + v\partial \omega/\partial y + \omega\partial \omega/\partial z) = -\partial p/\partial z + \rho g_z \beta \nabla + \mu(\nabla \omega + 1/3 \cdot \partial \operatorname{div} \omega / \partial z) \quad (21)$$

К этим уравнениям необходимо присоединить уравнение энергии:

$$\begin{aligned} \rho g C_p (u\partial T/\partial x + v\partial T/\partial y + \omega\partial T/\partial z) = \lambda(\partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial y^2 + \partial^2 T/\partial z^2) + \\ + u\partial p/\partial x + v\partial p/\partial y + \omega\partial p/\partial z + \mu \phi \end{aligned} \quad (22)$$

здесь ϕ – диссипативная функция

Считая задачу плоской и переходя к модели пограничного слоя, уравнение движения и энергии примут вид:

$$u\partial u/\partial x + v\partial u/\partial y = -\partial p/\partial x + Gr/Re^2 + 1/Re^2(\partial^2 u/\partial x^2 + \partial^2 u/\partial y^2) \quad (23)$$

$$u\partial T/\partial x + v\partial T/\partial y = 1/Pr(\partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial y^2) + \theta(u\partial p/\partial x + v\partial p/\partial y) + \theta \cdot 1/Re \cdot \Phi \quad (24)$$

Анализ уравнения (3-24) показывает, что при существенном влиянии свободной конвекции, когда массовая сила обусловленная архимедовой подъемной силой формирует пристенное течение и по порядку своей величины одинакова с силами инерции и трения должно выполняться условие

$$Gr \approx Re^2 \quad (25)$$

Такое течение может наблюдаться в каналах СВК при наличии значительной разности температур стенок канала и потока, и малой скорости течения.

Из полученного соотношения (25) имеем:

$$g\beta\nabla l^3/\nu^2 = \omega^2 l^2/\nu^2 \quad (26)$$

или

$$\omega = \sqrt{g\beta\nabla l} \quad (27)$$

Полученная формула (27) является формулой средней скорости пристенного потока в формирующемся пограничном слое (рис.5).

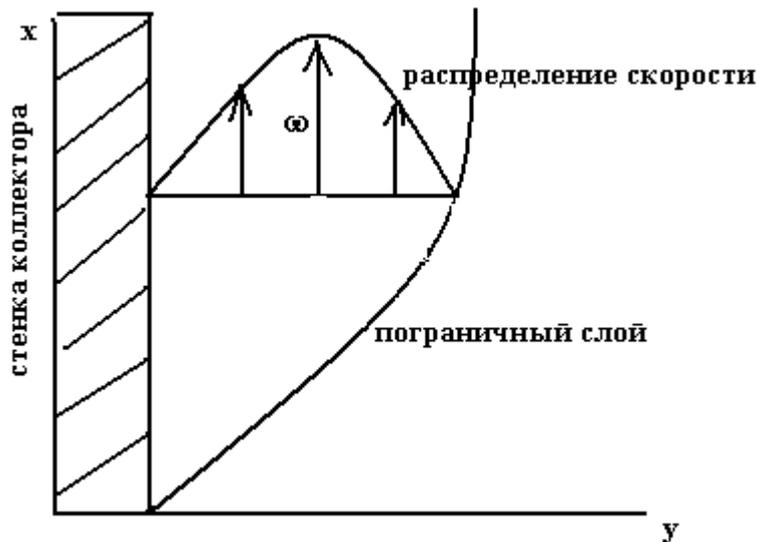


Рис. 5. Схема развития гидродинамического пограничного слоя в теплоотводящем канале СВК.

Из полученной формулы следует, что на скорость потока влияет разность температур $\nabla = \Delta T = T_{ст} - T_{\infty}$ и протяженность канала l . Кроме того, ориентация СВК приводит к уменьшению вектора ускорения свободного падения $g_x = g \cdot \cos\alpha$, где α - угол отклонения коллектора от вертикали.

Учитывая, что одновременно с образованием гидродинамического пограничного слоя при свободно конвективном восходящем движении формируется и температурный пограничный слой, проверим справедливость полученной формулы .

В литературе достаточно хорошо изучен теплообмен в случае вертикально расположенной нагретой пластины. Причиной движения является исключительно разность между весом и архимедовой подъемной силой, обусловленная земным притяжением. Г.Г Лоренц [4] выполнил измерения коэффициента теплопередачи для нагретой пластинки, поставленной вертикально в масле, и получил для средних чисел Нуссельта соотношение

$$Nu_o = 0,555(Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad (28)$$

Следовательно, принимая модель развития течения в начальном участке теплоотводящего канала СВК типа пограничного слоя, получим следующие результаты.

Расчет критерия Nu проведем для теплоотводящего канала СВК протяженностью $l = 0,5$ м, расположенного под углом 45° . Примем следующие значения теплофизических параметров: Теплоноситель вода; $\lambda = 0,65$ Вт/м·С°, $\nu = 0,56 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\beta = 4,5 \cdot 10^{-4}$ 1/с, $Pr = 3,54$.

$\Delta T, C^\circ$	Gr	Pr	Nu_o	ω м/с	Re	Nu_m	$\delta\%$
---------------------	----	----	--------	--------------	----	--------	------------

Считая, что в модели пограничного слоя критерий Nu_m может быть вычислен по формуле

$$Nu_m = 0,664 Re_x^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \quad (29)$$

Выполним сравнительные вычисления, для различных значений ΔT . Результаты этих расчетов приведены в таблице №3-1.

5	$6,5 \cdot 10^6$	3,54	51,0	0,025	$2,5 \cdot 10^3$	63,1	19
10,0	$13 \cdot 10^6$	3,54	61,5	0,036	$3,6 \cdot 10^3$	75,7	19
15	$19 \cdot 10^6$	3,54	66,5	0,044	$4,4 \cdot 10^3$	83,7	19
20	$25 \cdot 10^6$	3,54	71,3	0,05	$5 \cdot 10^3$	89,2	20
25	$32 \cdot 10^6$	3,54	75,8	0,0568	$3 \cdot 10^5$	95	20

Таблица №1

Сравнивая полученные расчетным путем значения Nu_m со значениями Nu_0 , можно заключить, что модель пограничного слоя принятая в качестве модели пристенного течения на начальном участке канала СВК дает удовлетворительные результаты по теплообмену, с известными экспериментальными зависимостями [4]. На рис 6 и 7 показаны зависимости скорости пристенного потока в канале коллектора от разности температур ΔT и числа Gr.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в начальных участках теплоотводящих каналов СВК теплообмен и гидродинамические характеристики потока могут быть вычислены с помощью модели ламинарного пограничного слоя, используя известные допущения принятые в теории пограничного слоя.

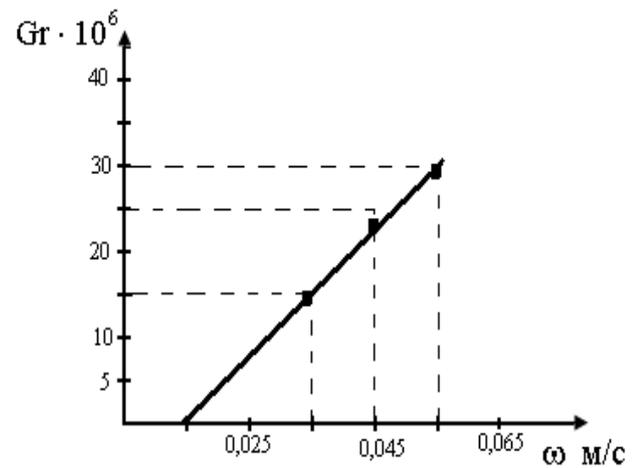
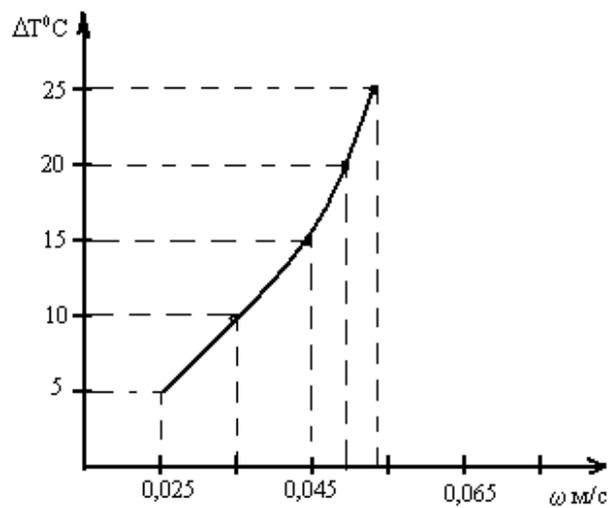


Рис.6. Зависимость скорости течения в пограничном слое от разности температур ΔT

Рис.7. Зависимость скорости течения в пограничном слое от критерия Gr .

6 Моделирование процесса изменения температуры потока и расчет средней температуры теплоносителя

Вопрос расчета средней в сечении температуры теплоносителя по высоте канала теплоприемника солнечного водяного коллектора (СВК) остается нерешенным из-за того, что:

Во-первых, прогрев воды в канале коллектора происходит постепенно, с одновременным восходящим движением частиц воды в узкой пристеночной зоне. Как правило, это происходит в области образующегося гидродинамического пограничного слоя;

Во вторых, несмотря на изменение температуры воды в этой зоне, ядро потока остается неподвижным имеющим температуру равной температуре воды на входе в коллектор.

Известно, что дифференциальные уравнения, описывающие процессы ЕЦ, в частности в узкой пристеночной зоне, т.е. в области непосредственного контакта воды и стенки канала в силу своей сложности не имеют полного математического решения и следовательно, уравнения описывающие процессы распространения теплоты при ЕЦ также имеют частные решения [3].

В теории свободно-конвективного теплообмена используется понятие свободно – конвективного пограничного слоя прилегающего к твердой стенке, внутри которого играет роль вязкость теплоносителя, если даже велико число Грасгофа. Теория пограничного слоя, основные уравнения которого для ламинарного случая были выведены Прандтлем[1] , впервые была применена для расчета теплоотдачи от вертикальной пластины помещенной в неподвижную среду. Вблизи нагретой поверхности был отмечен градиент температуры, тогда как на значительном удалении от поверхности пластины температура жидкости оставалась постоянной. Дальнейшие исследования, проведенные различными авторами, показали, что на нагретой поверхности образуется пограничный слой, который

неоднократно был обнаружен многочисленными экспериментальными наблюдениями. Позднее это было подтверждено также известными частными решениями полных уравнений движения жидкости. В пограничном слое по существу происходит переход от нулевого значения скорости жидкости на границе к конечному значению, которое соответствует значениям температуры и теплоотдачи на бесконечном удалении от стенки. Тот факт, что толщина пограничного слоя мала по сравнению с размерами канала, позволяет ввести некоторые допущения и упростить уравнение движения и энергии. Следует отметить, что понятие пограничного слоя сложнее в свободной конвекции по сравнению с вынужденным движением, так как развивающийся под действием массовых сил пограничный слой имеет размытую и нечетко выраженную форму. В свободной конвекции основной движущей силой является разность температур между стенкой и окружающей средой. Под действием этой силы происходит движение в пограничном слое. Одновременно формируется тепловой пограничный слой, в котором происходит постепенная перестройка профиля скорости.

В целом явление свободно-конвективного теплообмена между стенкой и жидкостью

В связи с этим, расчет температуры восходящего потока жидкости в теплоприемном канале, т.е. по высоте коллектора связан с процессами ЕЦ и точность ее определения зависит от правильного выбора той или иной модели течения в канале СВК.

Цель работы – используя в качестве модели естественного циркуляционного движения жидкости по высоте теплоприемного канала, модель пограничного слоя, разработать методику расчета средней в сечении канала температуры жидкости.

Для нахождения решения, обратимся к результатам теоретического исследования теплоотдачи при свободном движении жидкости в большом объеме[2]. В данном исследовании изучалось явление теплопередачи от вертикальной пластины с постоянной температурой равной t_c , помещенной

в жидкость или газ. В соответствии с данной постановкой задачи примем, что в начальном участке СВК, реализуется симметричное подобное свободное гравитационное течение вблизи плоской стенки теплоприемного канала.

Считается, что вне зоны ЕЦ т.е. в ядре потока жидкость неподвижна (вынужденное течение отсутствует) и ее температура постоянна и равна t_j . Если расположить начало координат у нижней кромки плоского канала, а ось ОУ перпендикулярно к ее поверхности, то схема развития пограничного слоя будет такой как показано на рис. 1.

Естественно также будем считать, что процессы ЕЦ на обеих стенках плоского канала одинаковы и развиваются независимо друг от друга. Считаем, что температура в движущемся слое жидкости подчиняется уравнению

$$\Delta t = \Delta t_c (1 - y/\delta)^2 \quad (30)$$

Где $\Delta t = t - t_j$, $\Delta t_c = t_c - t_j$, t – температура жидкости в пограничном слое, t_c – температура стенки канала, δ – текущая толщина пограничного слоя.

Уравнение (30) Удовлетворяет следующим граничным условиям:

$$\Delta t = \Delta t_c \text{ при } y=0 \text{ и } \Delta t = 0 \text{ при } y = \delta$$

Для решения задачи требуется получить значение средней температуры жидкости в пограничном слое:

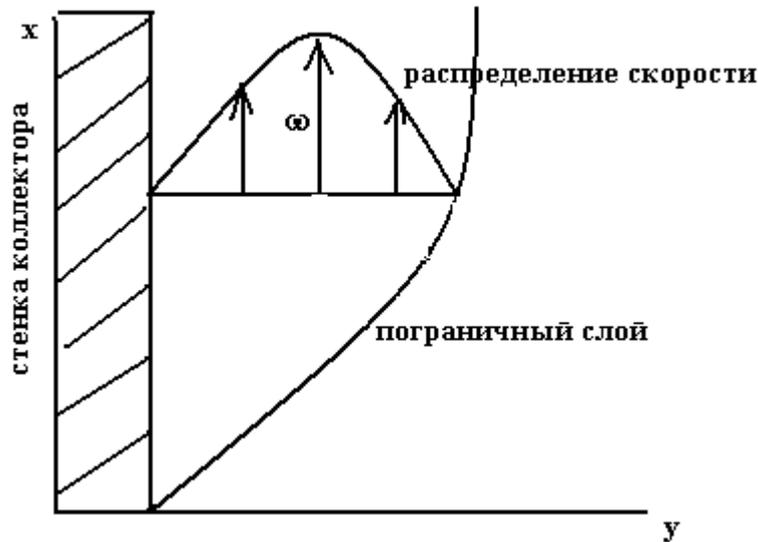


Рис. 8. Схема развития гидродинамического пограничного слоя в теплоотводящем канале СВК.

Она определяется как средняя по сечению слоя

$$\Delta t = t - t_0 = (t_c - t_0)/3 = t_c/3 - t_0/3 + t = t_c = (2/3)t_0 = (t_c + 2t_0)/3 \quad (31)$$

Для вычисления средней температуры жидкости по сечению канала гелиприемника используем следующее соотношение

$$t_{cp}(2M_n + M_y) = 2M_n t + M_y t_0 \quad (32)$$

$$t_{cp} = (2M_n t + M_y t_0)/(2M_n + M_y) \quad (33)$$

Где M_n , M_y - соответственно текущая масса элементарного объема выделенного в данном сечении канала для пограничного слоя и для ядра потока.

$$M_n = \rho dx \delta a \quad M_y = \rho dx a (d - 2\delta) \quad (34)$$

Подставим в формулу (33) соотношения (34) получим:

$$\begin{aligned} t_{cp} &= [2t \rho dx \delta a + t_0 \rho dx a (d - 2\delta)] / [2\rho dx \delta a + \rho dx a (d - 2\delta)] = [2t\delta + (d - 2\delta)t] / (2\delta + d - 2\delta) \\ &= 2t\delta + (d - 2\delta)t_0 / d = 2\delta t / d + t_0 - 2\delta t_0 / d = t_0 + [(t_c - t_0)/3](2\delta / d) \end{aligned}$$

Окончательно формула для средней по сечению температуры теплоносителя имеет вид:

$$t_{cp} = t_0 + [(t_c - t_0)/3](2\delta/d) \quad (35)$$

Учитывая, что толщина гидродинамического слоя зависит от режима течения, преобразуем зависимость (35) для случая ламинарного режима течения.

Считаем, что при вязкостно-гравитационном режиме справедлива формула:

$$Re = \sqrt{Gr} \quad (36)$$

А также учитывая, что толщина пограничного слоя равна:

$$\delta = 5x/Gr^{1/4}$$

Окончательно имеем

$$t_{cp} = t_0 + [(t_c - t_0)/3][(10/Gr^{1/4})(x/d)] \quad (37)$$

7 Привлечение иностранных инвестиций и ускоренно обновление ведущих отраслей экономики.

Согласно итогам социально-экономического развития Республики Узбекистан за первый квартал 2013 года была проведена активная инвестиционная политика и привлечение иностранных инвестиций с целью ускоренного обновления отраслей экономики страны.

За истекший период I квартала этого года общий объем освоенных инвестиций составил 4.6 триллиона сумов. Это значит, что по сравнению с прошлым 2012 годом в аналогичный период объем инвестиций увеличился на 7.2%. 68.2% капитальных вложений было направлено в производственные сферы.

Высокая инвестиционная активность населения подчеркивается 21.7% освоенных инвестиций организованных из средств населения.

Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4434 от 10.04.2012 года стимулируются привлечение прямых иностранных инвестиций с укреплением системы гарантий и льгот для иностранных инвесторов и предприятий. В результате проведенных мер объем освоенных иностранных инвестиций и кредиторов увеличилось на 35.5%, в том числе прямых инвестиций на 44%.

За I квартал 2013 начата реализация 114 новых инвестиционных проектов на сумму 4.3 миллиарда долларов. Завершена реализация проекта по организации производства газобетона на СПООО «Stroy max invest», введены мощности по проекту «Модернизация действующего производства со строительством новой линии по выпуску цемента по сухому способу на ОАО «Бекабадцемент», осуществлен ввод 587 новых производственных объектов в том числе:

- a) в отраслях легкой и текстильной – 190;
- b) пищевой – 179;
- c) деревообрабатывающей – 29;
- d) химической – 10;
- e) в сфере стройматериалов – 112;
- f) машиностроение – 6;
- g) прочих отраслях – 61.

Использование потенциала специальных промышленных зон на территории СИЭЗ «Навои» на 12 введенных в эксплуатацию предприятиях произведено продукции на общую сумму 18.7 миллиарда сумов, продолжение реализация 6 инвестиционных проектов. С общей стоимостью более 48 миллионов долларов. Начаты работы по реализации 8 инвестиционных проектов на сумму 185.9 миллиона долларов на территории СИЗ «Ангрен».

Большое внимание уделяется строительству индивидуального жилья по типовым проектам в сельской местности за счет льготных кредитов и средств населения. Сформированы первоначальные взносы на сумму 355 миллиардов сумов.

Объем выполненных работ подрядными организациями за отчетный период составил 137.8 миллиарда сумов. Освоено 3.2 миллиарда сумов капитальных вложений на объектах строительства систем водоснабжения в новых жилых массивах в сельской местности. В целом по республике в течении I квартала текущего года введено 1.8 миллиона кв.м. жилья (105 процентов к периоду 2012 года), в том числе 1.3 миллиона кв.м. в сельской местности (105.5 процента).

В целях расширения ресурсной базы для реализации Программы жилищного строительства осуществлен ввод и модернизация 157 производств по выпуску строительных материалов с использованием местных сырьевых ресурсов и компонентов, в том числе по производству окон и дверей, нерудных строительных материалов, брусчатки, железобетонных изделий, жженого кирпича, пенобетонных изделий, гипсовых изделий и другого.

Резюмируя вышеуказанное можно утверждать, что активная инвестиционная политика позволяет надежно и уверенно расширять и развивать отрасли экономики страны. Это, в свою очередь, решает вопрос занятости населения и повышение жизненного уровня населения.

Особо нужно отметить факт привлечение зарубежных инвесторов что еще раз наглядно демонстрирует авторитетность Республики Узбекистан на мировой арене.

8 Техника безопасности при изготовлении, монтаже и эксплуатации солнечных коллекторов.

8.1 Основные требования электробезопасности к устройству электротехнических изделий.

Электротехнические изделия, включая электрорадиоприборы, должны быть сконструированы так, чтобы была обеспечена надежная защита от случайных прикосновений с токопроводящим частям и достаточная изоляция токоведущих частей от доступных металлических нетоковедущих частей изделий (корпусов). Это требование должно также выполняться после открытия крышек (дверец) и снятия схемных частей изделий.

Изоляционные свойства лаков, бумаги общего назначения, хлопчатобумажной ткани, оксидной пленки металлических частей, электроизоляционных бус и заливочных масс считаются не обеспечивающими требуемую защиту от случайных прикосновений к токоведущим частям.

Корпус прибора не должен иметь отверстий, открывающих доступ к токоведущим частям, за исключением отверстий, необходимых для его эксплуатации.

В электротехнических изделиях изоляция может быть рабочей, дополнительной, двойной и усиленной.

Рабочая изоляция – электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая ее правильную работу и защиту от поражения электрическим током (по ГОСТ 12.1.009-76).

Дополнительная изоляция – электрическая изоляция, предусмотренная дополнительно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае поражения рабочей изоляции.

Двойная изоляция – электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции.

Усиленная изоляция – улучшенная рабочая изоляция, обеспечивающая такую же степень защиты от поражения током, как и двойная изоляция.

8.2 Изоляция токоведущих частей

Выбор изоляции электротехнических изделий и его частей, в соответствии с ГОСТ 12.2.007-75, должен определяться в зависимости от напряжения. Значение электрической прочности изоляции и значение ее сопротивления указываются в стандартах и технических условиях на конкретные виды изделий.

Помимо установленных стандартами требований к изоляции электротехнических изделий, выпускаемых к заводов-изготовителей, к ней предъявляются также требования, которые могут быть проконтролированы только в условиях эксплуатации изделий. Эти требования регламентированы не стандартами, а «Правилами устройства электроустановок» (ПЭУ) и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и правилами техники и безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭ и ПТБ).

В них, например, указано, что критерием допустимости для дальнейшей эксплуатации электротехнического изделия служит сравнение значений сопротивления изоляции, измеренных в процессе эксплуатации, с первоначальными значениями, полученными перед вводом изделия в действие.

Сопротивление изоляции считается недостаточным, если выявлено его снижение по отношению к первоначальному значению более 30%.

Следует отметить, что сопротивление изоляции токоведущих частей электротехнических изделий относительно их корпусов зависит не только от

используемого диэлектрика, но и от величины воздушных зазоров между проводниками и корпусом, длины путей утечки, степени загрязнения изделия и других факторов.

8.3 Производственная санитария

- Воздух рабочей зоны.

Воздушная среда производственного помещения характеризуется химическим составом и параметрами метеорологических условий.

В процессе производства могут изменяться параметры метеорологических условий (температура, влажность, скорость движения воздуха, атмосферное давление) в зависимости от времени года (зима, весна, лето, осень), и состав воздушной среды в зависимости от вредных веществ. При анализе воздушной среды необходимо изучить, какой характер носят эти изменения и как они влияют на организм человека. После этого приступают к разработке мероприятий по обеспечению безвредных условий труда, т.е. мероприятий, направленных на оздоровление воздушной среды. Они включают:

- Герметизацию оборудования;
- Автоматизацию и механизацию технологических процессов;
- Исключение или сведение до минимума образования, выделения вредных веществ, нормирование параметров микроклимата.

- Промышленная вентиляция.

При выборе системы вентиляции (естественная, искусственная, общеобменная, местная, вытяжная, аварийная) необходимо обосновать необходимые метеорологические условия производственного помещения и концентрацию выделяемых загрязняющих веществ (пыль, газы, пары), а затем приступить к выбору системы вентиляции.

- Электромагнитное излучение.

В случае воздействия электромагнитных полей высокой и ультравысокой частоты в зависимости от частоты и интенсивности электромагнитного поля, излучаемого установкой, разрабатываются соответствующие методы защиты:

- Уменьшение излучения в самом источнике;
- Экранирование источника излучения;
- Соответствующее устройства помещения и размещение оборудования;
- Защита расстоянием;
- Применение индивидуальных средств защиты.

8.4 Опасность механического повреждения (получения травмы) от движущихся и вращающихся машин, механизмов, падения с высоты.

Движущиеся и вращающиеся части производственного оборудования, а также его элементы являются источниками повышенной безопасности. Для устранения опасности служат различного рода ограждения. Конструкции оградительных устройств бывают самые разнообразные.

При работе на высоте (монтаж) следует предусмотреть лестницы, леса, подмости и др. Кроме того, дополнительными средствами защиты могут служить предохранительные устройства, блокировки, предупредительная сигнализация (плакаты, предупредительные надписи, световые и звуковые сигнализации).

8.5 Пожарная безопасность.

Категория любого производства по степени пожарной безопасности зависит от физико-химических показателей исходных материалов, готовой продукции и условий технологического процесса (температура вспышки, воспламенения, самовоспламенения, пределы взрывчатости горючих и легковоспламеняющихся смесей).

Прежде чем приступить к выполнению раздела необходимо изучить технологический регламент производства, свойства применяемых материалов.

Основная задача подраздела – разработать меры предотвращения пожаров и взрывов, а в случае их возникновения скорейшей их локализации с целью предотвращения воздействия их на людей и материальные ценности.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе рассматривались вопросы моделирования процессов теплообмена в каналах плоских солнечных водяных коллекторов.

Актуальность постановки задачи диктовалась необходимостью оптимального проектирования и выполнения плоских солнечных водяных коллекторов с учетом потребности потребителя в тепловой энергии, а также, процессе теплообмена в условиях свободно-конвективного течений. Моделирование процессов теплообмена позволяет прогнозировать и оценивать максимальную эффективность теплоприготовительной способности коллектора с определенными конструктивными особенностями.

При этом, вопросы надежности и экономичности эксплуатации коллекторов являются приоритетными.

В работе были рассмотрены вакуумные и плоские солнечные водяные коллекторы различного конструктивного исполнения. В частности: вакуумные коллекторы с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником, коллекторы на тепловых трубах, и плоские трубчатые водяные солнечные коллекторы.

Для каждого вида коллекторов определены кинематическое строение, путь циркуляции воды, теплообмен, надежность и простота эксплуатации. Нужно отметить факт возможности изготовления плоских трубчатых водяных солнечных коллекторов из материалов местного изготовления: (стеклопластиковые, пластмассовые трубы и материалы), что позволит существенно сэкономить на капитальных затратах по установке коллектора.

Анализ гидродинамической и тепловой устойчивости теплоприготовительной системы позволит определить режим нагрузки в течении рассматриваемого периода. Для систем солнечного

теплоснабжения всех типов является проблема переменного поступления солнечной энергии, которая может решена использованием бака-аккумулятора –накопителя солнечной энергии. В этом смысле солнечные водяные коллекторы имеют ряд преимуществ, так как позволяют использование обычного водоподогревателя с автоматикой. В работе рассмотрены методы оптимального проектирования СВК, что связано с правильным выбором критериальных формул, применяющихся в расчетах теплоотдачи. Так как гидродинамические процессы в теплоотдающих каналах не поддаются полному моделированию

Литература

1. Указ Президента Республики Узбекистан « О мерах по дальнейшему развитию альтернативных источников энергии» Ташкент 1.03.2013 г.
2. Об итогах социально-экономического развития Республики Узбекистан за первый квартал 2013 года. Газета «Народное слово» от 1. 05. 2013 г.
2. Ю.А.Соковишин, О.Г. Мартыненко Введение в теорию свободно-конвективного теплообмена-Л. Издательство ленинградского университета 1982. – с.224
- 3.Исаченко В.П, Осипова В.А., Сукомел А.С.. Теплопередача –М.. Энергия. 1975.- с. 488.
- 4.Аббасов Е. С. ,Умурзакова М.А. Гидродинамика и теплообмен в солнечных водяных коллекторах. Гелиотехника 2009 №1 с. 36-39.
- 5.Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя 1969г. 540 с.
- 6.Аббасов Е.С., Умурзакова М.А. Гидродинамика и теплообмен в солнечных водяных коллекторах. 2010 Фергана-Техника 119 с. Аббасов Е.С.,
- 7.Алижанов О.И., Умурзакова М.А., Нигматов У.Ж. Расчет показателей эффективности теплообмена в плоских солнечных коллекторах. ФарПИ. Илмий-техника журналы 2009 г. №4 с.40-43.