

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(Национальный исследовательский университет)  
Политехнический институт. Энергетический факультет  
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

ПРОВЕРЕНО

Рецензент:

к.т.н., доцент Южно-Уральского государственного аграрного университета

\_\_\_\_\_ А.А. Петелин

(подпись, место для печати)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова

(подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Преобразование низкопотенциальной тепловой  
энергии открытых водоемов в механическую энергию

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ - 13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ О.С. Пташкина-Гирина

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор:

студент группы П-288

\_\_\_\_\_ И.Э. Замчалкин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер:

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Н.Ю. Аверина

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Челябинск 2019

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «Южно-Уральский государственный университет»  
 (Национальный исследовательский университет)  
 Политехнический институт. Энергетический факультет  
 Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»  
 Направление 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

УТВЕРЖДАЮ  
 Заведующая кафедрой

\_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

ЗАДАНИЕ  
 на выпускную квалификационную работу студента  
 Замчалкина Игоря Эрнестовича

(Фамилия, имя, отчество полностью)

Группа П-288

1 Тема работы

Преобразование низкопотенциальной тепловой энергии открытых водоемов в механическую энергию

утверждена приказом по университету от 25.04.2019г. № 899, приложение №51

2 Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_\_ 14 июня 2019 г.

3 Исходные данные к работе

- 3.1 Сведения метеорологических станций
- 3.2 Патентные свидетельства
- 3.3 Изобретательские свидетельства
- 3.4 Техническая и справочная литература

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Замчалкин И.Э.			Преобразование низкопотенциальной тепловой энергии открытых водоемов в механическую энергию		
Провер.		Пашкина-Гиряга О.С.					
Н. Контр.		Аверина Н.Ю.			ФГАОУ ВО ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «ЭССиСЭ»		
Утверд.		Кирпичникова И.М.					
					Лит.	Лист	Листов
					В	К	Р
					3		65



5 Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей.

1	Титульный лист	(1 лист)
2	Цель и задачи работы	(1 лист)
3	Актуальность темы	(1 лист)
4	Характеристика тепловых запасов водоемов	(1 лист)
5	Устройства для преобразования низкопотенциальной тепловой	(1 лист)
6	Преобразование тепловой энергии в механическую	(1 лист)
7	Предлагаемое устройство	(1 лист)
8	Технико-экономическая оценка	(1 лист)
9	Выводы	(1 лист)

Всего 10 листов

6 Дата выдачи задания «11» февраля 2019 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ О.С. Пташкина-Гирина

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ И.Э. Замчалкин

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы (проекта)	Срок выполнения этапов работы (проекта)	Отметка о выполнении руководителя
Введение.	25.02.19 – 03.03.19	
Описание актуальности темы.	03.03.19 – 11.03.19	
Тепловые запасы водоемов в Челябинской области	11.03.19 – 22.03.19	
Способы использования тепловой энергии. Поиск и анализ патентных и изобретательских свидетельств	22.04.19 – 16.05.19	
Разработка устройства для преобразования тепловой энергии, и его описание	16.05.19 – 27.05.19	
Расчет технико-экономической оценки	27.05.19 – 10.06.19	

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ И.М. Кирпичникова

Руководитель работы \_\_\_\_\_ О.С. Пташкина-Гирина

Студент \_\_\_\_\_ И.Э. Замчалкин

## АННОТАЦИЯ

Замчалкин И.Э. Преобразование низкопотенциальной тепловой энергии открытых водоемов в механическую энергию. – г. Челябинск, ЮУрГУ, ПЗ; 2019, 88 с., 34 ил., библиогр. список – 42 наим., 10 листов чертежей.

В выпускной квалификационной работе произведена оценка тепловых запасов некоторых озер Челябинской области. Рассмотрен вопрос использования озер и водоемов в качестве источника низкопотенциального тепла. Изучены проекты устройств для преобразования тепла в механическую энергию. На основе полученных сведений предложено устройство для сбора низкопотенциального тепла водоемов.

Сделано детальное описание проекта устройства для преобразования энергии. Так же произведены технико-экономические расчеты при использовании разработанного устройства. Сделаны выводы о целесообразности применения устройств совместно с тепловыми насосами.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ .....	7
2 ТЕПЛОВЫЕ ЗАПАСЫ ОТКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ.....	10
3 СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ .....	21
3.1 Теплонасосные установки .....	24
3.2 Устройства для преобразования тепла в механическую энергию .....	26
4 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ	28
4.1 Поршневые устройства для преобразования энергии .....	29
4.2 Роторные устройства для преобразования энергии.....	33
4.3 Роторно-поршневые устройства для преобразования энергии .....	46
4.4 Гравитационные устройства преобразования энергии .....	49
4.5 Устройства преобразования изменения давления в механическую энергию.	59
5 ПРЕДЛАГАЕМОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ....	64
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА .....	69
6.1 Характеристика отапливаемого объекта .....	69
6.2 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций .....	72
6.3 Выбор теплонаносной установки .....	76
6.4 Расчет теплообменного аппарата .....	79
6.5 Расчет гликольного раствора в тепловом насосе.....	82
6.6 Расчет затрат на прокачивание гликольного раствора.....	82
7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	84
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	85
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	89

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных тенденций современного мира – активный сдвиг растущего с каждым днем энергопотребления в сторону использования альтернативных источников энергии.

В настоящее время человечество активно потребляет уголь, нефть и природный газ для удовлетворения большинства своих энергетических потребностей, именно поэтому зависимость от ископаемого топлива представляет большую проблему. Ископаемые виды топлива являются ограниченным ресурсом, и их потребление приводит к загрязнению окружающей среды. Ввиду данных обстоятельств человечество стало искать альтернативные источники энергии. Возобновляемые источники энергии – это виды энергии, непрерывно возобновляемые в биосфере Земли [1].

В России также наметились положительные изменения. Так, поворотным моментом в российской истории альтернативной энергетики можно назвать вступление в действие постановления Правительства, направленного на стимулирование использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности[2].

С каждым годом ВИЭ обеспечивает всё большую часть потребностей в энергоресурсах ведущих экономик мира. По существу, сегодня наблюдается выстраивание новой парадигмы мировой энергетики, предполагающей определяющий вклад ВИЭ в общее энергопотребление и постепенное вытеснение традиционных ископаемых энергоресурсов. Согласно энергетической стратегии, принятой в ЕС, уже к 2020 году страны – члены Содружества должны обеспечить 20 %-е сокращение выбросов парниковых газов, увеличение до 20 % доли возобновляемой энергии и 20 %-е повышение энергоэффективности. В более отдалённой перспективе многие страны идут существенно дальше. В частности, Германия планирует достичь к 2050 году 60 %-й доли ВИЭ в общем энергобалансе страны и 80 %-й – в производстве электроэнергии [3].

Ветровая, солнечная энергетика и производство биотоплива – наиболее быстрорастущие отрасли современной индустрии ВИЭ, на освоение которых бро-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



шен весь научно-технический потенциал ведущих стран мира [4], вследствие их высоких энергетических показателей и быстрыми темпами окупаемости.

Однако существует такой вид возобновляемой энергии как низкопотенциальное тепло водоемов. Производство энергии с данного ВИЭ до сих пор остается спорным, и мало изученным.

Целью выпускной квалификационной работы является возможность энергообеспечения автономных потребителей с использованием низкопотенциального тепла.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1. Оценены тепловые запасы открытых водоемов Челябинской области;
2. Сделан обзор проектов для использования низкопотенциальной тепловой энергии;
3. Разработан проект установки для преобразования низкопотенциальной тепловой энергии в механическую;
4. Дан технико-экономическую оценку возможного использования устройства;

Объект исследования: низкопотенциальная тепловая энергия открытых водоемов Челябинской области.

Предмет исследования: возможность преобразования низкопотенциальной тепловой энергии в механическую.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

На сегодняшний день энергетическая составляющая большинства развивающихся стран все еще опирается на традиционные источники энергии. Увеличение численности населения несет все большее антропогенное влияние на окружающую среду. Помимо глобального загрязнения атмосферы и литосферы, человеческое влияние также пагубно сказывается и на гидросфере.

Не смотря на деятельность различных организаций, которые помогают избежать катастрофических последствий в будущем, связанных с нашей окружающей средой, люди пренебрегают правилами, экологическими нормами, и продолжают «убивать» нашу планету. Строятся заводы, различные предприятия, которые наносят вред, прежде всего атмосфере и гидросфере. Попытки сократить загрязнение предпринимаются незначительные, и поэтому не приносят большой пользы. Вследствие этого различают три вида загрязнения вод - биологическое, химическое и физическое.

Биологическое загрязнение создается микроорганизмами, в том числе болезнетворными, а также органическими веществами, способными к брожению. Главными источниками биологического загрязнения вод суши и прибрежных вод морей являются бытовые стоки, которые содержат фекалии, пищевые отбросы, сточные воды предприятий пищевой промышленности (бойни и мясокомбинаты, молочные и сыроваренные заводы, сахарные заводы и т. п.), целлюлозно-бумажной и химической промышленности, а в сельской местности -- стоки крупных животноводческих комплексов. Биологическое загрязнение может стать причиной эпидемий холеры, брюшного тифа, паратифа и других кишечных инфекций и различных вирусных инфекций, например гепатита [5].

Химическое загрязнение создается поступлением в воду различных ядовитых веществ. Основные источники химического загрязнения - это доменное и сталелитейное производство, предприятия цветной металлургии, горнодобывающая, химическая промышленность и в большой мере экстенсивное сельское хозяйство. Кроме прямых сбросов сточных вод в водоемы и поверхностного сто-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ка, надо учитывать также попадание загрязнителей на поверхность воды непосредственно из воздуха.

Физическое загрязнение вод создается сбросом в них тепла или радиоактивных веществ. Тепловое загрязнение связано главным образом с тем, что используемая для охлаждения на тепловых и атомных электростанциях вода (и соответственно около 1/3 и 1/2 вырабатываемой энергии) безвозвратно сбрасывается в водоемы. Вклад в тепловое загрязнение вносят также некоторые промышленные предприятия

Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6-8 градусов Цельсия. В результате рыба задыхается и погибает, так как ее потребность в кислороде растет, а растворимость кислорода уменьшается. Количество кислорода в воде уменьшается еще и потому, что при тепловом загрязнении происходит бурное развитие одноклеточных водорослей: вода «зацветает» с последующим гниением отмирающей растительной массы. Кроме того, тепловое загрязнение существенно повышает ядовитость многих химических загрязнителей, в частности тяжелых металлов [5].

В результате можно сделать вывод, что эффекты антропогенного воздействия на водную среду проявляются на индивидуальном и популяционно-биоценотическом уровнях, и длительное действие загрязняющих веществ приводит к упрощению экосистемы. Но при использовании тепла, отводимого в водные объекты в результате деятельности человека, можно свести к минимуму негативные последствия теплового загрязнения водных объектов, а при отводе количества тепла из них, равного подводимому, восстановить естественный тепловой режим. Далее отведенное тепло можно использовать для энергообеспечения потребителей.

Вывод по главе один: использование низкопотенциального тепла является одной из целей Энергетической стратегии России на период до 2030 года является повышение эффективности использования энергетических ресурсов за счёт реализации энергосберегающих мероприятий и их повсеместного применения. Основой реализации данной программы на ближайшую перспективу остается деятельность, направленная на запуск механизмов стимулирования энергосбере-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

жения и повышение энергоэффективности в различных сферах экономики Российской Федерации и непосредственно частного использования. Также поставлена задача максимального использования возобновляемых источников энергии.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2 ТЕПЛОВЫЕ ЗАПАСЫ ОТКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ

Потенциальное использование озер в качестве источников тепловой энергии изучалось Ж. В. Доброжанской и Е. П. Коваленко в 1980-х годах в Беларуси. Они показали особенности формирования термической структуры озер для оценки их энергетического потенциала. Например, было установлено, что среднегодовое количество теплоэнергии для природных водоемов варьируется от 26,7 Ткал ( $26,7 \times 10^{12}$  кал) для озера Нарочь до 0,80 Ткал ( $0,80 \times 10^{12}$  кал) для Осиповичского водохранилища [6].

Масштабное использование тепла от водоемов может оказать негативное влияние на их экосистемы. По данным Европейской экономической комиссии ООН, изменение температуры воды в озерах в пределах  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  и в потоках воды в пределах  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вызванное теплом использованной воды, оказывает незначительное влияние на экологию [7]. Таким образом, низкопотенциальная теплота водоемов должна использоваться в этом диапазоне.

Южный Урал - это край озер. В Челябинской области, по разным оценкам, насчитывается около 1300–3170 озер [8, 9], общая площадь которых составляет  $2125\text{ км}^2$ .

Постоянные стационарные наблюдения за тепловым режимом проводятся на шести озерах: Тургояк, Увильды, Второе, Кундравинское, Чебаркуль и Смолино, при этом проводятся длинные серии наблюдений за температурой воды в этих озерах в прибрежных и акваториях по вертикали глубины. Есть также некоторые данные об их морфометрии, то есть батиметрические карты, кривые объемов и площадей, необходимых для оценки запасов тепловой энергии.

Распределение температуры воды в озерах региона обусловлено широтным и высотным районированием. Средняя температура в мае-октябре на Южном Урале колеблется от  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  на севере до  $13\text{-}14\text{ }^{\circ}\text{C}$  на юге. От гор до равнин на одной широте температура воды увеличивается на  $1\text{-}2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение рассматриваемого периода.

Самая высокая температура наблюдается в июле. Его среднемесячные значения составляют  $16\text{-}17\text{ }^{\circ}\text{C}$  в северной и горной части и  $18\text{-}19\text{ }^{\circ}\text{C}$  в южных рай-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

онах, максимальные температуры составляют 22-28 °С (рисунок 2.1 и рисунок 2.2).

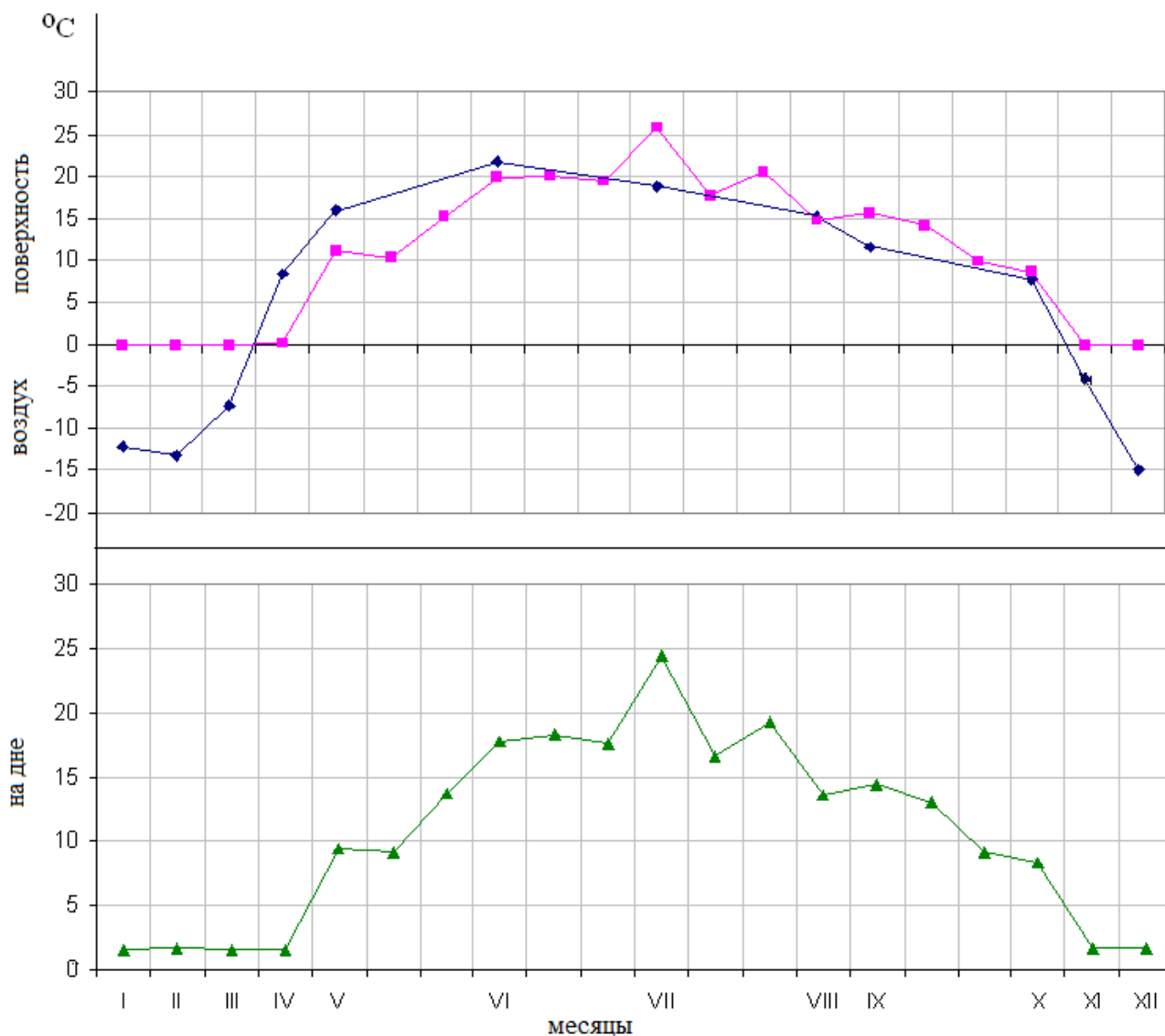


Рисунок 2.1 – Температура у поверхности водоема и на глубине 5,3 - 6,0 м в озере Смолино, температура воздуха на Челябинской метеостанции в 1991 г.

Долгосрочная амплитуда колеблется от 2-3 °С в крупных озерах до 4-5 °С в мелководных. Коэффициенты изменения температуры воды ( $C_v$ ) по сравнению с другими гидрологическими характеристиками озер относительно малы - 0,05–0,10 [9].

Суточные колебания температуры воды по сравнению с температурой воздуха также являются менее значительными.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

11

Характер распределения температуры по глубине водоема зависит главным образом от размера и формы бассейна озера.

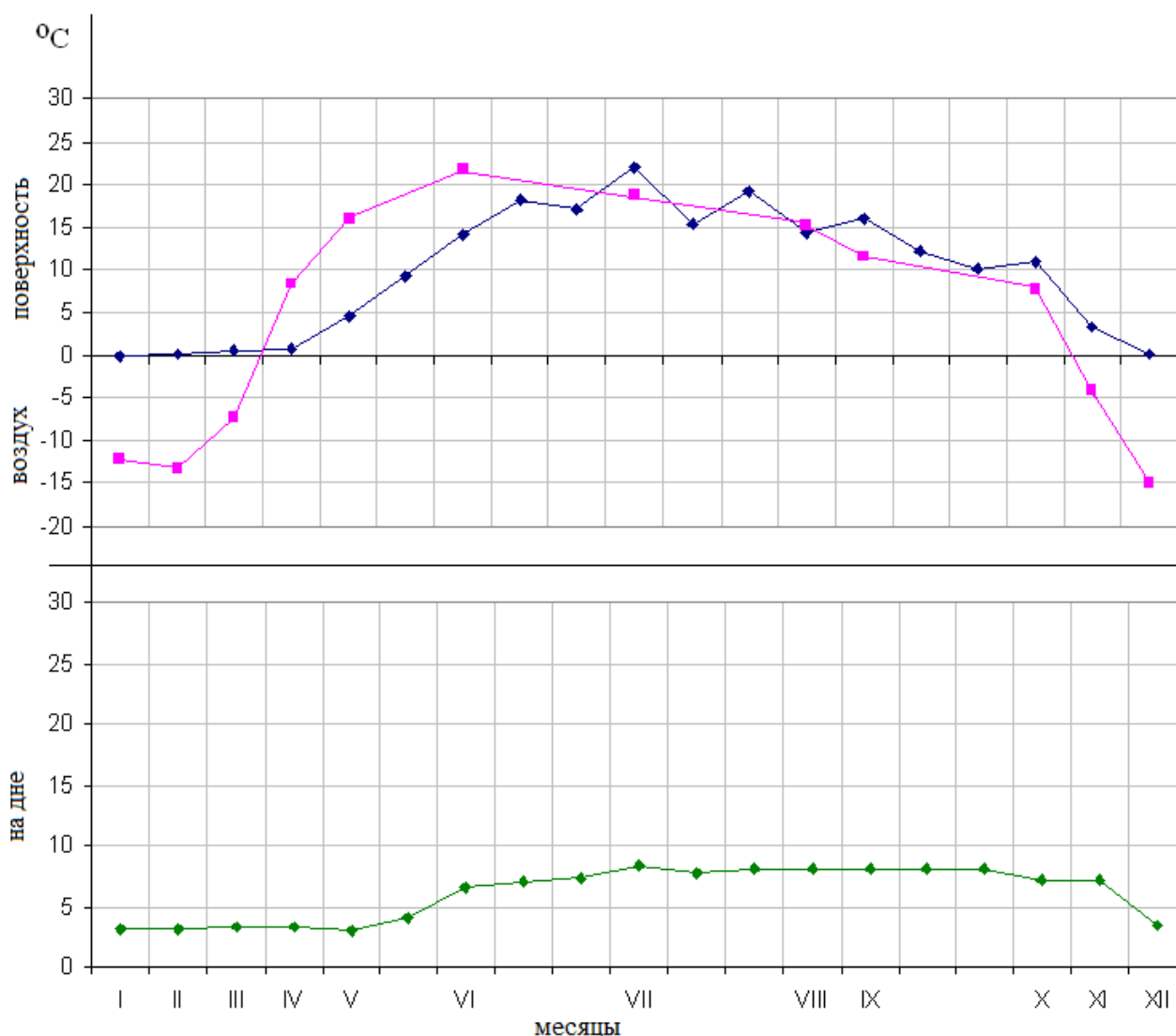


Рисунок 2.2 – Температура у поверхности водоема и на глубине 22,2 – 23,0 м в озере Тургойак, температура воздуха на Челябинской метеостанции в 1991 г.

Температура воды в глубоких озерах со средней глубиной, превышающей 10 м, является вертикально неоднородной (рисунок 2.3). Весной и осенью они характеризуются гомотермией (температура одинакова по глубине), летом - прямой стратификацией (уменьшение температуры с глубиной), а зимой - обратной (увеличение температуры с глубиной).

Осенью мелководные озера остывают намного быстрее. Поскольку эти озера имеют небольшие запасы тепла, перемешивание ветра способствует быст-

рому охлаждению всей воды. Таким образом, замерзание происходит при низких температурах нижнего слоя (около 1 °С).

Высокоминерализованные озера характеризуются своеобразным тепловым режимом. Осенью и зимой температура воды в них опускается ниже 0 °С. Наиболее соленые озера, например, Кулат, Таузаткуль, Горько-Рассольное, либо совсем не замерзают, либо очень поздно зимой (январь-февраль). Летом их вода очень горячая, а температура поднимается до 30-35 °С. Минерализация воды в них может достигать 219 г/л [10, 11]. К сожалению, тепловой режим этих озер очень плохо изучен, хотя они могут быть локальными источниками энергии.

Морфометрические особенности озерных бассейнов влияют на их запасы тепла. Значения запасов тепла в озерах России были официально опубликованы [11], и в Руководстве Гидрометеорологической службы имеются все необходимые данные [12].

Сегодня большинство исследователей используют метод Э.А.Берге для расчета тепловых запасов озер. Американский ученый применил его к озеру Мендота в 1927 году [13], представив концепцию годового теплового баланса для озер как разницу между максимальным и минимальным годовым запасом тепла в качестве количества тепла, необходимого для достижения максимальной температуры.

Озера на Южном Урале слабо текучие; они находятся в сходных физических и географических условиях. Таким образом, на их тепловые запасы в основном влияют морфометрические характеристики: объемы воды и глубина водоема [13, 14]. Они влияют на все основные параметры: общий объем запасов тепла, его глубину распределения, количество тепла на единицы объема и площади.

Ежегодно запас тепла у озер имеет некоторые закономерности. Максимальные значения тепловых запасов наблюдаются в июле, а с августа по мере уменьшения солнечной радиации они снижаются до замерзания (рисунок 2.4).

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13



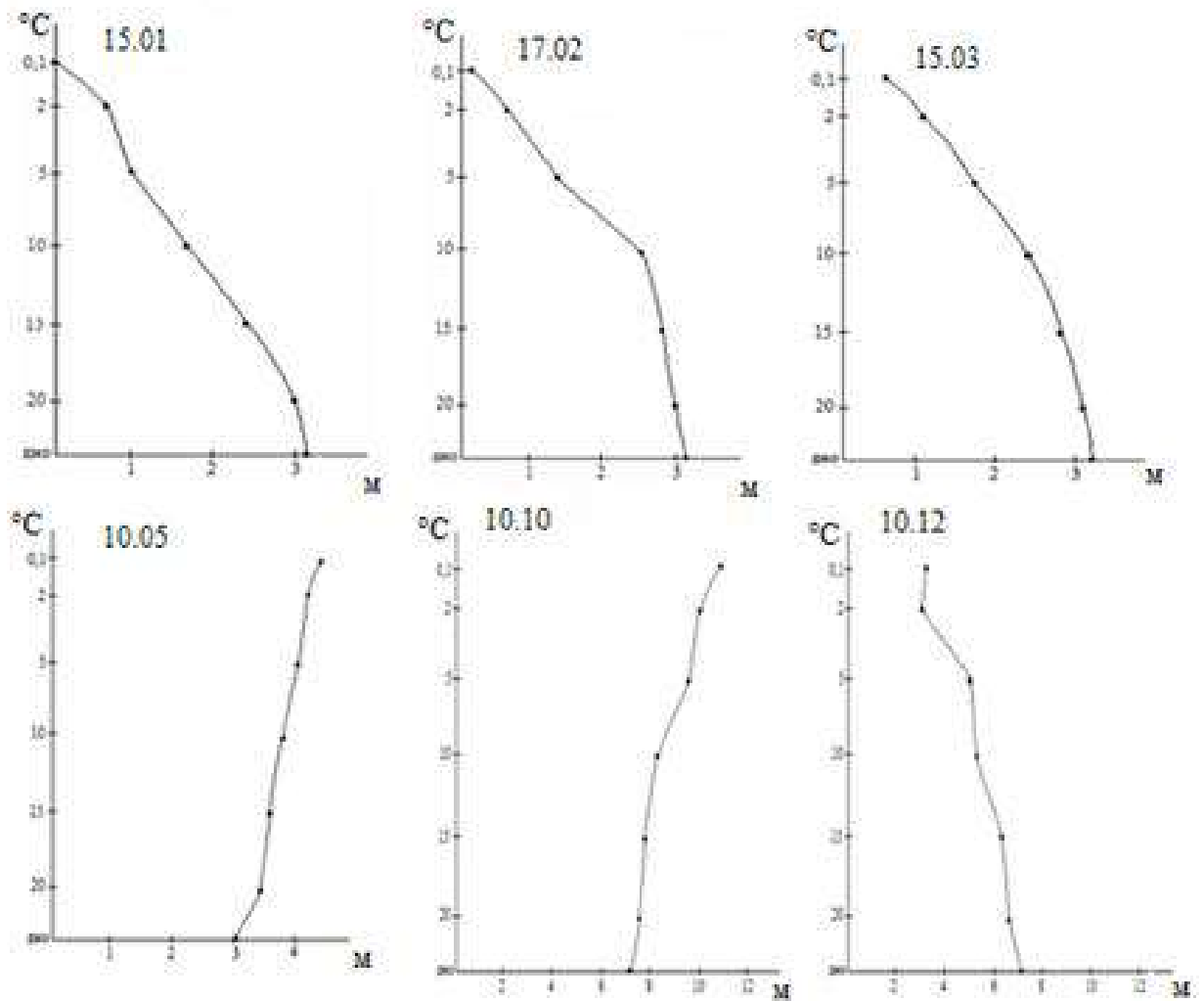


Рисунок 2.3 – Распределение температуры воды по глубине озера Тургойак в 1991 г.

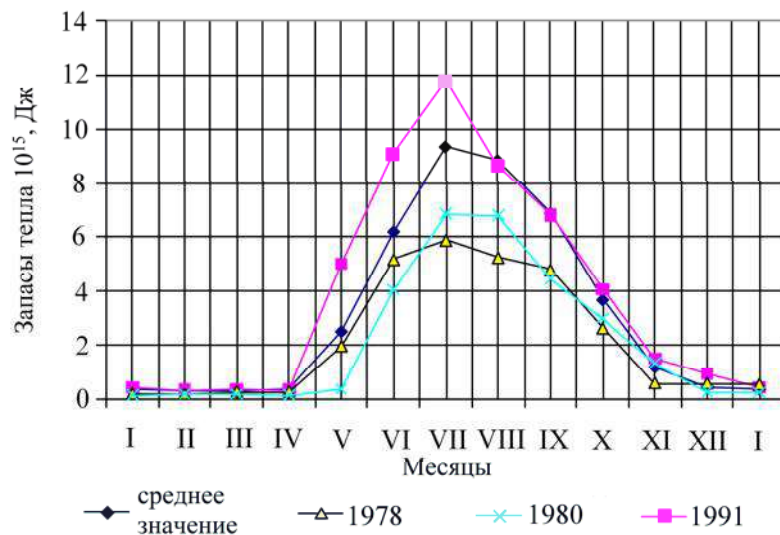


Рисунок 2.4 – Хронологическая диаграмма запасов тепла для озера Смолино

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Для всех шести озер в Челябинской области, тепловые запасы в течение длительного периода времени изучены (таблица 2.1). В то же время, коэффициент вариации средних годовых запасов тепла ( $C_v$ ), а также температуры воды достаточно низок, в пределах 0,05-0,08.

Таблица 2.1 – Среднемесячные запасы тепла для озер Челябинской области

Озеро	Период наблюдений	Запас тепла $10^{15}$ , Дж												Среднее значение запаса тепла, Дж	$C_v$
		Месяц													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Смолино	1978-1985, 1990-1996	0.334	0.28	0.29	0.32	2.47	6.195	9.35	8.85	6.88	3.65	1.14	0.43	2.58	0.08
Чебаркуль	1978-1990	0.584	0.573	0.591	0.637	1.55	4.23	6.35	6.33	5.18	3.18	1.15	0.634	2.56	0.06
Второе	1978-1985, 1990-1996	0.38	0.39	0.41	0.49	1.52	4.58	6.52	6.75	5.60	2.92	0.75	0.42	2.56	0,06
Тургояк	1978-1985, 1990-1996	2.97	2.82	3.36	3.95	6.09	13.9	22.9	24.7	22,2	17,0	10,3	5,02	0.72	0.05
Кундравинское	1978-1996	0,126	0,114	0,112	0,136	0,46	1,37	1,83	1,81	1,44	0,739	0,249	0,156	1.11	0.07
Аргаяш	1978-1996	0.087	0.092	0.123	0.189	0.83	2.02	2.93	2.89	2.27	1.34	0.445	0.128	3.35	0.08

Таблица 2.2 – Средняя многолетняя удельная мощность запасов тепла в озерах Челябинской области

Озеро	Площадь поверхности, км <sup>2</sup>	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Смолино	27.0	4.62	4.29	4.01	4.57	34.2	88.5	129.3	122.43	98.3	80.5	16.3	5.95
Чебаркуль	19.8	11.0	12.0	11.1	12.4	29.2	82.4	119.8	119.4	100.9	60.0	22.4	12.0
Второе	15.6	9.10	10.3	9.81	12.1	36.4	113.3	156.1	161.6	138.5	69.9	18.5	10.1
Тургояк	26.5	41.9	44.0	47.3	57.5	85.8	202.4	332.7	348.0	323.2	239.5	150.6	70.7
Кундравинское	7.6	6.19	6.20	5.50	6.90	22.6	69.5	89.9	88.9	73.1	36.3	12.6	7.92
Аргаяш	7.5	4.48	4.96	5.97	9.77	41.3	103.9	145.8	140.9	116.8	66.7	22.6	6.47

Существует относительная единица измерения Дж/м<sup>2</sup> или Вт/м<sup>2</sup> для сравнения теплового режима различных водоемов и определения мощности теплового потока на единицу площади поверхности водоема (таблица 2.2).

Анализ приведенных данных показывает более достаточные запасы тепла в озере Тургояк, несмотря на его меньшую площадь, чем в озере Смолино. Озеро Второе, несмотря на свою небольшую площадь, обладает хорошими запасами тепла, поскольку существуют и другие влияющие факторы.

Исследования факторов, влияющих на тепловые запасы водоемов позволили установить тесную взаимосвязь между годовым запасом тепла в расчете на единицу площади и средней глубиной озера. Удельный тепловой баланс линейно увеличивается вместе с увеличением средней глубины озер, коэффициент корреляции составляет 0,93 (рисунок 2.5). Из рисунка 5 видно, что озера с большой площадью имеют небольшой запас тепла (для озер с сопоставимой средней глубиной).

Количество тепла на единицу объема уменьшается вместе с увеличением объема и максимальной глубины водоема (рисунок 2.6), и существует нелинейная зависимость с меньшим коэффициентом корреляции ( $r_{xy} = 0,75$ ).

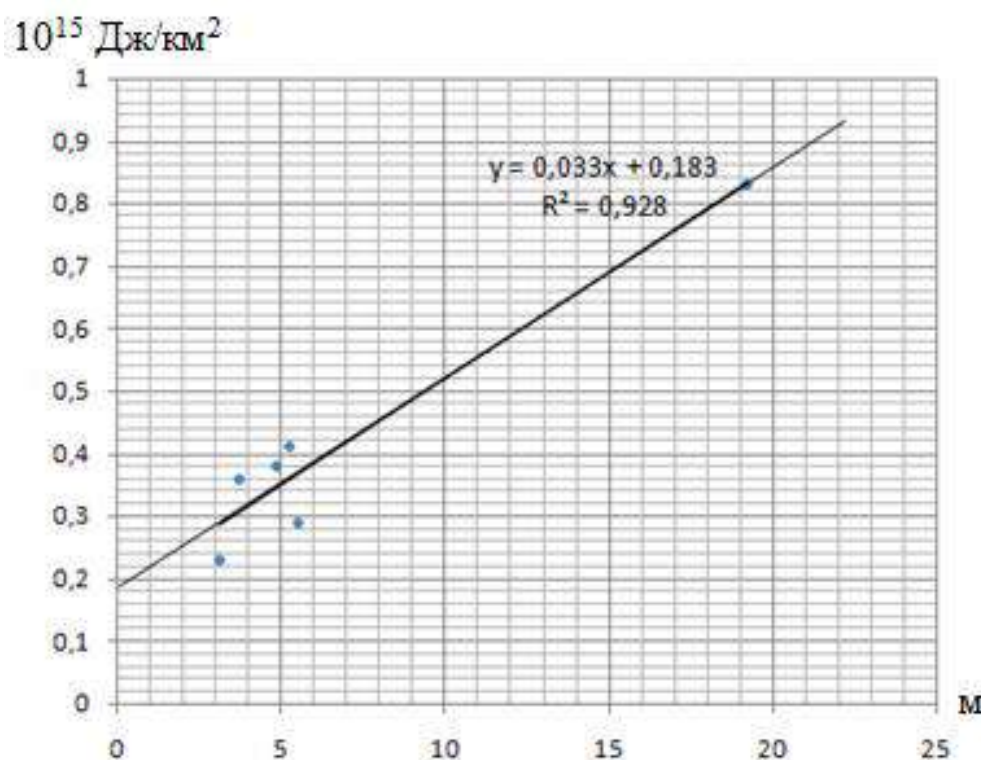


Рисунок 2.5 – Зависимость удельного теплового запаса на единицу площади поверхности на средней глубине озера

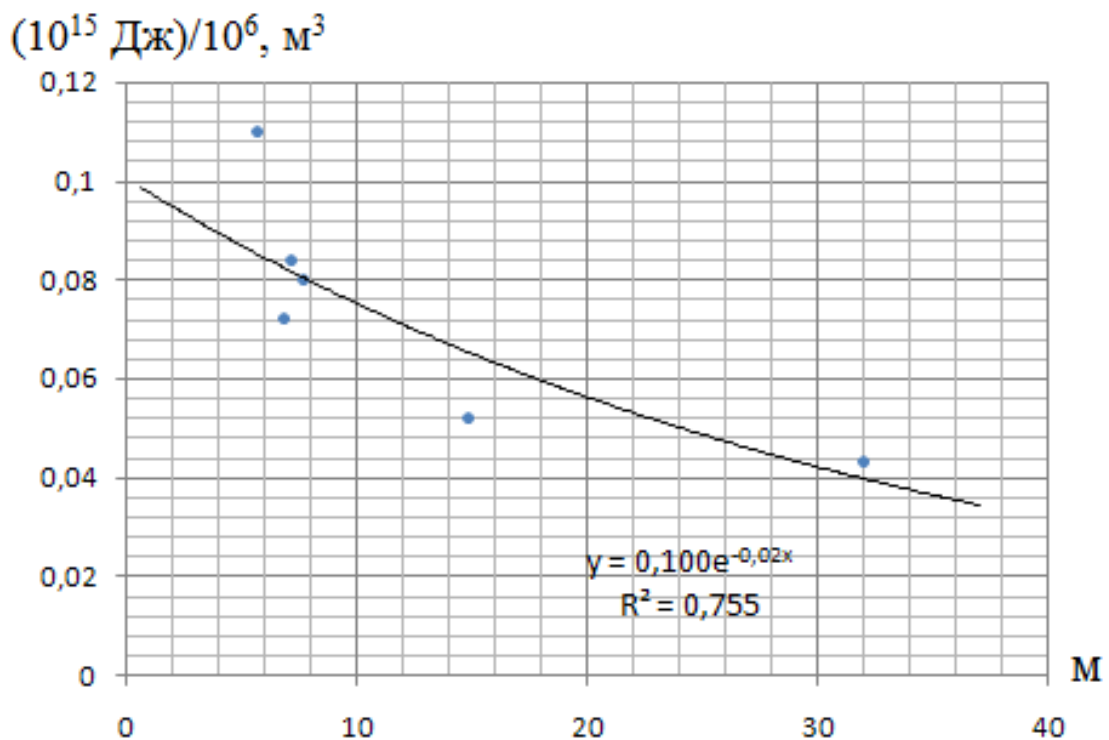


Рисунок 2.6 – Зависимость удельного теплового баланса на единицу объема от максимальной глубины озера.

Максимальная энергия низкопотенциального тепла, которое может быть преобразовано в другие виды энергии, определяется его энергией, которая обычно равна максимальной работе, которую можно выполнить, используя это тепло в определенных условиях окружающей среды.

Для определения эксергии водоемов Челябинской области были измерены среднемесячные температуры воды и воздуха (среднемесячные и суточные данные). Они были получены с помощью контрольной сети станций Уральского управления гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды [15, 16, 17, 18]. Суточные диапазоны температуры были измерены на близлежащих метеостанциях.

Согласно методу эксергии Бродянского В.М., теплоэнергетика определяется как произведение теплового потока на коэффициент полезного действия источника тепловой энергии [19].

$$E_Q = Q \cdot \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (2.1)$$

где: Q - тепловой поток,

$T_0$  - температура окружающей среды,

$T$  - температура теплового потока.

Температура атмосферы на ближайшей метеостанции принимается за температуру окружающей среды, температура теплового потока - это средняя температура всего объема водоема. Тепловой поток находится по следующей формуле [19]:

$$Q = \rho \cdot W \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

где:  $\rho$  - плотность воды, 1000 кг/м<sup>3</sup>;

$W$  - объем водоема, м<sup>3</sup>;

$c_p$  - удельная теплоемкость воды, 4,19 Дж / кг • 0К;

$\Delta T = T - T_0$ , 0К.

Соотношение эксергии-тепла [19]:

$$\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (2.3)$$

называется эксергической температурной функцией. Он также представляет коэффициент эффективности идеального теплового двигателя без энтропии, и, следовательно, эксергия сохраняется [19]. То есть это и есть коэффициент полезного действия тепла водоема.

Таблица 2.3 – Средние многолетние месячные значения эффективности озер в Челябинской области, %

Озеро	Период наблюдений	Объем 10 <sup>6</sup> , м <sup>3</sup>	Месяц											
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Смолино	1978-1996	80.2	5.6	4.9	2.6	-0.70	-0.96	-0.41	0.34	0.41	0.45	0.57	2.8	4.8
Чибаркуль	1978-1985, 1990-1996	110	6.0	5.4	3.1	-0.33	-1.03	-0.52	0.24	0.65	0.77	0.97	3.19	5.16
Второе	1978-1990	79.8	5.8	5.1	2.8	-0.58	-1.21	-0.62	0.27	0.41	0.66	0.54	2.8	4.9
Тургояк	1978-1985, 1990-1996	505	5.9	5.2	3.2	-0.62	-2.41	-2.72	-2.35	-1.51	-0.07	1.21	3.58	5.26
Кундравинское	1978-1985, 1990-1996	23.7	5.8	5.2	2.88	-0.54	-1.28	-0.38	0.24	0.45	0.39	0.50	3.09	5.06
Аргаяш	1978-1996	33.8	5.6	5.0	2.7	-0.47	-0.81	-0.14	0.10	0.75	0.80	0.82	2.91	4.78

Таблица 2.3, в которой представлена среднемесячная теплоэффективность водных объектов в регионе, свидетельствует о том, что теплоемкость всех водных объектов зимой (декабрь-февраль) выше, чем в остальную часть года, и составляет около 5%. В весенне-летний период (апрель-июнь) этот коэффициент становится отрицательным, так как в период нагрева дневная температура воды ниже температуры воздуха, и градиент температуры меняет свой знак.

Оценка технического потенциала низкопотенциальной теплоты природных водоемов важна для будущих исследований. Низкопотенциальное тепло в Челябинской области впервые применено в системе теплоснабжения базы отдыха у озера Акакуль.

Озеро Акакуль является типичным тектоническим водоемом с площадью поверхности 10 км<sup>2</sup>, средней глубиной 4,8 м и максимальной 11 м. Однако первый год использования низкопотенциального тепла в системе отопления выявил некоторые недостатки предлагаемой установки. В результате, он не работал дальше.

Основной недостаток установки является недостаточными предыдущими исследованиями теплового режима водоема и его изменений, вызванным климатом Южного Урала. Запасы тепла водоемов ежегодно имеют определенные закономерности.

Во всех озерах после «схода» льда запасы тепла начинают увеличиваться, достигая максимума в июле. С августа вместе с уменьшением солнечной радиации они снижаются. Этот процесс продолжается до замерзания.

Зимой подо льдом из-за теплообмена с дном запасы тепла воды медленно увеличиваются, и в течение года их колебания значительны.

Учитывая вышеперечисленные особенности, необходимо разработать систему использования низкопотенциальной теплоты водоемов. Данные о запасах тепла позволяют оценить их эффективность. Это потребует специальной схемы для использования низкопотенциального тепла.

Одним из перспективных направлений является использование теплонасосных установок (ТНУ). В этом случае важно выбрать электростанции в зависимости от их энергетических параметров [20, 21, 22, 23].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Известно, что природные водоемы являются многообещающими источниками низкопотенциального тепла из-за накопления солнечной энергии. Для оценки запасов тепла тепловые режимы низкопотенциальных источников энергии должны быть изучены и наблюдаются в течение ряда лет.

Максимальная энергия низкопотенциального тепла, которая может быть преобразована в другие виды энергии, определяются его эксергией, т.е. максимальной работой, сделанной при использовании этого тепла в определенных условиях окружающей среды.

Вывод по главе два: запаса низкопотенциального тепла для Челябинской области крайне обширны. Анализ наблюдений за озерами показывает что, на примере озера Смолино можно установить экспериментальную установку для преобразования низкопотенциального тепла в механическую энергию для частного использования, и по возможности сократить затраты на отопление близлежащих частных домов.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3 СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Несмотря на большой прогресс в производстве электроэнергии на ветровых и солнечных установках, а также производстве биогаза в ряде развитых стран, вклад этих альтернативных возобновляемых источников суммарно и значительно ниже основных энергетических источников - углеводородных, ядерных и гидроэнергетических станций.

Теплоснабжение это наиболее социально значимый и в тоже время наиболее топливоемкий сектор экономики: в нем потребляется 40% энергоресурсов, используемых в стране, а более половины этих ресурсов приходится на коммунально-бытовой сектор.

В настоящее время около 72% всей тепловой энергии производится централизованными источниками (мощностью более 20 Гкал), остальные 28% производятся децентрализованными источниками, в том числе 18% – автономными и индивидуальными источниками. Кроме того, незначительная часть спроса на тепловую энергию (4,5%) удовлетворяется за счет утилизации сбросного тепла от технологических установок, а доля тепла, получаемого от возобновляемых источников энергии, очень мала [24].

В последнее время проблемы энергосбережения и экономии тепловой энергии особенно остро отражаются в жилищно-коммунальном секторе.

В ЖКХ нашей страны в настоящее время эксплуатируется порядка 69 тыс. (включая ведомственные) котельных, которые вырабатывают около 650 тыс. Гкал тепловой энергии в год. В большинстве городов РФ сложилась крайне неблагоприятная обстановка с содержанием энергетического хозяйства, где свыше 40% бюджета города расходуется на теплоснабжение [24].

Около 50% объектов и инженерных сетей требует замены, не менее 16% находится в аварийном состоянии. На каждые 95 км тепловых сетей ежегодно регистрируется в среднем 60-70 повреждений.

Потери в тепловых сооружениях и сетях достигают свыше 30%, а с утечками теплоносителя ежегодно теряется более 250 млн м<sup>3</sup> воды.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Главные резервы экономии топливно-энергетических ресурсов сосредоточены не только у потребителя, но и в инженерных сетях, в том числе 25-60% по теплу.

Причин такого состояния коммунальной энергетики много. Это и дефицит финансов, износ оборудования и тепловых сетей, отсутствие перспективных схем развития систем теплоснабжения с разработкой и внедрением высокоэффективных технологий использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), а также слабое разграничение зон полномочий в коммунальной энергетике [24].

Большие резервы в повышении эффективности теплоснабжения заложены в использовании низкопотенциального тепла, нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Использование теплоты низкопотенциальных ВЭР возможна двумя путями: первый предусматривает трансформацию тепла от более высокого уровня теплоносителя ВЭР к более низкому температурному уровню потребителя; второй - трансформация тепла от источника ВЭР с более низкой температурой к более высокому уровню температуры у потребителя.

Для низкопотенциальных источников теплоты наилучшим вариантом будет преобразование низкотемпературного тепла в высокотемпературное.

Существенное улучшение экономических и экологических характеристик производства тепловой энергии достигается с помощью теплонасосных установок (ТНУ), позволяющих трансформировать низкопотенциальную теплоту ВЭР и возобновляемых природных источников до более высоких температур, пригодных для целей теплоснабжения. Кроме того, применение ТНУ дает возможность приблизить тепловые мощности к местам потребления, минимизировать протяженность тепловых сетей, рассредоточить выбросы в регионе и получать в системах отопления 3-8 кВт эквивалентной тепловой энергии в зависимости от температуры низкопотенциальных источников, затрачивая при этом 1 кВт электрической энергии.

Признание теплонасосные установки получили из-за их: [25]

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.Экономичности: чтобы передать в систему отопления 1 кВт·ч тепловой энергии тепловому насосу нужно лишь 0,2-0,35 кВт·ч электроэнергии.

2. Экологичности: ТНУ не сжигает топливо и не производит вредных выбросов.

3. Минимальности обслуживания: для работы ТНУ мощностью до 10 МВт требуется не более одного оператора в смену.

4. Короткого срока окупаемости: в связи с низкой себестоимостью производимого тепла тепловой насос имеет малый срок окупаемости.

Важнейшей особенностью ТНУ является универсальность по отношению к виду первичной энергии, возможность использования практически всех видов энергии, поскольку компрессор ТНУ может приводить в действие механическим, электрическим и любым тепловым двигателем. Это способствует оптимизации топливного баланса с замещением дефицитных энергоресурсов менее дефицитными видами.

По сравнению с электроотоплением расход электроэнергии сокращается на 50-70%: экологическая чистота, высокий уровень комфортности. Благодаря полной автоматизации ТНУ не требует постоянного обслуживания [26].

Теплонасосное оборудование позволяет, кроме отопления зданий в зимний период, дополнительно иметь горячее водоснабжение круглый год.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

### 3.1 Теплонасосные установки

Тепловой насос осуществляет передачу внутренней энергии от энергоносителя с низкой температурой к энергоносителю с более высокой температурой. Поскольку в соответствии со вторым основным законом термодинамики тепловая энергия без каких-либо внешних воздействий может переходить только с высокого температурного уровня на более низкий, для осуществления теплонасосного цикла необходимо использовать приводную энергию. Поэтому процесс передачи энергии в направлении, противоположном естественному температурному напору, осуществляется в круговом цикле. В качестве примера может быть рассмотрена схема паровой холодильной машины, где рабочим веществом служит кипящая при низкой температуре жидкость, названная хладагентом, так как она уже в течение многих лет применяется в холодильных установках.

Энергоносители, поставляющие тепловую энергию с низкой температурой для осуществления теплонасосного цикла, называют тепловыми источниками. Они отдают тепловую энергию путем теплопередачи, конвекции и излучения. Энергоносители, воспринимающие в теплонасосном цикле тепловую энергию повышенного потенциала, являются теплоприемниками. Они воспринимают тепловую энергию путем теплопередачи, конвекции и (или) излучения. Энергоноситель, служащий источником теплоты, поступает в испаритель, где испаряется жидкий хладагент. Теплота испарения, необходимая для этого, отбирается от источника тепла, так как испарение хладагента происходит при низкой температуре [27].

В круговом цикле пары испарившегося хладагента всасываются компрессором и далее сжимаются до высокого давления. При сжатии их температура повышается, что создает возможность отдачи тепловой энергии теплоприемнику.

Пары хладагента при повышенном давлении поступают в конденсатор, через который протекает энергоноситель, служащий приемником тепла. Его температура ниже температуры паров хладагента при повышенном давлении.

При конденсации пара выделяется тепловая энергия, воспринимаемая теплоприемником. Из конденсатора жидкий хладагент через регулирующий вентиль

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

(дроссельный клапан) поступает обратно в испаритель, и круговой цикл замыкается. В регулирующем вентиле высокое давление, при котором находится хладагент на выходе из конденсатора, снижается до давления в испарителе. Одновременно снижается его температура.

Простейшая схема теплового насоса представлена на рисунке 3.1 [27].

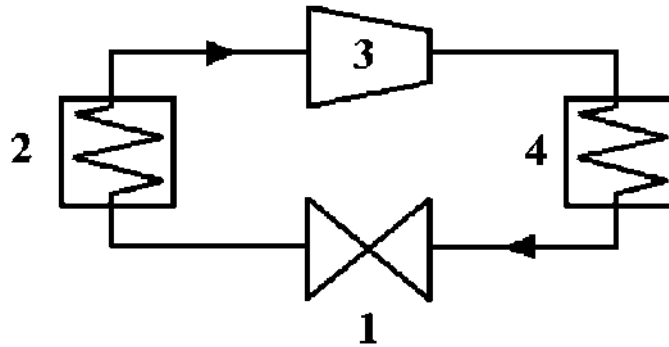


Рисунок 3.1 – Схема теплового насоса:

1 – дроссель; 2 – испаритель; 3 – компрессор; 4 – конденсатор.

Таким образом, с помощью теплового насоса возможна передача тепловой энергии от источника теплоты с низкой температурой к приемнику теплоты с высокой температурой при подводе извне механической энергии для привода компрессора (приводной энергии), что и является основным недостатком ТНУ для работы в качестве автономной установки.

### 3.2 Устройства для преобразования тепла в механическую энергию

Проекты по преобразованию низкопотенциального тепла в механическую энергию появились еще в начале 1980 годов на просторах Социалистического Союза, благодаря индустриальному и техническому развитию страны в целом. Но большинство проектов так и осталось на бумаге вследствие необходимости быстрого получения энергии, а также дешевизны первичных энергоресурсов. Также дороговизна при производстве и низкий КПД предлагаемых устройств на долго затормозили развитие этого направления ВИЭ.

Однако в последнее время тенденции развития в сфере энергосбережения кардинально изменились, вследствие постоянного удорожания перевозки и добычи полезных ископаемых. Данные изменения косвенным образом отражаются на ценах на бензин и газообразное топливо, последнее чаще всего применяется для отопления частных и небольших домов. В частности если применить тепловую установку сократить расходы на отопление можно ориентировочно почти в три раза. Однако сам тепловой насос не может работать без приложения энергии из вне, так как для его правильной работы необходим насос.

Эту проблему можно решить применив в дополнение или вместе с тепловым насосом, преобразователь низкопотенциальной теплоты в механическую. Совместив работу ТН и преобразователя энергии можно сократить расходы энергии потребляемой для прокачки теплопроводящей жидкости через трубчатые теплообменники ТН.

Так же преобразователи теплоты можно применить для гидромелиорации земель, то есть для поднятия плодородия осушенной почвы (в результате нарушения верхнего слоя при вспашке и дальнейшей эрозии) путем ее увлажнения. Установки по преобразованию тепловой энергии здесь могут выступать как небольшие насосы, подающие воду в накопительные баки для систем капельного полива или гидромелиорационных устройств.

Помимо гидромелиорации устройства по преобразованию низкопотенциальной энергии можно применить для мелиорации открытых водоемов в летний и зимний период. Мелиорация – это совокупность мероприятий по повышению

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

водообмена (перемешивание разных слоев воды для предотвращения ее застоя и появления благоприятной среды для развития водорослей) и аэрации (повышения уровня кислорода в водной среде, для предотвращения развития водорослей).

В следующей главе будут рассмотрены проекты преобразователей теплоты в механическую энергию.

Вывод по главе три: тепловые насосы получили широкое применение благодаря своей простоте и надежности, но в случае исчезновения питания компрессора или насоса в теплообменной цепи, применение ТН невозможно. Низкопотенциальное тепло же является неисчерпаемым источником энергии, которое можно получить практически на каждом водоеме, и использовать как приводную энергию для ТН.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 4 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОЕКТЫ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

В данной главе будут рассмотрены проекты по преобразованию низкопотенциальной тепловой энергии в механическую. В большинстве устройств авторы применили принцип ротации, то есть механическая энергия запасается на вращающейся детали установки: маховики, корпуса, либо лента с изменяющимися объемом полостями, и т.д. Данные изобретения так и не были воплощены в жизнь вследствие их низкого КПД, которое по заверению авторов не превышает 2-5%.

Предлагаемые устройства можно разделить на следующие категории:

- Поршневые;
- Роторные;
- Роторно-поршневые;
- Гравитационные;
- Устройства изменения давления в механическую энергию.

Наибольший интерес представляют устройства Коваленко Эдуарда Петровича, в частности его преобразователи давления в механическую энергию. Преимуществом устройств Коваленко является, минимальное количество трущихся механизмов, и как следствие простота преобразования.

Далее будут рассмотрены различные устройства, предложенные изобретателями.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 4.1 Поршневые устройства для преобразования энергии

В данных устройствах тепловая энергия преобразуется в механическую, в результате того, что термочувствительное рабочее тело помещают в замкнутый объем. Далее подводят к рабочему телу тепловую энергию от внешнего ее источника, преобразуя работу расширения рабочего тела в работу исполнительного механизма (поршня).

В качестве примера поршневого преобразователя энергии можно привести устройство Романовского В. Ф. (РФ 2189496), основанного на преобразовании тепловой энергии в механическую путем поочередного нагрева и охлаждения камер, заполненных термочувствительным рабочим телом, расположенных на периферии полого ротора, заполненного жидкостью [28].

Рассматриваемое устройство представлено на рисунке 4.1[28].

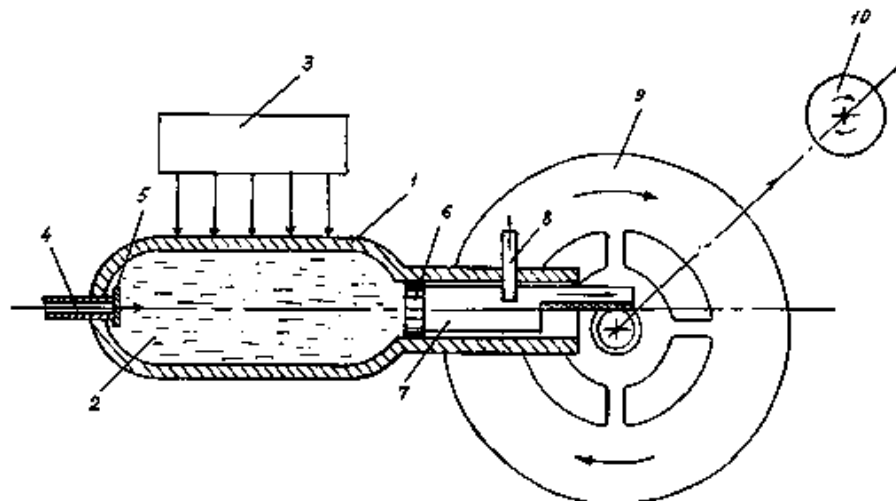


Рисунок 4.1 – Устройство для преобразования тепловой энергии в механическую

Устройство на рисунке 4.1 содержит: поглотитель тепловой энергии, выполненный в виде сосуда 1, предназначенного для заполнения однофазным жидким термочувствительным рабочим телом 2, источник 3 внешней тепловой энергии, трубопровод 4 подвода рабочей жидкости в сосуд 1 через клапан 5, поршень 6, положение которого через шток 7 зафиксировано с помощью ограничителя 8 движения. Поршень 6 в совокупности со штоком 7 и ограничителем 8 движения поршня 6 образуют гидропривод импульсного действия. Устройство содержит также инерционный аккумулятор энергии, выполненный в виде маховика 9, ко-



торый кинематически через шток 7 связан с поршнем 6 с одной стороны и исполнительным механизмом 10 с другой стороны.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом.

Жидкое однофазное рабочее тело 2 через трубопровод 4 и клапан 5 подаются в сосуд до его заполнения. С одной из сторон сосуд 1 ограничен поршнем 6. При этом поршень 6 зафиксирован в заданном положении через шток 7 с помощью ограничителя 8 движения. Далее от источника 3 внешней тепловой энергии подводят, как показано на рисунке 4.1, тепловую энергию к однофазному жидкому рабочему телу 2. В результате нагрева жидкого рабочего тела 2 и малой его сжимаемости по сравнению с газом давление внутри сосуда 1 возрастает до сотен атмосфер при нагреве рабочего тела 2 в пределах  $100^{\circ}\text{C}$  по отношению к его первоначальной температуре. По достижении некоторого допустимого для данной системы давления извлекают ограничитель 8 движения из штока 7, как показано на рисунке 4.1. Поршень 6 начинает равноускоренное движение и с помощью штока 7 раскручивает маховик 9, при этом некоторая часть внутренней энергии рабочего тела 2 переходит в кинетическую энергию маховика 9. Маховик 9 при свободном вращении кинематически не фиксируется штоком 7. Кинетическая энергия маховика 9 передается исполнительному механизму 10 [28].

Главным недостатком рассмотренного устройства является низкая эффективность преобразования тепловой энергии в механическую - расчетный КПД составляет всего лишь несколько процентов.

Следующим примером поршневого преобразователя энергии может послужить устройство Турмова Г.П. и Туркеева В.В.(РФ 2503847). В данном устройстве в отличие от предыдущего содержится внешний источник холода, что позволяет ускорить процесс преобразования тепловой энергии и повысить КПД. Также в составе устройства использованы две рабочие камеры и два рабочих колеса позволяющих повысить эффективность преобразования энергии. Каждая из рабочих камер выполнена в виде вертикального цилиндра из теплопроводящего материала и размещена в полости герметичного кожуха, выполненного с возможностью попеременного подвода в него холодной и горячей жидкости, что по-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

зволяет повысить безопасность и надежность эксплуатации, поскольку нагрев и охлаждение жидкого термочувствительного рабочего тела происходит через жидкость-теплоноситель. Рабочие колеса выполнены зубчатыми, соосно установлены на соответствующих штоках с возможностью жесткого сцепления с ними при движении штоков вверх из рабочих камер и проворачивания относительно них при движении штоков вниз в рабочие камеры, для чего рабочие колеса связаны со штоками через храповые механизмы.

Рассматриваемое устройство представлено на рисунке 4.2 [29].

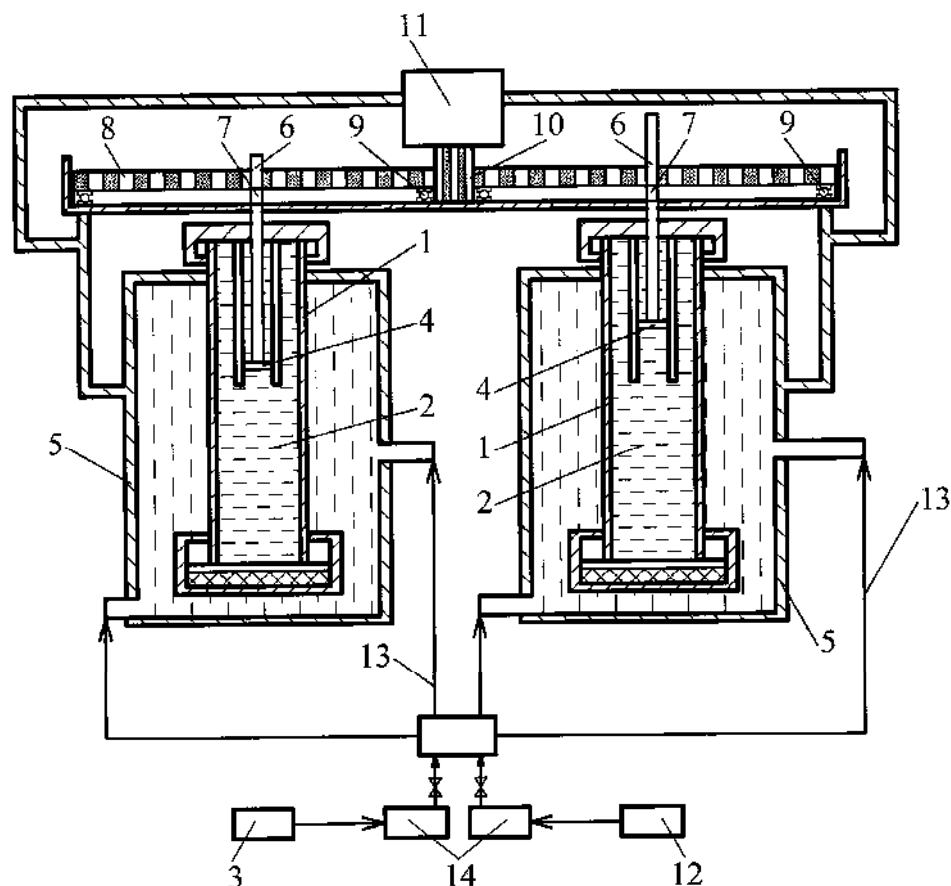


Рисунок 4.2 – Вертикальный разрез устройства

На рисунке 4.2 показаны рабочие камеры 1, заполненные жидким термочувствительным рабочим телом 2, внешний источник тепла 3, поршни 4, расположенные внутри рабочих камер 1, герметичные кожухи 5 рабочих камер 1, штоки 6 поршней 4, связанные через храповые механизмы 7 с рабочими колесами 8, вращающимися на подшипниках 9, вертикальный зубчатый вал 10, вал генератора электроэнергии 11, внешний источник холода 12, трубопроводы 13 подачи и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

31

отвода жидкости-теплоносителя в герметичные кожухи 5 рабочих камер 1 и водяные насосы 14.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом.

Жидкость-теплоноситель нагревают с помощью внешнего источника тепла 3 и через трубопроводы 13 подают от водяных насосов 14 в герметичные кожухи 5 рабочих камер 1 до полного их заполнения. Далее подводят тепловую энергию жидкости-теплоносителя к жидкому термочувствительному рабочему телу 2 внутри рабочих камер 1. В результате нагрева жидкого термочувствительного рабочего тела 2 поршни 4 начинают двигаться вверх из рабочих камер 1, в результате чего линейное движение штоков 6 с помощью храповых механизмов 7 преобразуется во вращательное движение рабочих колес 8, движущихся на подшипниках 9. Далее за счет сцепления рабочих колес 8 с вертикальным зубчатым валом 10 происходит преобразование кинетической энергии рабочих колес 8 в электрическую энергию вала генератора электроэнергии 11. Затем отводится отработанная жидкость-теплоноситель и вместо нее подается в герметичные кожухи 5 рабочих камер 1 охлажденная с помощью внешнего источника холода 12 жидкость-теплоноситель, в результате чего происходит движение штоков 6 вниз, в рабочие камеры 1 с одновременным проворачиванием рабочих колес 8 относительно штоков 6 и движением вниз поршней 4. После чего цикл повторяется [29].

Рассмотренное устройство позволяет повысить эффективность преобразования тепловой энергии в механическую, по сравнению с первым устройством. Также дает возможность расширить область применения теплового преобразователя за счет возможности использования в качестве источника внешней тепловой энергии установок, работающих на альтернативных источниках энергии, например от тепла солнечных коллекторов.

Недостатком рассмотренных поршневых преобразователей является невозможность их работы от низкопотенциального тепла, так как устройства имеют слишком низкий КПД по заверению их авторов.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 4.2 Роторные устройства для преобразования энергии

Устройства предназначены для получения механической энергии вращения за счет комплексного использования разности температур воды на разных ее уровнях, гравитационного взаимодействия и гидростатических сил.

В качестве примера роторного преобразователя энергии можно привести устройство Махожева М.М. и Манташьяна П.Н. (РФ 2045685), основанного на преобразовании тепловой энергии в механическую за счет действия разности гравитационных моментов, а также за счет разности моментов архимедовых сил.

Для этого в устройстве для преобразования тепловой энергии в механическую, содержащего гравитационный теплопреобразователь энергии, выполненного в виде двуплечего рычага-цилиндра, разделенного посередине герметичной перегородкой на две равные по объему герметичные полости. Полости в свою же очередь заполненные легкорасширяющейся жидкостью, поршни-грузы, установленные в полостях и связанные между собой штоком. Средства нагрева и охлаждения и также преобразователь энергии, использующий выталкивающую силу Архимеда, выполненный в виде сильфонов, установленных соосно цилиндру в камерах с боковыми отверстиями для связи со средой зон нагрева и охлаждения, закрепленных на торцах полостей цилиндра, при этом сильфоны заполнены газовой средой, одними концами закреплены к стенкам камер, а другими посредством полого штока соединены между собой, а средства нагрева и охлаждения выполнены в виде водоема, в котором верхние слои являются зонами нагрева, а нижние зонами охлаждения.

Устройство представлено на рисунке 4.3 и содержит герметичный цилиндр 1, разделенный герметичной вставкой 2 на два полуцилиндра, каждый из которых заполнен легкорасширяющейся жидкостью и имеет расположенные в нем массивные поршни 3, связанные между собой через герметичную вставку 2 полым штоком 4, сильфоны 5 закреплены на концах герметичного цилиндра 1 с помощью стаканов 6, имеющих отверстия 7. Центр устройства закреплен на оси стойки 8 [30].

Устройство изображено на рисунке 4.3 [30].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

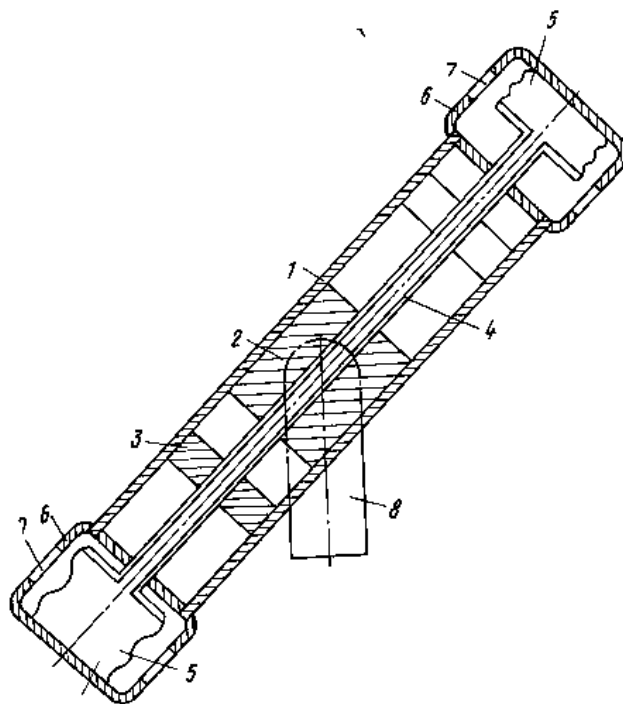


Рисунок 4.3 – Вертикальный разрез устройства

Данное устройство работает следующим образом.

При погружении устройства в воду, поверхностные слои которого имеют температуру более высокую, чем глубинные, жидкость в верхнем полуцилиндре расширяется за счет притока тепла, а в нижнем охлаждается за счет более низкой температуры воды, при этом поршни 3 перемещаются, перемещая и сам полый шток 4, концы которого изменяют объемы сифонов 5. Газ, содержащийся в сифонах, перетекает из сжимаемого в расширяющийся сифон 5 через полость штока 4. Сифоны 5 находятся в воде, которая поступает в стаканы 6 через отверстия 7. Таким образом, на устройство действует не только момент гравитационных сил, обусловленный разностью расстояния от центров масс поршней 3 до оси вращения устройства, но и момент архимедовых сил, обусловленный разницей объемов сифонов 5. Под действием моментов вышеназванных сил устройство начинает поворачиваться вокруг оси до тех пор, пока верхний конец устройства не окажется внизу, после чего цикл повторяется [30].

По словам авторов применение данного устройства позволяет повысить эффективность преобразования тепловой энергии в механическую.



теплочувствительные приводы, содержащие теплочувствительные элементы в виде пластин, выполненных из материала с эффектом запоминания направления и разной степени изгиба при разной температуре нагрева. Одна из пластин является опорной и радиально прикреплена одним концом к ободу 3 ротора, а к другому свободному концу перпендикулярно плоскостям пластины с разных ее сторон прикреплены две несущие пластины 5, направленные вдоль оси ротора. К свободным концам каждой несущей пластины прикреплен или груз 6, или поплавков 7. Опорные пластины 4 расположены в плоскости, перпендикулярной оси  $O$  ротора, а плоскости несущих пластин 5 обращены соответственно в сторону оси  $O$  или от оси ротора. Все грузы 6 и все поплавки 7 размещены на несущих пластинах соответственно с одной стороны от связанных с ними опорных пластин 4.

Верхняя часть ротора размещена выше уровня воды, и с противоположных сторон от вертикали В-В, проходящей через ось  $O$  ротора, размещены зоны нагрева и охлаждения. Зоной нагрева является поверхностный слой воды. Зона охлаждения изолирована от окружающей ротор воды при помощи перегородок 8, которые охватывают одну боковую сторону ротора и образуют открытый сверху и снизу канал 9, верхняя часть которого размещена выше уровня воды. Канал при помощи свободно проточной горизонтально направленной трубы 10 сообщается с верхней частью опущенного в нижние холодные слои воды открытого снизу и сверху и сообщающегося с окружающей водой свободно проточного трубопровода 11, верхняя часть которого размещена выше уровня воды.

На ободе 3 ротора закреплены лопатки 12 с возможностью прохождения через канал 9 при вращении ротора и создающие в нем поток воды, поступающей по горизонтально направленной трубе 10 из верхней части трубопровода 11 самотеком в связи с выполнением трубопровода в виде сообщающегося сосуда, в котором используется гидростатическое давление со стороны окружающей воды, что в совокупности обеспечивает снижение затрат энергии при создании потока воды из глубинных ее слоев в зону охлаждения 9.

Теплочувствительные приводы выполнены с возможностью перемещения поплавков в сторону оси  $O$  ротора, а грузов - от оси ротора при прохождении их

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

через канал 9 зоны охлаждения и соответственно в противоположных направлениях при движении через окружающую ротор воду, являющуюся зоной нагрева, с обеспечением при этом вращения ротора в направлении, при котором теплочувствительные приводы и лопатки 12 входят в канал 9 в верхней его части, размещенной выше уровня воды.

Внешняя относительно оси  $O$  часть обода ротора, размещенная по одну сторону от вертикали В-В, проходящей через ось ротора, и установленные на этой части обода теплочувствительные приводы и лопатки 12 введены в зону охлаждения через вертикально направленную дугообразную щель 13, выполненную в перегородке 8 канала зоны охлаждения по всей ее длине сверху вниз.

Трубопровод 11 опущен в нижние холодные слои морской воды, а ротор размещен в верхнем слое этой воды с возможностью использования постоянной разности температуры в указанных слоях и обусловленного этим неиссякаемого природного источника энергии.

Верхняя часть трубопровода 11 сообщается с верхней частью канала 9 зоны охлаждения посредством дополнительной трубы и насоса (на рисунках не показаны), обеспечивающих создание потока воды из глубинных ее слоев в зону охлаждения 9 при выпуске силовой установки из неподвижного положения с последующим отключением насоса, при этом дополнительная труба с насосом может быть постоянной составной частью установки или быть передвижной в случае, когда силовая установка выполнена в виде комплекса, содержащего несколько роторов с зонами охлаждения.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом.

В качестве исходного условия принимается, что нижняя и большая часть ротора погружена в поверхностный слой воды с температурой  $T_2$ , превышающей температуру  $T_1$  воды в глубинных ее слоях, где размещается нижняя оконечность трубопровода 11. Для начала работы силовой установки используют дополнительную горизонтально направленную трубу с насосом, который приводят в действие за счет внешнего источника энергии.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



При работе насоса создается поток воды в дополнительной трубе в горизонтальном направлении, что обуславливает незначительные затраты энергии. Свободно проточный трубопровод открыт в нижней своей части, а верхняя его часть находится выше уровня воды, поэтому он является сообщающимся сосудом для окружающей воды. Известно, что в сообщающихся сосудах уровни жидкости устанавливаются на одинаковой высоте без затрат энергии от внешних источников. В связи с этим при работе насоса в трубопроводе под действием гидростатического давления окружающей воды возникает направленный вверх поток низкотемпературной воды из глубинных ее слоев. После заполнения этой холодной водой трубопровода, она при помощи насоса будет подаваться в зону охлаждения и двигаться по каналу сверху вниз как имеющая большой удельный вес по сравнению с окружающей камеру более теплой водой из ее поверхностного слоя [31].

Холодная вода в канале 9 зоны охлаждения омывает теплочувствительные приводы, которые, как указано выше, обеспечивают перемещение грузов от оси О ротора на расстояние  $R_2$ , а поплавков - в сторону оси на меньшее расстояние  $R_1$ . В зоне нагрева грузы и поплавки соответственно перемещаются в противоположных направлениях на расстояния  $R_1$  и  $R_2$ . Изгибы опорных 4 и несущих 5 пластин в противоположных направлениях (рисунок 4.5) при прохождении их через зоны нагрева и охлаждения обеспечивают получение большой разности величин радиусов  $R_2$  и  $R_1$ . Для упрощения суждений принимается, что действующие на грузы силы тяжести  $F$  равны действующим на поплавки выталкивающим гидростатическим силам  $F$  и эти силы направлены по вертикали в противоположные стороны (рисунок 4.4). Соответственно будут направлены в противоположные стороны и создаваемые этими силами вращающие моменты. Разность этих моментов  $R_2F - R_1F$  будет направлена для грузов вниз в зоне охлаждения и для поплавков вверх - в зоне нагрева, т. е. в обоих случаях в одном направлении вращения (на рисунке 4.4 - по часовой стрелке). Под действием разности указанных моментов сил ротор приводится во вращение, и движущиеся по каналу лопатки 12 создадут в нем направленный вниз поток воды, обеспечивая при это движение воды по горизонтально направленной трубе

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

10 и трубопроводу 11 указанным выше порядком. С началом действия силовой установки работа насоса прекращается, и он вместе с дополнительной трубой снимается с данной силовой установки (в случае выполнения его передвижным или съемным). В последующем вращение ротора поддерживается постоянно за счет использования воды с разной температурой нагрева в поверхностных и глубинных ее слоях.

Размещение опорных пластин 4 теплочувствительных элементов в плоскости, перпендикулярной оси  $O$  ротора, и плоскостей несущих пластин 5 параллельно оси  $O$  полностью или в значительной мере устраняет изгибы пластин под воздействием указанных выше сил  $F$  при расположении их на горизонтали, проходящей через ось  $O$  ротора, или вблизи нее, когда эти силы создают наибольшие вращающие моменты.

По словам автора установки, она работает практически в режиме вечного двигателя, поскольку она, не потребляя никаких топливно-энергетических ресурсов и не загрязняя окружающую среду, постоянно выдает чистую механическую энергию вращения за счет неисчерпаемой тепловой энергии.

Недостатком данной установки для комплексного преобразования энергии является сложность его осуществления при условии использования в качестве источника энергии разности температур воды на различной глубине, большие размеры применяемого при этом ротора и других подвижных элементов, которые не могут быть менее 100-150м, и связанная с этим трудоемкость и большая стоимость их создания, значительное гидравлическое сопротивление вращению ротора при больших его размерах.

Рассмотрим следующий вариант устройства Кочеткова Б.Ф. (РФ 2041391). Основной целью данного устройства является повышение КПД при преобразовании тепловой энергии в механическую энергию вращения (по сравнению с рассмотренным ранее), равномерное приложение нагрузок на статор и ротор и увеличение нагрузочной способности с одновременным обеспечением простоты устройства.

Рассматриваемое устройство представлено на рисунке 4.6 [32].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

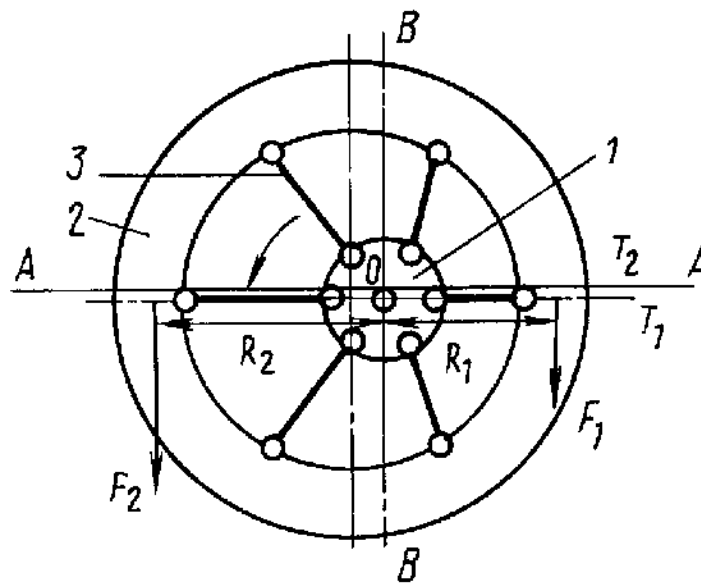


Рисунок 4.6 – Роторная силовая установка

Данная установка состоит из совмещенной с осью  $O$  ступицы 1 и массивного обода 2, которые соединяют при помощи равных по размеру радиальных связей 3, способных совершать тепловые расширения и сжатия в зависимости от температуры нагрева.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом [32].

Способ преобразования тепловой и гравитационной энергии в механическую энергию вращения заключается в том, что используют разность энергетического содержания двух смежных разделенных границей плоскостью А-А, областей пространства, заполненных газом или жидкостью с разными температурами нагрева. В данном случае область пространства, расположенная ниже границы А-А, имеет температуру  $T_1$  заполняющей ее среды (газа или жидкости) более низкую, чем температура  $T_2$  среды в смежной области пространства, расположенной отдельно выше границы А-А. Между смежными отдельными областями пространства устанавливают ротор, имеющий возможность свободного вращения вокруг горизонтальной оси  $O$ . Связи 3, размещенные с двух противоположных сторон от ступицы 1 ротора, располагают в разных смежных областях пространства по разную сторону от границы А-А с соответственно разными температурами нагрева  $T_1$  и  $T_2$  заполняющей эти

области среды, и с возможностью последовательного перемещения из одной области пространства в другую смежную область при вращении ротора. Связи 3, располагающиеся в разных областях пространства с разными температурами нагрева заполняющей эти области среды, благодаря тепловому расширению имеют разную длину  $R$ , зависящую от температуры их нагрева. При вращении ротора и прохождении связей 3 через область пространства с более высокой температурой  $T_2$ , они удлиняются за счет нагрева, а при прохождении среды с более низкой температурой  $T_1$  длина связей соответственно уменьшается. Нагревание и охлаждение связей происходит постепенно, поэтому при вращении ротора наименьшая длина связей  $R_1$  будет при пересечении ими границы А-А при выходе из менее нагретой области пространства с температурой среды  $T_1$  в область пространства с более высокой температурой  $T_2$  нагрева среды. По этим же причинам максимальная длина связей  $R_2$  будет на границе А-А при вхождении связей из области с высокой температурой  $T_2$  среды в область пространства, заполненную средой с меньшей температурой нагрева  $T_1$ . Разная длина связей  $R_1$  и  $R_2$  приведет к неравновесному положению массивного обода 2 относительно оси  $O$ . Силы тяжести  $F$ , действующие на противоположные стороны обода 2, отстоящие от оси  $O$  вращения на разные расстояния  $R_1$  и  $R_2$  создадут разные по величине и противоположно направленные вращающие моменты  $F_1R_1$  и  $F_2R_2$ . Величина разности вращающих моментов  $F_2R_2$  и  $F_1R_1$  зависит не только от расстояний  $R_2$  и  $R_1$ , но и входящих в эти выражения сил тяжести  $F_2$  и  $F_1$ , которые также различны в связи с эксцентрическим положением обода 2 относительно оси вращения  $O$  и смещением его центра тяжести относительно этой оси. За счет этого разность в величинах  $F_2R_2$  и  $F_1R_1$  еще более возрастает. Под действием разности этих вращающих моментов ротор будет совершать вращение в сторону большего по величине момента  $F_2R_2$ , т.е. в данном случае против часовой стрелки. При этом тепловая энергия только создает условия для проявления гравитационного взаимодействия, создающего вращающий момент. В связи с этим при малой теплоемкости связей 3 и большой их длине, большом температурном коэффициенте линейного расширения связей и массивном ободе 2 ротора преобразование тепловой энергии в механическую энергию будет про-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

исходить с высокими показателями коэффициента полезного действия, поскольку использование гравитационного взаимодействия (сил тяжести) не связано с какими-либо дополнительными затратами энергии.

Применение в качестве груза массивного обода 2 устраняет неравномерности в передаче вращающего момента. Возможность сосредоточить в малом объеме обода большую массу повышает нагрузочную способность системы преобразования энергии. Изготовление груза в виде единой детали обода 2 упрощает устройство и повышает компактность двигателя. Теплозащитное покрытие обода и/или изготовление его из материала с малой теплопроводностью и теплоемкостью уменьшает потери тепловой энергии при вращении обода попеременно в областях пространства с разной температурой нагрева среды, что способствует уменьшению потерь энергии. Высокий коэффициент полезного действия в данном способе обеспечивается также тем, что здесь полностью отсутствуют потери гравитационной энергии при ее преобразовании в механическую энергию, поскольку гравитационная энергия расходуется только в объеме ее потребления для вращения ротора [32].

По заверению автора для осуществления способа преобразования энергии и обеспечения работы рассмотренной роторной установки могут использоваться любые виды тепловой энергии с теплоносителями в виде газа или жидкости, отводимых от действующих энергетических установок. Не исключено также использование горячего воздуха или прямого солнечного нагрева вместе с охлаждающей водой в жарких районах. Установка имеет единственный подвижный элемент ротор, что снимает необходимость постоянного надзора за ней и предельно упрощает эксплуатацию.

Следующее устройство Троцкого Ю.М. (SU 1449702) представляет несколько иной подход к преобразованию низкопотенциального тепла в механическую энергию. Реализовано устройство путем компактного размещения в ограниченном объеме ротора большого числа термочувствительных секций.

Данное устройство представлено на рисунках 4.7 - 4.10 [33].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

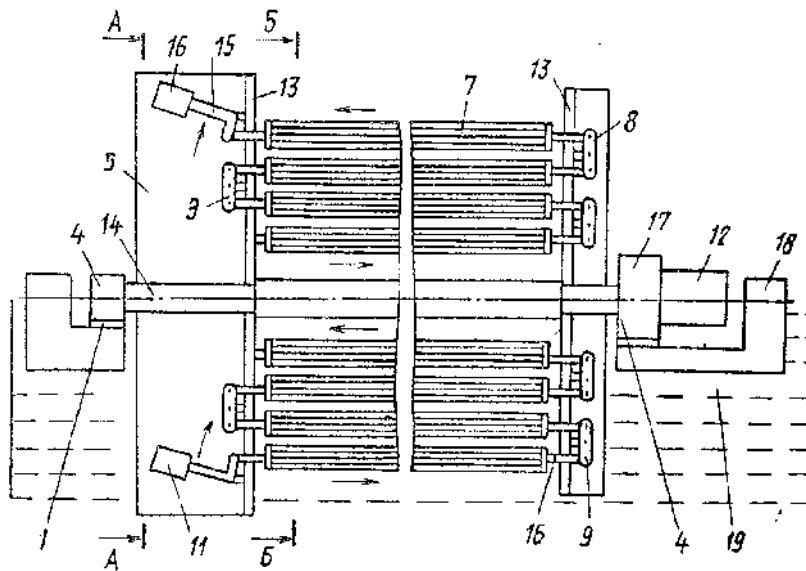


Рисунок 4.7 – Устройство Троцкого, вид сбоку

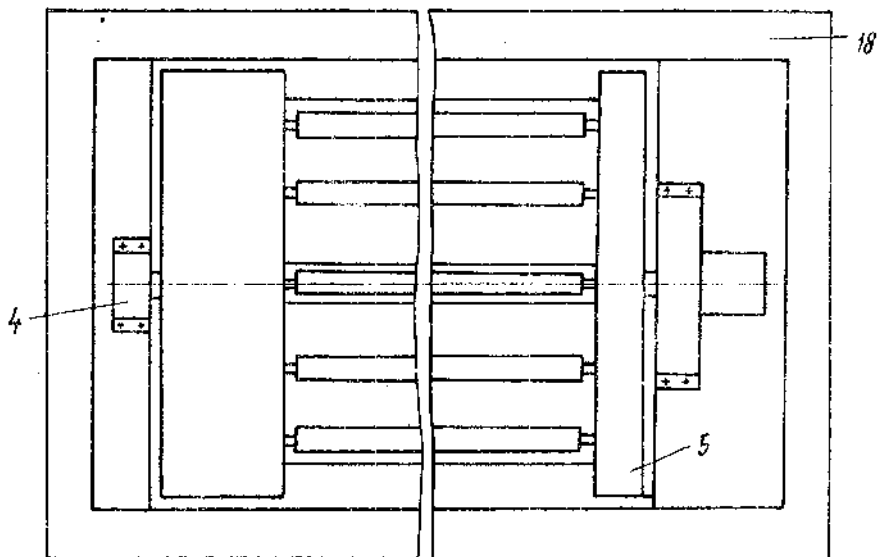


Рисунок 4.8 – Устройство Троцкого, вид сверху

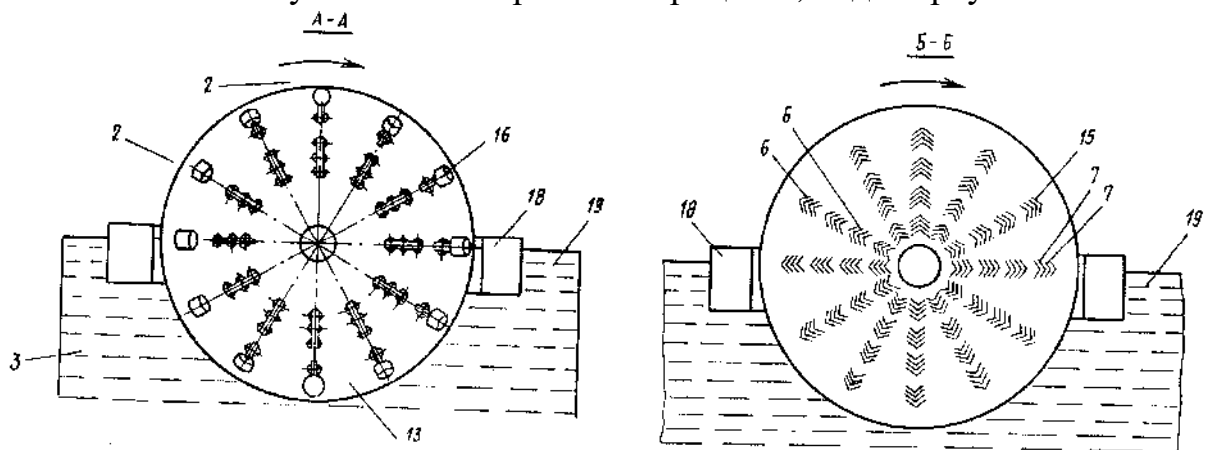


Рисунок 4.9 – Устройство Троцкого, сечения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

43

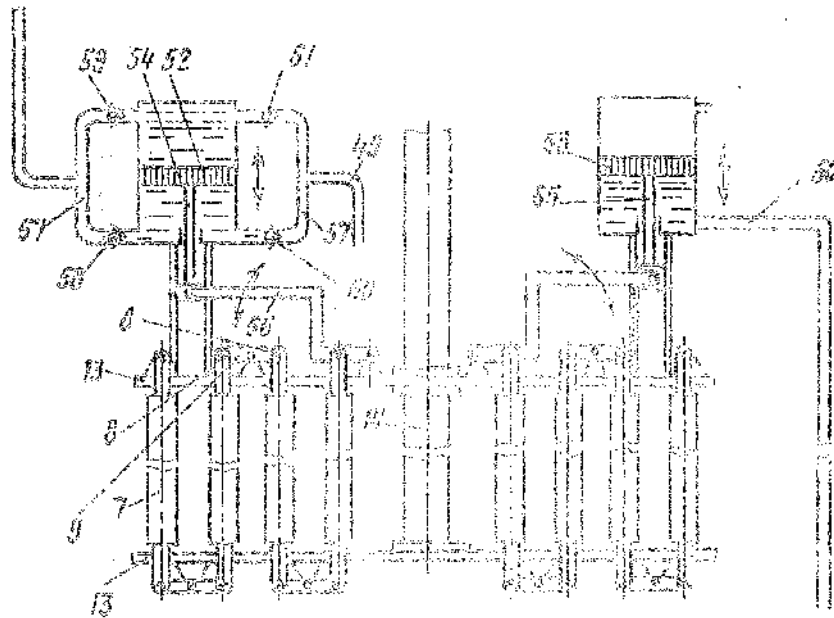


Рисунок 4.10 – Корпус устройства, изображенного с группами рабочих секций, с нагнетательным насосом

Устройство содержит основание 1 с зонами 2 и 3 соответственно нагрева и охлаждения и установленное на основании 1 посредством опор 4 с возможностью попеременного перемещения через зоны 2 и 3 корпус 3. На последнем установлены группы 6 термочувствительных рабочих секций 7. Все секции 7 каждой группы 6 последовательно связаны между собой и с корпусом 3 посредством шарниров, которые могут быть выполнены в виде осей 8, пропущенных через коромысло 9 (рисунок 4.7 и 4.10) или в виде блоков 10 (рисунок 4.9). Крайние секции 7 каждой группы 6 с одной стороны закреплены в корпусе 5 а с другой - связаны посредством передачи 1 со звеном 12 отбора мощности, например, в виде насоса, электрогенератора (рисунок 4.7 и 4.9). Корпус 3 выполнен в виде двух параллельных обойм 13, закрепленных на общем центральном стержне 14 перпендикулярно соседнему. Шарниры в виде осей 8 (рисунок 4.7 и 4.10) размещены на обоймах 13, а секции 7 каждой группы 6 расположены параллельно стержню 14 в плоскостях, проходящих через ось последнего, при этом группы 6 равно расположены по окружности вокруг стержня 14.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

44

Рабочие секции 7 выполнены жесткими в осевом направлении, с большой теплообменной поверхностью и из материала с большим коэффициентом линейного расширения. Например, каждая секция 7 может быть выполнена в виде ряда параллельно расположенных алюминиевых уголков 15, закрепленных на хвостовиках 16 (рисунок 4.7 и 4.9). Стержень 14 также выполнен жестким в осевом направлении из материала с небольшим коэффициентом линейного расширения, например из стали.

Передача 11 устройства, изображенного на фиг.1 и 3, выполнена в виде рычагов 15, кинематически связанных с грузами 16 ровно расположенными по окружности обоймы 13 с возможностью радиального перемещения, а корпус 5 установлен с возможностью вращения в опорах 4 вокруг горизонтальной оси его стержня 14. Последний связан со звеном 12 отбора мощности посредством редуктора 17. Опоры 4 и редуктор 17 закреплены на поплавке 18, помещенном на поверхности жидкого теплоносителя - воды в водоеме 19 [33].

Устройство, представленное на рисунках 4.7 и 4.9, работает следующим образом.

В естественный водоем 19, температура воды которого ниже температуры окружающего воздуха на 10 °С, устройство помещают так, что нижняя часть корпуса 5 с секциями 7 оказывается в воде, а верхняя - над водой. Рабочие секции 7, находящиеся в воде, охлаждаясь, начинают укорачиваться, а верхние секции 7, находящиеся на воздухе, удлиняются. Так как секции 7 кинематически связаны в группы 6, то соответствующие изменения длины секций 7 в пределах группы 6 суммируются и передаются рычагам 15, позволяющим увеличить ход и соответственно поднимать и опускать грузы 16. Верхние грузы 16 перемещаются радиально от оси стержня 14, а нижние приближаются к этой оси. Затем вручную поворачивают корпус 5 вокруг его оси на угол, и корпус 5 начинает вращение в ту же сторону самостоятельно за счет произведенного смещения грузов 16. Так как процесс нагревания-охлаждения достаточно инерционный, то секции 7 изменяют свою длину постепенно, и при установившемся процессе наиболее удаленный от центра груз 16 находится на участке входа в воду, а наиболее приближенный - на участке выхода из воды [33].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45



Для работы устройства можно использовать также разность температур более нагретых верхних слоев воды и нижних более холодных, но для этого необходимо погрузить устройство полностью в воду.

Неотъемлемым недостатком всех выше рассмотренных установок является достаточно низкий КПД, а также невозможность преобразования КПД при нарастании льда на поверхности водоема.

#### 4.3 Роторно-поршневые устройства для преобразования энергии

Единственным найденным роторно-поршневым преобразователем является устройство советского изобретателя Бармина Игоря Владимировича (SU 750126). Полученная с помощью этого устройства механическая энергия может использоваться для привода стационарных и передвижных объектов.

Рассматриваемое устройство представлено на рисунке 4.11 и рисунке 4.12 [34].

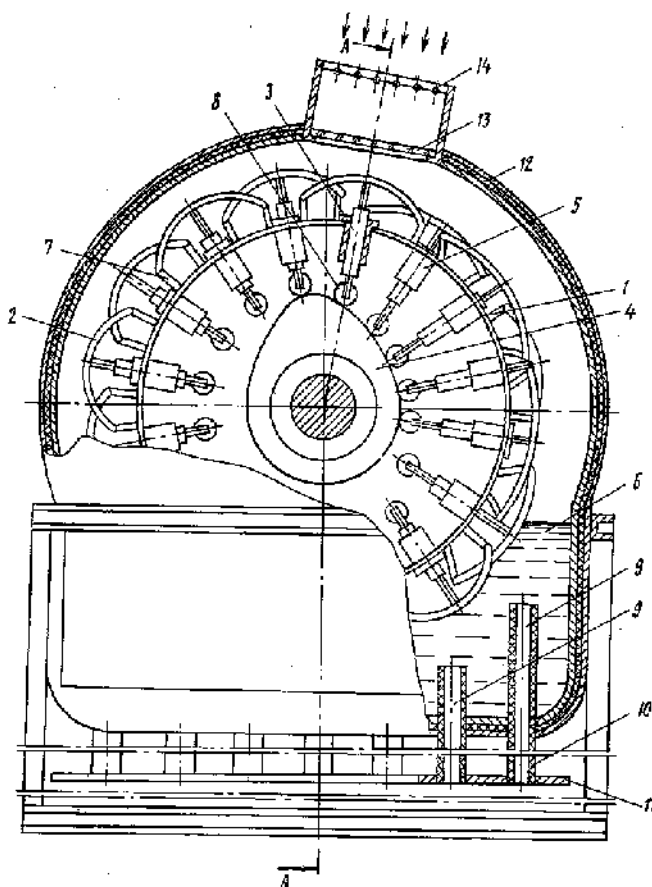


Рисунок 4.11 – Роторно-поршневой преобразователь

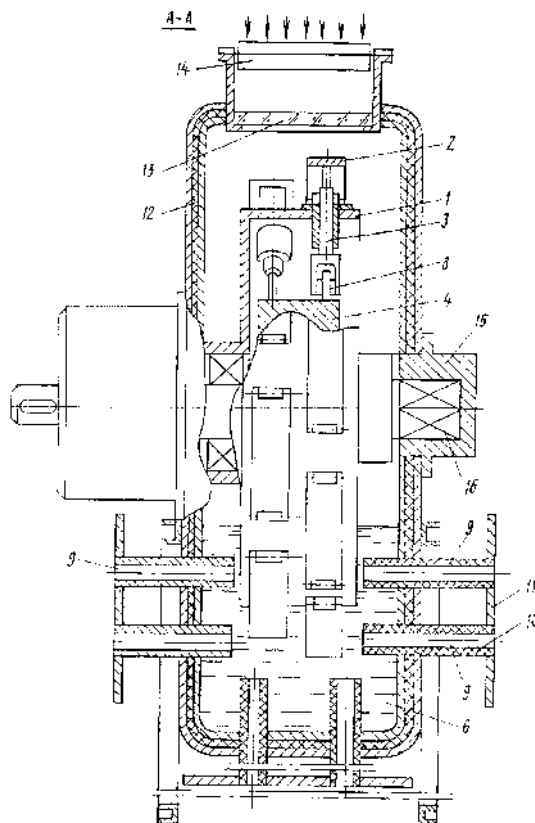


Рисунок 4.12 – Роторно-поршневой преобразователь (разрез А-А)

Данная установка содержит ротор 1 и расположенные на нем активные элементы 2, связанные посредством толкателей 3 с механизмом 4 передачи крутящего момента, направляющие втулки 5 и систему охлаждения, выполненную в виде емкости 6, заполненной хладагентом. Активные элементы 2 имеют арочную форму и выполнены из материала с термомеханической памятью, а толкатели 3 установлены в направляющих втулках 5. Ротор 1 снабжен упругими кронштейнами 7, и активные элементы 2 закреплены на последних. Ротор 1 имеет форму полого цилиндра, механизм 4 передачи крутящего момента расположен внутри него и выполнен в виде кулачка, а толкатели 3 снабжены роликами 8 взаимодействующими с последним. В емкости 6 системы охлаждения расположены тепловые трубы 9, имеющие наружные концы 10, выведенные за пределы емкости 6 и снабженные радиационным экраном 11. Ротор 1 заключен в корпус 12 с окном 13, перед которыми установлены регулирующие заслонки 14. Активные элементы 2 расположены на поверхности ротора I в несколько рядов в шахматном порядке (рисунок 4.12). Кулачок механизма 4 передачи крутящего

момента закреплен в корпусе 12 с помощью втулки 15 с одной стороны и подшипника качения (на чертеже не показан) - с другой, причем фиксация от проворачивания кулачка относительно оси осуществляется квадратной головкой 16.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом.

Тепловые (солнечные) лучи, проходя через регулируемое с помощью регулирующих заслонок 14 входное окно 13, попадают на активные элементы. При нагревании элементов до температуры структурного превращения (зависит от процентного содержания никеля в сплаве) проявляется эффект «термомеханической памяти, т. е. активный элемент 2 «вспоминает первоначальную прямолинейную форму, заданную ему при температуре выше температуры превращения. Выпрямляясь, активный элемент 2 оказывает осевое воздействие на толкатель 3, который, скользя по направляющей втулке 5 и перекатываясь с помощью ролика 8 по профилю кулачка механизма 4 заставляет вращаться по часовой стрелке ротор 1. В результате поворота ротора 1 в зону теплового облучения попадает активный элемент 2 следующего ряда и цикл повторяется. Число элементов в одном ряду, их герметические размеры и число рядов необходимо рассчитывать в зависимости от необходимых частотно-динамических характеристик на выходе. При попадании нагретых активных элементов 2 в жидкий хладагент, залитый в емкость 6 системы охлаждения, они охлаждаются и с помощью упругих кронштейнов 7 возвращаются к первоначальной заданной форме. Тепло от хладагента сбрасывается в окружающее пространство (например, в космос) с помощью тепловых труб 9 и радиационного экрана 11. Получаемая механическая энергия может быть использована для привода как стационарных объектов (например, буровые установки, насосы приводы следящих систем концентраторов солнечной энергии и т. д.), так и для транспортных средств [34].

В данной установке применение активных элементов из материала с термомеханической памятью позволяет снизить тепловую инерционность устройства, а использование тепловых труб и радиационного экрана -

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

значительно увеличить скоростные режимы, и, в конечном итоге, повысить КПД устройства. Основным недостатком этой установки является использование в качестве источника теплоты солнечных лучей, т.е. устройство не может работать при сильной облачности или ночью.

#### 4.4 Гравитационные устройства преобразования энергии

В данных устройствах преобразование тепловой энергии в механическую происходит путем погружения в жидкость камер, заполненных термочувствительным рабочим телом, расширяясь результате теплообмена с жидкостью, камеры всплывают под действием сил плавучести. Затем камеры в результате теплообмена с окружающей средой уменьшают свой объем, и опять погружаются в жидкость.

В качестве простейшего примера гравитационного преобразователя энергии можно привести устройство известного советского, а затем и Белорусского изобретателя Коваленко Эдуарда Петровича (SU 931945), основанного на преобразовании тепловой энергии в механическую путем поочередного изменения объема камер. Осуществляется данный процесс растворением газа и его выделением из растворителя соответственно при охлаждении и нагреве. В связи с тем, что растворимость газа в растворителе изменяется в широком диапазоне температур, изменение объема камер и их плавучести и эффективное преобразование тепловой энергии в механическую может происходить при использовании предлагаемого способа в условиях значительных случайных изменений рабочего диапазона температур [35].

Рассматриваемое устройство представлено на рисунке 4.13. Так же на рисунке 4.14 представлен второй вариант данного устройства [35].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

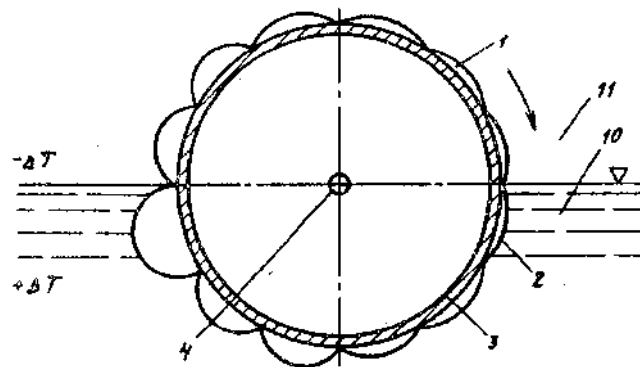


Рисунок 4.13 – Гравитационное устройство преобразования энергии с расположением камер по периметру цилиндрического колеса

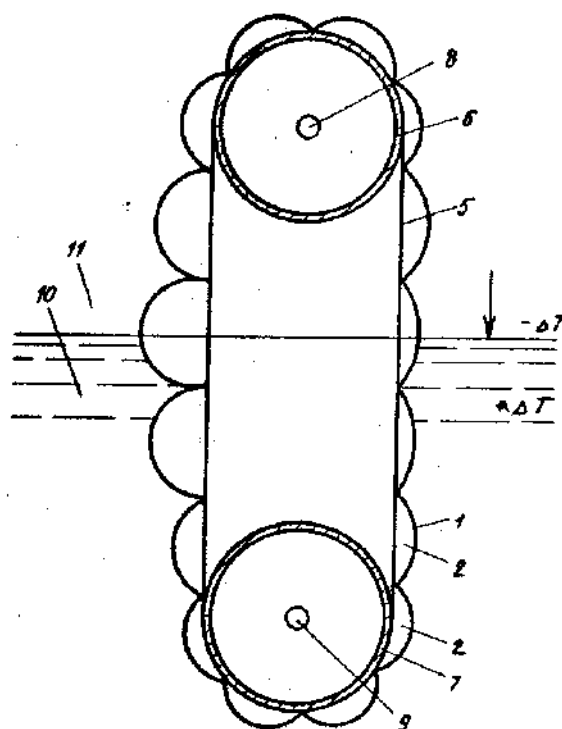


Рисунок 4.14 – Гравитационное устройство преобразования энергии с расположением камер вдоль бесконечной трансмиссии, установленной на двух колесах

Устройство содержит ряд герметичных камер 1 переменного объема, образованных упруго-эластичной пленкой 2, теплоизолированных друг от друга и последовательно расположенных (рисунок 4.13) по периметру цилиндрического колеса 3, установленного на оси 4 вращения, или (рисунок 4.14), расположенных вдоль бесконечной трансмиссии 5, например полотна, установленной на двух колесах 6 и 7, оси 8 и 9 вращения которых смещены друг

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

50

относительно друга по вертикали . Камеры 1 частично заполнены смесью газа, например аммиака, и жидкого растворителя, например воды, представляющей собой насыщенный водный раствор аммиака. Часть камер 1 погружена в жидкость 10, остальные камеры 1 находятся в контакте с окружающей, например воздушной, средой 1, причем температура жидкости 10 и окружающей среды 11 различны. Стенки камер 1 имеют возможно больший коэффициент теплопроводности и возможно меньшую теплоемкость.

Преобразование энергии в данном устройстве реализуется следующим образом.

После раскрутки колес 3 (рисунок 4.13) или 6 и 7 (рисунок 4.14) от внешнего привода в направлении, указанном стрелкой, вращение устройства поддерживается за счет тепловой энергии. В начале погружения камер 1, находящихся справа от оси вращения, их температура, объем и плавучесть минимальны вследствие охлаждения камер окружающей средой 11. В процессе погружения камер происходит их нагрев жидкостью 10, в результате чего уменьшается растворимость аммиака в воде, газообразный аммиак выделяется из растворителя - воды, увеличивая объем и плавучесть камер 1. При переходе камер 1 на левую ветвь колеса 3 (рисунок 4.13) или трансмиссии 5 (рисунок 4.14) процесс нагрева и расширения камер 1 продолжается, и камеры всплывают под действием возросших сил плавучести, После выхода камер 1 из жидкости 10 происходит их охлаждение окружающей средой 11, в результате чего увеличивается растворимость аммиака в воде, газообразный аммиак переходит в раствор, и объем камер 1 уменьшается. Далее весь процесс непрерывно повторяется, и движение колес 3, 6 и 7 происходит под действием разности сил плавучести камер на левой и правой половинах устройства [35].

По словам автора предлагаемый способ позволяет эффективно использовать для получения механической энергии небольшие естественные перепады температур, например - разницу температур воды и окружающего воздуха.

Позже Эдуард Петрович усовершенствовал конструкцию (SU 1137237) приведенного ранее устройства дабы использовать тепловую энергию,

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

содержащуюся в жидкости, при температуре окружающей среды ниже точки заморзания поверхности водоема. Чтобы образовавшийся на поверхности замерзший (застывший) слой воды не препятствовал прохождению рабочих камер при их всплытии и выходе из жидкости и после охлаждения входе этих камер в жидкость.

Данное устройство представлено на рисунке 4.15 [36].

Устройство содержит ряд герметичных камер 1 переменного объема, образованных упруго-эластичной пленкой, теплоизолированных одна от другой и последовательно расположенных вдоль бесконечной трансмиссии 2, установленной на двух колесах 3 и 4 оси 5 и 6 вращения которых смещены одна относительно другой по вертикали. Камеры 1 частично заполнены смесью газа и его жидкого растворителя. Часть камер 1 погружена в жидкость 7, имеющую точку заморзания при возможно более низкой температуре и заключенную в сосуд 8, например, погруженный в воду и имеющий стенки с возможно большей теплопроводностью. Верхняя часть 9 стенок сосуда 8 выполнена теплоизолирующей. В сосуде 8 верхний слой образован жидкостью 10, имеющей низкий коэффициент теплопроводности и объемный вес меньше, чем объемный вес жидкости 7. Часть камер 1 погружена в жидкость 7, а остальные камеры 1 находятся в контакте с окружающей, например воздушной средой 1. Для интенсификации теплообмена между сосудом 8 и водой 12 служат теплообменные плоскости 13, с помощью которых создают конвективные течения в воде 12, интенсифицирующие теплообмен масс воды с сосудом 8. Вода 12 покрыта льдом 14.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

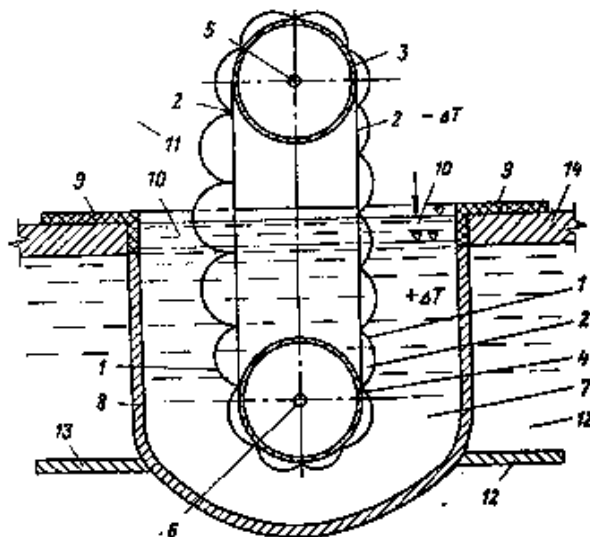


Рисунок 4.15 – Модернизированное устройство преобразования энергии

Рассматриваемое устройство работает следующим образом.

После раскрутки колес 3 и 4 в направлении указанном стрелкой, вращение поддерживается за счет тепловой энергии. При погружении камер 1, находящихся справа от оси вращения (и температура, а следовательно, объем и плавучесть минимальны вследствие охлаждения камер окружающей средой 11), температура в камерах 1 увеличивается, уменьшается соответственно растворимость аммиака в воде. Газообразный аммиак выделяется из растворителя - воды, увеличивая объем и плавучесть камер 1. При переходе камер 1 на левую ветвь трансмиссии 2 процесс нагрева и расширения камер 1 продолжается и камеры 1 всплывают под действием возросших сил плавучести. Выход камер 1 из жидкости 7 через жидкость 10 происходит без затруднений. Вынесенное камерами 1 тепло, полученное от жидкостей 7 и 10, содержащихся в сосуде 8, возмещается за счет тепла воды, окружающей сосуд 8. В результате охлаждения воды около стенок и теплообменных плоскостей 3 объемный вес воды изменяется, и в массе воды, окружающей сосуд 8, возникают конвективные течения, интенсифицирующие теплообмен между массой воды и сосудом 8. После выхода камер 1 из жидкостей 7 и 10 происходит их охлаждение окружающей средой. В результате чего увеличивается растворимость аммиака в воде, газообразный аммиак переходит в раствор и объем камер 1 уменьшается. Охлажденные камеры 1, несмотря на

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

53



низкую температуру, которую они приобретают, находятся в окружающей среде 11, проходя через слой жидкости 10 в жидкость 7, их не замораживают, так как температура замерзания жидкости ниже, чем температура охлаждения камер 11. Далее весь процесс непрерывно повторяется [36].

По словам автора произведенная модернизация позволяет использовать устройство при покрытых льдом водоемов и водотоков, при температуре воздуха ниже температуры замерзания воды.

Следующим этапом модернизации ранее рассмотренной установки является преобразователь (SU 1768800), автором которого также является Коваленко Э.П. Данный преобразователь изображен на рисунке 4.16 [37].

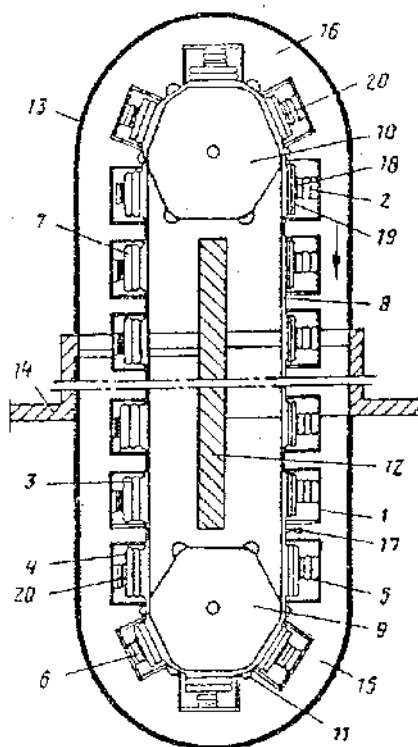


Рисунок 4.16 – Устройство преобразования энергии

Устройство содержит ряд рабочих камер 1 переменного объема, выполненных в виде двух герметичных камер 2 и 3 переменного объема, например, сифонного типа, имеющих общую жесткую подвижную диафрагму 4 и жесткие неподвижные торцевые, установленные на жесткой раме 5 днища. Герметичная камера 2 имеет теплопроводные стенки и заполнена рабочим телом

б, например, фреоном или жидким аммиаком, а камера 3 - теплоизолирующие и заполнена неконденсирующимся газом 7. Камера 2 имеет поперечное сечение, меньшее, чем аналогичное сечение камеры 3, которые гидравлически последовательно соединены между собою гибкой связью 8. Бесконечная цепь, образованная рабочими камерами 1, соединенными гибкими связями 8, установлена на колесах 9 и 10, имеющих выступы 11, предназначенные для направления и удержания бесконечной цепи в требуемом положении. Между колесами 9 и 10 установлена перегородка 12, выполненная из теплоизолирующего материала. Колеса 9 и 10 с цепью рабочих камер 1 и перегородка 12 установлены в жестком сосуде 13, имеющем теплопроводящие стенки. Нижняя часть сосуда 13 теплоизолирована от верхней его части теплоизолирующей стенкой 14, разделяющей также среды, перепад температур между которыми используют. Причем левая и правая стороны верхней и нижней части сосуда 13 относительно перегородки 12 теплоизолированы на различную высоту. Нижняя часть сосуда 13 заполнена теплопроводящей жидкостью 15, например, водой до середины части стенки сосуда 13, теплоизолирующей верхнюю и нижнюю его части. Верхняя часть сосуда 13 заполнена также теплопроводной жидкостью 16, но имеющей плотность, меньшую чем жидкость 15, например, керосином. Жидкости 15 и 16 практически не растворимы друг в друге. Оси колес 9 и 10 опираются на стенки сосуда 13 и соединены с потребителем механической энергии вращения. Одна из гибких связей имеет вентиль 17, позволяющий изменять давление газа 7 или заменять газ жидкостью. Подвижная диафрагма 4 выполнена состоящей из двух жестких стенок 18 и 19 соответственно камер 2 и 3 и имеющей зазор 20 между ними, обеспечивающий свободное обтекание их внешних сторон (по отношению к камерам 2 и 3) [37].

Рассматриваемое устройство работает следующим образом.

При охлаждении нижней части сосуда 13 например, грунтом (или водой), в котором эта часть находится, и подогревании верхней части, находящейся, например, в воздухе, имеющем более высокую температуру, чем грунт, жидкость 15 охлаждается, а жидкость 16 нагревается. В результате камеры 2 и имеющиеся в них рабочее тело б, находящиеся в жидкости 15, охлаждаются, а находящиеся

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

в жидкости 16 нагреваются. В охлаждаемых камерах 2 давление понижается, их объем уменьшается, что вызывает сдвиг подвижной диафрагмы 4 и увеличение объема камер 3. В зоне нагревания камер 2 давление в них возрастает, объем увеличивается, повышение давления со стороны камеры 2 приводит к уменьшению объема камер 3, имеющих общую диафрагму 4.

Давление на подвижную диафрагму 4 камеры 1 в неподвижном ее положении определяется зависимостью [37]:

$$P_2\omega_2 = P_3\omega_3 + P_{\text{ж}}(\omega_3 - \omega_2), \quad (4.1)$$

где:  $P_2$  - давление в камере 2;

$\omega_2$  - площадь давления камеры 2 на подвижную диафрагму 4;

$P_3$  - давление в камере 3;

$\omega_3$  - площадь давления камеры 3 на подвижную диафрагму 4;

$P_{\text{ж}}$  - давление жидкости 15 и 16 на подвижную диафрагму 4.

При условии, что потери давления на перемещение газа 7 между емкостями д о-, статочно малы, чтобы ими пренебречь, его давление можно считать постоянным. Тогда из равенства (4.1) [37]:

$$P_{2n}\omega_2 - P_{\text{ж}n}(\omega_3 - \omega_2) = P_{2m}\omega_2 + P_{\text{ж}m}(\omega_3 - \omega_2), \quad (4.2)$$

где индекс « n » означает принадлежность к камере « n », а индекс « m » - то же к камере « m ».

При расположении камер 2 « n » и « m » симметрично перегородке 12 на одной горизонтали с достаточной точностью можно считать, что [37]:

$$P_{\text{ж}n} = P_{\text{ж}m}. \quad (4.3)$$

Отсюда из зависимости (4.2):

$$P_{2n} = P_{2m}. \quad (4.4)$$

При выполнении условия (4.4) диафрагма 4 неподвижна. Однако, если:

$$P_{2n} = P_{2m}, \quad (4.5)$$

то диафрагма 4 камеры « n » смещается, сжимая камеру 3 и расширяя камеру 2.

При выполнении условия [37]:

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$P_{2n} < P_{2m}, \quad (4.6)$$

диафрагма 4 смещается в обратном направлении для случая, описанного неравенством (4.5).

При расположении камер « n » и « m » на различных отметках по высоте из зависимости (4.2)

$$P_{2n} = \frac{P_{2m}\omega_2 + (P_{Жn} - P_{Жm})(\omega_3 - \omega_2)}{\omega_2}. \quad (4.7)$$

При выполнении равенства (7) диафрагма 4.неподвижна. Однако, если

$$P_{2n} > \frac{P_{2m}\omega_2 + (P_{Жn} - P_{Жm})(\omega_3 - \omega_2)}{\omega_2}. \quad (4.8)$$

то диафрагма 4 камеры « n » смещается в направлении, при котором емкость 2 расширяется, а емкость 3 сжимается, при этом общий объем камеры « n » уменьшается. При

$$P_{2n} < \frac{P_{2m}\omega_2 + (P_{Жn} - P_{Жm})(\omega_3 - \omega_2)}{\omega_2}. \quad (4.9)$$

д диафрагма 4 камеры « n » смещается в направлении, обратном, чем в случае выполнения неравенства (4.8) [37].

При увеличении объема камеры 2 на величину  $\Delta W_2$ , принимая во внимание постоянство площади поперечного сечения имеем, что диафрагма 4 сдвигается на величину:

$$\Delta = \frac{\Delta W_2}{F_2}, \quad (4.10)$$

где  $F_2$  - средняя площадь поперечного сечения камеры 2 [37].

В этом случае объем камеры 3 уменьшится на величину  $\Delta W_3$ , равную:

$$\Delta W_3 = \frac{\Delta W_2}{F_2} \cdot F_3, \quad (4.11)$$

где  $F_3$  - средняя площадь поперечного сечения камеры 3.

Тогда изменение объема камеры 1 равно

$$\Delta W_k = \Delta W_3 - \Delta W_2, \quad (4.12)$$

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

или, принимая во внимание (4.11):

$$\Delta W_k = \Delta W_2 \left( \frac{F_3}{F_2} - 1 \right). \quad (4.13)$$

Так как  $F_3 > F_2$ , то абсолютное значение величины объема камеры 1 всегда положительное, но имеет обратный знак изменению объема камеры 2. Это означает, что когда объем камеры 2 увеличивается, общий объем камеры 1 уменьшается и наоборот, когда объем камеры 2 уменьшается, то объем камеры 3 увеличивается.

Так как объем камеры 2 при нагревании в жидкости 16 увеличивается, что общий 5 объем камеры 1 уменьшается в зоне нагревания жидкостью 16, и, наоборот, в зоне жидкости 15 камера 2 охлаждаются, их объем уменьшается, по увеличивается общий объем камер 1. В результате плавучесть камер 1 слева от перегородки 12 (рисунок 4.16) выше, чем справа, слева камеры 1 всплывают, а справа - опускаются, вращая при этом колеса 9 и 10.

Таким образом обеспечивается преобразование тепловой энергии перепада, температур между нижерасположенной средой, имеющей более низкую температуру, чем среда, расположенная над ней, причем при этом исключается загрязнение окружающей среды парами теплообменивающихся жидкостей.

Если камеры 3 вместо газа 7 заполнены через вентиль 17 жидкостью, имеющей плотность выше, чем плотность жидкостей 15 и 16, то устройство позволяет преобразовывать тепло перепада температур между нижерасположенной средой, имеющей более высокую температуру и вышерасположенной средой, имеющей более низкую температуру [37].

Рассмотренные выше установки для преобразования тепла в механическую энергию обладают одним неоспоримым преимуществом перед поршневыми и роторными преобразователями, а именно изменяемая длина ленты с емкостями заполненными термочувствительным, что непосредственно в свою очередь повышает КПД данных устройств. Здесь наибольший интерес представляют устройства с наружным корпусом, так как этот нюанс позволяет использовать эти устройства на водоемах в зимнее время года.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

#### 4.5 Устройства преобразования изменения давления в механическую энергию

Данные устройства преобразуют тепловую энергию в энергию изменения давления. Они содержат нагреватель и охладитель, заполненные рабочим телом и соединенные между собой трубопроводом подачи рабочего тела из нагревателя в охладитель и трубопроводом возврата рабочего тела в нагреватель. В трубопроводе возврата установлен открытый в сторону нагревателя обратный клапан, а звено отбора мощности подсоединено к нагревателю.

Ярким примером такого устройства является разработка Коваленко Э.П. (SU 1776875). Данное устройство изображено на рисунке 4.17 [38].

Рассматриваемое устройство содержит нагреватель 1 и расположенный над ним охладитель 2, заполненные в качестве рабочего тела газом 3и его жидкостью 4, например фреоном 5 или аммиаком; нагреватель 1 и охладитель 2 соединены между собой трубопроводом 5 подачи рабочего тела, имеющим теплоизолированные стенки, и который в пределах части 6, расположенной в нагревателе 1, выполнен перфорированным.

Нагреватель 1 и охладитель 2 соединены также трубопроводом 7 возврата жидкого рабочего тела из охладителя 2 в нагреватель 1 с обратным клапаном 8, открывающимся в сторону нагревателя 1. На трубопроводе 7 расположена гидравлическая турбина 9 или двигатель. Основание 10 нагревателя 1 выполнено с приямком 11 для сбора жидкости, причем начало 12 трубопровода 5 размещено в приямке 11 с зазором между его торцом и дном. Выход 13 трубопровода 5 расположен выше максимально возможного уровня жидкости 4 в охладителе 2, а вход 14 трубопровода 7 сообщен с нижней частью охладителя 2. В трубопроводе 5 в нижней его части коаксиально установлен трубопровод подсоса, имеющий сопло 15 с вентилем, вход в которое расположен на той же отметке, что и начало 12 трубопровода 5, с которым сопло 15 жестко связано ниже перфорации, а выход - выше перфорированной части 6 трубопровода 5. Внутренний диаметр трубопровода 5 больше, чем внешний диаметр сопла 15 в пределах последнего, выше сопла площадь поперечного сечения трубопровода 5 уменьшается на площадь поперечного сечения сопла 15 трубопровода подсоса.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

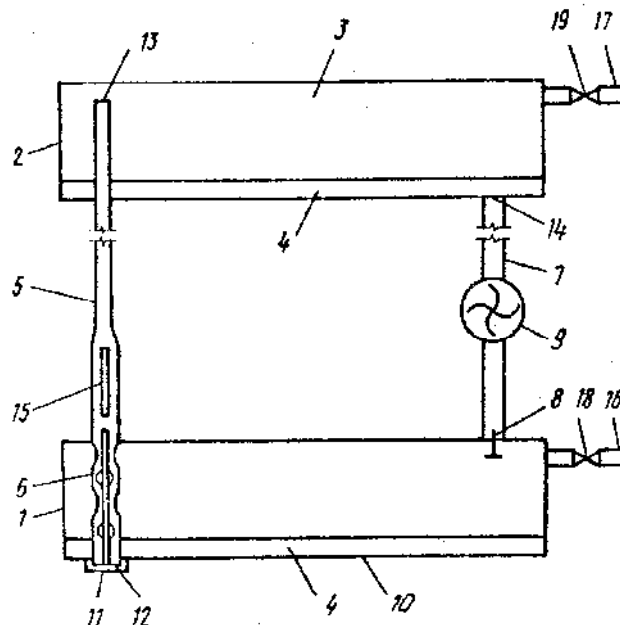


Рисунок 4.17 – Устройство преобразования изменения давления

Трубопроводы 16 и 17 в качестве звеньев отбора мощности соответственно подключены к нагревателю 1 и охладителю 2 через вентили 18 и 19. Объем жидкого рабочего тела в устройстве больше, чем его объем в полностью заполненном трубопроводе 7. К турбине 9 подсоединен генератор электрического тока или насос. Трубопроводы 16 и 17 подсоединены к дополнительному потребителю энергии перепада давления. На трубопроводе 7 может быть установлено несколько последовательно установленных турбин с расположенными между ними буферными камерами. В части трубопровода 5 на уровне ниже выхода сопла 15, но выше перфорированной части 6 трубопровода 5 установлен вентиль, регулирующий поступление газа, обтекающего сопло (на рисунке 4.17 не показано). Трубопровод 5 и трубопровод 7 выполнены имеющими вставные части одинаковой длины по высоте (на рисунке 4.17 не показано) [38].

Данное устройство работает следующим образом.

При закрытых вентилях трубопроводов 16 и 17 жидкость 4 (например подогревают в нагревателе 1. В результате этого давление газообразного фреона или аммиака увеличивается. Газ 3 через отверстия перфорированной части 6 поступает в трубопровод 5 (при открытом его вентиле) и по нему в охладитель 2.

Поступление газа в охладитель 2 происходит при условии (с точностью до потерь и инерционной составляющей, что

$$\Delta P = g\rho_2 H, \quad (4.14)$$

где:  $\Delta P$  - перепад давления газа в нагревателе 1 и охладителе 2;

$\rho_2$  - средняя плотность газа в трубопроводе 5;

$H$  - высота столба газа в трубопроводе 5;

$g$  - ускорение силы тяжести.

В охладителе 2 газ охлаждается и конденсируется, выделяемое при этом тепло отводят через стенки охладителя 2 в среду, охлаждающую его. При отводе газа 3 из нагревателя 1 в нем давление несколько понижается, и из жидкого рабочего тела 4 выделяется газ, который непрерывно и равномерно начинает поступать по трубопроводу 5 в охладитель 2. При этом в нагревателе 1 при испарении жидкости поглощается тепло которое непрерывно подводится через стенки нагревателя 1 от подогревающей среды к рабочему телу. Так как давление в нагревателе 1 выше, чем давление в охладителе 2, клапан 8 закрыт и блокирует поступление газа из нагревателя 1 по трубопроводу 7 возврата в охладитель 2. Конденсированная в охладителе 2 жидкость 4 стекает в трубопровод 7. По мере увеличения столба жидкости 4 в трубопроводе 7 давление его на лопасти турбины 9 и клапан 8 увеличивается. Когда перепад давления жидкости на клапан 8, действующей на него со стороны охладителя 2, и давления газа 3 со стороны нагревателя 1 станет больше, чем перепад давления газа 3 между нагревателем 1 и охладителем 2, клапан 8 открывается и жидкость 4 поступает в нагреватель 1. При этом должно соблюдаться неравенство (с точностью до потерь):

$$g\rho_{ж}H_{ж} > \Delta P + g\rho_2 h, \quad (4.15)$$

где:  $\rho_{ж}$  - средняя плотность жидкости 4 в трубопроводе 7;

$H_{ж}$  - высота столба жидкости 4 в трубопроводе 7;

$h$  - высота жидкости 4, необходимая для привода турбины 9 (высота напора на турбину или турбины);

$g\rho_{ж}h$  - напор, утилизированный турбиной или турбинами.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



При условии, что

$$Q_K = Q_T, \quad (4.14)$$

где  $Q_K$  - расход жидкости, получаемой конденсацией газа в охладителе 2;

$Q_T$  - расход жидкости, сбрасываемой через турбину 9;

происходит равномерное перемещение рабочего тела-теплоносителя из нагревателя 1 по трубопроводу 5 в виде газа в охладитель 2 и сброса с него через турбину 9 жидкости обратно в нагреватель 1 по трубопроводу 7, и т.д. в непрерывном процессе. В этом случае осуществляют непрерывный равномерный теплообмен между нагревающей и охлаждающей средами при одновременном использовании гидравлической гравитационной энергии слива жидкого рабочего тела. Когда перепад температуры между нагревающей и охлаждающей средами увеличивается, и при этом возрастает разница температур рабочего тела в нагревателе и охладителе, перепад давления газа в нагревателе и охладителе увеличивается, соответственно возрастают скорости газа в трубопроводе 5. При обтекании газом сопла 15 давление на выходе из него меньше, чем на входе. При определенной скорости газа, обтекающего выход из сопла 15, с него срываются капли жидкости, которые подхватываются потоком газа и выносятся им в охладитель 2. Таким образом, часть избыточной энергии движущегося газа используется в рассматриваемом случае для подъема жидкого рабочего тела в охладитель 2. Это также интенсифицирует испарение рабочей жидкости из-за интенсификации теплообмена. В результате увеличивается масса жидкости, сбрасываемой по трубопроводу 7. Количества жидкости, проходящей через сопло 15 трубопровода подсоса, регулируют вентилем , установленным на нем. В рассматриваемом случае избыточная энергия перепада давления газа в нагревателе 1 и охладителе 2 может также отводиться потребителю по трубопроводам 16 и 17 при открытых вентилях 18 и 19, величиной открытия которых регулируют количество энергии, отводимой от устройства потребителю, например , для привода объемных насосов. Регулирование жидкости, проходящей через сопло 15 с помощью вентиля, установленного на нем, а также отвода части энергии перепада давления газа по трубопроводам 16 и 17 через их

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

вентили внешнему потребителю позволяет расширить возможности поддержания равномерного теплообмена между нагревающей и охлаждающей средами при одновременном использовании энергии слива жидкости с обеспечением более широких возможностей регулирования работы турбины без потерь энергии и уменьшения КПД устройства. Высоту расположения охладителя 2 над нагревателем 1 регулируют изменением количества вставных частей в трубопроводах 5 и 7, добавляя или демонтируя которые, соответственно увеличивают и уменьшают расстояние по высоте между нагревателем 1 и охладителем 2. При этом вентиль на трубопроводе 5, вентиль сопла 15 и турбина 9 закрыты. При открытом вентиле сопла 15 трубопровода подсоса и закрытом вентиле трубопровода 5 [38].

Данное устройство целесообразно прежде всего использовать для утилизации тепла сбросных вод, поступающих в естественные водоемы или охладители, в том числе пруды-охладители в районах, имеющих подходящие перепады отметок земной поверхности, например в горных районах. Так же устройство позволяет избежать негативных экологических последствий, связанных с неравномерным во времени отводом сбрасываемого тепла, причем без интенсификации испарения сбрасываемых вод, что особенно важно с технологической и экологической точек зрения. Кроме того, оно дает возможность повысить КПД устройства при преобразовании тепловой низкопотенциальной энергии в механическую.

Вывод по главе четыре: рассмотренные в данной главе проекты устройств, технически реализуемы, но из-за больших механических потерь, КПД устройств составляет единицы процентов. Также не все устройства предназначены для работы на замерзших озерах, следовательно разрабатываемое устройство должно быть защищено в некой капсуле, позволяющей защитить устройство от намерзания льда.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 5 ПРЕДЛАГАЕМОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ

Рассмотренные в предыдущей главе устройства являются лишь запатентованными способами преобразования энергии. Эти устройства так и не были построены вследствие низкого КПД, большого количества трущихся и сопрягающих друг с другом элементов, и что не маловажно негативной оценки с точки зрения преобразования энергии на водоемах, и прудах охладителях.

Так же на основе рассмотренных устройств из предыдущей главы следует отметить, что предлагаемое устройство необходимо:

- сконструировать с минимальным количеством элементов;
- обеспечить легко отмываемым защитным корпусом;
- сделать достаточно плавучим;
- обеспечить фланцами для подключения к ТН;
- обеспечить легко заменяемыми компонентами в случае их выхода из строя.

За основу устройства был принят преобразователь давления Кочеткова Э.П. (SU 1776875) и внесем ряд изменений с целью повышения эффективности использования, а также ремонтпригодности.

Упрощение конструкции будет достигнуто следующим образом: нагреватель и охладитель примыкают внешними поверхностями непосредственно к корпусу преобразователя. Корпус устройства выполнен в виде стального нержавеющей цилиндра, оканчивающегося полусферой по внутренним поверхностям которого расположены теплообменники. Корпус имеет разъемную часть выполненную в виде фланцевого соединения двух половин, с уплотнением между ними для препятствия попадания во внутрь корпуса воды. Половины корпуса оснащены петлями для подъема или опускания устройства относительно уровня воды в водоеме. Внутри корпуса расположена микротурбина, приводящая путем передачи механической энергии через вал циркуляционный насос теплового насоса в цепи теплообменника типа «вода-вода». Помимо турбины в корпусе располагается обратный клапан препятствующий обратному току жидкости из нагревателя в охладитель. Так же выходы для подключения цепи теплообменника имеют про-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

ходят сквозь корпус, и имеют на концах трубную резьбу (либо приварные фланцы).

Соединения теплообменников с турбиной, выполнены при помощи эластичных муфт, или шлангов нужного диаметра.

По теплообменникам циркулирует жидкость с высоким коэффициентом расширения, например спирт или керосин.

Теплообменники выполнены из нержавеющей труб. Верхний теплообменник сгибается таким образом чтобы, обеспечить плотную посадку во внутренний диаметр верхней части корпуса. Чтобы упростить процесс установки верхнего теплообменника, верхняя часть корпуса выполнена с дополнительным фланцевым соединением. Аналогично верхнему теплообменнику сгибается и нижний, но с плотностью посадки достаточной для разбора устройства.

Плаучесть предлагаемого устройства будет выполняться следующим образом: корпус устройства выполнен полым внутри, вследствие этого внутреннее пространство может быть заполнено гранулами теплоизоляционного материала, или жидкостью.

В случае заполнения корпуса гранулами теплоизоляционного материала плаучесть установки будет обусловлена подъемной выталкивающей силой, то есть силой Архимеда. Чтобы удержать устройство на одном месте расположения, снизу корпуса предусмотрена петля. К петле подвешивается, уравнивающий подъемную силу воды, груз. Груз выбирается в зависимости от объема установки. В случае расположения установки недалеко от берега на дно укладывается груз, с прикрепленным к нему блоком, через который протягивается трос, одним концом трос прикрепляется к устройству, вторым – к неподвижному объекту на берегу водоема. Этот способ монтажа является наиболее простым, и универсальным для установки устройства в прибрежной зоне. Так же применение устройства как «поплавка» упрощает его технический надзор и повышает ремонтнопригодность.

В случае заполнения корпуса жидкостью установка подвешивается в воде за верхнюю петлю через трос. Трос крепится к понтону, удерживающему установку на заданном уровне относительно поверхности водоема. Этот способ мон-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

тажа является более сложным, так как для проверки или чистки корпуса устройства необходимо будет воспользоваться плавучим подъемным механизмом, для извлечения устройства из воды.

Если устройство будет использоваться в холодном климате, то внутренняя часть заполняется жидкостью, для повышения теплопроводности. В качестве теплопроводной жидкости можно применить два состава. Для нижней половины например водный раствор поваренной соли, а для верхней например – керосин. В следствие, меньшей плотности керосин будет всегда держаться на поверхности водного раствора, и эффективней остужать/нагревать (в зависимости от времени года) теплопроводящую жидкость в верхней части устройства.

Турбина состоит из двух микротурбин посаженных на один вал. Корпус турбины выполнен из двух разборных половин, одна для жидкости внутри устройства, вторая жидкости участвующей в теплообмене ТН. Половины корпуса механической турбины не имеют каналов для обмена жидкостями из разных контуров. Уплотнения вала представляют собой сальники из хим-маслобензостойкого материала, плотно посаженных в корпуса турбин. Половины соединяются болтами, соосно относительно вала. Каждая крыльчатка посажены на вал и притянута гайкой, с необходимым моментом. Половины прикрыты крышками максимально повторяющими профиль крыльчатки, дабы избежать самотека жидкостей.

Обратный клапан выполняется в виде полого цилиндра с расположенным внутри клапаном пропускающим жидкость только в одну сторону. Клапан может быть выполнен в виде мембраны из силиконового материала с высокой химической стойкостью. Или же в виде подпружиненного нержавеющей шарика, упирающегося в конусное отверстие.

Устройство упрощенно представлено на рисунке 5.1. Часть ранее оговоренных нюансов не изображены на рисунке, но дают вполне понятное объяснение конструкции каждого из элементов установки.

Разработанная установка содержит верхнюю часть корпуса 1, нижнюю – 2, верхний теплообменник 3 и нижний теплообменник 4, турбину 5, соединитель-

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

ные патрубки 6, обратный клапан 7, выходы для подключения цепи теплообменника теплового насоса 8.

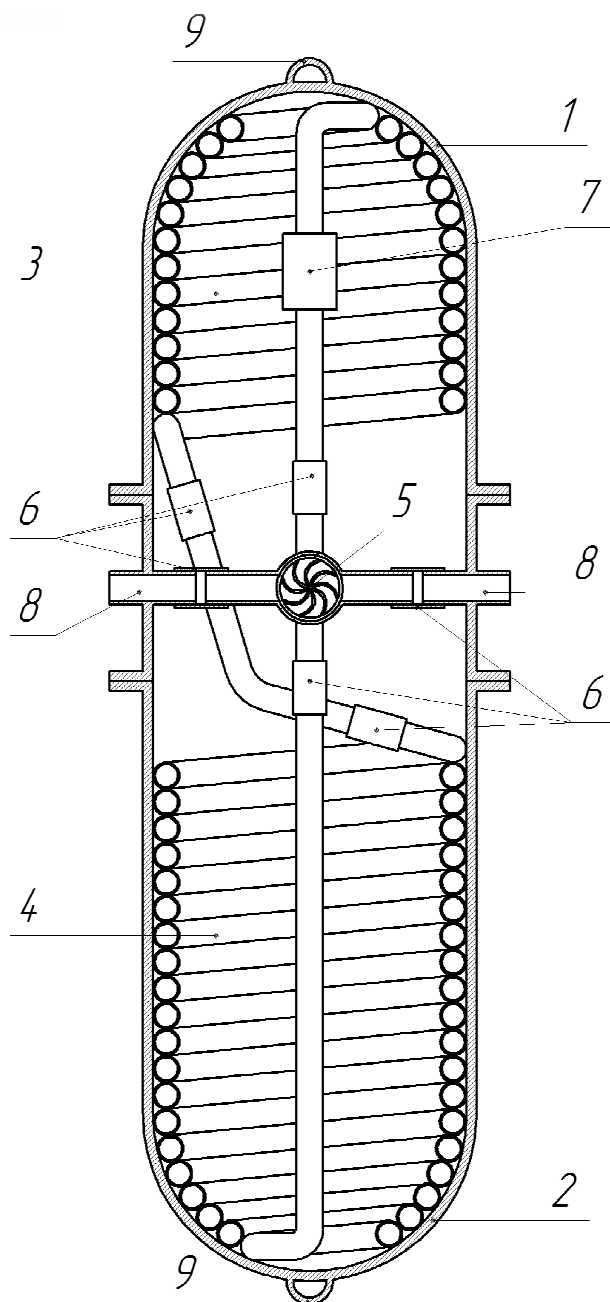


Рисунок 5.1 – Разрез предлагаемого устройства.

Разработанное устройство работает следующим образом. Будучи помещенным в водоем вследствие перепада температур нижних и верхних слоев воды, нижняя часть корпуса 2 начинает нагреваться и передавать тепло на трубчатый нижний теплообменник 4. Жидкость в нижнем теплообменнике вследствие нагрева начинает плавно разгоняться, набирая при этом кинетическую энергию,

и пройдя змеевик верхнего теплообменника 3 попадает в турбину 5 через обратный клапан 7. Пройдя турбину жидкость снова попадает на нижний теплообменник и цикл повторяется. Турбина приведенная в движение от разогретой жидкости передает свою энергию на вал, тем самым перекачивая жидкость для теплообмена в трубопроводах ТН.

В зависимости от времени года устройство может по разному работать. Летом когда верхние слои гораздо теплее нижних верхний теплообменник будет нагревателем, а нижний охладителем. Зимой же нижние слои воды теплее и поэтому нагрев жидкости происходит в нижнем теплообменнике, а остывание в верхнем.

Данное устройство позволяет повысить коэффициент преобразования низкопотенциального тепла водоемов, и сократить расходы на перекачивание жидкости в трубопроводах ТН. Еще большую эффективность данное устройство может показать в прудах-охладителях, тем самым выравнивать их терморежим.

Вывод по главе пять: разработанный проект отвечает необходимым условиям оговоренным ранее, его энергетическая производительность как устройств рассмотренных ранее не будет превышать и 10%. Такой вывод не однозначен, так как посчитать реальный КПД устройства довольно сложно, вследствие многих неизвестных параметров. Но применение разработанной установки в паре с ТН позволит снизить затраты электрической энергии на перекачивание теплонесущей жидкости по трубопроводам ТН.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Дать технико-экономическую оценку возможного использования устройства можно путем расчета теплонасосной установки. В результате расчета можно получить какой объем воды необходимо прокачать через ТН для эффективного отопления здания. Рассчитав затраты электроэнергии на электронасос, можно получить величину экономии в кВт с использованием в ТН установки для преобразования низкопотенциального тепла.

### 6.1 Характеристика отапливаемого объекта

Проект одноэтажного здания с наружными стенами из конструкционно-теплоизоляционного пеноблока марки D800, пол дома – деревянный. Типовой проект здания предназначен для индивидуального строительства в 1...3 климатических подрайонах с обычными геологическими условиями, с районной наружной температурой воздуха минус 34 °С. Общая площадь здания, 42,81 м<sup>2</sup>. Здание изображено на рисунке 6.1, этажный план на рисунке 6.2.

Площади ограждений, теряющих тепло, представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Площадь ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Площадь, м <sup>2</sup>
Первый этаж	
Стены	57,49
Наружные двери	1,91
Окна	6,1
Потолок	36,5
Пол	36,5
Крыша	49,6

Ограждающие конструкции состоят из нескольких материалов, которые характеризуются коэффициентом теплопроводности  $\lambda$  и толщиной  $\delta$ . Они приведены в таблице 6.2

Температура наружного воздуха, используемая в расчете тепловых потерь, берется по реальным показаниям (таблица 6.3) среднемесячной температуры отопительных сезонов 1974 – 2003г.



Фасад здания



Вид сбоку

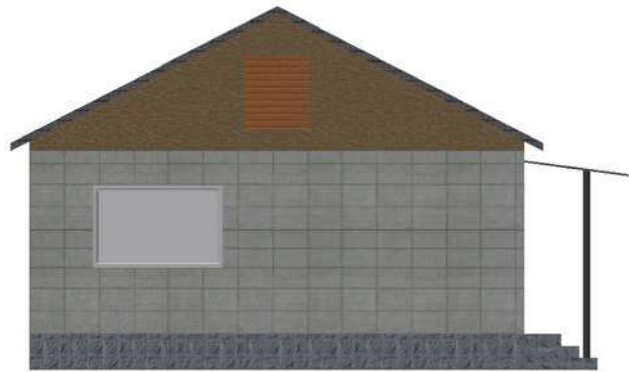


Рисунок 6.1 – Фасад здания

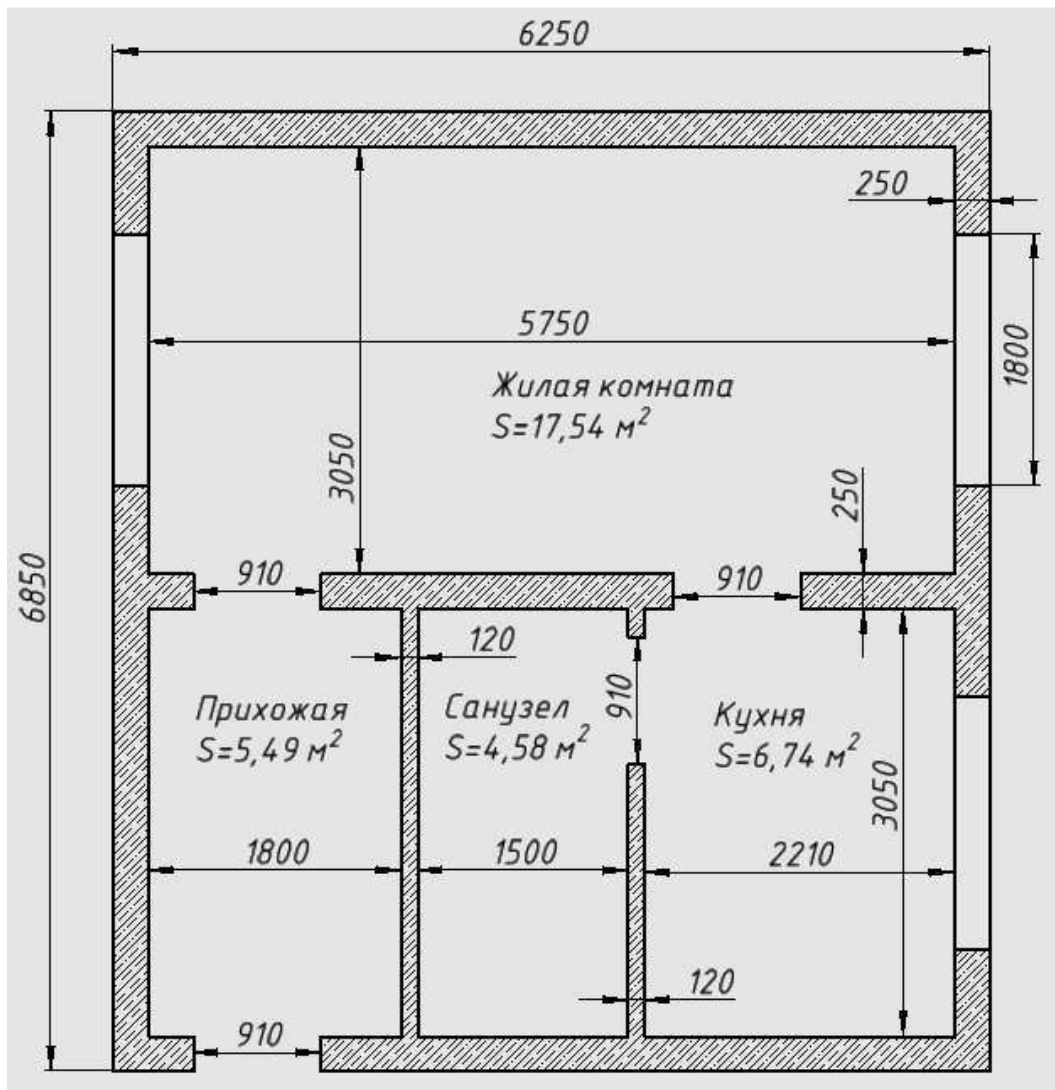


Рисунок 6.2 – План этажа

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

70

Таблица 6.2 – Коэффициент теплопроводности и толщина материалов ограждения

Материал ограждения конструкции		Теплопроводность	Толщина
		$\lambda$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	$\delta$ , м
Первый этаж			
Стены:	Пеноблок (250×250×600)	0,21	250
	Штукатурка	0,9	0,007
Пол:	Доска сосна	0,15	0,04
	Доска сосна (фальшпол)		0,02
	Брус (200×100) сосна		0,2
	Брус (100×50) сосна		0,05
	Пенополистирол (Пеноплекс 30)	0,027	0,03
	Воздушная прослойка	0,3	0,06
			0,16
	Минеральная вата плотностью 50 кг/м <sup>3</sup>	0,046	0,19
Потолок:	Доска сосна	0,15	0,04
	Брус (200×100) сосна		0,2
	Минеральная вата плотностью 50 кг/м <sup>3</sup>	0,046	0,19
	Фанера	0,12	0,012
	Воздушная прослойка	0,3	1,6
0,01			
Двери:	Полистирол	0,041	0,065
Окна:	Стеклопакет (4-10-4-10-4)	1,89	0,032
Крыша	Металлочерепица	52	0,005
	Доска	0,15	0,04

Таблица 6.3 – Среднемесячные многолетние температуры воздуха отопительного периода

Месяц отопительного сезона	Средняя многолетняя температура месяца, °С
Октябрь	+2,2
Ноябрь	-6,7
Декабрь	-13,5
Январь	-16,4
Февраль	-14,1
Март	-8,4
Апрель	+2,7
Май	+11,4

Анализ этой таблицы показывает, что май – самый теплый месяц отопительного сезона со средней температурой плюс 11,4 °С, а январь – самый холодный месяц со средней температурой минус 16,4 °С.

## 6.2 Теплотехнический расчёт ограждающих конструкций

Расчет теплового баланса здания производится по формулам представленным ниже при температуре наружного воздуха самого холодного дня отопительного сезона, которая составляет минус 34 °С из условий объекта (см. п. 6.1).

Расчет тепловых потерь этажа:

а) теплопотери через стены, конструкция стены представлена рисунке 6.3.

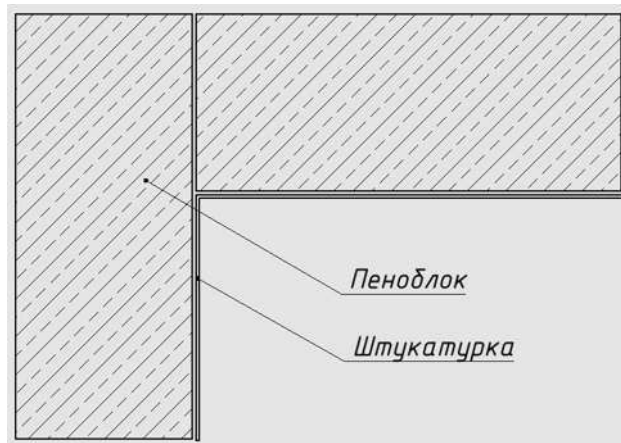


Рисунок 6.3 – Конструкция наружной стены.

Площадь стен  $F$ ,  $m^2$ , без учета окон и дверей, исходя из изображений 6.1 и 6.2:

$$F=6,25 \cdot 2,5 \cdot 2 + 6,85 \cdot 2,5 \cdot 2 - (1,8 \cdot 1,13 \cdot 3 + 0,91 \cdot 2,1) = 57,49 \text{ м}^2.$$

Коэффициент теплопередачи  $k$ ,  $Вт/(м^2К)$ , рассчитывается по формуле[39]:

$$k = \frac{1}{R_B + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_H}, \text{ Вт/м}^2\text{К}, \quad (6.1)$$

где:  $R_B$  – тепловое сопротивление внутренней поверхности (для жилых помещений  $R_B = 0,155 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$ );

$R_H$  – тепловое сопротивление наружной поверхности (для наружных стен и бес чердачного покрытия,  $R_H = 0,124 \text{ (м}^2\text{К)/Вт}$ );

$\delta_i$  – толщина каждого соответствующего слоя ограждения, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности данного слоя ограждающей конструкции,  $Вт/(м \cdot К)$ .

$$k = \frac{1}{0,155 + \frac{0,25}{0,21} + \frac{0,007}{0,9} + 0,124} = 0,677 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Тепловые потери через стены Q, Вт, вычисляются по формуле [39]:

$$Q = kF(t_B - t_H) \cdot (1 + \beta), \text{ Вт}, \quad (6.2)$$

где: k – коэффициент теплопередачи через соответствующий вид ограждения, Вт/(м<sup>2</sup>К);

F – площадь ограждения, м<sup>2</sup>;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь;

t<sub>B</sub> и t<sub>H</sub> – внутренняя и наружная температура воздуха, °С.

Тепловые потери составят:

$$Q_{\text{ст}} = 0,677 \cdot 57,49 \cdot (21 - (-34)) \cdot (1 + 0,1) = 2354,7 \text{ Вт}.$$

б) теплопотери через двери

По проектам устанавливаются двери TOODOORS 910, технические характеристики которой представлены в таблице 6.4 [40].

Таблица 6.4 – технические характеристики двери TOODOORS 910

Высота двери, мм	2100
Ширина, мм	910
Толщина, мм	65
Утеплитель	Полистирол

Площадь проема двери составит:

$$F = 0,91 \cdot 2,1 = 1,91 \text{ м}^2,$$

Коэффициент теплопередачи (6.1):

$$k = \frac{1}{0,155 + \frac{0,065}{0,041} + 0,124} = 0,536 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Тепловые потери составят (6.2):

$$Q_{\text{двери}} = 0,536 \cdot 1,91 \cdot (21 - (-34)) \cdot (1 + 0,1) = 61,93 \text{ Вт}.$$

в) теплопотери через потолочное перекрытие, конструкция перекрытия представлена на рисунке 6.4

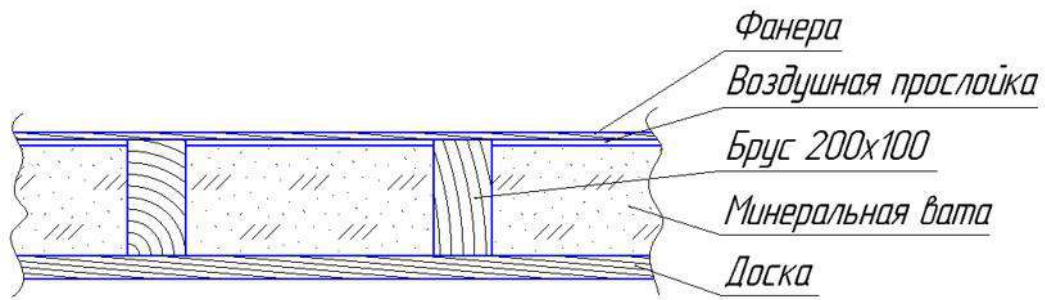


Рисунок 6.4 – Конструкция потолочного перекрытия

Расчет будет разбит на два этапа, так как перекрытие состоит из элементов с разной теплопроводностью [39].

Теплопотери через слой брусьев (по формулам 6.1 и 6.2):

$$F=3,05 \cdot 0,01 \cdot 20=0,61 \text{ м}^2,$$

$$k = \frac{1}{0,155 + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,2}{0,15} + \frac{0,012}{0,12} + 0,124} = 0,51 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

$$Q_{\text{брусья}} = 0,51 \cdot 0,61 \cdot (21 - (-34)) \cdot (1+0,1) = 18,82 \text{ Вт.}$$

Теплопотери через слой минеральной ваты (по формулам 6.1 и 6.2):

$$F=5,75 \cdot 6,36 - 0,61=35,96 \text{ м}^2,$$

$$k = \frac{1}{0,155 + \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,19}{0,046} + \frac{0,012}{0,12} + \frac{0,01}{0,3} + 0,124} = 0,21 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

$$Q_{\text{мин. вата}} = 0,21 \cdot 35,96 \cdot (21 - (-34)) \cdot (1+0,1) = 456,87 \text{ Вт.}$$

Общие теплопотери через перекрытие составят:

$$Q_{\text{брусья}} + Q_{\text{мин. вата}} = 18,82 + 456,87 = 475,69 \text{ Вт.}$$

г) теплопотери через окна, находятся аналогично по формулам 6.1 и 6.2:

$$F= 1,8 \cdot 1,13 \cdot 3=6,1 \text{ м}^2,$$

$$k = \frac{1}{0,155 + \frac{0,032}{1,89} + 0,124} = 3,379 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

$$Q_{\text{окна}} = 6,1 \cdot 3,379 \cdot (21 - (-34)) \cdot (1+0,1) = 1247 \text{ Вт.}$$

д) расчет тепловых потерь пола

Расчет теплопотерь через пол производится с учетом распределения по зонам шириной 2м, которые показаны на рисунке 6.5. Пол в разрезе представлен на рисунке 6.6.

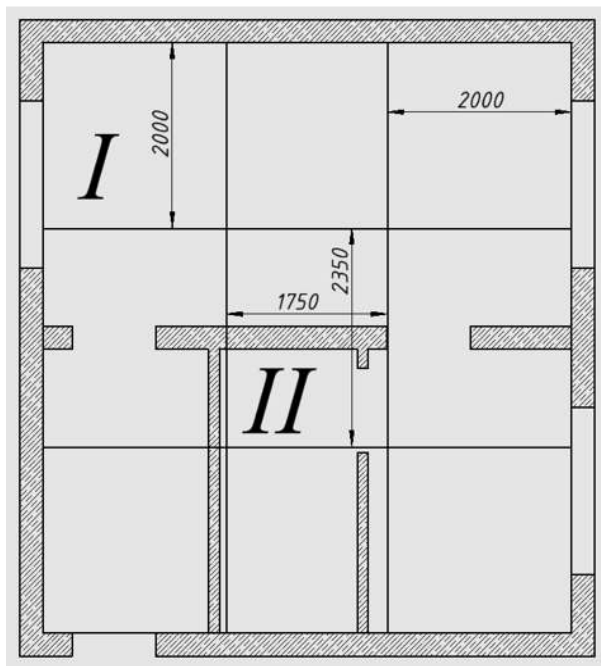


Рисунок 6.5 – Разбиение пола по зонам

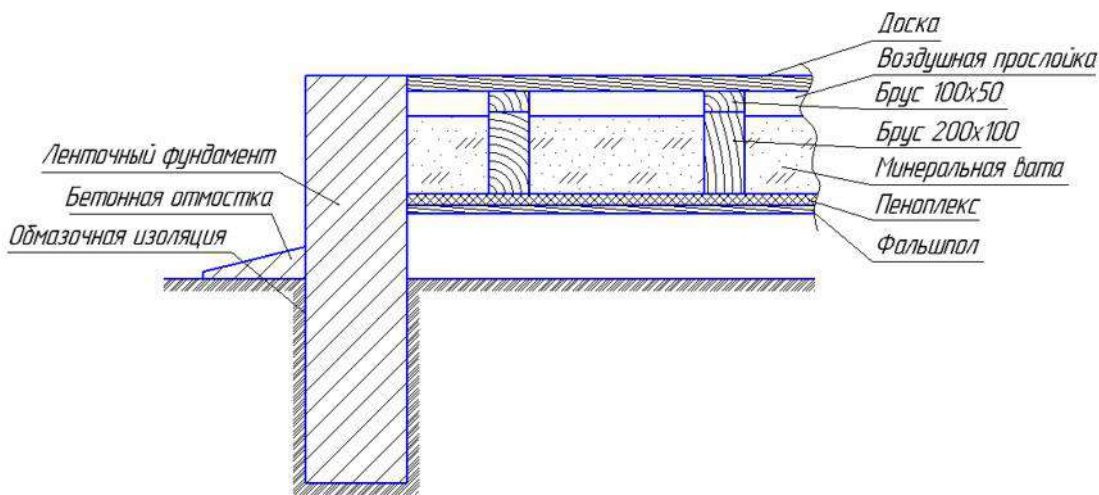


Рисунок 6.6 – Вид фундамента и пола в разрезе

Расчет первой зоны:

площадь первой зоны составит:

$$F_1 = 6,35 \cdot 2 \cdot 4 - 2 \cdot 0,25 = 50,3 \text{ м}^2;$$

сопротивление теплопередачи утепленного пола на лагах:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ

Лист

75

$$R_{\text{уп}} = 1,18 \left( R_{\text{нп}} + \sum \frac{\delta_{\text{yc}}}{\lambda_{\text{yc}}} \right), (\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}, \quad (6.3)$$

$$\sum \frac{\delta_{\text{yc}}}{\lambda_{\text{yc}}} = \frac{0,04}{0,15} + \frac{0,06}{0,3} + \frac{0,19}{0,046} + \frac{0,03}{0,027} + \frac{0,02}{0,15} + \frac{0,16}{0,3} = 6,37 (\text{м}^2\text{К})/\text{Вт},$$

$$R_{\text{уп1}} = 1,18 \cdot (2,15 + 6,37) = 10,05 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

теплопотери через первую зону:

$$Q = \frac{1}{R_{\text{уп}}} \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \text{Вт}, \quad (6.4)$$

$$Q_1 = (1/10,05) \cdot 50,3 \cdot (21 - (-2)) = 110,18 \text{ Вт}.$$

Расчет второй зоны:

площадь второй зоны

$$F_2 = 1,75 \cdot 2,35 - (1,75 \cdot 0,25) = 3,68 \text{ м}^2;$$

сопротивление теплопередачи определяется по формуле 6.3:

$$R_{\text{уп2}} = 1,18 \cdot (4,3 + 6,37) = 12,59 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт};$$

теплопотери через вторую зону определяются по формуле 6.4:

$$Q_2 = (1/12,59) \cdot 3,68 \cdot (21 - (-2)) = 6,72 \text{ Вт}.$$

Общие потери пола составят:

$$Q_{\text{пола}} = Q_1 + Q_2 = 110,18 + 6,72 = 116,9 \text{ Вт}.$$

Суммарные потери первого этажа составят:

$$Q_{1\text{эт}} = 2354,7 + 61,93 + 457,69 + 1247 + 116,9 = 4238,22 \text{ Вт}.$$

### 6.3 Выбор теплонаносной установки

Выбирается компрессор с ТЭНовым пиковым догревателем, так как он будет включаться в работу только в период холодной пятидневки  $t_{\text{окр.ср.}} = \text{минус } 34^\circ\text{C}$  (для Челябинской области) и соответственно потреблять небольшое количество энергии, при этом его стоимость невелика, а стоимость теплонаносной установки снизится.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Мощность пикового догревателя  $Q_{\text{пик.дог}}$ , кВт, принимается 25%...30% от тепловой мощности необходимой для компенсации тепловых потерь отапливаемого здания (см. п. 6.2).

$$Q_{\text{зд}}=4,238 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{пик.дог.}} = Q_{\text{зд}} \cdot 0,25, \text{ кВт}, \quad (6.5)$$

$$Q_{\text{пик.дог.}}=4,238 \cdot 0,25=1,06 \text{ кВт}.$$

Мощность теплонасосной установки  $Q_{\text{тну}}$ , кВт, будет находиться как разность теплотерь отапливаемого здания и мощности пикового догревателя:

$$Q_{\text{тну}} = Q_{\text{зд}} - Q_{\text{пик.дог.}}, \text{ кВт}, \quad (6.6)$$

$$Q_{\text{тну.}}=4,238 - 1,06=3,178 \text{ кВт}.$$

Так же мощность теплового аппарата  $Q_{\text{тну}}$ , кВт, находится по выражению:

$$Q_{\text{тну}} = Q_0 + P, \text{ кВт}, \quad (6.7)$$

где:  $Q_0$  – хладопроизводительность, кВт,

$P$  – мощность компрессора, кВт.

Выбирается компрессор Emerson Copeland (Германия). Требуемая общая мощность 3,178 кВт, мощность пикового догревателя 1 кВт.

Насос ZH15K4E удовлетворяет требованиям: его теплопроизводительность 4600 Вт больше требуемой 3178 Вт, при этом потребляемая мощность составляет 1,471 кВт. Технические характеристики компрессора представлены в таблице 2.2, внешний вид представлен на рисунке 6.7 [41].

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77





Спиральные компрессоры серии ZH  
ZH09KVE - ZH18KVE / ZH15K4E - ZH45K4E

Рисунок 6.7–Внешний вид компрессора «Copeland»

Таблица 6.5 – Технические характеристики Copeland

Характеристика	Параметр
Модель	ZH15K4E
Общая производительность, кВт	6,071
Потребляемая мощность, кВт	1,471
Теплопроизводительность, кВт	4,6
Объёмная производительность, м <sup>3</sup> /час	4,7
Количество масла, л	1,3
Вес Брутто, кг	26
Температура кипения, °С	-7
Температура конденсации, °С	50
Хладагент	R407C
Температура рассола, °С	0
Температура воды, °С	50
Переохлаждение	4K
Перегрев	5K

Хладопроизводительность насоса  $Q_0$ , кВт, находится по выражению [39]:

$$Q_0 = Q_{\text{НОМ}} - P_{\text{НОМ}}, \text{ кВт}, \quad (6.8)$$

$$Q_0 = 4,6 - 1,471 = 3,129 \text{ кВт}.$$

Коэффициент преобразования находится по выражению [39]:

$$\mu = \frac{Q_{\text{НОМ}}}{P_{\text{НОМ}}}, \quad (6.9)$$

$$\mu = \frac{4,6}{1,471} = 3,12.$$

Температуру испарения хладагента принимается 0 °С. Температуру конденсации принимается 50 °С

#### 6.4 Расчет теплообменного аппарата

Предлагается использовать пластинчатый теплообменный аппарат. Тепловая мощность  $Q_k$ , которая может быть передана от греющего теплоносителя к нагреваемому теплоносителю составляет 4,6 кВт, конечные и начальные температуры теплоносителей известны, поэтому можно приступить к основному расчету теплообменного аппарата.

Тип теплообменника по виду теплоносителей (греющий – нагреваемый): фреон – вода.

Параметры:

$t'_1$  – начальная температура греющего теплоносителя, 60 °С;

$t''_1$  – конечная температура греющего теплоносителя, 50 °С;

$t'_2$  – начальная температура нагреваемого теплоносителя, 35 °С;

$t''_2$  – конечная температура нагреваемого теплоносителя, 45 °С;

$M_1$  – расход греющего теплоносителя, кг/с;

$M_2$  – расход нагреваемого теплоносителя, кг/с;

$\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к поверхности трубы, 50 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности внутренней трубы к нагреваемому теплоносителю, 5 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta$  – толщина стенки труб, 3 мм;

материал труб – сталь,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки труб, Вт/(м·К): сталь – 21.

Расход греющего теплоносителя  $M_1$  определяется из уравнения теплового баланса [39]:

$$Q = M_1 \cdot c_1 \cdot (t'_1 - t''_1) \cdot \eta_t = M_2 \cdot c_2 \cdot (t'_2 - t''_2) \cdot \eta_t, \quad (6.10)$$

где:  $c_1, c_2$  – удельная массовая теплоемкость греющего и нагреваемого

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

теплоносителя, Дж/(кг·К),  $c=4190$  (для воды);  $c = 1290$  (для фреона);  
 $\eta_t$  – поверхностный КПД теплообменного аппарата,  $\eta_t = 0,9 \dots 0,95$ .

$$M_1 = \frac{Q}{c_1 \cdot (t_1' - t_1'')}, \text{ кг/с}, \quad (6.11)$$

$$M_1 = \frac{4,6}{1,29 \cdot (60 - 50)} = 0,356 \text{ кг/с}.$$

Расход нагреваемого теплоносителя  $M_2$  из того же уравнения (6.10) [39]:

$$M_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_2' - t_2'') \cdot \eta_t}, \text{ кг/с}, \quad (6.12)$$

$$M_2 = \frac{4,6}{4,19 \cdot (45 - 35) \cdot 0,9} = 0,122 \text{ кг/с}.$$

Температурный напор  $\Delta t_{CP}$ , °C [39]:

$$\Delta t_{CP} = 0,5 \cdot (\Delta t_B + \Delta t_M), \quad (6.13)$$

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B + \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (6.14)$$

где:  $\Delta t_{CP}$ ,  $\Delta t_B$ ,  $\Delta t_M$  – температурный перепад теплоносителей соответственно средний, больший и меньший на концах теплообменника.

Значение  $\Delta t_B$  всегда равно разности температур теплоносителей на входе в теплообменный аппарат [39]:

$$\Delta t_B = t_1' - t_2'', \quad (6.15)$$

$\Delta t_M$  – на выходе из него,

$$\Delta t_M = t_1'' - t_2', \quad (6.16)$$

При значении  $(\Delta t_B / \Delta t_M) < 2$  можно  $\Delta t_{CP}$  определять по формуле (6.15) и погрешность не будет превышать 4%.

$$\Delta t_B = 60 - 45 = 15 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_M = 50 - 35 = 15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Т.к. значение  $(\Delta t_B / \Delta t_M) < 2$  то  $\Delta t_{CP}$  можно определять по формуле (6.14):

$$\Delta t_{CP} = 0,5 \cdot (15 + 15) = 15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

Коэффициент теплопередачи  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), по формуле[39]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (6.17)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{50} + \frac{0,03}{21} + \frac{1}{5}} = 4,542 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Площадь поверхности нагрева  $F$ , м<sup>2</sup>: [39]:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{CP}}, \text{ м}^2, \quad (6.18)$$

где  $k$  - коэффициент теплопередачи теплообменника, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$$F = \frac{4600}{4,543 \cdot 15} = 67,5 \text{ м}^2.$$

Выбирается паяный пластинчатый теплообменник Alfa Laval (Швеция), который изображен на рисунке 6.8, технические характеристики представлены в таблице 6.6 [42]. Испаритель выбирается такой же, так как эти теплообменники могут быть и испарителями.

Таблица 6.6 – Технические характеристики теплообменника

Характеристика	Параметр
Модель	СВ26-18Н
Температура теплоносителя, °С	от 35 до 70
Температура нагреваемого теплоносителя, °С	от -10 до 55
Материал теплообменника	Нержавеющая сталь
Материал припоя	Медь
Кол-во пластин, шт	17
Габаритные размеры, мм	58×94×324
Вес, кг	2,5



Рисунок 6.8 – Внешний вид теплообменника «Alfa Laval»

### 6.5 Расчет гликольного раствора в тепловом насосе

Общий расход гликольного раствора  $G_{\text{общ}}$  находится по формуле:

$$G_{\text{общ}} = \frac{Q_{\text{хл}} \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6.19)$$

где  $\rho$  – плотность рассола,  $\text{кг}/\text{м}^3$  (40% раствор гликоля  $\rho = 1050 \text{ кг}/\text{м}^3$ );

$c_p$  – удельная теплоемкость теплоносителя,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$  при температуре  $0^\circ\text{C}$  составляет  $3,7 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;

$\Delta t$  – разность температур между подающей и обратной веткой,  $\Delta t = 3^\circ\text{C}$ .

$$G_{\text{общ}} = \frac{3,129 \cdot 3600}{1050 \cdot 3,7 \cdot 3} = 0,966 \text{ м}^3/\text{ч},$$

### 6.6 Расчет затрат на прокачивание гликольного раствора

Полученное ранее значение общего расхода гликоля переводится из  $\text{м}^3/\text{ч}$  в л/мин.

$$0,966 \text{ м}^3/\text{ч} = 16,1 \text{ л}/\text{мин}$$

Для данного расхода подойдет циркуляционный насос Grundfos изображение которого представлено на рисунке 6.9 а технические характеристики представлены в таблице 6.7 [43].



Рисунок 6.8 – Внешний вид циркуляционного насоса «Grundfos»

Таблица 6.7 – Технические характеристики циркуляционный насоса Grundfos

Характеристика	Параметр
Модель	UP 20-15
Мощность, Вт	70
Тип	Циркуляционный
Производительность, л/мин	29,22
Материал корпуса	Нержавеющая сталь
Напряжение, В	220
Вес, кг	2,1

Из технических характеристик видно что производительность данного насоса перекрывает общий расход гликольного раствора теплового насоса. Необходимо найти энергетические затраты на работу этого насоса в течение месяца. Которые составят:

$$30 \cdot 24 \cdot 70 = 50400 \text{ Вт} \cdot \text{час} = 50,4 \text{ кВт} \cdot \text{час}.$$

Следовательно при замене электронасоса разработанным устройством экономия электрической энергии составит 50,4 кВт·час или 604,8 кВт·час в год.

Вывод по главе шесть: технико-экономический расчет показал величину затрат электрической энергии при прокачивании гликольного раствора через ТН. Если заменить электронасос разработанной установкой то экономия электрической энергии может составить до 604,8 кВт·ч в год.

## 7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был предложен проект устройства для преобразования низкопотенциальной тепловой энергии в механическую, разработанный на основе анализа проектов аналогичных устройств таких известных советских изобретателей как Коваленко Э.П., Бармина И.В.

Разработанное устройство отвечает всем необходимым условиям для работы на замерзающих озерах и водоемах, и теоретически может применяться совместно с ТН.

Также были оценены тепловые запасы водоемов Челябинской области, и рассчитана экономия электроэнергии при замене электронасоса на предложенное устройство.

Несомненным плюсом использования низкопотенциальной энергии водоемов является ее дешевизна и практическая неисчерпаемость, но устройства для ее «сбора» остаются только в процессе разработок и изобретений.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Казакова К.В., Жилкин О.Н. Возобновляемая энергетика. Перспективы развития проектов на основе возобновляемых источников энергии в мире и в отдельных странах. Молодежный научный форум: общественные и экономические науки/К.В. Казакова, О.Н. Жилкин - М., 2016. – 180-186с.

2 Энергетика, экология, химия: сборник студенческих научных работ. – Ульяновск: УлГТУ, 2017. – 329с.

3 Тенденции развития альтернативной энергетики в странах мира и России /С.Г. Шеина, А.П. Пирожникова. – Ростов-на-Дону: АСАДГТУ, 2016. – 45с.

4 Мотулевич А.В./Перспективы использования возобновляемой энергетики в России и за рубежом. – Москва: ФГБОУ «НИУ «МЭИ», 2016. – 2-5с

5 Природные загрязнения, их характер и масштабы воздействия. – <http://ref.by/refs/97/22437/1.html> (дата обращения 4.03.2019).

6 Доброжанская Ж.В., Коваленко Е.П. Возможность использования низкопотенциального тепла водоемов Беларуси. Использование водных ресурсов. – Минск, 1985. – 23-29с.

7 Егоров А.Н. Рациональное использование соленых озер является стратегией устойчивого развития государства в 21 веке. Международный научный институт "Educatio". – <https://vivliophica.com/articles/exsciences/428489> (дата обращения 14.03.2019).

8 Умаров Г. Я., Ершов А. А. Солнечная энергетика. Москва: «Знание», 1974.

9 Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала. – Челябинск, 1973. – 272с.

10 Захаров С.Г. Озера Челябинской области. – Челябинск, 2010. – 127с.

11 Гидрологический ежегодник. Том 6. Бассейн Карского моря (западная часть). Выпуск 7. Бассейн реки Тобол (1978-1990). – Екатеринбург, 1991. – 385с.

12 Руководство по обработке и подготовке к печати наблюдательных материалов на озерах и водохранилищах. – Ленинград, 1972. – 257с.

13 Лопух П.С., Якушко О.Ф. Общая лимнология: учебник для студентов. – <http://www.elib.bsu.by> (дата обращения 16.03.2019).

14 Суховило Н.Ю., Новик А.А. Оценка влияния природных и антропогенных факторов на запасы тепла и тепловой баланс озер Белорусского озерного края. – <http://elib.bsu.by/handle/123456789/118417> (дата обращения 17.03.2019).

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85



15 Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Урал. – Ленинград, 1973. – 849с.

16 Ресурсы поверхностных вод СССР, вып. 11. Средний Урал и Урал. – Ленинград, 1965. – 763с.

17 Основные гидрологические характеристики. Том II, Выпуск 1. – Ленинград, 1979. – 285с.

18 Справочник по климату СССР. Выпуск 9. Часть 2. Пермский край, Свердловская, Челябинская, Курганская области и Башкирская АССР. Температура воздуха и почвы. – Ленинград, 1965. – 365с.

19 Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – Москва, 1973. - 296с.

20 Янтовский Е.И. Потоки энергии и эксергии. – Москва, 1988. – 144с.

21 Коваленко Е.П. Водные ресурсы как возобновляемый источник низкопотенциальной тепловой энергии. Природные ресурсы 1. – Минск, 1988. – 27-33с.

22 Шерязов С.К., Пташкина-Гирина О.С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве: учебное пособие: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия». – Челябинск: ЧГАА, 2013. – 279с.

23 Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж. Опыт использования низкопотенциальной тепловой энергии озер для систем теплоснабжения в условиях Челябинской области. Proc. VIII Международной научно-практической Conf. «Актуальные проблемы энергетики агропромышленного комплекса». – Саратов, 2017. – 216-218с.

24 Закиров Д.Г., Кукушкин В.М. Энергосбережение и экологические проблемы топливно-энергетического комплекса (монография). – Пермь, 1994. – 69-73с.

25 Закиров Д.Г., Тепловые насосы – теплотрансформаторы на службе экологии и энергоэффективности. – Пермь, 2014. – 329с.

26 Актуальность использования низкопотенциального тепла с применением тепловых насосов. – [https://bstudy.net/750131/tehnika/aktualnost\\_](https://bstudy.net/750131/tehnika/aktualnost_)

[ispolzovaniya\\_nizkopotentsialnogo\\_teplo\\_primeneniyem\\_teplovyh\\_nasosov](#) (дата обращения 24.03.2019).

27 Тепловые насосы. Лекции. – [https://studbooks.net/70571/tehnika/teplovye\\_Nasosy](https://studbooks.net/70571/tehnika/teplovye_Nasosy) (дата обращения 25.03.2019).

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

- 28 Пат. 2189496 Российская Федерация, МПК F03G7/06. Способ преобразования тепловой энергии в механическую и устройство для его осуществления / В.Ф. Романовского. – № 2000131736/09; заявл. 02.08.01; опубл. 02.08.01 – 3с.
- 29 Пат. 2503847 Российская Федерация, МПК F03C 1/02, F01B 29/08. Тепловой двигатель/ Г.П. Турмо, В.В. Туркеев. – № 2002116536/03; заявл. 20.12.02; опубл. 21.01.03 – 4с.
- 30 Пат. 2045685 Российская Федерация, МПК F03G7/06. Устройство для преобразования тепловой энергии в механическую/ М.М. Махожев, П.Н. Манташьян. – № 199215236/10; заявл. 30.11.92; опубл. 10.10.95 – 2 с.
- 31 Пат. 2076949 Российская Федерация, МПК F03G 7/05, F03G 7/06. Устройство для преобразования тепловой энергии в механическую/Б.Ф. Кочетков – № 94018537/06; заявл. 19.05.94; опубл. 10.04.97 – 5 с.
- 32 Пат. 2041391 Российская Федерация, МПК F03G7/06. Способ преобразования тепловой и гравитационной энергии в механическую энергию вращения и устройство для его осуществления/Б.Ф. Кочетков – № 5040523/06; заявл. 29.04.92; опубл. 09.08.95 – 4 с.
- 33 А.с. 1449702 СССР, F03G 7/06. Устройство для преобразования тепла в механическую энергию/ Ю.М. Троцкий – №4213718/23-03; заявл. 23.03.87; опубл. 07.01.89.
- 34 А.с. 7501262 СССР, F03G 7/06. Устройство для преобразования тепла в механическую энергию/ И.В. Бармин – №2415027/26-10; заявл. 25.10.76; опубл. 23.07.80.
- 35 А.с. 931945 СССР, F03G 7/06. Способ преобразования тепловой энергии в механическую/ Э.П. Коваленко – №3210404/25-06; заявл. 17.05.82; опубл. 30.05.82.
- 36 А.с. 1137237 СССР, F03G 7/06. Способ преобразования тепловой энергии в механическую / Э.П. Коваленко – №3509743/11-05; заявл. 11.05.82; опубл. 30.01.85.
- 37 А.с. 1768800 СССР, F03G 7/06. Устройство преобразования тепловой энергии в механическую/ Э.П. Коваленко – №4781461/15-01; заявл. 01.15.90; опубл. 15.10.92.
- 38 А.с. 1776875 СССР, F03G 7/06. Устройство преобразования тепловой энергии в энергию изменения давления/ Э.П. Коваленко – №4748585/16-10; заявл. 16.16.89; опубл. 23.11.92.
- 39 Пташкина-Гирина О.С. Расчет теплонасосной установки для отопления частного дома. Учебное пособие для студентов – Челябинск: ЧГАА, 2017. – 63с.

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

40 Дверь входная TOODOORS 910. – <https://dver-urala.ru/shop/front-door/front-door-made-in-china/the-entrance-door-to-toodoors-910> (дата обращения 29.05.2019).

41 Компрессор «Copeland» ZH15K4E-TFD-524. – <https://compressortrade.ru/copeland/zh15k4e-tfd-525> (дата обращения 29.05.2019).

42 Таблицы подбора теплообменников Alfa Laval . – <http://aqua-plus.su/d/182938/d/cb-27.pdf> (дата обращения 29.05.2019).

43 Циркуляционный насос Grundfos UP 20-15 N. – <https://grundfos.ru/product/tsirkulyatsionnyu-nasos-grundfos-up-20-15-n> (дата обращения 29.05.2019).

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЯ

АЛЬБОМ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

					13.04.02.2019.168.00.00 ПЗ	Лист
						89
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		