

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Трехфазные теплотехники

«Допущен к защите»

Заведующий кафедрой ПТЭ
к.т.н. доцент Мусабиев Р. А.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проект микроТЭЦ на основе твердотоплив-
ного котла и двигателя Стирлинга.

Специальность 53071700-Теплотехника

Выполнил (а) Анорбаев Р.А. ПТЭ-12-2.
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Паштев В.Н. к.ф.-и.н, ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

ст. преподаватель Адилябеков А.А.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
И.Р. « 8 » июня 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

ст. преподаватель Манонбаева С.Е.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
[подпись] « 9 » июня 2016 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

ст. преподаватель, Мамиев В.Н.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
[подпись] « 10 » июня 2016 г.
(подпись)

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.

(подпись)

Нормоконтролер: к.т.н. доцент Мусабиев Р. А.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

[подпись] « 14 » июня 2016 г.
(подпись)

Рецензент:

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.

(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет техникоэнергетический
Специальность техникоэнергетика
Кафедра прикладная теплоэнергетика

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Анорбаев Касан Аймагжанович
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта "Проект электродвигателя на основе твердо-топливного топлива и двигателя Стирлинга"

утверждена приказом ректора № 148 от «19» сентября 20 15 г.

Срок сдачи законченной работы «06» 06 20 16 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Диаметр внешнего цилиндрического поршня - 34 мм;
масса внешнего цилиндрического поршня - 752 грамма;
диаметр рабочего поршня - 36 мм, масса рабочего поршня - 465 грамма; диаметр шатера - 14 мм;
жесткость кручения внешнего цилиндрического поршня, в 2 Н/мм;
жесткость кручения рабочего поршня - 1 Н/мм.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1. Конструкция двигателя Стирлинга. Экспериментальное исследование рабочего процесса
2. Динамика свободнопоршневого двигателя
3. Вопросы динамики свободнопоршневого двигателя. 4. Анализ действующих в рабочей полости двигателя
5. Расчетной программой фирмы "Симплицит"
6. Многие другие характеристики двигателя
7. Дальнейшее развитие исследования двигателя Стирлинга. 8. Удаленной целью Стирлинга, 9. Б.Х.Д.
10. Эксперимент. Себестоимость смешанного топлива



Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Трехмерная модель генератора;
2. Установка датчиков;
3. Схема двигателя Стирннга;
4. Схема генератора Фрике-0;

Рекомендуемая основная литература

1. "Двигатели с внешним искрением токпото" Газетка № 99110725 от 21 мая 1991 года Р.Ф.
2. Фокер Г. Двигатель Стирннга. Б.В. Суричина, И.В. Суричина. М.: Машиностроение 1982.
3. Фокер Г. "Машины работающие по циклу Стирннга" пер. с англ. М.: Энергия 1978.
4. Олимова В.А. "Анализ оптимальное исследование процесса термобума". М.: Энергия, 1979.
5. Двигатель Стирннга пер. с англ. под редакцией Ю.М. Бреденко. М.: Мир 1975.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

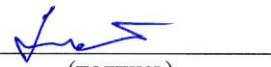
Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экономико	ст преп Анд Лбеков	10.03.16 - 9.06.	
БКСФ	Машан Баева	15.12 - 9.06	


Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Конструкция двигателя Стирлинга. Термодинамическое исследование	26.02.16	
2.	Динамика свободнопоршневого двигателя.	14.03.16	
3.	Вопрос динамики свободного поршневого двигателя Стирлинга, действующего в рабочей полости двигателя.	31.03.16	
4.	Расчетный план программы фирмы "САМПАТ"?	13.04.16	
5.	Некоторые характеристики двигателя Стирлинга. Расчеты динамической области исследования двигателя Стирлинга.	29.04.16	
6.	БЖД. Расчет широты световой освещенности. Расчет яркостности.	18.05.16	
7.	Технологическая карта изготовления системы термоса обжиги.	30.05.16	

Дата выдачи задания «25» 01 2016 г.

Заведующий кафедрой  Мусабеев Р.А.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель  Лантев В.Н.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент  Аюмбаев Х.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аннотация

Тема выпускной работы: «Проект Микро ТЭЦ на основе твердотопливного котла и двигателя Стирлинга».

В данной выпускной работе были рассчитаны: мощность свободнопоршневого двигателя Стирлинга используемого для автономного отопления и освещения отдельно стоящего коттеджа.

Для покрытия тепловой нагрузки горячего водоснабжения используется электрический бойлер который питается от двигателя Стирлинга стоящего на твердотопливном котле.

В разделе безопасности жизнедеятельности был проведен расчет искусственного освещения подвального помещения и зануление котла двигателя.

В разделе экономики представлена оценка экономической эффективности использования двигателя Стирлинга.

Annotation

Theme of master's work: "Project Micro CHP on the basis of solid fuel boiler and aStirling engine."

In this final work were calculated: Power svobodnoporshnevogo Stirling engine used for auxiliary heating and lighting a detached cottage.

To cover the heat demand of hot water used electric boiler that is powered by the Stirling engine standing on a solid fuel boiler.

The life safety section was calculated artificial lighting basement and vanishing engine boiler.

In the economy provides an assessment of economic efficiency of the Stirling engine.

Аңдатпа

«Қатты отын қазандық және Стирлинг қозғалтқышы негізінде жобасы Микро ЖЭО»: Магистрлік жұмыстың тақырыбы

Бұл соңғы жұмыста есептелді: Қуат svobodnoporshnevogo Стирлинг қозғалтқышы қосалқы жылыту үшін пайдаланылады және бөлек тұрған коттедж жарықтандыру.

қатты отын қазандық Стирлинг қозғалтқышы жағдайына қуат электр қазандығы пайдаланылатын ыстық су жылу сұранысты қанағаттандыру үшін.

Өмір тіршілігінің қауіпсіздігі бөлім жасанды жарықтандыру жертөле есептеледі және қозғалтқыш қазанды жойылып болды.

экономикада Stirling қозғалтқыш экономикалық тиімділігін бағалауды жүзеге асырады.

Содержание

1. Введение.....	7
2. Двигатель Стирлинга – предлагаемое решение для автономных источников.....	9
3. Экспериментальное исследование рабочего процесса.....	14
3.1 Динамика свободнопоршневого двигателя Стирлинга.....	16
3.2 Вопросы динамики свободнопоршневого двигателя.....	17
3.3 Силы, действующие в рабочей полости двигателя.....	19
3.4 Типы двигателей.....	21
3.5 Расчетный план программы фирмы «Санпауэр».....	28
3.6 Свободнопоршневые двигатели и вопросы энергетики.....	38
3.7 Солнечные преобразователи энергии.....	39
3.8 Некоторые характеристики двигателей.....	39
4. Дальнейшие области исследований двигателей Стирлинга.....	40
4.1 Идеальный цикл Стирлинга.....	40
4.2 Обозначения, используемые в последующем анализе.....	42
5. Безопасность жизнедеятельности.....	48
5.1 Анализ условий применения Двигатель Стирлинга, работающего на твердом топливе в жилом доме.....	48
5.2 Расчет искусственного освещения.....	50
5.3 Расчет зануления.....	52
6. Экономическая часть.....	55
6.1 Расчёт себестоимости системы теплоснабжения.....	56
6.2 Отсутствие коррозионных свойств.....	58
7 Заключение.....	61
8 Список использованных литературы.....	62

Введение

Для нашей республики тема автономных источников теплоэлектроснабжения для удаленных потребителей является весьма актуальной. По сведениям Всемирного банка развития и реконструкции в Казахстане имеется несколько тысяч сельских поселений, в которых отсутствует электроснабжение от распределительных сетей, либо сети находятся в критическом состоянии и требуют модернизации. Там же, где есть электроснабжение, из-за больших ценовых тарифов резко снижается доходность сельского производства, что вынуждает жителей удаленных сельских хозяйств искать альтернативные источники энергии. К таким источникам можно отнести микро-ГЭС, ветровые установки, дизельные или бензиновые электростанции, солнечные установки, а также малые котельные на твердом топливе, использующие современные технологии сжигания с едкими выбросами вредных газов в атмосферу.

Каждая из этих технологий имеет свои достоинства и недостатки, К примеру, гидросиловые установки, появившиеся в конце XVIII столетия (всевозможные водяные мельницы и т. д.), с развитием электрификации были вытеснены гидротурбинами, которые приводили в действие электрические генераторы. В настоящее время разработаны и применяются различные виды и модели гидротурбин (турбина Пелтона, турбина Турго, турбина Осбергера и т.д. [1,2]). В условиях Казахстана применение микро- ГЭС возможно, естественно, лишь при наличии гидроресурсов в данной местности, но, к сожалению они есть не везде.

Перспективным направлением также является использование ветроэлектростанций. . Казахстан обладает высоким ветропотенциалом. Наиболее важным в этом плане регионом называются Джунгарские ворота, расположенные в районе станции Достык на границе с Китаем. Ветроустановки могут быть изготовлены мощностью от нескольких ватт до нескольких мегаватт. Соответственно подразделяют малую ветроэнергетику (киловаттная мощность) и большую ветроэнергетику (мегават - тная мощность). Малые ветроустановки производятся в основном в США, Китае, Германии, Канаде и Великобритании. У нас производство подобных ветроустановок должного развития не получило. Пока в основном это дело рук энтузиастов. Поэтому говорить о полномасштабном применении и использовании малых ветроустановок еще рано.

Еще одним перспективным направлением для автономных источников теплоэлектроснабжения является солнечная энергетика [1,5,6]. Наличие значительного потенциала солнечной энергии в республике делает возможным ее использование. Солнечная энергетика позволяет получать как тепловую энергию (использование солнечных коллекторов), так и электроэнергию (использование фотоэлектрических станций). К недостаткам этого вида

автономных источников теплоснабжения можно отнести все еще достаточно малый коэффициент полезного действия фотоэлементов (около 20%), используемых в фотоэлектрических станциях.

При средней солнечной радиации около 1 кВт/м^2 получение электрических мощностей порядка 5-10 кВт потребует использования достаточно больших площадей (60-120 м^2). Кроме того, использование трекеров (специальных устройств для слежения за Солнцем) сильно удорожает подобные установки. Применение концентраторных солнечных электростанций с использованием большого числа зеркал решает проблему площадей, но не решает пока проблему получения электричества. Причина кроется в неаддитивности сложения солнечных потоков в фотоэлементах от разных зеркал. Сложение потоков от двух зеркал дает примерно удвоенный электрический сигнал. Добавление потока от третьего зеркала не утраивает электрический сигнал в фотоэлементе (он становится, примерно, 2,1-2,2 от первоначального электрического сигнала). Дальнейшее добавление зеркал не дает существенного увеличения электрического сигнала, Возникает как бы эффект насыщения. Все вышеизложенное затрудняет эффективное применение солнечных установок в качестве автономных источников питания для удаленных объектов.

Эффективным решением проблемы может быть использование дизельных или бензиновых электростанций. Единственное существенное препятствие — дороговизна топлива.

2. Двигатель Стирлинга – предлагаемое решение для автономных источников

Наиболее перспективным проектом среди автономных источников теплоэлектроснабжения нам представляется в использовании твердотопливных котлов длительного горения (желательно работающих на универсальном топливе: угле, дровах, торфе, сланцах, древесной щепе, отходах сельского хозяйства и навозе, бытовом мусоре и т.д.). Подобные котлы в настоящее время разрабатываются и предлагаются потребителям, (например котлы немецкой фирмы «ВшЗегиз»), Исследования по котлам проводились также и в АУЭС .

В качестве преобразователя тепловой энергии в электрическую предлагается использование двигателя внешнего сгорания — двигателя Стирлинга . Этот двигатель, открытый еще в 1816 году шотландским священником Робертом Стирлингом, получил свое второе рождение в 50-х годах. Уже первые образцы ошеломили создателей высоким КПД — около 40% (теоретически до 70%). Двигатель состоит из двух поршней (основного —рабочего и поршня-вытеснителя), совершающих циклические колебания в едином цилиндре. Имеются две камеры: сжатия (между поршнями) и нагрева (над верхним поршнем). В качестве рабочего газа используют водород, гелий или воздух. Использование водорода затруднительно (в связи с большой текучестью и опасностью взрыва). Цикл Стирлинга состоит из двух изохор и двух изобар.

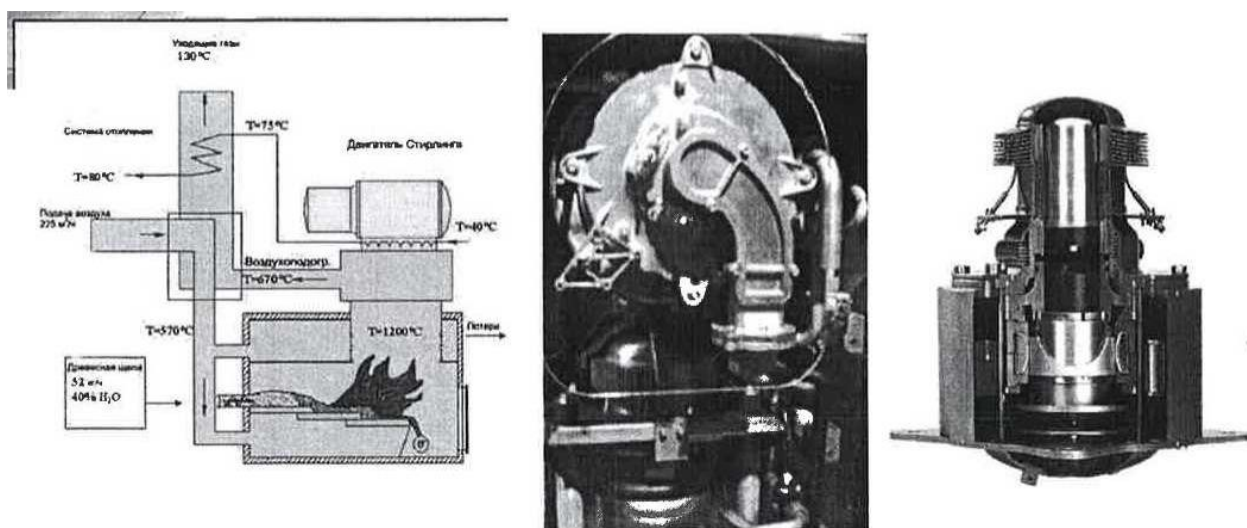


Рисунок - 1 Двигатель Стирлинга

Тепловой баланс когенерационной установки с двигателем Стирлинга, мощностью 30 кВт, потребляющей в качестве топлива торф, древесную щепу, сланцы и другое местное топливо осуществляется со стороны поршня вытеснителя. Последний, двигаясь вверх, выталкивает газ из камеры нагрева в

камеру сжатия. После этого цикл повторяется. Таким образом, следовательно, машина перекачивает тепло из камеры нагрева с высокой температурой (600-800°C) в камеру сжатия с температурой окружающей среды. При этом энергия, приобретенная газом в камере нагрева, превращается в механическую, снимаемую с вала двигателя.

К достоинствам двигателя Стирлинга кроме высокого КПД можно отнести «всеядность» — способность работать на любом виде топлива, а также бесшумность и плавность хода. В качестве привода вначале использовался кривошипный привод, но привод был шумным из-за невозможности его уравновесить. Далее появился параллелограмный привод, в котором проблема вибрации была устранена. В настоящее время известно около 18 применяемых приводов, в том числе, так называемый свободнопоршневой. Свободнопоршневой двигатель Стирлинга имеет ряд преимуществ по отношению к другим конструкциям. Во-первых, относительная простота конструкции (по сравнению с классическим двигателем с кривошипным приводом число элементов меньше на 40%). Во-вторых, в нем отсутствуют вращающиеся части, что позволяет улучшить массогабаритные показатели двигателя и снизить инерционные нагрузки.

Все двигатели Стирлинга, использующие кривошипный механизм, сталкиваются с рядом технических проблем, полностью решить которые в настоящее время невозможно, даже располагая современными средствами. Это проблемы обеспечения долговечности подшипников и уплотнений, сложность герметизации двигателя для поддержания высокого рабочего давления и необходимость смазки движущихся частей. Более же простая конструкция свободнопоршневого двигателя Стирлинга позволяет снизить расходы на изготовление, эксплуатацию и обслуживание подобных энергоустановок. Полная герметичность подобных конструкций также является серьезным преимуществом. Это дает возможность легче работать с повышенными давлениями. Еще одним преимуществом свободнопоршневого двигателя возможность использования его совместно с линейными электрическими генераторами.

Одним из первых предложений в качестве автономного источника на основе твердотопливного котла к двигателю Стирлинга была разработка немецкой фирмы «Стирлинг 161». Она позволяла вырабатывать около 26 кВт тепловой мощности и около 4 кВт электрической мощности. В качестве преобразователя тепловой энергии в электрическую использовался двигатель этой фирмы «Стирлинг 161».

На международной выставке отопления и энергосбережения в 2009, проходящей во Франкфурте компания представила свой новый продукт котел-электрогенератор с двигателем Стирлинга. Электрическая мощность — 1 кВт, тепловая мощность конденсационного котла — 24 кВт.

В 2011 году на этой же выставке отопления и энергосбережения в 2011

(фирмой «Viessmann» была выставлена микро-ТЭЦ. Установка состояла из газового котла и свободнопоршневого двигателя Стирлинга, преобразующего тепловую энергию в электрическую.

Фирма «Viessmann» представила на рынке отопления свои последние разработки, придерживаясь основных направлений— качество, экономичность и инновации. Пожалуй, самой интересной разработкой была когенерационная установка (Микро-ТЭЦ) . Установка не только обеспечивает потребителя в тепле, но и вырабатывает электроэнергию для покрытия нагрузки. Учитывая размеры и мощность котла, его предназначение в основном для загородных домов и коттеджей. В компактном корпусе котла скомбинированы свободнопоршневой двигатель Стирлинга и давно себя зарекомендовавший как экономичный и надежный настенный газовый котел. Котел работает совершенно бесшумно, в связи с чем его установка возможна на кухне или гостиной комнате дома. Общий коэффициент полезного действия составляет 96% (15% — по электричеству и 81% по теплу). Двигатель Стирлинга герметически закрыт, в обслуживании не нуждается. В качестве рабочего газа используется гелий. Совместно с рабочим поршнем (нижний поршень) смонтирован линейный электрический генератор. Ниже рабочего поршня установлена плоская возвращающая пружина. Установка вырабатывает 1 кВт электрической мощности и от 6 до 20 кВт тепловой мощности.

Американская компания с 2014 года ведет производство серийных свободнопоршневых двигателей Стирлинга в двух типоразмерах 3,5 и 7,5 кВт. На основе этих двигателей компанией разработаны типовые продукты: газовая микро-ТЭЦ и солнечная электростанция с фокусировкой солнечных лучей параболическим зеркалом на двигатель Стирлинга. Таким образом, вопрос автономных источников энергии с применением двигателей Стирлинга можно считать в принципе решенным. Что же мешает использовать эти готовые разработки в условиях Казахстана? Существуют два основных препятствия. Первое — высокая цена. Установки мощностью от 5 до 10 кВт стоят от 10 до 15 тысяч долларов. Второе — Стирлинги, это так называемые «высокие технологии». Не случайно в последнее время к двигателям Стирлинга проявили интерес военные. Это использование Стирлингов в качестве двигателей в подводных лодках (Швеция, Япония, Америка), что привело к ограничению их поставок в страны СНГ. Поэтому в настоящее время в АУЭС ведутся разработки свободнопоршневых двигателей Стирлинга по доступной цене (до 3 тысяч долларов), которые предполагается в совокупности с твердотопливным котлом использовать в качестве автономного источника тепло электроснабжения.

Экспериментальная установка свободнопоршневого двигателя Стирлинга (термомеханического генератора - ТМГ) было разработано и исследовано в МВТУ имени Баумана. Ниже приводиться их диаграммы и схемы экспериментальной установки.



Рисунок 2 - Индикаторная диаграмма в холодной полости ТМГ

Конструктивные параметры термомеханического генератора

Параметр	Значение
Диаметр вытеснительного поршня, мм	34
Масса вытеснительного поршня, г	75
Диаметр рабочего поршня, мм	36
Масса рабочего поршня, г	465
Диаметр штока, мм	14
Жесткость пружины вытеснительного поршня, Н/мм	6.2
Жесткость пружины рабочего поршня, Н/мм	1

Рисунок 3-Конструктивные параметры термомеханического генератора.

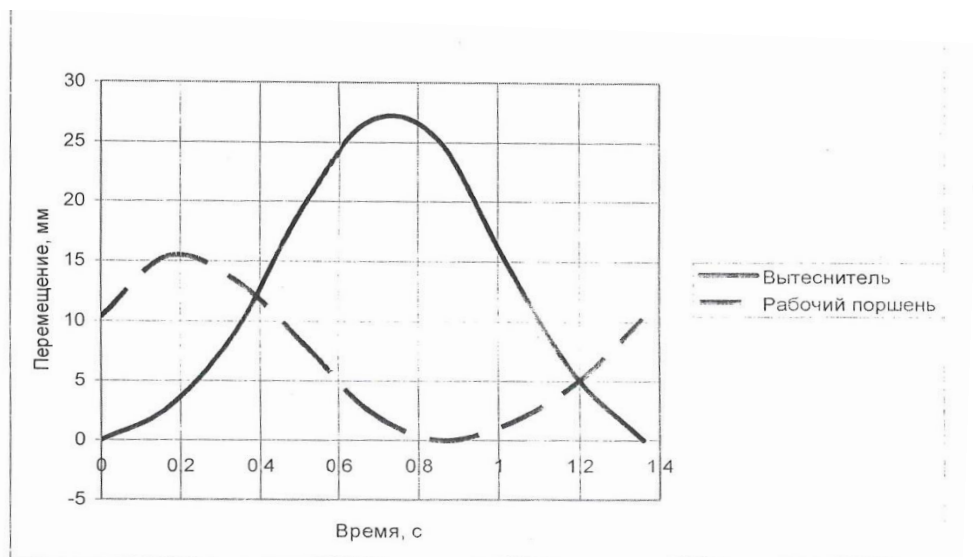
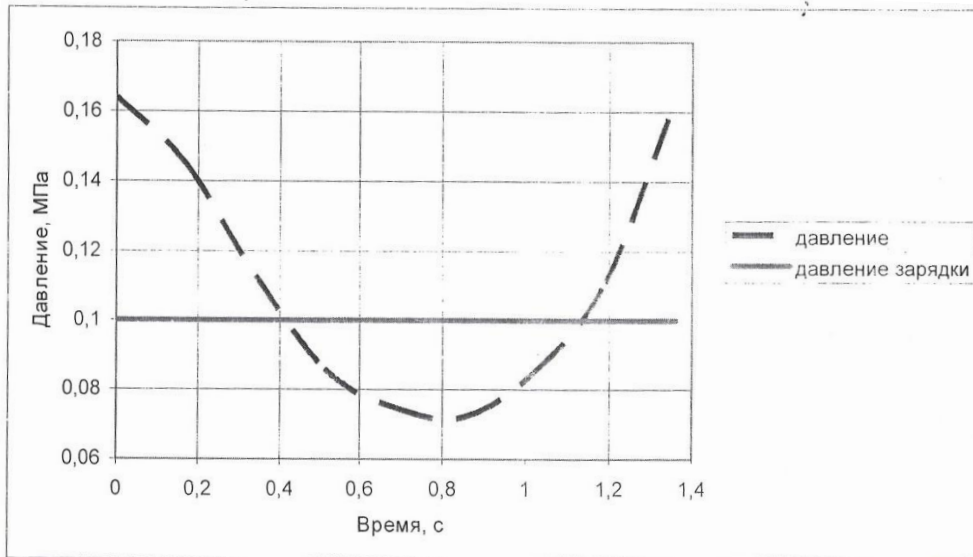


Рисунок 4,5-зависимость давления от перемещению поршней.

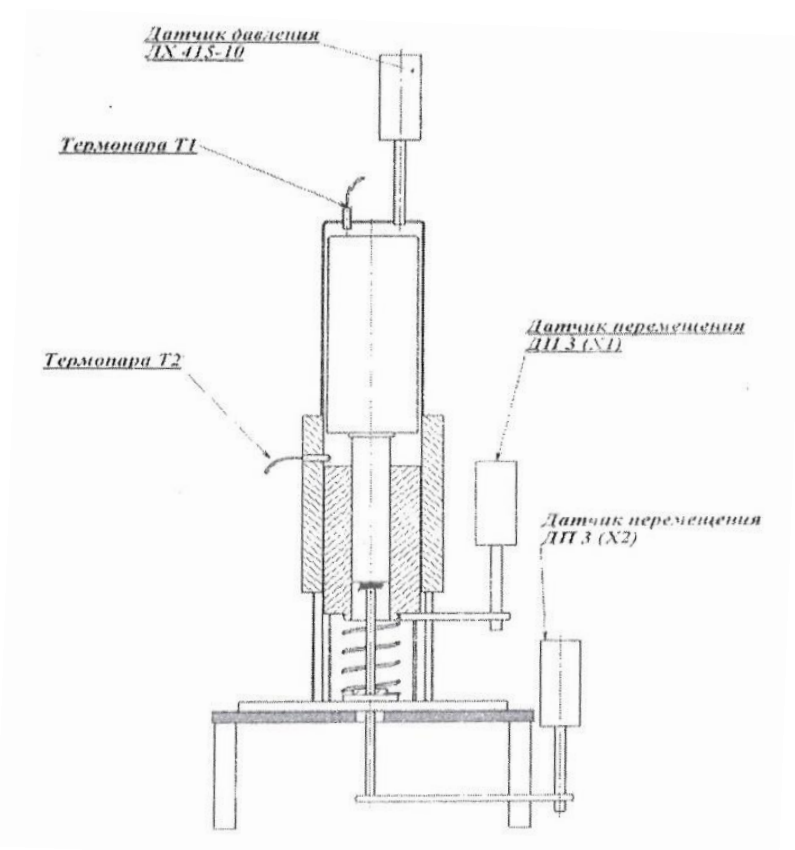
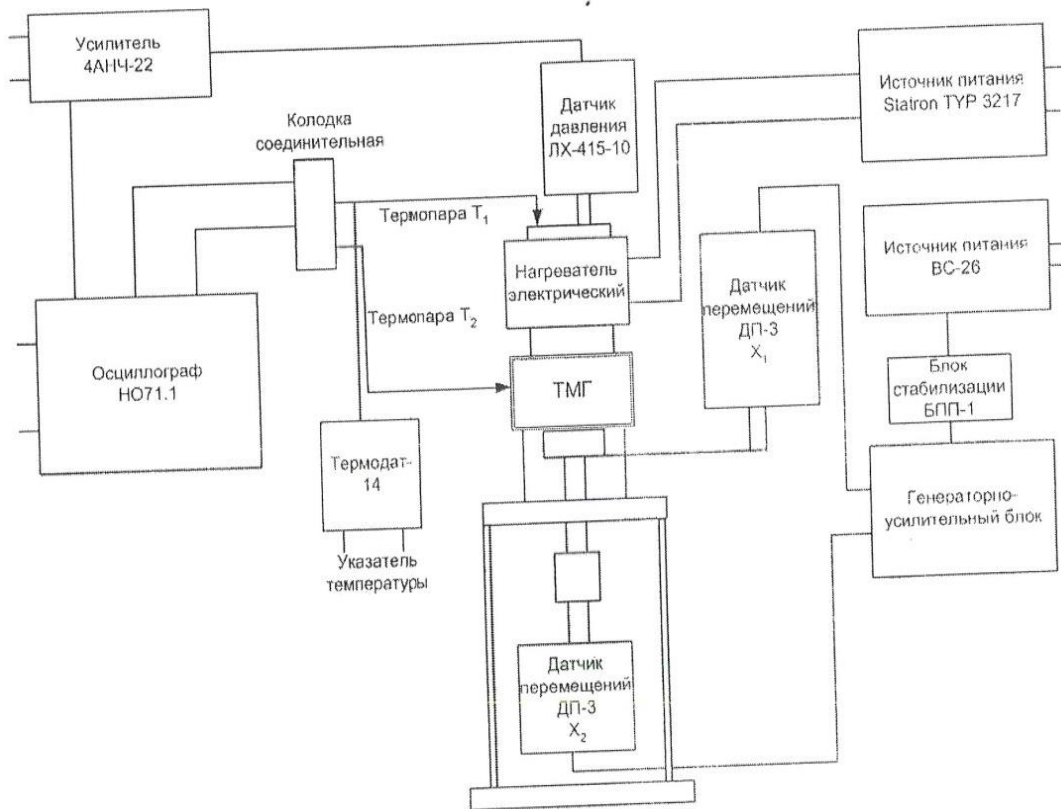


Рисунок 6,7- схема экспериментальной установки ТМГ.

3. Экспериментальное исследование рабочего процесса

Приведены описание конструкции лабораторного образца термомеханического генератора (ТМГ) разработанного в МВТУ имени Баумана на базе свободнопоршневого двигателя Стирлинга (СПДС), а также полученные экспериментальные данные. К преимуществам двигателей с внешним подводом теплоты можно отнести возможность использования различных источников тепловой энергии (начиная от традиционных органических топлив и заканчивая энергией радиоактивного распада, солнечной радиации и биогаза), относительно низкий уровень шума при работе, возможность создания установок с минимальным воздействием на окружающую среду, достаточно высокий КПД и длительный ресурс работы. Существуют свободнопоршневые двигатели Стирлинга 3-модификации как, в которых жесткие механические связи между поршнями заменены газодинамическими. Термомеханический генератор в свою очередь является разновидностью свободнопоршневого двигателя, в котором газодинамические связи между элементами заменены на механические посредством установки механических пружин. Преимуществами ТМГ являются возможность создания более технологичных по сравнению с СПДС установок, их компактность и герметичность внутреннего контура. Такие двигатели нашли применение на сегодняшний день в различных автономных энергетических установках, аппаратах "искусственное сердце", в рефрижераторных системах и водяных насосах. Однако в настоящее время в открытой печати практически отсутствует научно-техническая литература, посвященная вопросам исследования рабочих процессов в ТМГ и разработке их конструкций. Целью данной работы являлось проведение экспериментальных исследований опытного образца ТМГ.

Конструктивно термомеханический генератор состоит из трех основных элементов - цилиндра и расположенных в нем рабочего и вытеснительного поршней, Поршни разделяют объем цилиндра на две полости - полость расширения и полость сжатия, сообщающиеся между собой через нагреватель и холодильник. Принцип работы ТМГ аналогичен принципу работы двигателя Стирлинга с приводным механизмом с той только разницей, что поршни возвращаются в свои верхние мертвые точки под действием сил упругости механических пружин. Жесткая кинематическая связь между поршнями отсутствует. Масса вытеснительного поршня мала по сравнению с массой рабочего поршня, поэтому он быстрее реагирует на изменение давления газа в полостях и его колебания происходят с опережением рабочего поршня по фазе, что является необходимым условием получения полезной работы в машинах, работающих по циклу Стирлинга.

Рабочий процесс ТМГ протекает следующим образом. В момент запуска давление газа в рабочих полостях одинаково. Включение нагревателя приводит к повышению температуры и давления газа в полости расширения. Это вызывает перемещение вытеснителя вниз и, как следствие, перетекание

рабочего тела из холодной полости в горячую. Давление газа при этом повышается. Под воздействием разницы давлений газа в рабочих полостях вытеснитель продолжает перемещаться вниз, переталкивая рабочее тело в горячую полость. При последующем увеличении давления начинает свое движение рабочий поршень. Через некоторое время объем полости сжатия становится минимальным и давление газа в рабочих полостях начинает падать. Движение поршней вниз продолжается до момента уравнивания действия газовых сил и сил инерции. Вытеснительный поршень намного легче рабочего поршня, поэтому он первым начинает перемещаться в обратную сторону. В это время рабочий поршень еще продолжает движение вниз. Рабочее тело начинает перетекать из полости расширения в полость сжатия, его давление падает, что вызывает движение поршня вверх под действием силы упругости пружин. Это движение продолжается до момента выравнивания давлений в полостях. При этом газ начинает перетекать из холодной полости в горячую и цикл продолжается.

Термомеханический генератор был смонтирован на испытательном стенде, схема которого приведена на рис. 6,7. Схема установки датчиков представлена рис. 6,7, а основные конструктивные параметры термомеханического генератора приведены в таблице.

В ходе эксперимента контролировались следующие параметры рабочего процесса:

- температура рабочего газа в полости расширения (T_1);
- температура газа в полости сжатия (T_2);
- давление газа во внутреннем контуре (P);
- законы перемещения вытеснительного и рабочего поршней (X_p , X_D);
- частота колебаний поршней n .

Давление рабочего газа во внутреннем контуре контролировалось с помощью датчика давления ЛХ-415-10, а значения температур рабочего газа в полости расширения и сжатия термомпарами ХА-0,3, установленными в соответствующих зонах внутреннего контура. Законы перемещений вытеснительного и рабочего поршней контролировались с помощью двух индуктивных датчиков перемещений ДП-3, соединенных толкателями с поршнями.

В процессе эксперимента с целью набора статистических данных проводилась регистрация параметров при трех значениях температуры рабочего газа в полости расширения (T):

- 453К;
- 513 К;
- 573 К.

Эксперимент проводился в нормальных климатических условиях.

В результате эксперимента была получена осциллографическая запись изменений контролируемых параметров в едином масштабе времени.

На основе полученных осциллограмм построены графики зависимости

параметров рабочего процесса, при изменении температуры рабочей газа в полости расширения T_1 . Полученные экспериментальные данные при рабочей частоте $\Gamma = 12$ Гц. температуре в горячей полости $T = 573$ К и температуре холодной $T_2 = 296$ К приведены на рис. 3-5. Полученные экспериментальные значения параметров рабочего процесса помогут оценить степень адекватности создаваемой математической модели термомеханического генератора.

3.1. Динамика свободнопоршневого двигателя Стирлинга

Свободнопоршневой двигатель Стирлинга — это машина, в которой возвратно-поступательные движения элементов, соответствующие термодинамическому циклу, происходят вследствие их взаимодействия с упругими силами газа (рабочего тела) без какой-либо механической связи между поршнем и вытеснителем.

Преимуществом свободнопоршневых двигателей Стирлинга является простота их конструкции, отсутствие утечек (машины могут быть выполнены в герметичном исполнении), низкая стоимость, способность к самопуску и значительный ресурс работы. Они могут быть использованы в качестве тепловых насосов, солнечных преобразователей энергии, электрогенераторов, водяных насосов и элементов систем комплексного энергоснабжения.

В данной главе приведено описание динамики свободнопоршневого двигателя Стирлинга с одновременным рассмотрением возможностей его многочисленных схем и обсуждением современного состояния развития и дальнейших направлений в исследованиях. В связи с активным развитием свободнопоршневых двигателей Стирлинга изложенный в данной главе материал должен рассматриваться не более как введение в предмет, дополнительные сведения о котором можно получить из публикуемой литературы по новым разработкам.

3.2. Вопросы динамики свободнопоршневого двигателя

Для описания работы свободнопоршневого двигателя целесообразно предположить, что гармонический закон движения элементов двигателя в большинстве случаев близок к действительности, и напомнить, что такое движение может быть описано не только при помощи синусоидальных волн, но также и с помощью проекций вращающихся радиусов-векторов на горизонтальную или вертикальную оси. Метод изображения гармонически изменяющихся скалярных и векторных величин с помощью радиусов-векторов имеется во многих справочниках по механическим колебаниям *.

Ниже приведено краткое описание векторного представления гармонического движения:

а) синусоидальная волна $A \sin \omega t$ может быть представлена

вертикальными составляющими радиуса-вектора перемещения (далее вектор — перемещение) с модулем A , вращающегося с угловой скоростью ω (рис. 9.1);

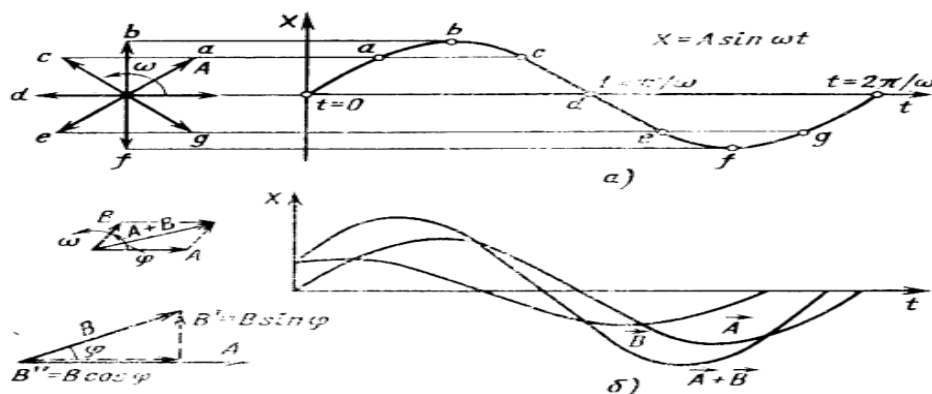


Рисунок 8- Векторное представление гармонически изменяющихся величин: y — синусоидальная волна; b — сумма двух синусоидальных волн; v — работа радиуса- вектора силы; L — радиус-вектор перемещения; B — радиус — вектор силы; B' — рабочая составляющая радиуса —вектора B ; B'' — упругая составляющая радиуса —вектора B

б) сумма двух синусоидальных волн $A \sin \omega t$ и $B \sin (\omega t + \phi)$ Может быть выражена в виде вращающегося вектора, равного сумме вектора A и вектора B , опережающего A на угол ϕ ;

в) работа синусоидальной силы $A \sin (\omega t)$ на перемещении $\sin \omega t$ представляется произведением нормальной к вектору перемещения составляющей вектора силы на вектор перемещения. Если радиус-вектор силы опережает по фазе вектор перемещения, то работа затрачивается на перемещение; если радиус-вектор силы запаздывает по фазе относительно вектора перемещения, то работа определяется перемещением. Работа за цикл равна $nAB \sin \phi$.

Это выражение может быть также интерпретировано и таким образом, что только составляющая силы, параллельная радиусу- Вектору скорости (далее — вектор скорости), производит работу. (Следует отметить, что вектор скорости всегда опережает вектор перемещения на 90° по фазе, а составляющая силы, нормальная к вектору скорости, параллельна вектору перемещения).

Система, включающая массу, пружину и демпфер (рис. 9.2), иллюстрирует рассмотренные выше положения. Если сила сопротивления направлена вниз, то приложенная сила F должна иметь составляющую, нормальную к вектору перемещения (параллельную L). Сложение и вычитание гармонических колебаний скалярных или векторных величин с помощью вращающихся радиус векторов возможно только при одинаковой частоте суммируемых колебаний .

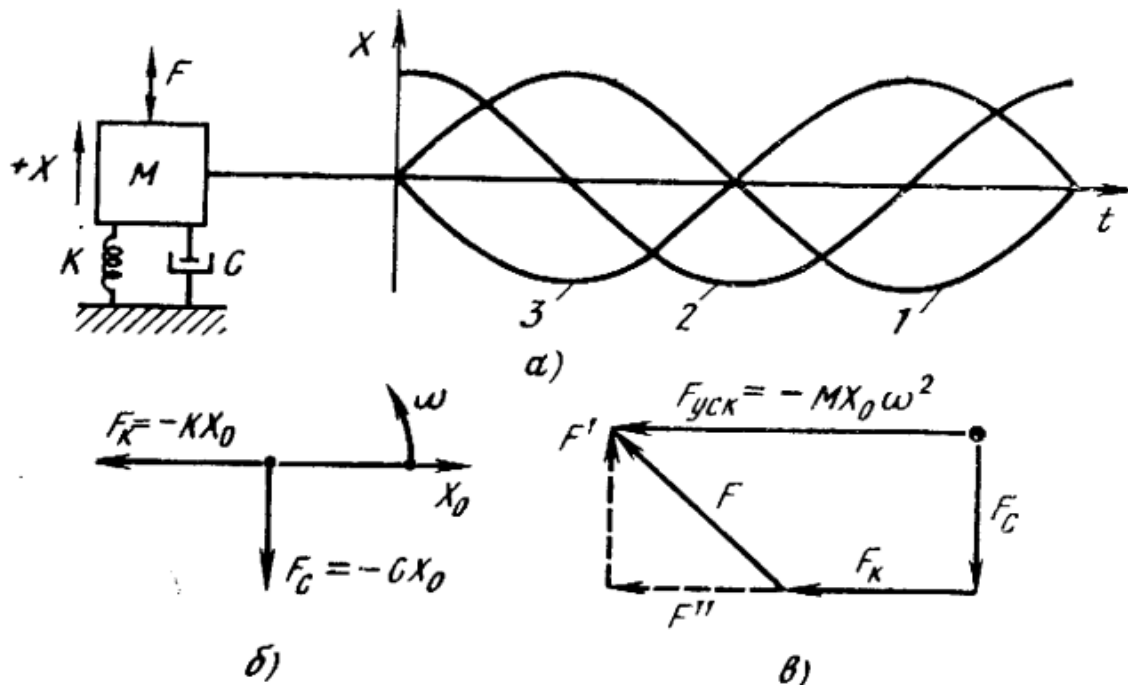


Рисунок 9- Схема упрощенной механической системы масса — пружина—демпфер:

a — основные элементы свободнопоршневого двигателя, их перемещения, скорости и ускорения; *б* — силы, действующие в двигателе; *в* — диаграмма действующих сил; *1* — $X = X_0 \sin \omega t$, $X \sin \omega t$, $X = X_0 \sin \omega t$, $X = X_0 \sin \omega t$; $X = -X_0 \cos^2 \omega t$; $F + F_{\text{упр}} + F_{\text{сопр}} = MX$; $F - KX - CX = MX$; $F - KX - CX = MX$; $F - KX - CX = MX$; $F - KX - CX = MX$; M — масса поршня; K и C — коэффициенты соответственно жесткости пружин и демпфирования

вектору скорости) и направленную вверх. Если сила сопротивления отсутствует, то приложенная сила не имеет нормальной («рабочей») составляющей, и ее направление соответствует направлению ускорения (в направлении действия пружины). При последующем рассмотрении полезно представить каждую силу в виде комбинации «рабочих» составляющих (F'), нормальных к вектору перемещения, и «упругих» составляющих (F''), параллельных вектору перемещения каждого рассматриваемого элемента.

Необходимым условием работы свободнопоршневого двигателя является динамическое равновесие сил в соответствии со вторым законом Ньютона, т. е. равенство суммы сил, действующих на любой движущийся элемент, силе, вызывающей ускорение этого элемента. Если это условие соблюдается, то система в действительности является колебательной. Рассматриваемые в данном случае силы являются силами сопротивления, силами упругости и газовыми силами. Их сумма должна быть равна вектору силы, вызывающей ускорение, модуль которой равен $M A \omega^2$, где M — масса элемента, A — амплитуда перемещения и ω — угловая частота вращения (рад/с). Направление силы, вызывающей ускорение, противоположно направлению вектора перемещения.

После проведения термодинамического анализа, рассмотренного в предыдущих главах, и определения желательных режимов движения элементов следует провести динамический анализ, определяющий условия этих режимов движения. Цель динамического анализа состоит в определении силы, вызывающей ускорение (по заданным рабочей частоте, амплитуде и массе), сил сопротивления (по характеристикам перепада давления в теплообменниках и поля скоростей рабочего газообразного тела), а также давления газа (по результатам проведенного термодинамического анализа или по результатам анализа изотермического цикла) и выборе сил упругости. В результате векторная сумма всех действующих сил должна быть равна необходимому значению силы, вызывающей ускорение.

3.3. Силы, действующие в рабочей полости двигателя

Давление, газа. Давление в рабочей полости реального двигателя является сложной функцией термодинамических и динамических параметров. Определение точного закона его изменения связано с проведением сложных расчетов на ЭВМ. Однако использование в динамическом анализе зависимости изменения давления в идеальном цикле с изотермическими или другими процессами сжатия и расширения может служить благоприятным условием для последующего определения фазового угла смещения и амплитуды эквивалентной гармонической волны давления, вычисляемой следующим образом:

а) для идеального цикла в рассматриваемой конструкции двигателя с заданными объемами, температурами и перемещениями рассчитывается соответствующее изменение давления и строится p, V -диаграмма. Работа цикла определяется как криволинейный интеграл по замкнутому контуру, т. е. $W = \oint p dV$

б) вычисленная работа приравнивается к работе, которая может быть получена для случая изменения объема с эквивалентной гармонической волной давления, т. е. равной $W \sim -nVP \sin \phi'$. Величина V является амплитудой гармонической волны объема, соответствующей радиусу-вектору объема, который может быть суммой двух или более радиусов-векторов, соответствующих изменениям объемов, вызванным перемещением поршня; P — амплитуда эквивалентной гармонической волны давления, представленной радиусом-вектором давления (далее — вектор давления); ϕ' — фазовый угол смещения вектора давления по отношению к отрицательному направлению радиуса-вектора объема.

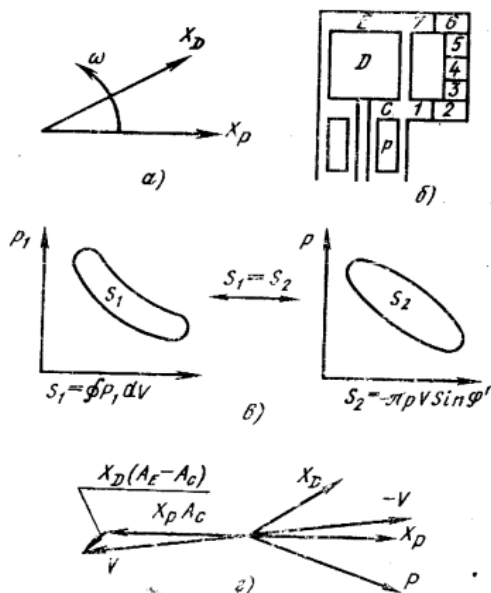


Рисунок 10-Газовые силы в свободнопоршневом двигателе Стирлинга: *a* — радиусы-векторы перемещений вытеснителя и поршня; *б* — узловые элементы свободнопоршневого двигателя; *в—p* — *V*-диаграммы для идеального цикла Стирлинга и никла с гармонически изменяющимся давлением и объемами; *г* — векторная Диаграмма для радиусов-векторов перемещений, объемов и давления; 1-7 --- элементы двигателя

Эквивалентный вектор давления может быть использован в векторном представлении динамики двигателя. Точность такого представления удовлетворительна для двигателей с большим мертвым объемом, но недостаточна для небольших двигателей с весьма незначительным мертвым объемом типа конструкций с малым кольцевым зазором, в котором реальная волна давления значительно отличается от простой гармонической волны.

Силы упругости газа. Коэффициент упругости газа в полости

$$K = \gamma A * p_{ov} / V,$$

где γ — показатель адиабаты или другой соответствующий показатель; A — площадь торцевой поверхности поршня; p_{cp} — среднее давление газа; V — объем газа в полости.

Силы сопротивления. Эти силы в теплообменнике могут быть оценены по параметрам перепада давления при установившемся режиме течения в теплопередающих элементах и объемному расходу в присоединенном рабочем объеме.

Истинные силы сопротивления в общем случае имеют явный негармонический характер, и эквивалентная гармоническая сила сопротивления, обеспечивающая ту же самую диссипацию энергии, должна быть определена аналогично описанному методу по определению газовых сил. Этот метод является грубой аппроксимацией. Тем не менее при пользовании этим методом можно получить удовлетворительные результаты, так как силы сопротивления, возникающие из-за перепадов давления, обычно малы по сравнению с другими силами.

3.4. Типы двигателей

Двух поршневой свободнопоршневой двигатель. Для проведения динамического анализа свободнопоршневого двигателя на рис. 9.4 приведена простейшая двух поршневая схема двигателя с отбором мощности от одного

или 'обоих поршней.

В идеальном случае поршень 1 является демпфером с нулевой массой, а поршень 2 — недемпфированной резонирующей массой. Вектор давления коллинеарен с вектором перемещения поршня 2 и составляет прямой угол с вектором перемещения поршня 1. Поршню 1 соответствует только сила сопротивления, а поршню 2 — только сила упругости. Резонансная частота определяется массой поршня 2 и коэффициентом упругости системы, являющимся суммой двух составляющих его коэффициентов, обусловленных давлением p_x в рабочем объеме и давлением p_2 в объеме буферной полости.

В реальном случае вектор давления отстает от векторов перемещений обоих поршней, и, следовательно, результирующая газовая сила имеет «рабочие» составляющие на обоих поршнях и оба поршня могут производить работу на демпфирующей нагрузке, такой, как например, линейный генератор переменного тока. Если вектор давления коллинеарен с вектором перемещения поршня 2, то этот поршень не может производить работу и будет только колебаться в резонансном режиме. Если вектор давления находится между двумя векторами перемещений, отставая от вектора перемещения поршня 1 и опережая вектор перемещения поршня 2, то результирующая газовая сила будет производить работу на поршне 1 с ее отводом от поршня 2; в этом случае поршень 1 должен иметь внешний привод, как, например, линейный генератор переменного тока, работающий в режиме двигателя.

Свободнопоршневой двигатель вытеснительного типа. На рис. 9.5 показана обобщенная схема машины с поршнем и вытеснителем, имеющим три движущихся элемента — поршень, вытеснитель и цилиндр. Приведенные на рисунке обозначения используются в дальнейшем во всех описанных ниже схемах.

Простейшая частная схема — схема машины с поршнем и вытеснителем, представляющей свободно-поршневой электрогенератор, разработанной в исследовательском центре (г. Харуэл, Великобритания) [84], изображена на рис. 9.6.

В этой машине движение вытеснителя обеспечивается упругой связью (пружиной) между вытеснителем и цилиндром (C1), которая из-за их фазового смещения имеет «рабочую» составляющую, достаточную для преодоления демпфирования вытеснителя. Работа цикла в этой схеме определяется силой демпфирования поршня (F_{Da}), представленной на примере машины исследовательского центра г. Харуэлла ее генератором переменного тока.

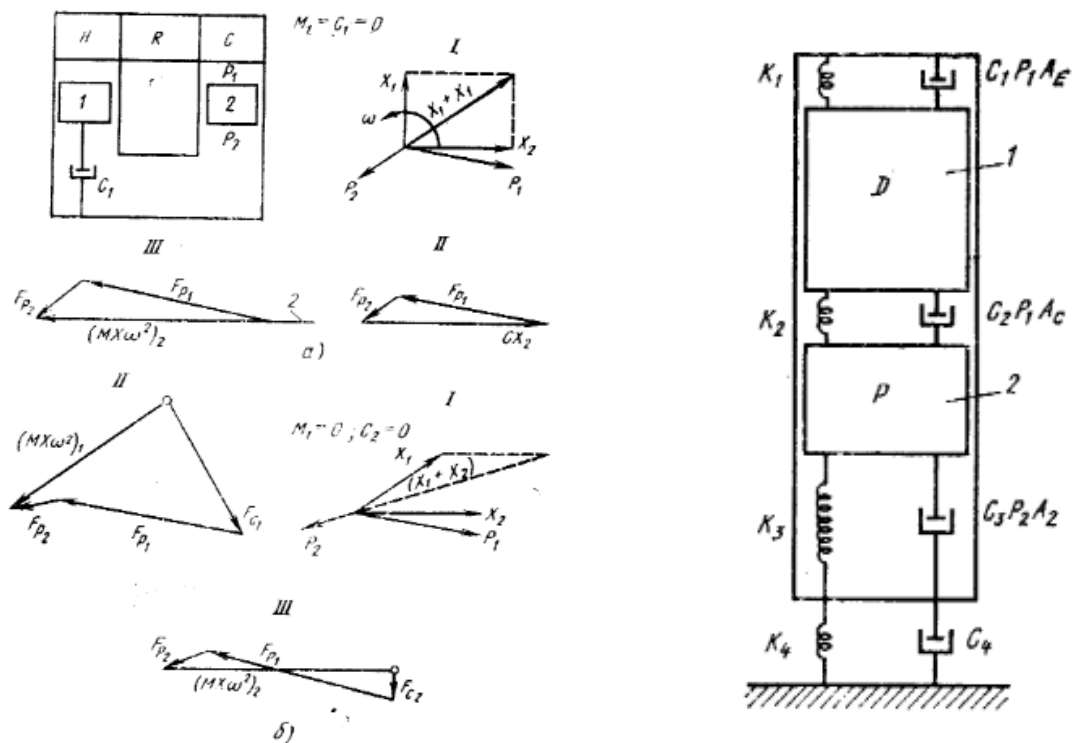


Рисунок 11-Диagramмы свободнопоршнеЕОго двигателя с двумя поршнями: *a* — идеальная схема; *б* — реальная схема; *I* — радиусы-векторы перемещений и давления; *II* — векторная диаграмма сил, действующих на поршень 1 \ *III* — векторная диаграмма сил, действующих на поршень 2
 Рис. 9.5. Обобщенная схема двигателя вытеснительного типа: 1 — вытеснитель; 2 — поршень

На рис. 9.7 приведен другой вариант схемы (представленной на рис. 9.5) — относительно простой по конструкции низкочастотный двигатель с вытеснителем, упруго связанный с буферной полостью. В этом случае основная действующая на вытеснитель газовая сила обусловлена разностью площадей его горячей и холодной торцовых поверхностей, вызванных наличием штока вытеснителя. Такую конструкцию имеют некоторые небольшие модели двигателей фирмы- «Санпауэр». Для работы подобной системы необходимо иметь вытеснитель с малой массой, так как развиваемые силы ускорения незначительны.

Совместным действием упругой связи (силы упругости газа) и газовой силы, обусловленной разностью площадей торцовых поверхностей вытеснителя, можно получить значительные усилия на вытеснителе с большой массой, а следовательно, и возможности работы рассматриваемого двигателя с большими частотами. На рис. 9.8 показана схема, используемая в более мощных двигателях фирмы «Санпауэр», в которых резонанс вытеснителя большой массы обеспечивается его упругой связью с цилиндром, а

Рис. 9.7. Векторная диаграмма перемещений и сил свободнопоршневого двигателя с общей буферной полостью для поршня и вытеснителя:

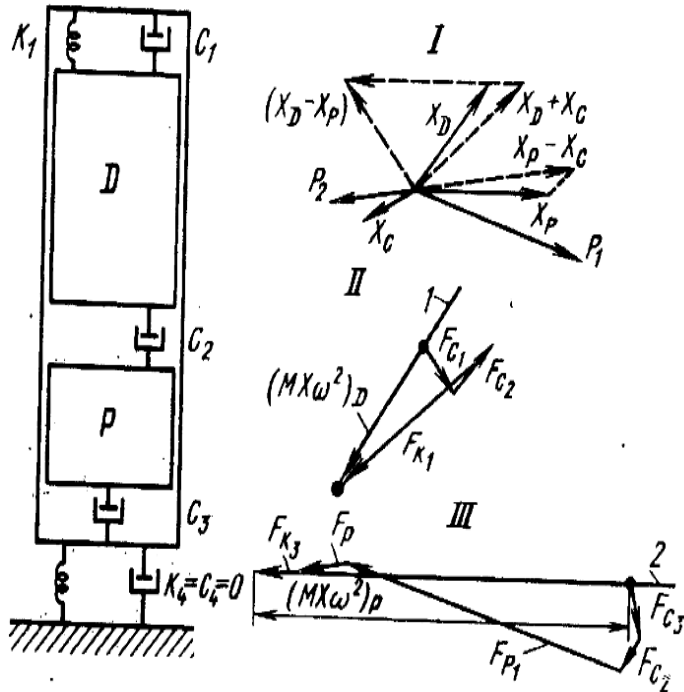


Рисунок 12- Векторная диаграмма перемещений и сил свободно поршневого двигателя для электрического генератора, разработанного исследовательским центром (г. Харуэлл, Великобритания):

I — радиусы-векторы перемещения и давления; *II* — силы, действующие на вытеснитель; *III* — силы, действующие на поршень; *1* и *2* — линии перемещения

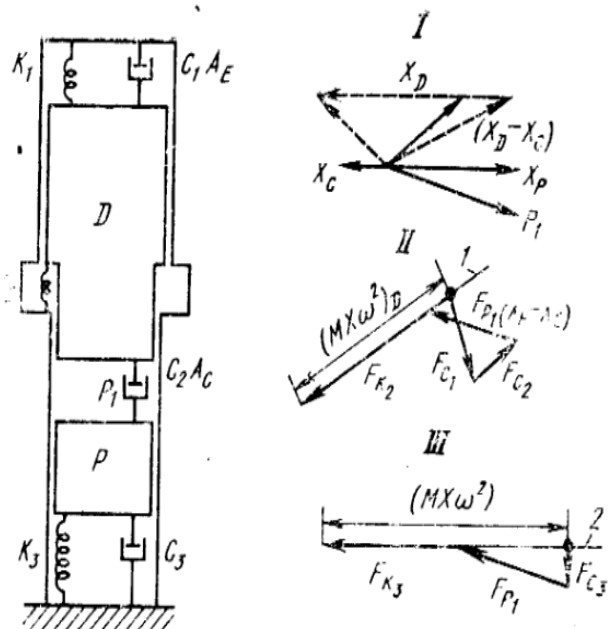


Рисунок 13- Векторная диаграмма перемещений и сил свободнопоршневого двигателя с упругой связью вытеснителя с цилиндром:

газовая сила, обусловленная разностью площадей вытеснителя, используется для преодоления его демпфирования. Следовательно, вектор результирующей силы от силы сопротивления и газовой силы на вытеснителе располагается на линии

перемещения, а введение дополнительной пружины /C, достаточной жесткости обеспечивает необходимую для резонанса вытеснителя суммарную результирующую силу. Подобным образом упругая составляющая газовой

силы в рабочем объеме суммируется с упругой силой пружины K_3 , имеющей достаточную жесткость для резонанса поршня.

Для упрощения построения диаграмм сил незначительные дополнительные эффекты, связанные с движением цилиндра, не рассматриваются. При желании их можно учесть методом, показанным ранее. Схема привода, промежуточная по отношению к показанным на рис. 9.7 и 9.8, приведена на рис. 9.9. Пружина C_2 , расположенная между вытеснителем и поршнем, способствует резонансу вытеснителя. То обстоятельство, что ни газовая сила, ни сила упругости не коллинеарны с перемещением вытеснителя, приводит к передаче довольно значительной работы от вытеснителя к поршню.

В практике это находит свое выражение в появлении гистерезисных потерь в упругой газовой «подушке» и уменьшении термического КПД системы. Двигатели этой схемы характеризуются большим диаметром штоков по сравнению с более мощными

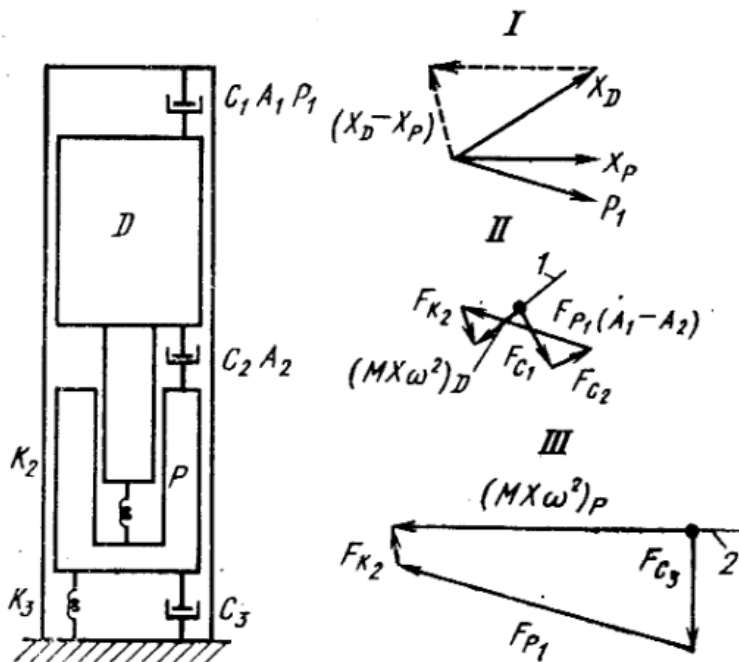


Рисунок 14- Векторная диаграмма перемещений и сил свободнопоршневого двигателя с упругой связью вытеснителя с поршнем:

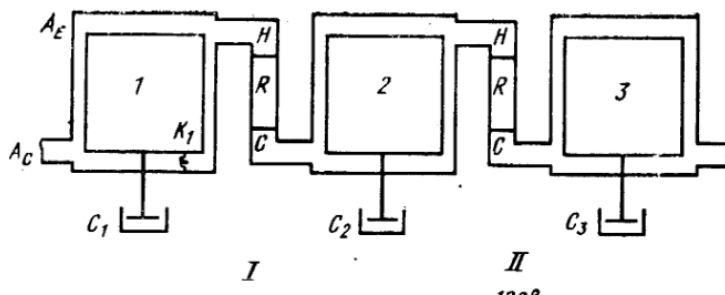


Рисунок 15- Векторная диаграмма перемещений и сил трехпоршневого двигателя двойного действия:

двигателями (см. рис. 9.8), работающими при тех же параметрах.

Свободнопоршневые двигатели двойного действия. Динамика

свободнопоршневых двигателей двойного действия отражена на диаграмме сил (рис. 9.10). В качестве примера рассмотрена лишь одна схема трехпоршневого двигателя; следует отметить, что возможно создание двигателей как с большим числом поршней, так и с различными связями между цилиндрами. Впервые трехпоршневая машина двойного действия была предложена Уокером в качестве возможной схемы для получения трехфазного тока.

Свободнопоршневые двигатели двойного действия должны иметь большой фазовый угол между положением поршня и соответствующим ему изменением давления в полости расширения; в противном случае (как видно из диаграммы сил) нельзя получить положительного значения работы. В действительности для трехпоршневого двигателя фазовый угол должен превышать 30° ; в противном случае результирующая двух газовых сил будет находиться на линии перемещения или под ней и иметь отрицательную «рабочую» составляющую.

Этой ситуации можно избежать, предусматривая нижнюю торцовую поверхность поршня меньше его верхней торцовой поверхности, что, естественно, совпадает со случаем, когда приводной шток поршня остается в объеме полости сжатия. Уменьшенная площадь штока обуславливает меньшую силу $F_{p_{ai}}$; таким образом, можно получить положительную работу при меньшем фазовом угле запаздывания давления.

Ограничения, подобные описанному выше, являются следствием необходимой симметрии схемы с поршнем двойного действия и делают ее менее гибкой и менее чувствительной к процессу оптимизации, чем схемы машин вытеснительного типа с поршнем и вытеснителем. Преимущества этой схемы те же, что и для двигателей двойного действия с механическим приводом: большая удельная мощность и меньшее число движущихся элементов.

Различные схемы и геометрии элементов свободнопоршневых двигателей. Кроме рассмотренных схем существует почти бесконечное число их вариантов. Для примера на рис. 9.11 показаны варианты геометрии вытеснителя, каждый из которых полностью эквивалентен другим. Этот набор вариантов не является исчерпывающим, и без сомнения он может быть дополнен. Задачей конструктора является оценка преимуществ возможных схем для интересующего его конкретного применения, принимая во внимание реальные возможности механической конструкции — термические деформации, утечки газа, износ поверхностей элементов, потери на упругость газа, способы регулирования мощности, а также стоимости изготовления, наладки и т. п.

Большие возможности существуют и у многоцилиндровых схем для тепловых насосов, холодильных машин, холодильных машин с тепловым приводом и других комбинаций. Однако разработчик должен всегда выбирать схему осторожно, придерживаться правила,

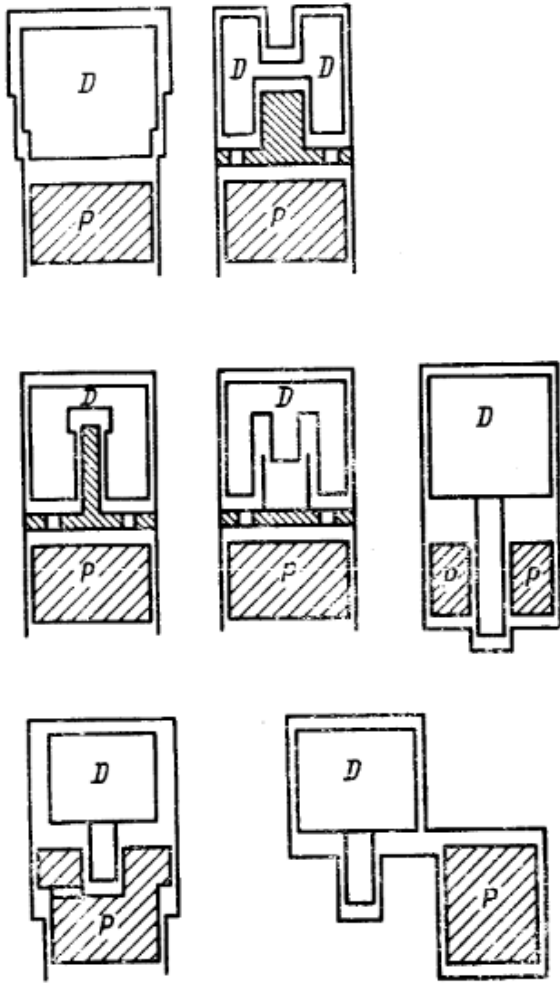


Рисунок 16- Эквивалентные схемы вытеснителей.

сформулированного профессором Эгоном Ороном, который считал, что никогда не надо пытаться сделать что-то сложнее до тех пор, пока изобретатель не потерпел неудачу с чем-то простым. Поэтому, если нормально работает схема с одним поршнем, будет ли кто-то стараться применить два или пять поршней?

Ряд интересных схем с различными методами динамического анализа свободнопоршневых двигателей Стирлинга приведены также в работах. Моделирование динамики свободнопоршневых двигателей на ЭВМ. Рис. 9.12 отражает принципиальную схему аналоговой ЭВМ динамической модели двигателя (см. рис. 9.5). Если основной целью является при

использовании достижений современной электроники, применение аналоговой схемы является сравнительно недорогостоящим методом для исследования динамики свободнопоршневого двигателя. Весьма просто создать аналоговую схему из легкодоступных элементов и с ее помощью исследовать свободнопоршневой двигатель. Управляя потенциометрами, замещающими динамические элементы, исследователь может получить удовлетворительные значения для заданных параметров упругих сил, площадей поршней и нагрузок, необходимых для обеспечения требуемых режимов работы двигателя.

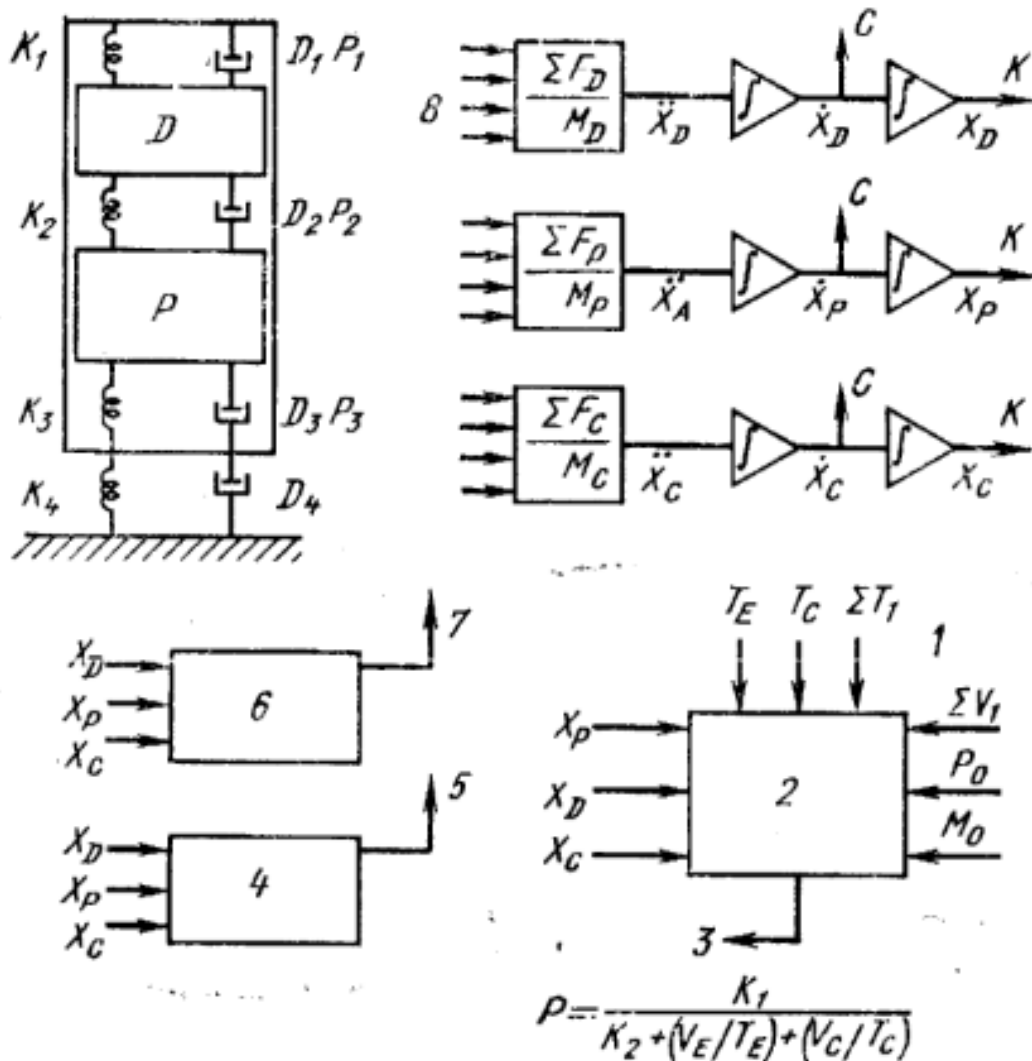


Рисунок 17- Принципиальная схема аналоговой ЭВМ:

1 — элементы объема; 2 — функциональный генератор давления газа; 3 — давление газа; 4 — функциональные генераторы упругих сил; 5 — упругие силы KX ; 6 — функциональные генераторы сил сопротивления; 7 — силы сопротивления CX ; 8 — силы сопротивления, упругие силы и давление газа исследование динамики, а не термодинамики двигателя, то аналоговая схема проста;

Добавляя нелинейные элементы в аналоговую схему с учетом эмпирически полученных корректирующих поправок, можно получить достаточно полное представление о работе реальной машины, в том числе о перепадах давления, а также о процессах, происходящих при столкновении движущихся элементов двигателя.

Для этих же целей может быть использована и ЦЭВМ. Однако в этом случае оператор лишен возможности проводить одновременное сравнение результатов изменяющихся параметров различных вариантов. Программа непрерывного моделирования систем (CSMP) фирмы «Интернэшнл бизнесс

мэшинз» (IBM) является полезной для численного моделирования аналоговых цепей.

Некоторые аспекты термодинамической и динамической оптимизации Цель предыдущих разделов состояла в том, чтобы дать некоторое представление о динамике свободнопоршневого двигателя. Расчет должен начинаться с осуществления термодинамической оптимизации, с соответствующим аналитическим методом расчета, включающим динамический анализ. В работе [138] описан метод фирмы «Сан-иауэр», состоящий из двух уровней моделирования двигателей Стирлинга; быстрый, основанный на изотермическом анализе с эмпирическими поправками, и точная программа третьего порядка, позволяющая получить хорошие результаты при сравнении их с экспериментальными данными двигателей. В указанные методы расчета введена и автоматическая программа оптимизации, которая позволяет исследовать каждое координатное направление и определять максимум выходной функции, заранее определенной разработчиком. Соответственно для каждой оптимальной компоновки рассматривается динамика двигателя. Ниже в качестве примера приведен расчетный план программы фирмы «Санпауэр».

3.5. Расчетный план программы фирмы «Санпауэр»

Определяется цель программы. Цель определена, когда сформулированы основные факторы, используемые при оптимизации; например, аппарат «искусственное сердце» вызывает необходимость обеспечения максимального КПД и малых размеров; водяной циркуляционный насос для калорифера может быть с малым КПД и должен иметь низкую стоимость и большой ресурс работы.

Вводятся дополнительные ограничения, которые относятся к мощности, частоте колебаний, давлению, температуре и т. п. и задаются конкретными значениями или интервалами указанных параметров.

Используется автоматический алгоритм оптимизации для определения термодинамических и динамических параметров системы и параметров теплообменников с применением основных факторов для выходных функций с учетом различных видов потерь мощности.

Исследуются результаты оптимизации с проведением соответствующей их коррекции; вводятся дополнительные ограничительные данные, не учтенные в алгоритме. Так, например, может быть установлено, что увеличение КПД с 36 % при давлении 2 МПа до 37,2 % при давлении 4 МПа не имеет смысла рассматривать, так как при этом происходит рост стоимости и возникают дополнительные трудности, связанные с увеличением рабочего давления.

Проводится окончательный термодинамический расчет. Расчет ведется в автономном режиме по компьютерной программе высокого уровня для

подтверждения стабильности различных характеристик — при пусковом, рабочем и переходных режимах работы двигателя. Рели результаты машинного моделирования удовлетворительны, то расчеты считаются законченными и передаются для дальнейшего проектирования,

Осуществляется непосредственное проектирование двигателя с выбором направляющих опор, уплотнений, вспомогательных насосов, схем регулирования, клапанов и т. п.

Изготавливается прототип двигателя с последующим его испытанием и доводкой для получения необходимых характеристик. Результаты испытаний вводятся в программу расчета ЭВМ для ее уточнения.

Разработка передается в производство.

В качестве примера рассмотрим проект электрического генератора мощностью 1 кВт с приводом от двигателя Стирлинга, использующего в качестве источника теплоты пропан. Этот генератор SPIKE-0 предназначен для снабжения переменным током с частотой 60 Гц и напряжением 120 В при максимальной мощности 1 кВт коммунальных потребителей (для освещения, питания электроприборов небольшой мощности, зарядки аккумуляторных батарей). Предполагается, что генератор должен иметь большой ресурс работы, низкий уровень шума, сравнительно высокий КПД и стоимость, не превышающую стоимости альтернативных источников энергии (т. е. системы ДВС — электрический генератор). Суммарный КПД преобразования энергии топлива в электрическую энергию, равный 20 %, можно считать приемлемым для данной области применения. В предположении, что КПД системы камера сгорания — рекуператор равен 75 %, а КПД собственно генератора — 80 %, необходимый термический КПД двигателя должен быть равен $0,75^{100/80} = 33\%$.

Приближенные оценки геометрических размеров в предположении, что коэффициент мощности при нормальном давлении равен $0,10 \text{ Вт}/(\text{см}^3\text{-Гц})$ для двигателя с рабочим давлением 2,5 МПа, позволяют получить значение рабочего объема, равное 80 см^3 при ходе поршня 2 см (типичное значение для генератора с частотой 60 Гц). При этом мощность на привод генератора составляет 1200 Вт. Известно, что перемещение вытеснителя должно опережать перемещение поршня на фазовый угол, приблизительно равный 40° , а амплитуды перемещений должны быть примерно одинаковыми. Принимая во внимание эти обстоятельства как предварительные начальные условия для оптимизации, с помощью ЭВМ определяют переменные значения давления, фазовых углов, характеристики нагревателя, холодильника и регенератора, соответствующие максимальному КПД.

Упрощенная схема электрического генератора приведена на рис. 9.13. Схема состоит из генератора, газовых опор скольжения и вытеснителя, конструкция которого рассчитана на повышенное давление газа. Потери теплоты от возвратно-поступательного движения вытеснителя были незначительными, а для снижения тепловых потерь вследствие теплопроводности конструкционных материалов вытеснитель, его цилиндр и

регенератор выполнены тонкостенными.

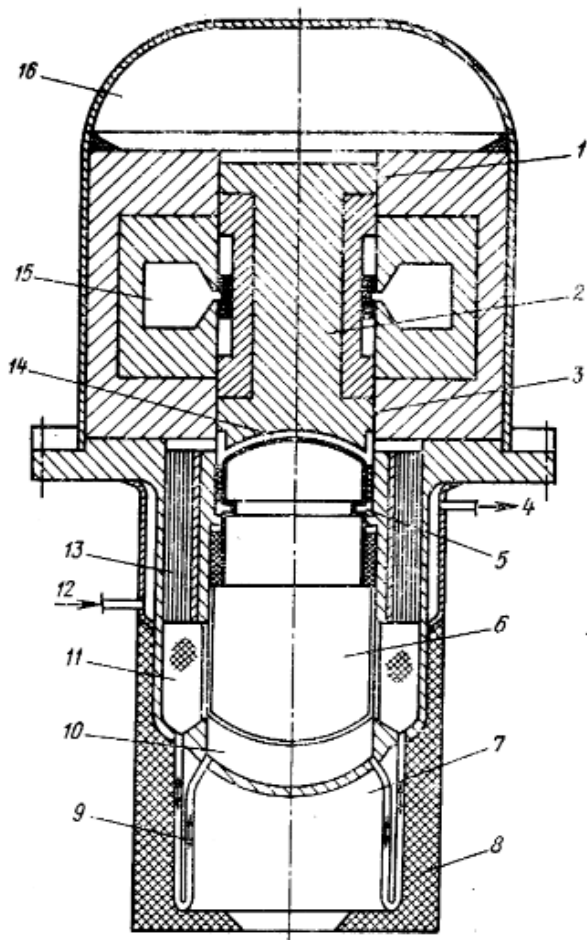


Рисунок 18- Схема генератора SP1KE-0:

1 и 3 — газовые опоры скольжения; 2 — поршень/якорь; 4 — отвод охладителя; 5 — упругая газовая подушка вытеснителя; 6 — вытеснитель; 7 - полость поглотителя солнечной энергии; 8 — Изоляция; 9 — трубки нагревателя; 10 — полость расширения; 11 — регенератор; — подвод охладителя; — холодильник; 14 — Волость сжатия; 15 — линейный генератор; 16 — упругая газовая подушка поршня

Вопросы конструирования свободнопоршневых двигателей Регулирование рабочих положений поршней. Характерной особенностью, отмечаемой исследователями на первых этапах работы со свободнопоршневыми двигателями, является тот факт, что

поршни в процессе работы начинают постепенно смещаться от своих рабочих положений в направлении общей рабочей полости. При этом движение поршней, сопровождаемое ударами, прекращается на некотором расстоянии от нагреваемого торца цилиндра. Первой реакцией исследователей на это неприятное обстоятельство является попытка использовать механическую пружину для удержания поршней в их рабочих положениях. Однако такое решение Обычно не приводит к положительным результатам, так как необходимые в этом случае пружины с большой жесткостью могут вызывать беспорядочные, с большой амплитудой перемещения поршней в направлениях, противоположных заданным.

Дальнейший анализ работы двигателей позволяет объяснить причину данного явления, заключающуюся в нелинейности массового расхода газа в небольших кольцевых зазорах цилиндра (расход пропорционален разностям квадратов давления) и не синусоидальности волны высокого давления (пиковые всплески амплитуды в отличие от синусоидальной волны низкого давления).

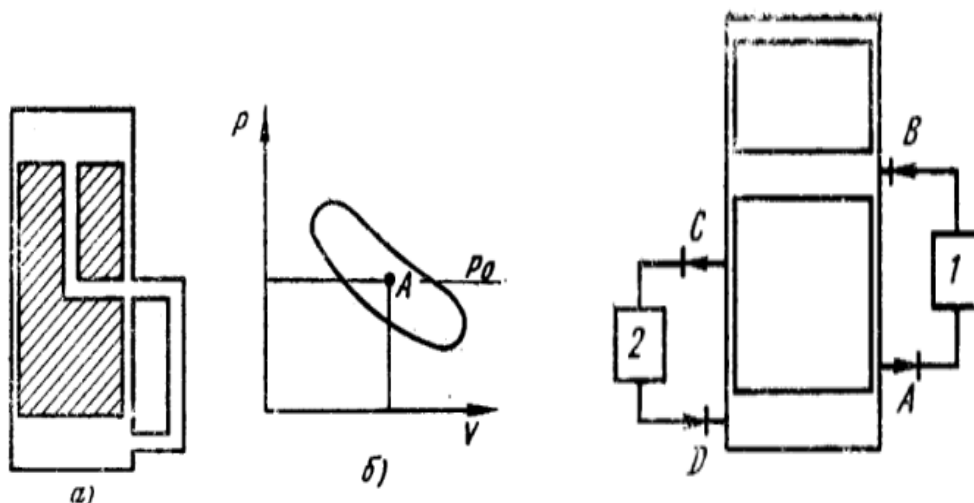


Рисунок 19- Схема регулирования положения поршня методом перепуска:
a — схема конструкции; *б*—*p*—*V*-диаграммы двигателя с перепуском; *A* — точка перепуска с координатами p_0 и V_0 ,

Схема регулирования положения поршня методом аккумуляирования — сброса:

При использовании в качестве уплотнений поршней обычных поршневых колец (или подобных им уплотнений), в отличие от плотной посадки поршня в цилиндр, положение осложняется, так как надежная работа таких уплотнений не может быть обеспечена и часто происходит смещение поршня от рабочего положения. Причиной этому является возможное попадание в поршневую канавку частиц износа поверхностей элементов, в результате чего поршень начинает работать с перекосом.

Существует несколько решений этой проблемы, простейшее из которых состоит в использовании специального отверстия в центральной части цилиндра, позволяющего осуществлять преднамеренный и быстрый перепуск газа между рабочей и буферной полостями .

Этот метод предпочтителен для регулирования положения вытеснителя. Он менее эффективен при использовании для рабочих поршней, так как связан с перепуском газа между полостями со значительным перепадом давления, что приводит к существенным потерям на расширение.

Схема пассивного метода регулирования положения поршня приведена на рис. 9.15. В этом случае перепуск корректирующего | потока газа возможен только при достижении поршнем определенного положения. В двигателях с плотной посадкой поршня в цилиндр (без поршневых колец) смещения поршней от рабочих положений могут быть предотвращены с помощью одного контура регулирующей системы, состоящей из отверстия и обратного клапана, а для поршней с уплотнительными кольцами, допускающими смещение в любом направлении, необходимо иметь два ограничивающих контура регулирования.

Третий метод, используемый для высокоэффективных систем, включает активный контур регулирования, состоящий из позиционного датчика, логической цепи и регулирующего клапана. В этом случае можно осуществить управление потоком газа из полости в полость. Положение поршня определяется с помощью бесконтактного датчика — емкостного, магнитного и т. и. Результирующий сигнал подается на вход микропроцессора и сравнивается с заданным значением; затем соответствующий сигнал поступает на электромагнитный клапан, который регулирует количество газа на входе или выходе из рабочей полости. Данный метод позволяет осуществлять постоянный контроль за положением поршня и незначительно зависит от износа движущихся элементов двигателя, их теплового расширения или изменения свойств рабочего тела, что исключает применение в этих случаях простых пассивных методов регулирования. Активный метод пригоден также и для модулирования мощности.

Газовая смазка. В «свободнопоршневых» двигателях смазка газовых опор скольжения может быть осуществлена путем использования естественных колебаний давления в рабочем объеме или в упругих газовых подушках, позволяющих обеспечить прокачку газа через опоры из баллона с помощью обратного клапана. Для этих же целей применяют специальный автономный насос, что, однако, связано с внесением дополнительных конструктивных решений в схему смазочной системы. Поверхности газовых опор должны быть твердыми с высокой точностью обработки и соответствующими параметрами шероховатости; так, например, для опор скольжения двигателя с поршнем диаметром 50 мм может быть использовано покрытие из окиси алюминия, обеспечивающее зазор, равный 8 мкм на длине 20 мм. Механические нагрузки ударного характера. Во избежание возможных соударений движущихся элементов двигателя, отмечаемых при резких ударах, толчках и т. п., необходимо предусмотреть такие режимы и условия его работы, которые исключали бы появление подобных ситуаций. Если это требование невыполнимо, то для предотвращения разрушения рабочих элементов двигателя используют соответствующие амортизаторы или обводные магистрали, соединяющие рабочий объем с буферной полостью, что, естественно, связано с дополнительными потерями мощности. Регулирование мощности. Во многих случаях регулирование мощности двигателя не является необходимым, как, например, в случае работы водяного насоса или каких-либо других потребителей, связанных с постоянной нагрузкой. Для заданных условий работы регулирование мощности может быть осуществлено следующими способами: изменением коэффициента упругости газовой подушки вытеснителя, его демпфированием или изменением среднего положения поршня. Способ регулирования мощности изменением коэффициента упругости газовой подушки вытеснителя

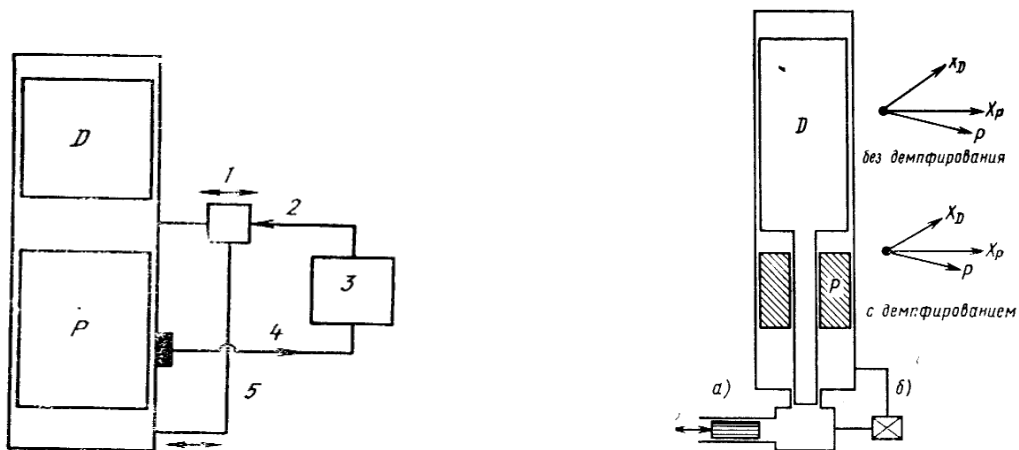


Рисунок 20-Схема активного метода регулирования положения поршня:
 1 — регулирующий клапан; 2 — регулирующий сигнал; 3 — микропроцессор;
 4 — позиционный сигнал; 5 — газовая магистраль;. Схема регулирования
 мощности изменением коэффициента упругости газовой «подушки»
 вытеснителя или демпфированием: а - управление коэффициентом упругости;
 б — управление демпфированием

более гибкий и приводит к незначительному уменьшению КПД двигателя по сравнению с регулированием изменением степени демпфирования вытеснителя, несмотря на то, что последний способ проще осуществить. При регулировании средним положением поршня мощность двигателя падает по мере смещения среднего положения поршня от нагреваемого торца цилиндра, что можно определить по результатам простого изотермического анализа. Этот метод применим только при нагрузках, позволяющих поршню занимать любое положение. Так, для генераторов переменного тока требуется точно фиксированное среднее положение поршня, и они менее приспособлены для регулирования мощности подобным методом. Пуск двигателя. Свободнорпоршневые двигатели при приложении внешней вибрации и при достаточной разности температур и малых силах трения способны к самопуску. Неоднократно испытанные двигатели с плотно подогнанными твердыми поверхностями скольжения являются очевидным примером самопускающихся машин, что достигалось при условии их вертикального положения и поддержания вытеснителей на определенном расстоянии от дна цилиндра с помощью магнитных устройств или механической пружины.

В любых условиях пуск соответствующим образом спроектированных свободнорпоршневых двигателей легко осуществляется от небольшой приложенной вибрации. Так, пуск двигателей электрогенераторов легко может быть осуществлен от сети с небольшим потреблением электроэнергии. Солнечные двигатели, смонтированные на гелиостатах, способны к самопуску при условии изменения их положения по отношению к полю силы тяжести, что достигается при соответствующем положении поршня относительно дна

цилиндра помощью магнитной пружины.

Индукцированные пламенем колебания и быстрый рост температуры в случае двигателей, использующих жидкое или газообразное Топливо, предоставляют благоприятные возможности для их самопуска.

Определенным препятствием для самопуска двигателей является массивный, с большой тепловой инерцией нагреватель, в котором охлаждающаяся первичная порция газа уменьшает рост давления во время пуска.

Преимущества отбора мощности при возвратно-поступательном движении. Сложилось мнение, что передача мощности может осуществляться только с помощью валов. По этой причине свободнопоршневой Двигатель с его «чисто» возвратно-поступательным движением может показаться несколько необычным и относительно бесполезным. Однако возвратно-поступательное движение обладает многими преимуществами, которых лишен двигатель, мощность от которого отбирается при вращательном движении. При возвратно-поступательном движении, в отличие от кривошипно-шатунных механизмов, отсутствуют поперечные нагрузки на цилиндр. Поэтому проблема смазки поршней становится менее сложной и решается путем использования газовых опор скольжения, не требующих большой мощности на прокачку газа.

В машинах с возвратно-поступательным движением могут быть использованы и гибкие уплотнения, герметично закрытые с помощью глухих диафрагм, полых пружинных питателей, торсионных труб и т. п. Использование таких уплотнений позволяет с меньшими трудностями решить проблемы смазки и уплотнений, которые для машин с кривошипным механизмом являются одними из главных.

Однако логичен вопрос, зачем использовать машину с «чисто» возвратно-поступательным движением, несмотря на все ее преимущества, если для традиционных потребителей, приводимых в движение двигателями, необходим вращающийся вал? На этот вопрос легко получить ответ, если заметить, что часто потребитель, которому передается мощность вращательного движения, имеет кривошип и поршень для превращения вращательного движения в возвратно-поступательное. Так, в ДВС, являющемся приводом поршневого компрессора, сначала происходит превращение возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движение вала с последующей передачей мощности через вал компрессора на вращающийся механизм, приводящий в возвратно-поступательное движение поршень, сжимающий газ. В свободнопоршневом двигателе работа цикла непосредственно передается потребителю, сжимающему газ, через поршень с возвратно-поступательным движением. При этом исключаются такие важные проблемы, как смазка, работоспособность подшипников, наличие поперечных нагрузок, износ движущихся элементов и т. п.; кроме того, снижаются также металлоемкость и стоимость двигателя.

Потребители двигателей Стирлинга с возвратно-поступательным движением. Существует небольшое число потребителей с возвратно-поступательным движением, заслуживающих особого рассмотрения для использования их со свободнопоршневыми двигателями Стирлинга. Во-первых, это линейный генератор переменного тока самых различных схем, две из которых приведены на рис. 9.18. На рис. 9.18, *а* показана схема генератора с движущейся обмоткой. Основным преимуществом такой схемы является отсутствие поперечных нагрузок, а также ферромагнитных материалов в обмотке, состоящей лишь из проводника, осевое движение которого обуславливает взаимодействие электрического тока и/ перпендикулярного к нему магнитного поля. Двигатель мод. 10-В фирмы «Санпауэр» использует именно такой генератор.

В схеме, изображенной, *б*, имеется движущийся плунжер, изменяющий направление магнитного потока в обмотке при очередном рабочем ходе поршня двигателя. Такое устройство позволяет получить максимальную электрическую выходную мощность за один ход поршня. Характерные для этой схемы поперечные нагрузки могут быть значительно уменьшены путем точного центрирования плунжера. Для противодействия поперечным нагрузкам и предотвращения плотного контакта между скользящими поверхностями, который может привести к их быстрому износу, в этом случае необходимо применение газовых опор скольжения.

Другим возможным, но уникальным потребителем мощности свободнопоршневого двигателя Стирлинга является инерционный компрессор или насос. Для подвода и отвода

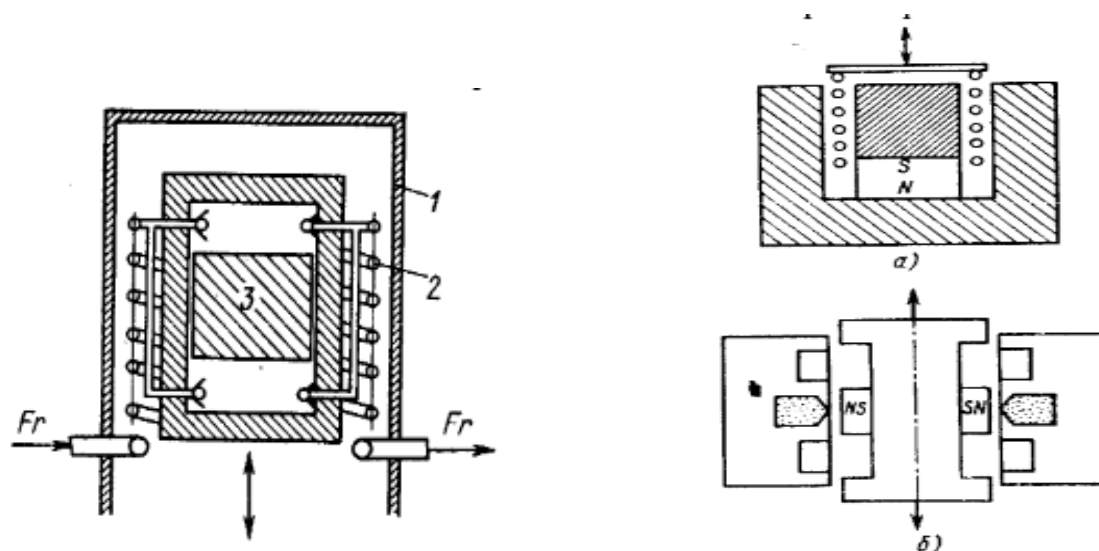


Рисунок 21-. Схемы линейных генераторов

Рисунок 22- Инерционный насос:

1 — герметичная стенка: 2 — гибкий полый пружинный питатель: 3 — масса

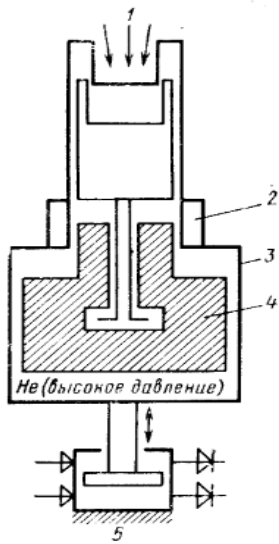


Рисунок 23- Свободноцилиндровый двигатель;

1 - поток солнечных лучей; 2 — водяная рубашка; 3 — лег

кий цилиндр; 4 - тяжелый поршень; 5 - водяной насос

Для подвода и отвода прокачиваемой жидкости в этом случае используется гибкая полая пружина, проходящая через окружающее ее под высоким давлением рабочее тело двигателя Стирлинга. Процессы сжатия происходят в полостях, разделенных относительно стационарной инертной массой, находящейся внутри поршня двигателя. Герметичность уплотнения в таких устройствах обеспечивается тем, что мощность двигателя непосредственно передается потоку прокачиваемой жидкости. Данная схема может быть использована в термокомпрессорах, насосах и воздушных компрессорах. Гибкая полая пружина из коррозионно-стойкой стали соответствующей жесткости обеспечивает заданную частоту резонансного двигателя и может быть рассчитана на продолжительный ресурс.

Третьим важным методом отбора мощности от «чисто» возвратно-поступательного двигателя является съем мощности не от поршня, а от свободного цилиндра. В этом случае поршень имеет большую массу, малый ход по сравнению с ходом вытеснителя или цилиндра. Свободный цилиндр может быть непосредственно соединен с воздуходувкой или электрическим генератором переменного тока.

Свободно цилиндрический двигатель, вероятно, простейший двигатель с герметичным уплотнением; поэтому его выгодно использовать с такими не дорогостоящими и рассчитанными на длительный ресурс как, водяные циркуляционные насосы для систем обогрева зданий, ирригационные насосы, работающие от энергии солнца, или воздуходувки для систем подогрева воздуха. Свободно-цилиндрические двигатели, кажущиеся более необычными и менее известными, чем свободнопоршневые, имеют в целом неплохие характеристики. Так, у одного простого по конструкции двигателя, описанного Билом и другими в 1973 г., эффективный КПД был равен 10 %. Свободно цилиндрические двигатели обладают интересной особенностью: они не останавливаются при перегрузках; так, в случае прекращения движения цилиндра работа цикла передается поршню и нагрузке. Это обстоятельство позволяет свободно цилиндрическим двигателем заменить пневматические двигатели отбойных молотков, создающих значительный шум при производстве строительных и ремонтных работ. Другим потребителем без внешнего механического привода мощности свободнопоршневого двигателя может быть аналогичная по своей конструкции холодильная машина, работающая по обратному циклу Стирлинга (рис. 9.21). В этой схеме мощность теплового

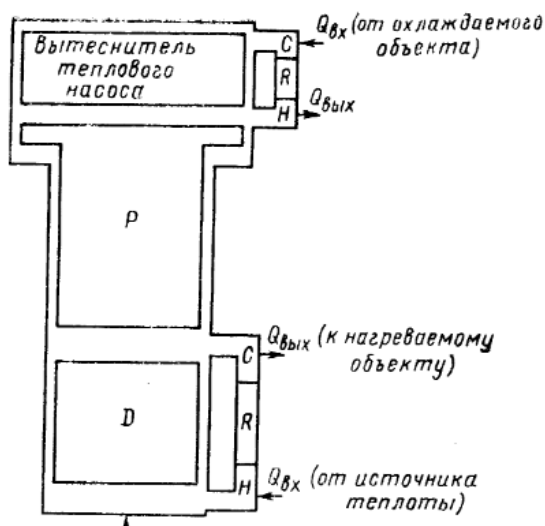


Рисунок 24- Тепловой насос с тепловым приводом, работающий по циклу Стирлинга—

Стирлинга двигателя непосредственно передается в цикл, в котором используется то же самое рабочее тело при том же среднем давлении. Так как все термодинамические процессы происходят в системе с общим замкнутым объемом без передачи механической мощности внешнему потребителю, то проблемы утечек и смазки в этом случае сводятся

лишь к уплотнению поршня и газовой смазке опор скольжения. Такая холодильная машина с циклом Стирлинга—Стирлинга чрезвычайно перспективна и находится в стадии разработки. Насколько известно, имеется лишь одна небольшая модель, состоящая из двух одинаковых демонстрационных двигателей типа 10-B фирмы «Санпауэр». Несмотря на плохое согласование режимов работы двигателя и холодильной машины и использование в них только кольцевых рабочих полостей, смежных с вытеснителями и регенераторами, эта модель способна обеспечить получение холода на уровне 0 °С.

Соединения свободнопоршневых двигателей с потребителями могут осуществляться и через внешний механический привод с возвратно-поступательным движением. Однако в этом случае вновь приходится сталкиваться с трудной проблемой, характерной для большинства традиционных машин с кривошипным механизмом, — утечки рабочего тела через уплотнения. Одним из таких возможных вариантов является двигатель с гидростатическим приводом. В двигателе используется уплотнение, которое отделяет газообразное рабочее тело и масло, а компрессор и насос перекачивают их обратно в соответствующие полости. Очевидно, что в свободнопоршневых двигателях возможно также применение и диафрагменных уплотнений, которые используют в двигателях для искусственного сердца фирмы «Мак-Доннел—Дуглас», в двигателях Стирлинга исследовательского центра в г. Харуэлл (Великобритания) [861 и в двигателях, о которых сообщается в работе. В проектной группе фирмы «Санпауэр» полагают, что плотно подогнанные скользящие уплотнения с газовой смазкой более универсальны.

Области применения свободнопоршневых двигателей привода насосов для циркуляции крови Аппараты «искусственное сердце». Потребная мощность свободнопоршневых двигателей для привода насосов для циркуляции крови в аппаратах «искусственное сердце» составляет приблизительно от 3 до 5 Вт. Эта мощность может быть гидравлической, пневматической или

электрической; причем свободнопоршневой двигатель может обеспечить любую из этих форм мощности. Вариант подвода мощности с потоком жидкости интенсивно разрабатывается фирмой «Мак-Доннел—Дуглас». Группа по разработке аппарата «искусственное сердце» фирмы «Аэроджет—Дженерал» считает целесообразным использовать метод подвода мощности с потоком газа. Однако энергоагрегат, состоящий из свободнопоршневого двигателя и электрического генератора, вероятно, наиболее прост и долговечен; по-видимому, он может иметь и высокий КПД. Его характеристики находятся на уровне других возможных вариантов альтернативных решений. Однако такая система еще не испытывалась по своему прямому назначению.

Тепловые насосы. Тепловой насос, работающий по циклу Ренкина—Стирлинга, весьма интенсивно разрабатываемый несколькими крупными промышленными фирмами, вероятно, найдет важное коммерческое применение в ближайшем будущем. Высокий общий КПД, длительный ресурс работы, низкий уровень шума с малым отрицательным влиянием на окружающую среду делают его достойным конкурентом существующим электродвигателям и широко распространенным тепловым насосам с электроприводом.

3.6. Свободнопоршневые двигатели и вопросы энергетики.

Электродвигатель с тепловым приводом, вероятно, является наилучшей областью применения свободнопоршневых двигателей, так как именно здесь в наиболее полной форме могут проявиться все преимущества их герметичного исполнения: внешние условия не смогут повлиять на рабочий объем, а уплотнение для вывода из системы электрической мощности может быть выполнено достаточно надежным. Небольшие лабораторные модели таких двигателей появились у потребителей еще в 1974 г., продемонстрировав выдержавшую испытанием времени свою работоспособность. Двигатели мощностью до 1 кВт также уже появляются на рынке, а агрегаты с мощностью, потребной для автотранспортных средств, очевидно, появятся в ближайшем будущем. Эти крупномасштабные блоки имеют ряд значительных преимуществ, в особенности при использовании в коммунальном хозяйстве (длительный период работы и малый уровень Шума). Дома, отапливаемые природным газом, смогут получать большую часть потребной им электроэнергии и теплоты от того же количества топлива, которое в настоящее время затрачивается лишь на их теплоснабжение. Действительно, электрический генератор, соединенный с тепловым насосом, работающим по циклу Стирлинга, сможет обеспечить обогрев, охлаждение и электроснабжение при том же или меньшем количестве газа или жидкого топлива, которое в настоящее время идет только на теплоснабжение. Преимущества такого пути экономии энергии настолько значительны, что он будет, по-видимому, широко использоваться в ближайшем будущем, тем более, что стоимость топлива возрастает, а пригодная еще для использования

тепловая энергия в виде отработавших продуктов сгорания топлива различных современных систем имеется всюду.

3.7. Солнечные преобразователи энергии.

Свободнопоршневой двигатель, соединенный с генератором, является одним из возможных механических преобразователей для крупномасштабной электроэнергетической системы, состоящей из большого числа относительно малых блоков мощностью 20 кВт, установленных в фокусе параболического солнечного концентратора. Предварительные исследования показывают, что возможное максимальное значение КПД такой системы равно примерно 30 % (при применении уже проверенных элементов конструкции). Для систем преобразования солнечной энергии в электрическую высокий КПД является важным показателем, так как основную часть их стоимости определяют концентраторы, по сравнению с которыми стоимость двигателя и генератора составляет лишь незначительную долю. Массовое производство и применение таких двигателей могут дать существенную экономию электроэнергии.

Производство энергии в развивающихся странах. В странах, где нефтепродукты достаточно дороги, а национальный доход низок, свободнопоршневые двигатели Стирлинга, работающие на отходах сельскохозяйственного производства или на солнечной энергии, могут быть полезными в получении энергии для ирригации, переработки пищевой продукции, рефрижераторного хранения пищевых продуктов и т. п.

3.8. Некоторые характеристики двигателей

С 1978 г. развитие свободнопоршневых двигателей шло очень быстрыми темпами, и новые конструкции, созданные с применением оптимизационной программы фирмы «Санпауэр», находились в завершающей стадии. В зависимости от конструкций и областей применения ожидаемые значения эффективного КПД этих двигателей составляют 30—40 % при температуре нагревателя 650—730 °С. Например, двигатель МТИ-DOE, тщательно спроектированный для очень ограниченной области применения, может быть использован в качестве космической энергоустановки. Его испытание на фирме в МТИ намечалось осуществить летом 1978 г.

Двигатель SPIKE-0 фирмы «Санпауэр» является первым в серии коммерческих двигателей фирмы, разработанных для обеспечения надежного энергоснабжения при мощности менее 1 кВт в течение длительного срока службы с использованием в качестве топлива пропана, керосина, твердого топлива или энергии Солнца.

Весьма простая по конструкции демонстрационная модель двигателя 1 О-В с кольцевым регенератором в цилиндре может быть использована в качестве учебного пособия. Мощность и КПД двигателя низкие, но вполне достаточные для демонстрации принципа его действия. Модель приспособлена для работы с солнечным концентратором, состоящим из линз

Френеля. В качестве нагрузки двигателя используется электрический генератор переменного тока и различные типы инерционных насосов. Свободно цилиндровый водяной насос университета шт. Огайо относится к ранним моделям двигателей и сконструирован без особого внимания к уменьшению различного вида потерь. Для своего периода характеристики двигателя можно считать вполне удовлетворительными.

4. Дальнейшие области исследований двигателей Стирлинга

Краткое описание свободнопоршневых двигателей Стирлинга показывает, что многие вопросы еще не решены. Важные области исследований, представляющие в настоящее время интерес для разработчиков свободнопоршневых двигателей, включают следующие вопросы. Определение возможных схем и их классификация в соответствии с требованиями для различных областей применения. Разработка упрощенного термодинамического и динамического анализа для его практического использования. Изучение пуска двигателя, его динамики, характеристик номинального и переходных режимов работы. Подбор конструкционных материалов с длительным ресурсом работы без смазочного материала. Изучение устройств для эффективного контроля положения рабочих элементов. Изучение методов регулирования мощности. Изучение потенциальных потребителей мощности свободнопоршневых двигателей. Изучение схем линейного генератора переменного тока. Рассмотрение различных систем, работающих по циклу Стирлинга-Стирлинга. Комбинированные свободнопоршневые двигатели со свободным вытеснителем и кривошипно-шатунным приводом рабочего поршня. Исследование свободнопоршневых двигателей с рабочим телом, отличающимся от идеального газа. Изучение областей применения свободнопоршневых двигателей.

4.1. Идеальный цикл Стирлинга

Уравнения, используемые при анализе идеального цикла Стирлинга, приведены ниже. Следует еще раз напомнить о высокой степени идеализации такого цикла, обусловленной принятыми допущениями, а также о том, что применение этих уравнений ограничивается элементарными предварительными расчетами.

В идеальном цикле Стирлинга приняты следующие допущения: рабочее тело — идеальный газ; процессы сжатия и расширения изотермические; масса рабочего тела в любое время находится при соответствующих неизменных условиях или в полости сжатия, или в полости расширения; внутренний (мертвый) объем регенератора равен нулю; движение поршней прерывистое;

процесс регенерации идеальный; гидравлические, механические и тепловые потери отсутствуют.

Введем некоторые положения и обозначения (см. рис. 1.1): 1) точка / соответствует начальному состоянию рабочего тела с параметрами p_1, V_1, T_1 , 2) отношение температур $\tau = T_{min}/T_{max}$, 3) отношение объемов $\varepsilon = V_{max}/V_{min}$.

Для единицы массы рабочего тела из характеристического уравнения состояния идеального газа следует, что $V_1 = RT_1/p_1$.

Изменения параметров в цикле

Изотермический процесс сжатия (1—2). Теплота отводится от рабочего тела при минимальной температуре цикла. Работа сжатия эквивалентна отводимой теплоте; внутренняя энергия рабочего тела не изменяется, а энтропия уменьшается:

$$p_2 \sim p_1 V_1 V_2 \sim p_1 r, \quad T_2 = T_1 = T_{min}.$$

Отводимая теплота Q равна затраченной работе W , т. е. $Q = p_1 V_1 \ln(1/r) = RT_1 \ln(1/r)$.

Изменение энтропии $(S_2 - S_1) = -R \ln(1/r)$.

Регенеративный процесс теплоотдачи при постоянном объеме (2-3). Теплота передается от насадки регенератора к рабочему телу; температура рабочего тела увеличивается от T_{min} до T_{max} . Работа в процессе не производится; внутренняя энергия и энтропия рабочего тела возрастают.

Количество переданной теплоты $Q = C_0 (T_3 - T_2)$.

Затраченная работа $W = 0$,

Изменение энтропии $S_3 - S_2 = C_0 \ln(1/\tau)$.

Изотермический процесс расширения (3—4). Теплота подводится к рабочему телу при температуре T_{max} . Работа расширения эквивалентна подводимой теплоте. Внутренняя энергия рабочего тела не изменяется, а энтропия увеличивается:

$$p_4 = p_3 V_3 / V_4 = p_3 (1/r); \quad T_4 = T_3 = T_{max}.$$

Подводимая теплота Q равна произведенной работе W , т. е.

$$p_3 V_3 \ln r = RT_3 \ln r.$$

Изменение энтропии $S_4 - S_3 = R \ln r$.

Регенеративный процесс теплоотдачи при постоянном объеме

Теплота передается от рабочего тела к насадке регенератора; температура рабочего тела уменьшается от T_{max} до T_{min} . Работа в процессе не производится; внутренняя энергия и энтропия уменьшаются;

$$p_1 = p_4 T_4 / T = p_1 r; \quad V_1 = V_4$$

Количество переданной теплоты $Q = C_0 (T_1 - T_4)$.

Изменение энтропии $S_1 - S_4 = C_0 \ln \tau$.

В регенеративных процессах теплота, переданная от насадки регенератора рабочему телу в процессе, соответствующем кривой (2—3), вновь воспринимается ею от рабочего тела в процессе (4—1). Внешнего притока теплоты, а также ее потерь нет. Следовательно, подведенная теплота (при T_{max})

$Q_E = RT_3 \ln r$; отведенная теплота (при T_{\min})

$Q_c = RT_1 \ln (1/r)$.

Термический КПД цикла

$$\eta_t = (Q_E - Q_c)/Q_E = (RT_3 \ln r - RT_1 \ln r)/RT_3 \ln r = 1 - T_1/T_3.$$

Это выражение аналогично зависимости для КПД цикла Карно при тех же значениях температур.

Цикл Шмидта В теории Шмидта предусмотрен гармонический закон движения поршней, в качестве основных допущений приняты изотермичность процессов сжатия и расширения и идеальность регенерации. Таким образом, несмотря на то, что эта теория также идеализирована, она несомненно более реалистична, чем идеальный цикл Стирлинга. При разумном подходе к интерпретации полученных результатов теория Шмидта может быть полезна при расчете двигателей.

Основные допущения, принятые в теории Шмидта-: 1) регенеративные процессы идеальные; 2) мгновенные значения давления в системе одинаковы; 3) для рабочего тела справедливо уравнение состояния для идеального газа, когда $pV = RT$; 4) утечки рабочего тела отсутствуют; масса рабочего тела остается постоянной; 5) объемы газа в рабочих полостях изменяются синусоидально; 6) температурный градиент в теплообменниках отсутствует; 7) температуры стенок цилиндра и поршня постоянны; 8) в полостях цилиндра происходит идеальное перемешивание рабочего тела; 9) температура рабочего тела во вспомогательных полостях системы постоянна; 10) частота вращения постоянна; 11) условия состояния—установившиеся.

4.2. Обозначения, используемые в последующем анализе

$$A = (\tau^2 + 2\tau R \cos a + r)^{1/2};$$

$$B = (\tau + R + 2S);$$

K — постоянная; M_T — общая масса рабочего тела; n — частота вращения вала машины; p , p_{\max} , p_{cp} , p_{\min} — давление цикла соответственно мгновенное, максимальное, среднее, минимальное;

P — полезная мощность двигателя (работа за цикл);

$P_m = P/(MTRT_c)$ — безразмерный параметр мощности, отнесенный к единице массы рабочего тела;

$P_{\max} = P/(P_{\max}VT)$ — безразмерный параметр мощности, отнесенный к максимальному давлению цикла и к общему вытесняемому объему;

Q — теплота, сообщаемая рабочему телу в полости расширения; подводимая теплота;

$Q_M = Q/MTRT_c$ — безразмерный параметр холодопроизводительности, отнесенный к единице массы рабочего тела;

$Q_{\max} = Q/(P_{\max}VT)$ — безразмерный параметр подводимой теплоты, отнесенный к максимальному давлению цикла и общему вытесняемому объему;

R — газовая постоянная рабочего тела;

$S = (2X_T)/(T+1)$ — приведенный мертвый объем;

T_c, T_D, T_E — температуры рабочего тела соответственно в полости сжатия, в мертвом объеме и в полости расширения (обычно $T_c = 300$ К);

V_c и V_E — вытесняемые объемы полостей соответственно сжатия и расширения;

VD — общий внутренний объем теплообменников, регенератора, соединительных каналов и отверстий (мертвый объем);

$VT = (V_c + V_E) = (1 + R) V_E$ — суммарный вытесняемый объем;

$V_w = 0,5 V_E (1 + \cos \phi) + 0,5 V_c [1 + \cos (\phi - a)] + VD$ — общий объем рабочей полости;

VW_{\max} — максимальный объем общей рабочей полости;

$p = VD/V_E$ — относительный мертвый объем;

a — угол, на величину которого изменение объема полости расширения опережает изменение объема полости сжатия (в радианах или градусах);

$$\delta = (T^2 + k^2 + 2Xk \cos a)^{1/2} / (T + k + 2S);$$

$$\theta = \arctg (k \sin a) / (T + k \cos a);$$

$R = V_c/V_E$ — отношение вытесняемых объемов; $\tau = T_c/T_E$ — отношение температур; ϕ — угол поворота коленчатого вала.

Основные уравнения

Объем полости расширения

$$V_e = 0,5 V_E (1 + \cos \phi). \quad (2.1)$$

Объем полости сжатия

$$V_c = 0,5 V_c (1 + \cos (\phi - a)); \quad (2.2)$$

$$V_c = 0,5 k V_E (1 + \cos (\phi - a)). \quad (2.3)$$

Мертвый объем, т. е. общий постоянный объем рабочей полости без объемов полостей сжатия и расширения,

$$VD = XVE,; \quad (2.4)$$

Масса рабочего тела в полости расширения $M_e = (p_e V_e) / (RT_e)$. Масса рабочего тела в полости сжатия $M_c = (p_c V_c) / (RT_e)$. Масса рабочего тела в мертвом объеме $M_d = (p_d V_d) / (RT_d)$

Так как общая масса рабочего тела остается в цикле постоянной, то

$$M_T = (p_e V_e / RT_e) + (p_c V_c / RT_c) + (p_d V_d / RT_d) = (k V_E / 2 RT_c). \quad (2.5)$$

Если мгновенные значения давления в системе одинаковы и равны p и если T_e и T_c постоянны и равны соответственно T_E и T_c , то, подставляя соответствующие выражения для объемов и исключая R , получаем $k/p = (T_c/T_E) (1 + \cos \phi) + k [1 + \cos (\phi - a)] + (2V_D T_c / V_E T_D)$. (2.6)

Если изменение температуры рабочего тела в мертвом объеме происходит в осевом направлении по линейному закону, то его средняя температура

$$T_D = T_c + 0,5 (T_E - T_c) = (1 + T_E/T_c) 0,5 T_c / 2.$$

Так как $T_c/T_E = \tau$, то из уравнения (2.6) следует

$$K/p = \tau (1 + \cos \phi) + k [1 + \cos (\phi - a)] + 2S, \quad (2.7)$$

где приведенный мертвый объем $S = 2X_T / (T + 1)$.

Упростим уравнение (2.7), полагая, что

$$V = x \cos \phi + z \sin \phi. \quad (2.8)$$

Уравнение (2.8) приводим к виду, соответствующему уравнению (2.7).

Поэтому

$$K/p = [(\tau + k \cos a)^2 + (k \sin a)^2]^{1/2} \cos(\phi - 0) + \tau + k + 2S \\ = (\tau^2 + 2\tau k \cos a + k^2)^{1/2} \cos(\phi - 0) - \tau + k + 2S + \tau \quad (2.9)$$

Где $\theta = k \sin a / (\tau + k \cos a)$.

$$\text{Пусть } A = (\tau^2 + 2\tau k \cos a + k^2)^{1/2} \quad B = \tau + k + 2S \text{ и}$$

$$\delta = A/B. \text{ Тогда}$$

$$K/p = A \cos(\phi - 0) + B \\ \text{и } p = K/B [1 + \delta \cos(\phi - 0)].$$

Мгновенные значения давления p : минимальное при

$\phi = 0$, т. е. при $\phi - \theta = 0$,

$$p_{\min} = K/[B(1 + \delta)];$$

максимальное при $\phi = 0 + \pi$ т. е. $\phi - \theta = \pi$

$$p_{\max} = K/[B(1 - \delta)].$$

Таким образом,

$$p = p_{\max} (1 - \delta) / [1 + \delta \cos(\phi - 0)]$$

или

$$p = p_{\min} (1 + \delta) / [1 + \delta \cos(\phi - 0)]. \quad (2.10)$$

Отношение давления

$$p_{\max} / p_{\min} = (1 + \delta) / (1 - \delta). \quad (2.11)$$

Среднее давление цикла. Среднее давление цикла

$$p_{\text{ср}} = (1/2\pi) \int_0^{2\pi} p d(\phi - \theta) = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \int_0^{2\pi} (p_{\max}(1 - \delta)) / (1 + \delta \cos(\phi - \theta))$$

После преобразований

$$p_{\text{ср}} = p_{\max} [(1 - \delta) / (1 + \delta)]^{1/2} \quad (2.13)$$

Передаваемая теплота и производимая работа. Так как процессы сжатия и расширения изотермические, то передаваемая теплота Q равна производимой работе P .

Следовательно,

$$Q =$$

$$0.5$$

$$\int_0^{2\pi} \{p_{\text{ср}} V e [1 - \lambda \cos(\phi - \theta)] \sin \phi\} d\phi =$$

$$-0.5 p_{\text{ср}} V e \int_0^{2\pi} [\sin \phi - \lambda (\cos \phi \cos \theta \sin \phi + \sin \theta \sin^2 \phi)] d\phi =$$

$$-0.5 p_{\text{ср}} V e \{-\cos \phi - \lambda [-\cos \theta 0.5 \cos 2\phi + \sin \theta (0.5\phi - 0.25 \sin^2 \phi)]\}_0^{2\pi} =$$

$$-0.5 p_{\text{ср}} V e [-\lambda \sin \theta \left(\frac{\phi}{2}\right)_0^{2\pi}] = 0.5 n p_{\text{ср}} V e \lambda \sin \theta$$

Полость расширения. Изменение объема в полости расширения определяется следующим уравнением:

$$V_c = 0,5kVE [1 + \cos \phi - a],$$

которое соответствует уравнению (2.14); поэтому подводимая теплота в полость расширения определяется из выражения (2.16)

$$Q_c = [P_{cp} V_{ek} \delta \sin(\theta - a)] / [1 - (1 - \delta^2)^{1/2}] \quad (2.17)$$

В уравнении (2.17) нет необходимости использовать приближенную зависимость (2.15) для мгновенного давления p . Вместо нее можно использовать уравнения (2.10) и (2.14).

Тогда имеем

$$Q = \int p dV = \int \frac{-P_{min}(1+\sigma)}{1+\sigma \cos(\phi-\theta)} \frac{1}{2} V \sin \phi d\phi = \frac{-V_e P_{min}(1+\sigma)}{2} J$$

где

$$J = \int \frac{\sin \phi d\phi}{1 + \sigma \cos(\phi - \theta)}$$

После подстановки имеем

$$\phi - \theta = \Psi = t, \quad \operatorname{tg} 0,5\Psi = t, \quad d\phi = \frac{d\Psi - 2dt}{1+t^2}$$

$$\sigma J = \int \left\{ \frac{\sigma \sin \Psi \cos \theta}{1 + \sigma \cos \Psi} + \frac{\sigma \cos \Psi \sin \theta + \sin \theta}{1 + \sigma \cos \Psi} - \frac{\sin \theta}{1 + \sigma \cos \Psi} \right\} d\Psi$$

или

$$\sigma J = [-\cos \theta \log(1 + \sigma \cos \Psi)]_{\Psi=0}^{2n} - \sin \theta \int \left\{ \frac{2dt}{1+t^2 + \sigma(1-t^2)} \right\} = 2\pi \sin \theta$$

$$2\sin \theta \int \frac{dt}{(1+\sigma) + (1-\sigma)t^2} = 2n\sin \theta - \frac{2\sin \theta}{(1-\sigma^2)} \left(\frac{1-\sigma}{1+\sigma} \right)^{\frac{1}{2}} \int \frac{\left[\frac{(1+\sigma)^{\frac{1}{2}}}{(1-\sigma)^{\frac{1}{2}}} \right]}{\frac{1+\sigma}{1-\sigma} + t^2} dt =$$

$$= 2\pi \sin \theta - \frac{2\sin \theta}{(1-\sigma^2)^{1/2}} \left\{ \operatorname{arctg} \left[\frac{(1-\sigma)^{1/2}}{(1+\sigma)^{1/2}} \right] \right\}_{\Psi=0}^{2n}$$

При вычислении определенного интеграла заметим, что $t = 0$ При обоих пределах; $\operatorname{Arctg} 0 = 0$, л и т. д. Из уравнения (2.18) следует, что при $b = 0$ криволинейный интеграл из-за третьего члена должен принимать значение — $2\pi \sin \theta$. Поэтому

$$\delta J = 2\pi \sin \theta - 2\pi \sin \theta / (1 - \sigma^2)^{1/2} = 2\pi \sin \theta [1 - 1/(1 - \sigma^2)^{1/2}]$$

$$Q = \frac{-V_e P_{min}(1+\sigma)}{2} \frac{2\pi \sin \theta}{\sigma} [1 - 1/(1 - \sigma^2)^{1/2}]$$

После преобразований

$$Q = -V_e P_{cp} \pi \sin \theta [(1 - \delta^2)^{1/2}]$$

Умножив и разделив данное уравнение на $1(1 - \delta^2)^{1/2} - f 1J$, по* лучим выражение (2.17).

Полость сжатия. Изменение объема в полости сжатия определяется уравнением

$$V_c = 0,5kV_E [1 + \cos(\phi - a)].$$

После преобразований можно получить выражения для определения давления и объема. Следовательно, отводимая теплота из полости сжатия

$$Q_c = [P_{cp} V_{ek} \delta \sin(\theta - a)] / [1 - (1 - \delta^2)^{1/2}]. \quad (2.19)$$

Поделив (2.19) на (2.17), получим

$$Q_c/Q = [k \sin(\theta - a)]/\sin \theta = \\ = k (\sin \theta \cos a - \cos \theta \sin a)/\sin \theta = k (\cos a - \sin a/\operatorname{tg} \theta).$$

Так как $\operatorname{tg} \theta = k \sin a / (\tau + k \cos a)$, то $Q_c/Q = -\tau$.

Теплота, подводимая к полости расширения, имеет противоположный знак по отношению к отводимой теплоте из полости сжатия, а отношение этих теплот равно τ . Аналогично соответствующие выражения для работы в этих полостях имеют то же отношение, т. е. $P_c = -\tau P_E$. Следовательно, производимая за цикл работа $P = P_E + P_c = (1 - \tau) Q$.

Для двигателя $T_E > T_c$, т. е. $\tau < 1$, и термический КПД равен следующему:

$$\eta_t = \frac{\text{подводимая теплота} - \text{отводимая теплота}}{\text{подводимая теплота}} = \frac{Q - \tau Q}{Q} = 1 - \tau = (T_E - T_c)/T_E$$

Полученный КПД равен КПД цикла Карно.

Для холодильной машины $T_c > T_E$, т. е. $\tau > 1$, а холодильный коэффициент $\dot{\eta} = \text{Отводимая теплота} / \text{Затраченная работа} = Q_c / (Q - Q_c) = \tau / (1 - \tau) = T_E / (T_E - T_c)$.

Для теплового насоса $T_c > T_E$, т. е. $\tau > 1$; коэффициент эффективности теплового насоса

$$\dot{\eta} = \text{отводимая теплота} / \text{затраченная работа} = Q_c / (Q - Q_c) = \tau / (1 - \tau) = T_c / (T_c - T_E)$$

Этот коэффициент обратен термическому КПД двигателя.

Распределение массы рабочего тела в машине. Из уравнения состояния идеального газа следует, что

$$M = pV/RT.$$

где

$$p = P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2} / [1 + \delta \cos(\phi - \theta)].$$

А. *Полость расширения* $V_e = 0,5V_E (1 + \cos \phi)$.

Мгновенная масса рабочего тела в полости расширения

$$M_e = \frac{0,5V_e P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2} (1 + \cos \phi)}{RT_e [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]}$$

Скорость изменения массы рабочего тела

$$\frac{dM}{d\phi} = \frac{V_e P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2} \{ \sigma [\sin(\phi - \theta) - \sin \theta] - \sin \phi \}}{2RT_e [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]^2}$$

Мгновенная масса рабочего тела в полости сжатия

$$M_c = \frac{0,5 \{ kV_e P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2} [1 + \cos(\phi - a)] \}}{RT_c [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]}$$

Скорость изменения массы рабочего тела

$$\frac{dM_c}{d\phi} = \frac{kV_e P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2} \{ \sigma [\sin(\phi - \theta) + \sin(a - \theta) - \sin(\phi - a)] \}}{2RT_c [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]^2}$$

В. *Мертвый объем* $V_D - XV_E = \text{const}$.

Мгновенная масса рабочего тела в мертвом объеме

$$M_d = [XV_e P_{cp} (1 - \sigma^2)^{1/2}] / RT [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]$$

Скорость изменения мгновенной массы рабочего тела в мертвом объеме

$$\frac{dM}{d\phi} = \left[XVePcp(1 - \sigma^2)^{\frac{1}{2}} \sigma \sin(\phi - \theta) \right] / RT [1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]^2$$

Так как $dM_e + dM_c + dM_d = 0$, то общая масса рабочего тела $M_T = \text{const}$. Тогда

$$M_t = \frac{VePcp(1 - \sigma^2)^{1/2} \{ \tau(1 + \cos\phi) + k[1 + \cos(\phi - a)] + 2S \}}{2RTc[1 + \sigma \cos(\phi - \theta)]}$$

при $\phi = 0$

$$M_t = \frac{VePcp(1 - \sigma^2)^{1/2} \{ \tau + S + (\frac{k}{2})(1 + \cos a) \}}{RTc(1 + \sigma \cos\theta)}$$

Отводимая теплота и выходная мощность в безразмерной форме. А.

Отводимая теплота на единицу массы рабочего тела определяется из уравнений (2.17) и (2.23), т. е.

$$Q_M = \frac{Q}{M_t RTc} = \frac{n\sigma \sin\theta (1 + \cos\theta)}{(1 - \sigma^2)^{\frac{1}{2}} [1 + (1 - \sigma^2)^{\frac{1}{2}}] [(\frac{k}{2})(1 + \cos a) + S]} \quad (2.24)$$

Аналогично выходная мощность на единицу массы рабочего тела $P_M = P / M_t RTc = (1 - \tau) Q_M$. (2.25)

В. Безразмерные выражения Q_{\max} и P_{\max} , являющиеся фу НК* днями давления и объемов, могут быть получены следующим образом. Суммарный вытесненный объем

$$V_r = V_E + V_c = (1 + k)V_E.$$

Используя уравнения (2.13) и (2.17), получаем

$$Q_{\max} = \frac{Q}{P_{\max} V_t} = \frac{n(1 - \sigma)^{1/2} \sigma \sin\theta}{(1 + k)(1 + \sigma)^{1/2} [1 + (1 - \sigma^2)^{1/2}]} \quad (2-27)$$

$$P_{\max} = (\tau - 1) Q_{\max}.$$

5. Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий применения Двигатель Стирлинга, работающего на твердом топливе в жилом доме.

В данной работе была разработана автономная система теплоснабжения индивидуального здания, Двигатель Стирлинга работающая по *замкнутому* термодинамическому циклу. Дом находится в микрорайоне Алгабас. Каждый дом в данном коттеджном городке отдельно огорожен. Все дома имеют возможность подключения к линии газопровода. Данный район электрифицирован, и имеются линии водопровода. В данном микрорайоне 1500 домов. Дан трех этажный дом, который выполнен из бетона : высота здания $H - 9,2$ метров, высота этажа $H_э - 2,75$ метров, высота комнаты $H_к - 2,75$ метров с белым потолком, побеленными стенами и с окнами. Котельное помещение данного жилого дома находится внутри этого дома. Котельная работает на угле. В котельной установлен один котел мощностью 25 кВт, который обеспечивает данный дом теплом и горячим водоснабжением.

В двигателе Стирлинга происходит преобразование тепловой энергии в механическую посредством сжатия постоянного количества рабочего тела при низкой температуре и последующего (после периода нагрева) его расширения при высокой температуре. Поскольку работа, затрачиваемая поршнем на сжатие рабочего тела, меньше работы, которую поршень совершает при расширении рабочего тела, двигатель вырабатывает полезную механическую энергию. Мощность двигателя 10 кВт, температура 500-600 ° С, давление в двигателе должно составлять 10-20 МПа, КПД двигателя может достигать 25-30%.

Для данного проекта мы рассчитали искусственное освещение подвальный помещения жилого дома в котором стоит наш двигатель, и сделали расчет зануления для данного двигателя Стирлинга. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение подвального помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность Двигателя Стирлинга находятся в подвальном помещения жилого дома, естественное освещения отсутствует. В связи с этим требуется разработать искусственного освещения. Категория выполняемых зрительных работ относятся к Па согласно СНиП РК 2002г. Нормируемая минимальная освещенность $E=300$ лк, коэффициент запаса $K=1,8$. Основной задачей расчета освещения является обеспечение комфортной световой среды для труда. Система искусственного освещения на промышленном предприятии оказывают большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное состояние людей, а, следовательно, на производительность труда, качество продукции и

производственный травматизм.

Применение данной защиты требуется чаще всего в помещениях с большим количеством электроприемников, так как заземление на месте каждого из них бывает невозможным в силу объективных причин. Для этого, например в цехе, прокладываются магистральные защитные проводники из полосовой стали, сечение которой указано ранее. В наружных установках заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать в земле, в полу или по краю площадок, фундаментов технологических установок и т.п. Затем зануляемые части приемников подключаются к магистрали. Ответвления от магистралей к электроприемникам до 1 кВ допускается прокладывать скрыто непосредственно в стене, под чистым полом и т.п. с защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений. Способ прокладки их зависит от помещения в котором они выполняются. В помещениях сухих, без агрессивной среды, заземляющие и нулевые защитные проводники допускается прокладывать непосредственно по стенам. Во влажных, сырых и особо сырых помещениях и в помещениях с агрессивной средой заземляющие и нулевые защитные проводники следует прокладывать на расстоянии от стен не менее чем 10 мм. Сама магистраль выводится к месту устройства заземления.

Также можно привести и дополнительные требования к устройству цепи заземляющих и нулевых защитных проводников:

- в их не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей.
- нулевые защитные проводники линий не допускается использовать для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям.
- допускается использовать нулевые рабочие проводники осветительных линий для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям, если все указанные линии питаются от одного трансформатора, и исключена возможность отсоединения нулевых рабочих проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться выключатели, отключающие нулевые рабочие проводники вместе с фазными.
- заземляющие и нулевые защитные проводники должны быть защищены от химических воздействий.
- использование специально проложенных заземляющих или нулевых защитных проводников для иных целей не допускается.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью. Зануление осуществляет защиту путем автоматического отключения поврежденного участка электроустановки от сети и снижение напряжения на корпусах зануленного электрооборудования до безопасного на время срабатывания защиты. Из всего выше сказанного делаем вывод, что основное назначение зануления - обеспечить срабатывание максимальной токовой защиты при замыкании на корпус. Для этого ток

короткого замыкания должен значительно превышать установку защиты или номинальный ток плавких вставок. Сила тока зависит от величины приложенного напряжения и сопротивления участка тела. Сопротивление участка тела складывается из сопротивления тканей внутренних органов и сопротивления кожи. При расчете принимается $R=1000 \text{ Ом}$.

5.2 Расчет искусственного освещения

Искусственное освещение применяется при недостаточном естественном освещении или при отсутствии его (в темное время суток). По назначению искусственное освещение разделяется на: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное. Расчет искусственного освещения будем выполнять методом коэффициента использования светового потока, который предназначен для расчета равномерного освещения горизонтальных поверхностей. Для освещения здания по радиомонтажным работам выберем потолочные светильники типа УСП 35 с двумя люминисцентными лампами типа ЛБ - 40.

Расчетное уравнение метода имеет вид:

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{n \cdot \Phi_{\text{св}} \cdot \eta \cdot \gamma}, \quad (5.2.1)$$

где E - нормируемая минимальная освещенность. Для работ составляет 300 лк.

K_3 - коэффициент запаса, учитывающий запыленность светильников и износ источников света в процессе эксплуатации; для работ составляет 1,8 (из справочника).

S - освещаемая площадь, м^2 ; площадь освещаемого помещения составляет

$$S = A \cdot B \quad (5.2.2)$$

$$S = 6 \cdot 5 = 30 \text{ м}^2.$$

z - коэффициент неравномерности освещения. Принимается $z = 1,1 - 1,2$.

n - число рядов светильников, определяемое из условия наиболее выгодного соотношения

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad (5.2.3)$$

L - расстояние между рядами светильников. Обычно принимают $\lambda = 1,3 - 1,4$.

$\Phi_{\text{св}}$ - световой поток заданной лампы.

η - коэффициент использования излучаемыми светильниками светового потока на расчетной плоскости; принимается равным $\eta = 1,2$.

γ - коэффициент затенения, вводится для помещений с фиксированным положением рабочих и принимается равным $\gamma = 0,8 - 0,9$.

Так как светильник использует 2 лампы типа ЛБ-40 со значением

светового потока одной лампы, равным 3120 лм, то световой поток, излучаемый светильником, составит:

$$\Phi_{\text{св}} = 2 \cdot 3120 = 6240 \text{ лм.} \quad (5.2.4)$$

Для радиомонтажных зданий уровень рабочей поверхности над полом составляет 0,8 м.

$$h = H - 0,8 = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ м.} \quad (5.2.5)$$

У светильников УСП 35 наиболее выгодное отношение $\lambda = 1,4$. Отсюда расстояние между рядами светильников

$$L = \lambda h = 1,4 \cdot 3,2 = 4,48 \approx 5 \text{ м.} \quad (5.2.6)$$

Располагаем светильники вдоль длинной стороны помещения. Расстояние между стенами и крайними рядами светильников принимаем равным

$$l \approx 0,3L = 1,5 \text{ м.} \quad (5.2.7)$$

При ширине радиомонтажного здания $B = 5$ м имеем число рядов светильников

$$n \cong \frac{B}{L} = 1 \quad (5.2.8)$$

Найденные значения подставим в формулу (1):

$$N = \frac{300 \cdot 1,8 \cdot 30 \cdot 1,2}{1 \cdot 6240 \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 3,2 \approx 3 \text{ шт}$$

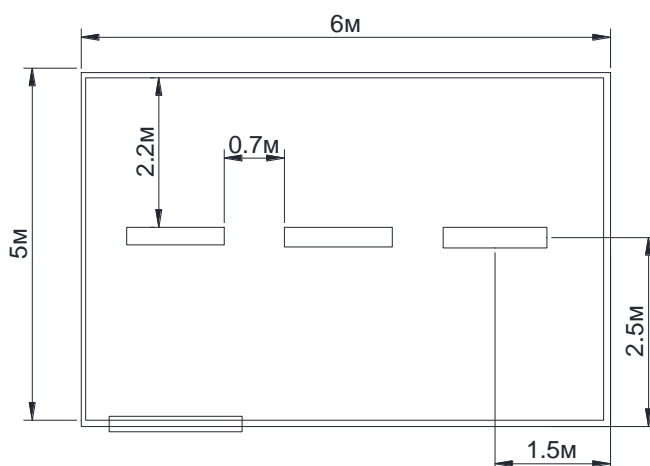


Рис.1 Схема размещения ламп в подвального помещения.

Таким образом, для искусственного освещения в подвального помещения необходимо использовать 1 ряд светильников типа УСП 35 с двумя лампами типа ЛБ-40. Количество светильников в этом ряду равно 3.

5.3 Расчет зануления

Степень воздействия электротока на организм человека зависит от его величины и протяженности воздействия. В случае если устройства питаются от напряжения 380/220 В или 220/127 В в электроустановках с заземленной нейтралью применяется защитное зануление.

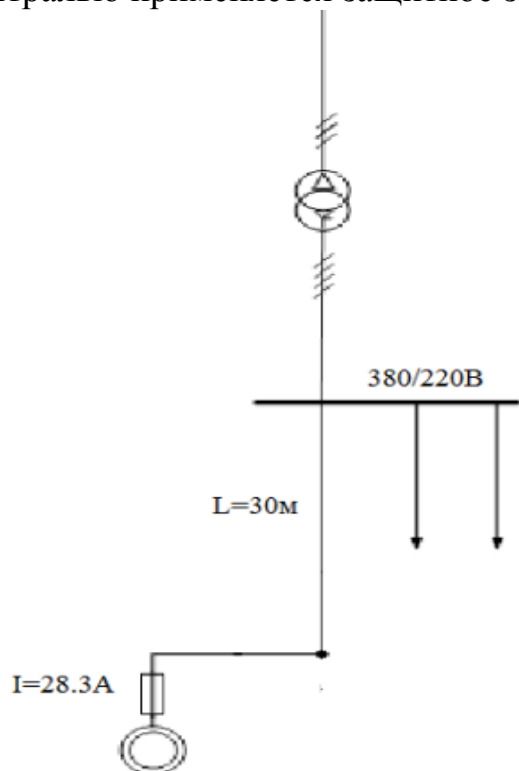


Рис. 2 Схема сети к расчету зануления

Расчет сводится к проверке условия обеспечения отключающей способности зануления: $J_{кз} \geq 3J_{пл.вст}^{н} \geq 1,25J_{авт}^{н}$

Трансформатор питающей подстанции мощностью 1000КВА, соединения- "треугольник-звезда".

Кабель от подстанции до вводов цеха: 4-х жильный, $L=100м$, сечения $3 \times 50+1 \times 35, AL$.

От щитка до двигателя $L=30м$, $3 \times 10+1 \times 6, AL$.

Номинальная мощность двигателя-15кВт;

$\eta=87,5\%$; $\cos=0,9$; $J^{пуск} / J^{ном} = 7,5$.

Защита двигателя-плавкими вставками.

Расчет $J_{кз}$ производится по формуле: $J_{кз} = U_{\phi} / (Z_{т} / 3 + Z_{п})$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; $Z_{т}$ – сопротивление трансформатора, Ом; $Z_{п}$ – сопротивление петли «фаза-нуль», которое определяется по зависимости

$$Z_{п} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н})^2 + (X_{\phi} + X_{о} + X_{и})^2} \quad (5.3.1)$$

Где $R_{н}$; R_{ϕ} – активное сопротивление нулевого и фазного проводников, Ом; X_{ϕ} ; $X_{о}$ – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого проводников соответственно, Ом; $X_{и}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», Ом.

Значение Z_T зависит от мощности трансформатора, напряжения, схемы соединения его обмоток и конструктивного исполнения трансформатора. При расчетах зануления Z_T берется из таблицы 2.

В данном случае $Z_T = 0,081$ Ом.

Зная мощность P двигателя рассчитываем номинальный ток электродвигателя $J_{эл.дв.}^H$

$$P = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot J_{эл.дв.}^H \cos \alpha / 1000 \quad [\text{кВт}] \quad (5.3.2)$$

$$J_{эл.дв.}^H = 1000 \cdot P / \sqrt{3} \cdot U_H \cos \alpha \quad [\text{А}] \quad (5.3.3)$$

где P – номинальная мощность двигателя, кВт; U_H – номинальное напряжение, В; $\cos \alpha = 0,9$ – коэффициент мощности, показывающий, какая часть тока используется на получение активной мощности и какая на намагничивание;

$$J_{эл.дв.}^H = 1000 \cdot 15 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 = 28,3 \text{ А}$$

Для расчета активных сопротивлений R_H и R_ϕ необходимо предварительно выбрать сечение, длину и материал нулевого и фазного проводников. Сопротивление проводников из цветных металлов определяется по формуле:

$$R = \rho \cdot \ell / S \quad [\text{Ом}] \quad (5.3.4)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника (для меди $\rho = 0,018$; для алюминия $\rho = 0,028$ Ом·мм²/м); ℓ – длина проводника, м; S – сечение, мм².

$$R_{\phi 1} = 0,028 \cdot 100 / 50 = 0,056 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{\phi 2} = 0,028 \cdot 30 / 10 = 0,084 \quad [\text{Ом}]$$

$$R_{\phi \Sigma} = 0,056 + 0,084 = 0,14 \quad [\text{Ом}]$$

Для медных и алюминиевых проводников внутреннее индуктивное сопротивление фазного и нулевого проводников X_ϕ и X_0 невелико и составляет 0,0156 Ом/км, т.е.

$$X_\phi = 0,0156 \cdot 0,13 = 0,0020 \text{ Ом};$$

$$X_0 = 0,0156 \cdot 0,13 = 0,0020 \text{ Ом}.$$

Величину внешнего индуктивного сопротивления петли «фаза-нуль» в практических расчетах принимают равной 0,6 Ом/км.

Основные технические характеристики электродвигателя АИР160S2: $N = 15$ кВт; $\eta = 87,5\%$;

$$\cos \alpha = 0,9; J^{\text{пуск}} / J^{\text{ном}} = 7,5 \quad (5.3.5)$$

Зная $J_{эл.дв.}^H$ вычисляем пусковой ток электродвигателя.

$$J_{эл.дв.}^{\text{пуск}} = 7,5 \cdot J_{эл.дв.}^H = 7,5 \cdot 28,3 = 212,25 \text{ А} \quad (5.3.6)$$

Определяем номинальный ток плавкой вставки

$$J_{пл.вст.}^H = J_{эл.дв.}^{\text{пуск}} / \alpha = 212,25 / 2,5 = 84,9 \text{ А} \quad (5.3.7)$$

где α – коэффициент режима работы ($\alpha = 1,6 \dots 2,5$); для двигателей с частыми включениями (например, для кранов) $\alpha = 1,6 \dots 1,8$; для двигателей, приводящих в действие механизмы с редкими пусками (транспортёры, вентиляторы), $\alpha = 2 \dots 2,5$. В нашем случае принимаем $\alpha = 2,5$.

Определяем ожидаемое значение тока короткого замыкания:

$$J_{кз} \geq 3 J_{пл.вст.}^H = 3 \cdot 84,9 = 254,7 \text{ А} \quad (5.3.8)$$

Рассчитываем плотность тока δ в нулевом и фазном проводниках. Допускаемая плотность тока в алюминиевых проводниках не должна превышать $4-8 \text{ А/мм}^2$.

$$\delta = J_{\text{эл.дв}}^{\text{H}} / S = 28,3/10 = 2,83 \text{ А/мм}^2 \quad (5.3.9)$$

Определяем внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза-нуль», зная, что $X_{\text{и}} = 0,6 \text{ Ом/км}$

$$X_{\text{и}} = 0,6 \cdot 0,13 = 0,078 \text{ Ом} \quad (5.3.10)$$

Рассчитываем сопротивление петли «фаза-нуль» $Z_{\text{п}}$ и ток короткого замыкания.

$$\begin{aligned} Z_{\text{п}} &= \sqrt{(R_{\text{ф}} + R_{\text{н}})^2 + (X_{\text{ф}} + X_{\text{о}} + X_{\text{и}})^2} = \\ &= \sqrt{(0,14+0,22)^2 + (0,0020+0,0020+0,078)^2} = 0,369 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (5.3.11)$$

$$J_{\text{кз}} = U_{\text{ф}} / (Z_{\text{т}}/3 + Z_{\text{п}}) = 220 / (0,081/3 + 0,369) = 555,5 \text{ А} \quad (5.3.12)$$

Проверим, обеспечено ли условие надёжного срабатывания защиты:

$$J_{\text{кз}} \geq 3J_{\text{пл.вст}}^{\text{H}}; 555,5 \geq 3 \cdot 91,8 \text{ А}; \quad 555,5 > 275,4 \text{ А} \quad (5.3.13)$$

$$J_{\text{кз}} \geq 1,25J_{\text{авт}}^{\text{H}};$$

Как видим, $J_{\text{кз}}$ более чем в три раза превышает номинальный ток плавкой вставки предохранителя и, следовательно, при замыкании на корпус плавкая вставка перегорит за $5 \dots 7 \text{ с}$ и отключит повреждённую фазу.

По расчётному номинальному току плавкой вставки выбираем предохранитель стандартных параметров:

ПН2 – 100; $J_{\text{пл.вст}}^{\text{H}} = 100 \text{ А}$. Или выбираем автоматический выключатель по $J_{\text{авт}}^{\text{H}} = 1,25 \cdot J_{\text{эл.дв}}^{\text{H}} = 1,25 \cdot 28,3 = 35,37 \text{ А}$. Выбираем автоматический выключатель модели АВВ S233R C40 4,5кА; $J_{\text{авт}}^{\text{H}} = 40 \text{ А}$.

Вывод по разделу БЖД

В данном разделе были проанализированы условия применения Двигателя Стирлинга в жилом доме. Была рассчитана система искусственного освещения данного дома, таким образом, для искусственного освещения в комнате необходимо использовать 1 ряд светильников типа УСП 35 с двумя лампами типа ЛБ-40. Количество светильников в этом ряду равно 3.

Был произведен расчет зануления который обеспечил отключающую способность системы зануления, и поэтому применения двигателя стирлинга в качестве котла отопления является безопасным. Условие надёжного срабатывания защиты: $J_{\text{кз}} \geq 3J_{\text{пл.вст}}^{\text{H}}; 555,5 \geq 3 \cdot 91,8 \text{ А}; \quad 555,5 > 275,4 \text{ А}$. По расчётному номинальному току плавкой вставки выбрали предохранитель.

6.Экономическая часть

Оценка качества, принятой в дипломный проект технических решений должно основываться на анализе его технико-экономических показателей, в том числе технологических и экономических показателей. Основные технические показатели, определенные в экономической части проекта включают: установленную мощность котла, годовой объем тепла или пара и оставить их для потребителей, потребление и т.д. Он рассчитывается и модальный индекс-число часов использования из установлена мощность котла.

Важные экономические показатели, определяются в градации проекта является стоимость выделяемого тепла. В ходе его расчета определяются и другие экономические показатели: Сметная стоимость строительства, состояния котельных, ежегодные эксплуатационные расходы и т.д.

Технологические параметры характеризуют рабочие процессы в котельной, они служат для установления режима эксплуатации оборудования для оптимальных экологических показателей; вот коэффициент избытка воздуха, содержание в газах CO₂ или O₂, температуры уходящих газов, горючих содержание в золе, и т.д.К экономическим показателям работы котельной установки относятся КПД брутто и нетто, удельный расход условного топлива на выработку отпускаемого тепла и удельный расход электроэнергии на собственные нужды котельной.

Себестоимость тепла или пара складывается из переменных и постоянных расходов.

Переменные и постоянные затраты - это два основных типа расходов. Каждый из них определяется в зависимости от того, изменившихся окончательных расходов в ответ на изменения выбранных видов затрат. Переменные затраты - это стоит, размер которых изменяется прямо пропорционально изменению объема производства.

Основным компонентом стоимости тепла или пара являются расходы на топливо, которые зависят от удельной скорости его горения на единицу тепла.

6.1. Расчёт себестоимости системы теплоснабжения

Компонент топлива может иметь значительное преимущество по отношению к другим расходов для производства тепла или пара. Крупнейший стоимость может судить о рациональности проектирования, строительства или реконструкции. Основной технико-экономический показатель работы котельной – стоимость вырабатываемой единицы тепловой энергии. Эта величина включает в себя расходы тепла и электроэнергии на собственные нужды котельной. Стоимость 1 Гкал тепла определяется по формуле:

$$S = \frac{I_{ао} + I_{топ} + I_{тр} + I_{зп} + I_{общ} + I_{рем}}{Q_{от} + Q_{гв}} = \text{тенге/Гкал}$$

Дано: Автономная отопительная водогрейная котельная расположенная в городе Алматы. Используемое топливо - природный газ. Расчетная мощность котельной 12 Гкал/час. К установке принято 4 котла КВГМ-4-150, где 3 котельных агрегата являются основными, а один принимается в резерв.

Суммарные издержки при строительстве котельной на природном газе включают в себя следующие компоненты:

$$I_{кот} = (I_K + I_{тс} + I_{об} + I_{хр}) + I_{топ} + I_{тр} + I_{зп} + I_{общ} + I_{рем}, \text{ тыс.}\$ \quad (5.2)$$

Составляющие издержек в формуле, соответственно, есть капитальные вложения в котельную, тепловые сети, внутреннее оборудование дома и квартир, хранения топлива, топливная составляющая, затраты на транспорт топлива, заработная плата, общепроизводственные расходы, ремонт.

Рассмотрим каждую составляющую и методику ее определения отдельно.

I_K - затраты в котельную на газе, включают стоимость котлов, затраты на здание котельной и строительно - монтажные работы (20%), т. е. представляют балансовую стоимость котельной.

$$I_K = I_{кот} + I_{зд} + I_{кот} \cdot 0,2, \text{ тыс.}\$ \quad (5.3)$$

Т.к. $N_y = 12$ Гкал/час, следовательно, выбираем 3 котла мощностью 4 Гкал/час и так как еще один котел находится в запасе мы не можем не учитывать его стоимость при создании автономной котельной.

На данный момент стоимость котла КВГМ - 4 – 150 с учетом доставки и растаможки составляет 7050000 российских рублей или 194,2 тыс \$.

$$\begin{aligned} I_{кот} &= 4 \cdot 194,2 = 776,8 \text{ тыс.}\$ \\ I_{зд} &= 3 \cdot 40 \cdot 400 = 48 \text{ тыс.}\$ \\ I_{кот} &= 0,2 \cdot 776,8 \cdot 0,2 = 155,36 \text{ тыс.}\$ \end{aligned}$$

$$I_K = 776,8 + 48 + 155,36 = 980,16 \text{ тыс.}\$$$

Затраты в здание котельной $I_{ЗД}$ определяются из расчета: площадь здания под один котел мощностью 1 Гкал составляет 36 м^2 , а для котла мощностью 4 Гкал – 40 м^2 (высота здания 4 м), стоимость одного квадратного метра принимать в размере 400 долларов.

$I_{Ком} \approx 0,2$ – затраты на монтажные и пуско-наладочные работы (20%), $I_{Ком}$ принимается согласно прайс-листу поставщика котельного оборудования.

$I_{мс}$ – издержки в тепловые сети. Принимается подземная двухтрубная прокладка с изоляцией из минеральной ваты с покрытием из фольги. Протяженность тепловых сетей, полученная на основе анализа типовых проектов теплоснабжения районов, принимается из расчета $1,0 - 1,5 \text{ м}$ на одного жителя. Диаметр тепловых сетей зависит от максимальной часовой нагрузки и в укрупненных расчетах можно принять стоимость 1 метра прокладки тепловой сети порядка $30-50 \text{ \$}$. Строго говоря, толщина изоляции зависит и от природно - климатических условий, являясь оптимизируемой величиной между затратами в изоляцию и потерями тепла.

$$I_{мс} = 5864 \cdot 50 = 293,2 \text{ тыс.}\$$$

$I_{Об}$ – затраты во внутреннее оборудование многоэтажных зданий, включающие разводку сети в подвале дома, по стоякам и квартирам, включая отопительные батареи и краны горячей воды. Принимается в размере $400 \text{ \$}$ на квартиру. В каждом доме жилого комплекса согласно проекту расположено 90 квартир, количество домов- 17. Из этого следует:

$$I_{Об} = 90 \cdot 17 \cdot 400 = 612 \text{ тыс.}\$$$

Данная котельная установка в качестве топлива использует природный газ. Природный газ как топливо имеет целый ряд преимуществ:

Метан (основной компонент природного газа) легче воздуха и в случае аварийного разлива он быстро испаряется, в отличие от более тяжёлого пропана, накапливающегося в естественных и искусственных углублениях и создающего опасность взрыва.

При использовании малых концентраций не оказывает токсического отравления.

6.2. Отсутствие коррозионных свойств

Стоимость компримированного природного газа ниже, чем у любого нефтяного топлива, в том же числе и дизельного, но по теплотворной способности их превосходит.

Низкая температура кипения гарантирует полное испарение природного газа при самых низких температурах окружающего воздуха.

Отсутствие копоти при сжигании природного газа улучшает экологическое состояние и увеличивает КПД использования агрегатов. Дымовые газы при сжигании природного газа не содержат примесей серы, тем

самым не оказывают вредного воздействия на стенки дымовой трубы.

Затраты на эксплуатацию котельных на газе значительно ниже чем на источниках теплоснабжения работающие на твердом топливе.

Еще одна особенность сжатого природного газа является то, что котлы, работающие на природном газе, имеют большую эффективность - до 94%, не требуют топлива, чтобы его предварительно нагревают в зимнее время (как мазут и пропан-бутана). Кроме того, использование природного газа в качестве основного топлива влечет за собой экономию при транспортировке и хранении. Расчеты принять эти значения до нуля.

$I_{мон}$ - затраты на природный газ определяются следующим образом:

Сначала определяем удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии для ИТГУ:

где: 143 - количество кг. у. т., необходимое для получения 1 Гкал тепла при КПД установки, равной единице. В знаменателе произведение КПД, соответственно, котла и регулирования нагрузки котла, представляет коэффициент полезного использования топлива (КПИ).

Значения КПД в знаменателе принимаются, соответственно, 0,88 и 0,96.

$$b_{уд} = \frac{143}{0.88 \cdot 0.96} = 169.27 \text{ кг ут / Гкал}$$

Затем находим суммарный расход условного топлива, необходимый для обеспечения одного жилого комплекса на процессы отопления и горячего водоснабжения:

$$V_y = b_{уд} \cdot (Q_{от} + Q_{гв}) = b_{уд} \cdot Q_{год}, \text{ т ут} \quad (5.5)$$

$$V_y = 169,2 \cdot 96953,2 = 15706,4 \text{ т ут}$$

Используем коэффициент перевода $K_{п}$ для того чтобы вычислить количество натурального топлива при известном значении условного топлива V_H (1000

$$m^3 = 1,15 \text{ т ут}, 1 \text{ т ут} = 870 m^3)$$

3

$$V_H = 15706,4 \cdot 870 = 13,66 \text{ млн. м}$$

Стоимость топлива будет:

$$I_{мон} = V_H \cdot Ц, \text{ тыс. \$} \quad (5.6)$$

$$I_{ТОП} = V_H \cdot Ц = 13,66 \text{ млн} \cdot 13 = 177,64 \text{ млн. тг}$$

Так как курс доллара на сегодняшний день составляет 1 доллар США=181,5 тенге, следовательно: $I_{ТОП} = 978,7 \text{ тыс. \$}$.

Цена природного газа варьируется в пределах 13-20 тенге/ m^3 с учетом его доставки до потребителя.

$I_{зн}$ - затраты на заработную плату. Количество рабочих определяется с применением штатного коэффициента (Кш), который учитывает

управленческий, эксплуатационный и ремонтный персонал. Для небольших котельных, работающих на твёрдом топливе Кш принимается в размере 2,0-3,0 чел / Гкал. Среднемесячная заработная плата составляет 300 \$ на одного работника, а так же совместно с этой суммой прибавляется 21,5 % (пенсионный фонд, социальный налог). Зарплата рассчитывается за год по формуле:

$$I_{Зп} = N_y \cdot K_{ш} = 300 \cdot 1,215 = 12, \text{ тыс. \$} \quad (5.7)$$

$$I_{Зп} = 12 \cdot 2 \cdot 300 \cdot 1,215 \cdot 12 = 104,98 \text{ тыс. \$}$$

$I_{Общ}$ - общестанционные расходы принимаются в размере 20 % от суммы:

$$I_{Общ} = 0,2 \cdot (I_{Зп} + I_{Ао} + I_{рем}), \text{ тыс. \$}. \quad (5.8)$$

$I_{рем}$ - затраты на ремонт и обслуживание котельной, принимаются:

$$I_{рем} = 0,15 \cdot I_{Ао}, \text{ тыс. \$} \quad (5.9)$$

$I_{Ао}$ - амортизация, является возврат из физического и морального износа основного котельного оборудования путем включения части их стоимости в затраты на производство тепловой энергии. В соответствии с Указом Президента Республики Казахстан о налогах и платежах, сумма амортизации для теплотехнического оборудования составляет не более 8% от их балансовой стоимости. В балансовой стоимости не будет включать в себя стоимость хранения топлива, как использование природного газа не означает совокупный структуры контента для хранения. Определяются по формуле:

$$I_{Ао} = 0,08 \cdot (I_{к} + I_{об} + I_{тс} + I_{хр}), \text{ тыс. \$} \quad (5.10)$$

$$I_{Ао} = 0,08 \cdot (980,16 + 293,2 + 612) = 150,83 \text{ тыс. \$}$$

$$I_{рем} = 0,15 \cdot 150,83 = 22,62 \text{ тыс. \$}$$

$$I_{Общ} = 0,2 \cdot (150,83 + 22,62 + 104,98) = 55,69 \text{ тыс. \$}$$

Себестоимость 1 Гкал тепловой энергии определяется:

$$S = \frac{I_{Ао} + I_{топ} + I_{тр} + I_{Зп} + I_{Общ} + I_{рем}}{Q_{от} + Q_{гв}} = \frac{150,83 + 978,7 + 104,98 + 55,69 + 22,62}{96953,2} = 13,54$$

\$/Гкал

Переведем в тенге, с учетом курса доллара 1 доллар США=181,5 тенге.

Следовательно: 13,54\$ / Гкал = 2457,5 тенге / Гкал

Вывод: для расчета выпуска себестоимости тепловой энергии, учтены издержки на оплату труда, стоимость котлов, издержки на топливо, на ремонт и АО. Данная котельная работает на газе, за счет этого мы получаем экономию в стоимости топлива и соответственно меньшую себестоимость

отпуска тепловой энергии. При использовании в качестве основного топлива уголь, были бы дополнительные расходы. Это хранение и перевозка топлива, оплата за выбросы в окружающую среду, и вред здоровью работникам котельной. При работе на газе эти расходы не учитываются. Себестоимость отпуска тепловой энергии в ходе расчета, с учетом курса доллара, составляет $S=2457,5$ тенге за 1 Гкал тепла. Стоимость отпуска продукции получилась не выше чем на станциях районного типа. Из этого можно сделать вывод об экономической целесообразности строительства новой автономной котельной, работающей на газе.

7. Заключение

Внимание к двигателям внешнего сгорания объясняется главным образом двумя причинами; тем, что сжигание топлива вне камере сгорания позволяет резко снизить количество вредных примесей в отработавших газах и тем, что КПД таких двигателей может быть существенно выше, чем у прочих. Из наиболее реализованных в современной практике являются свободнопоршневые двигатели Стирлинга, которые возможно применять для самых различных целей производство электроэнергии параллельно с тепловой энергии, использование в аппаратах искусственной среда, использование в космосе в качестве энергетических установках и т.д.

По этому проблема свободно поршневых двигателей используемых в качестве автономного источника энергии является весьма актуальной.

8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. "Двигатель с внешним подводом теплоты" Заявка №99110725 от 31 мая 1999 г., РФ
2. "Двигатель с внешним подводом теплоты". Патент №2105156 от 23 июня 1995 г., РФ
3. Двигатели Стирлинга. Пер. с англ. Под ред. В.М. Бродянского. М.: Мир, 1975.
4. Двигатели Стирлинга/В.Н. Даниличев, С.И. Ефимов, В.А. Звонок и др.; под ред. М.Г. Круглова. – М.: "Машиностроение", 1977.
5. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга: Пер. с англ. М.: Энергия, 1978
6. Уокер Г. Двигатель Стирлинга / Б.В. Сутугина, Н.В. Сутугина.- М: Машиностроение, 1985.-408 с.
7. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена.- М.: Энергия, 1979.- 320 с.
8. Приходько И.М. Добросоцкий А.В. Фомин А.В. Разработка комплексной методики расчета математического моделирования и оптимизации параметров двигателя Стирлинга // Двигателестроение,- 1980.- № 7 - С. 22-24.
9. Dr-ing.Klaus Sommer.Mikro-KWK-Anwendungen fur 1-und 2-Familienhauser fun mehr Energieeffizienz-VHKS-Almanach 2012.
10. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 800 с.
11. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергия, 1981. – 412 с. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
12. Ослон, А.Б. Зануление как способ обеспечения электробезопасности / А.Б. Ослон // Промышленная энергетика. – 1981. – № 7.
13. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
14. Долин, П.А. Справочник по технике безопасности / П.А. Долин. – 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1982.
15. Князевский Е.А. Электробезопасность в машиностроении / Е.А. Князевский. – М.: Машиностроение, 1980.
16. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1999.