ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЭНЕРГОКРАФТ»

УТВЕРЖДАЮ

Зам. Генерального директора

ОАО «Теплосеть»

_____ Д.В. Новичков

«_09_» _____ 2018г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «Энергокрафт»

_____ В.Н. Малеев

«_27_» сентября 2018г.

ТЕХНИЧЕСКАЯ СПРАВКА

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ ОДНОЦИЛИНДРОВОГО ОТСЕКА ПАРОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ СОВМЕСТНО С СИСТЕМОЙ УТИЛИЗАЦИИ ЕГО ВЫХЛОПНОГО ПАРА В КОТЕЛЬНОЙ “ТЕКСТИЛЬЩИК” ОАО «ТЕПЛОСЕТЬ»

Руководитель работы, к.т.н. _____ В.С. Дубинин

Ответственный исполнитель _____ С.О. Шкарупа

г. Королев 2018

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель работы,
кандидат технических наук

_____ В.С. Дубинин
(составление тех. справки, разработка принципиальных схем экспериментальных установок и руководство экспериментами)

Исполнители работы

_____ С.О. Шкарупа
(проведение экспериментов, подтверждающих явление самостабилизации частоты вращения для паропоршневых двигателей с использованием моделирующего рабочего тела (сжатый воздух), руководство
разработкой эскизной конструкторской документации на головку цилиндра, обеспечивающей возможность самостабилизации частоты вращения при работе ППД на пароводяной смеси)

_____ А.С. Михайлов
(проведение экспериментов, монтаж экспериментальных установок образца 2017 и образца 2018г.)

_____ Д.В. Пахомов
(Разработка эскизной конструкторской документации на головку цилиндра, обеспечивающей возможность самостабилизации частоты вращения при работе ППД на пароводяной смеси)

_____ Э.Р. Исаков
(Составление тепловых схем экспериментальных установок (рис. 1,рис. 2), используя уже смонтированные установки. Набивка текста тех. справки и ее верстка)

Реферат

Техническая справка 52с., 2рис.,5 табл., 1 приложение.

ПАРОПОРШНЕВОЙ ДВИГАТЕЛЬ, ИСПЫТАНИЯ, ПАРОВОДЯНАЯ СМЕСЬ, САМОСТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ, ПАРОВАЯ КОТЕЛЬНАЯ

Объектомэкспериментального исследования является совместная работа одноцилиндрового отсека паропоршневого двигателя (ППД), полученного конвертацией в ППД одноцилиндрового четырехтактного бензинового двигателя УД1 с рабочим объемом цилиндра 300см^{3}и системы конденсации выхлопного пара для использования его тепловой энергии в системе горячего водоснабжения.

Цель работы – создание системы утилизации выхлопного пара ППД способного работать на пароводяной смеси, которую вырабатывают паровые котлы Бийского котельного завода при отсутствии пароперегревателя и работе при давлениях пара существенно ниже номинального(13кг/см^2 манометрических).

В процессе работы проводились экспериментальные исследования одноцилиндрового отсека ППД, приводящего асинхронный электрогенератор. Определялись его силовые параметры при давлении пароводяной смеси 8кг/см^2 и ниже. Продолжались исследования системы обеспечивающей снижение концентрации сконденсировавшейся в картерном масле воды до допустимого предела, начатые в [1].

В результате исследования впервые была подтверждена возможность работы ППД специальной конструкции на пароводяной смеси в течение 6 часов после которой деэмульгированная вода в масле не обнаружена, а унос масла за 6 часов работы составил не более 18 грамм.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: одноцилиндровый отсек ППД получен путем конвертации одноцилиндрового ДВС УД1 в ППД, что создает перспективы создания двухцилиндрового ППД путем конвертации двухцилиндрового ДВС УД2 в ППД с использованием полученных конструктивных решений на одноцилиндровом отсеке ППД и получения четырехцилиндрового ППД путем соединения двух двухцилиндровых ППД. На одноцилиндровом отсеке ППД получена мощность 1,8кВт на лампах накаливания, запитываемых от асинхронного электрогенератора, приводимого одноцилиндровым отсеком ППД, при давлении пароводяной смеси 7,8кг/см^2 манометрических, противодавлении на выхлопе 0,4 кг/см^2 манометрических и использовании более вязкого, чем в [1], растительное масло для закрытия вопроса о загрязнении воды системы горячего водоснабжения нефтепродуктами.

Степень внедрения – создана экспериментальная установка и проведены предварительные испытания одноцилиндрового отсека ППД.

Эффективность ППД предполагаемого к созданию определяется перспективой работы паровых котельных и водогрейных котельных, имеющих паровые котлы не зависимо от теряющих надежность централизованных электросетей.

Содержание

Введение 6

1. Экспериментальные установки и результаты экспериментов. 8

1.1. Экспериментальная установка конца отопительного сезона 2017г 8

1.2. Результаты экспериментов конца отопительного сезона 2017г 13

1.3.Экспериментальная установка конца отопительного сезона 2018г..... 17

1.4. Результаты экспериментов конца отопительного сезона 2018г 24

1.5. Консервативная оценка экономической эффективности применения ППД в котельной «Текстильщик» 32

Заключение 40

Список литературы 47

Введение

Данная работа по паропоршневому двигателю (ППД) проводилась по договору о партнерской деятельности №12 от 25марта 2016г. между ООО «Энергокрафт» и ОАО «Теплосеть» (г. Королев) и является продолжением работы в этом направлении [1]. В [1] выхлоп пара экспериментальной установки происходил в атмосферу. В установке конца отопительного сезона 2017г. был предусмотрен смешивающий конденсатор эжекторного типа, рабочим телом которого была водопроводная вода, а полученная теплая вода сливалась в канализацию или мерную емкость. Это позволило определить расход водопроводной воды в таком эжекторе и по разнице температур исходной водопроводной воды и теплой оценить расход пара ППД. В этом эжекторе использовалось оптимальное сопло для воды в виде тонкостенной шайбы с острыми краями, предложенное в [2].

В [1] применялось турбинное масло Т-54, имеющее согласно ТУ на него хорошее деэмульгирующие свойства и, в отличие от автомобильных смазочных масел, не теряющее своих свойств при попадании в него воды. В целях изъятия воды из масла в [1] проводилось вакуумирование картера и подогрев масла до 90℃. При такой температуре вязкость самого вязкого из отечественных турбинных масел оказалось недостаточной: указатель давления масла уже при температуре 80-85℃ утопал в свой корпус, что недопустимо при длительной эксплуатации ППД. Более вязкие турбинные масла стран Евросоюза не рассматривались в связи с перспективой введения санкций, что создаст проблемы при эксплуатации ППД. Поэтому начиная с 07.04.2017г. уже применялось растительное масло. Его вязкость при температуре 90℃оказалась достаточной. Кроме того, переход на растительное растительное масло исключал попадание нефтепродуктов в систему горячего водоснабжения.

Эксперименты 2018г. были проведены на экспериментальной установке ППД, в которой полученная в конденсаторе эжекторного типа теплая вода сливалась в расширительный бак системы горячего водоснабжения. Установлено, что система регулирования температуры воды горячего водоснабжения

отрабатывает попадание в систему теплой воды без специальных организационных и технических мероприятий. Уровень воды в этом баке и баке аккумуляторе горячей воды (это сообщающиеся сосуды) на 2-2,5 метра выше выхлопного патрубка ППД. Это создавало проблемы, которые удалось решить. При создании опытно-промышленной установки, обеспечивающей освещение котельной автономно от центральных электросетей, этих проблем уже не будет так как планируется ее расположение на втором этаже котельной рядом с неиспользуемыми сейчас бойлерами горячего водоснабжения.

В экспериментах 2018г. ППД уже работал с вакуумом в выхлопном патрубке, что должно увеличить его мощность по сравнению с его работой с противодавлением в 2017г.. Однако эксперименты 2018г. были ориентированы на дальнейшие 100-часовые испытания и проводились при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 манометрических. Именно такое давление сейчас, может быть не очень обоснованно, используется в паровых котлах котельной «Текстильщик». В связи с этим мощность одноцилиндрового отсека заметно снизилась. Созданное в 2018г. экспериментальная установка, включала в себя еще 1 эжектор, где рабочим телом был уже пар, а подсасываемой средой теплая вода из первого эжектора. Рабочим телом первого эжектора была вода, а подсасываемой средой выхлопной пар ППД. Применение второго эжектора с одной стороны позволяет подогреть теплую воду до состояния горячей, а с другой дает запас по подъему этой воды выше выхлопного патрубка ППД. Последние важно с учетом перспектив прямого привода вспомогательного оборудования котельной оси вращения которого находятся существенно ниже коленчатого вала существующей экспериментальной установки.

В 2018г. оценена величина уноса уже растительное масла, которая составила менее 18 грамм за 6 часов работы ППД, при мощности ППД 1,8 кВт, т.е. удельный расход масла составляет 1,66 г/кВт*ч,в то время как удельный расход масла на угар отечественных дизелей колеблется от 9 до 1г/кВт*ч[3].Но 1 г/кВт*час это расход масла очень большого дизеля ЧН 36/46 с диаметром поршня

360 мм и его ходом 460 мм [3]. У дизелей обычно не менее 3 компрессионных поршневых колец, в то время как исходный УД1 имеет их только 2. Поэтому этот результат испытаний можно считать очень хорошим. Кроме того, удалось добиться отсутствия отстоя деэмульгированной воды.

Была проведена разработка эскизной конструкторской документации на головку цилиндра, обеспечивающую возможность самостабилизации частоты вращения при работе ППД на пароводяной смеси. На экспериментальной установке, размещенной в настоящее время в Колледже космического машиностроения и технологий (студенческое конструкторское бюро), были проведены эксперименты подтверждающие наличие явления самостабилизации на одно и двух цилиндровом ППД. Испытания проводились с использованием в качестве рабочего тела сжатого воздуха от компрессора [4].В настоящей технической справке отображены только эксперименты позволяющие получить ключевые результаты, чтобы не загромождать ее результатами многочисленных наладочных испытаний.

Проведена консервативная оценка экономической эффективности применения ППД в котельной «Текстильщик».

1. Экспериментальные установки и результаты экспериментов.

1.1. Экспериментальнаяустановка конца отопительного сезона 2017г.

Двигатель-генераторная часть и система электрических измерений установки сохранились с 2016г. и описаны в [1,5]. Изменена выхлопная система: если в [1] выхлоп ППД производился через резиновый гофрорукав в атмосферу, то в данной установке был предусмотрен смешивающий конденсатор эжекторного типа, рабочим телом которого была водопроводная вода, а полученная теплая вода сливалась в канализацию или мерную емкость. Это позволило определить расход водопроводной воды в таком эжекторе и по разнице температур исходной водопроводной воды и теплой оценить расход пара ППД. В

этом эжекторе использовалось оптимальное сопло для воды в виде тонкостенной шайбы с острыми краями, предложенное в [2], диаметр отверстия в этой шайбе 11,2 мм. Эжектор для удешевления создан из покупных стальных и чугунных фитингов. В качестве его корпуса использован тройник d_y50. Смесительная камера эжектора выполнена из водогазопроводной трубы d_y20. Схема экспериментальной установки образца 2017 г. приведена на рис.1. На этой схеме трубопроводы имеющие номера выполнены

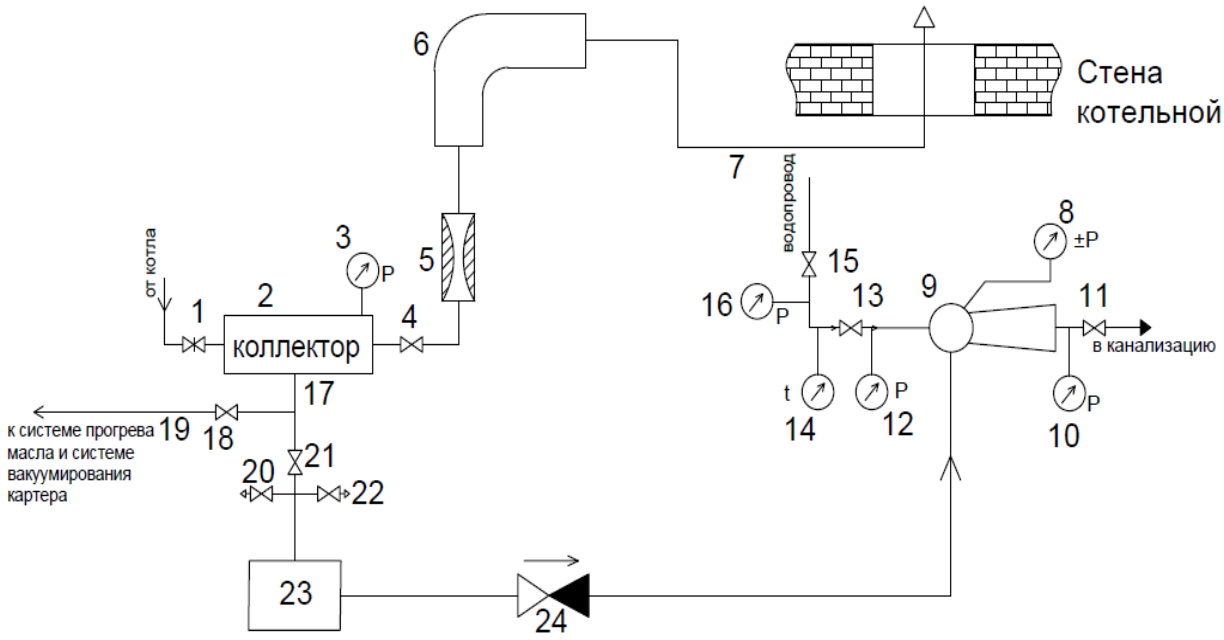

Рис.1 Тепловая схема паросиловой установки с ППД образца 2017г. Обозначение стрелочных приборов «t» означает, что это термометр, «р» -- манометр, «±р» -- мановакумметр.

металлорукавами, резиновыми гофрорукавами, резиновыми шлангами или пожарным рукавом, остальные трубопроводы выполнены из водогазопроводных стальных труб.

Пароводяная смесь от парового котла, которому в котельной присвоен №1, отбирается врезкой в трубопровод подачи пара в паровой насос. Эта врезка снабжена клиновой задвижкой d_y50 №1 и после нее пароводяная смесь проходит в коллектор №2 снабженный манометром на $10\,кг/см^2$ №3. В коллектор вварен

трубопровод d_y32, к которому подсоединен металлорукав высокого давления d_y32 №17, другой конец этого металлорукава подсоединен к тройнику, от которого через шаровой кран d_y15 №18 уходит металлорукав d_y15 №19 в систему подогрева масла и ваккуумирования картера. Основной поток пароводяной смеси через пусковой шаровой кран d_y25 №21 проходит в сопло в лаваля, установленное в головке цилиндра ППД №23 (подробнее в [5]), но перед этим пароводяная смесь проходит через крестовину d_y25/d_y15 , на которую установлены 2 шаровых крана d_y15 №20 и №22. Перед запуском ППД после прогрева масла до 80 ℃ открываются шаровые краны №20 и №22 для слива конденсата (нижний кран), и выхода пара (верхний кран) и приоткрывается пусковой кран №21на время, пока из нижнего кранаd_y15 пойдет пар. После этого пусковой кран №21 закрывается, и затем закрываются краны №20 и №22. **Эта и дальнейшая информация о запуске ППД приведена только для понимания работы схемы изображенной на рис.1 и не является полной.Действия производились строго по инструкции (приложение1) .** Затем коленвал ППД устанавливается на 30-45° вперед от верхней мертвой точки и резким полным открытием пускового крана №21производится запуск ППД. Из коллектора через шаровой кран d_y25 №4 перед запуском ППД производится слив конденсата и пропуск пароводяной смеси через сопло лаваля №5 (такое же как в головке цилиндра ППД), входящее в состав эжекторного устройства слива конденсата и визуализация состава пароводяной смеси №6, от которого конденсат, а после прогрева пароводяная смесь вместе с подсасываемым атмосферным воздухом через резиновый гофрорукав №7, проходящий через отверстие в стене котельной,выхлапывается в атмосферу. Это производится до тех пор, пока на выходе и сопла лаваля будет видна белая однородная струя пароводяной смеси, без струи воды. Затем производится дросселирование пара путем прикрытия задвижки №1 до того момента, когда из сопла лаваля будет выходить голубая струя пара (при этом, давление по манометру №3 примерно 3кг/см^2). После чего производится запуск ППД, как описано выше, при открытом кране №4.

Дальнейшие манипуляции для выхода ППД с электрогенератором на режим производились согласно прилагаемой инструкции.

Описанная часть тепловой схемы паросиловой установки с ППД является неизменной с 2011г., когда была создана эта паросиловая установка, что отражено в [5].

В 2017г. была создана система утилизации выхлопной пароводяной смеси ППД. Выхлопная пароводяная смесь из выхлопного патрубка ППД №23 проходит в прикрепленный к этому патрубку, имевшийся в наличии, подъемный обратный клапан d_y50 №24. Через бочато d_y50 к этому обратному клапану подсоединен тройник d_y50, на базе которого создан эжектор №9. Давление на входе в смесительную камеру этого эжектора замерялось мановакумметром №8. Выхлопная пароводяная смесь ППД в этом эжекторе была подсасываемой средой. Рабочим телом в этом эжекторе была водопроводная вода. Трубопровод этой воды подсоединялся через временный пожарный рукав к шаровому крану d_y32 №15 давление воды за которым замерялось манометром №16, а температура – биметаллическим термометром №14. Непосредственно перед эжектором устанавливался еще один шаровой кран d_y32 №13, давление воды за ним измерялось манометром №12. Это позволяло менять давление воды перед эжектором путем прикрытия крана №13 и исследовать возможность работы эжектора при уменьшении давления воды. В эжекторе выхлопная пароводяная смесь конденсировалась на струе воды и полученная теплая вода через шаровой кран d_y40 №11 сливалась в канализацию. Перед этим краном был установлен манометр №10. Прикрытием крана №11 повышалось давление за эжектором, замеряемое этим манометром и одновременно контролировалось наличие/отсутствие вакуума в эжекторе №9 по мановакуумметру №8. Это было необходимо для определения принципиальной возможности (реализованной уже в 2018г.) подъема теплой воды на достаточную высоту, превышающую уровень

воды в баке-аккумуляторе горячей воды и связанным с ним расширительным баке (куда планировалось сливать эту воду).

Необходимость обратного клапана №24 обусловлена тем, что при срыве работы эжектора водопроводная вода заполнит полость эжектора и через выхлопной патрубок зальет не запущенный ППД. Это обусловлено тем, что запуск ППД производится после подачи воды в эжектор, иначе не сконденсированная пароводяная смесь не сможет пройти через смесительную камеру эжектора d_yвсего 20мм. В этом случае, давление в выхлопном патрубке повысится и может произойти его отрыв. В этом смысле приведенная выше тепловая схема паросиловой установки с ППД была недостаточно «дуракоупорной», что потребовало написания инструкции (приложение 1), даже для использования ее высококвалифицированными специалистами. Тепловая схема паросиловой установки с ППД образца 2018г. лишена этого недостатка и других, о которых в разделе 1.3.

1.2. Результаты экспериментов конца отопительного сезона 2017г.

Данные по результатам части экспериментов 2017г. приведены в таблице 1.

Таблица 1

Дата	Время	P коллектора $кг/см^2$	P котла $кг/см^2$	N кВт	масло	Температура масла t℃
03.04.2017	14:40	7,6	8	1,62	турб.	95
06.04.2017	-	7	7,5	1,64	турб.	75
07.04.2017	14:00	7,8	-	1,8	растит.	100
07.04.2017	14:10	7,6	8,1	1,78	растит.	95
07.04.2017	15:00	7,7	8,3	1,78	растит.	90

Из нее видно, что при сопоставимых давлениях перед ППД (давление в коллекторе №2 по схеме рис.1), которое безусловно влияет на мощность ППД, переход с турбинного масла на растительное не оказал влияние на мощность. По крайней мере, она не уменьшилась, хотя из-за большей вязкости растительного масла должна была уменьшиться. Вязкость растительного масла при 90℃ неизвестна, но то что указатель давления масла при температуре 80-85℃ утопал в свой корпус при применении турбинного масла, в то время как и при 95℃ при применении растительного масла он выступал из своего корпуса, показывает большую вязкость выбранного растительного масла в области температур 90℃. Не снижение мощности ППД при переходе на более вязкое растительное масло можно объяснить его высокой смазывающей способностью.

Следует отметить, что в [1] применялось турбинное масло Т-54, имеющее согласно ТУ на него хорошее деэмульгирующие свойства и, в отличие от автомобильных смазочных масел, не теряющее своих свойств при попадании в него воды. В целях изъятия воды из масла в [1] проводилось вакуумирование картера и подогрев масла до 90℃. При такой температуре вязкость самого вязкого из отечественных турбинных масел оказалось недостаточной: указатель давления масла уже при температуре 80-85℃ утопал в свой корпус, что недопустимо при длительной эксплуатации ППД. Более вязкие турбинные масла стран Евросоюза не рассматривались в связи с перспективой введения санкций, что создаст проблемы при эксплуатации ППД. Поэтому начиная с 07.04.2017г. уже применялось растительное масло. Так 07.04.2017 был произведен в 13:45 запуск ППД из прогретого до 80℃ состояния растительного масла в 13:55 температура масла достигла 90℃, при этом указатель давления выступал на 3 мм. Он продолжал выступать на величину 3-4 мм в 14:10, когда температура масла достигла 95℃. В связи с прекращением подачи пара в систему прогрева, температура масла упала до 90℃в 15:30. При этом указатель давления масла выступал из корпуса на 8 мм. Кроме того, переход на растительное растительное масло исключал попадание нефтепродуктов в систему горячего водоснабжения.

07.04.2017 в 12:58 при вращении ППД электродвигателем с целью прогрева при температуре масла 75℃ был кратковременно подан пар в эжектор системы вакуумирования картера ППД. Вакуум в картере ППД составил 0,5 кг/см^2, при давлении пара в паровом котле котельной 8 кг/см^2.

В дальнейшем произведен запуск ППД и данные по вакууму в картере ППД при его работе сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Время	Вакуум в картере	Давление в паровом котле котельной	Температура масла
Час:мин.	кг/см^2	кг/см^2	℃
14:15	0,46	8,05	95
14:30	0,46-0,48	8,1	90
15:00	0,45-0,47	8,3	90
15:30	0,45	8,2	90

Из рассмотрения таблицы 2 следует, что вакуум в картере при работающем ППД незначительно упал, по сравнению с вакуумом в картере ППД при прокрутке ППД электродвигателем без подачи ППД пара. При этом следует отметить, что при работающем ППД расход пароводяной смеси экспериментальной установки возрастает более чем в 30 раз (критический диаметр сопла Лаваля в ППД 12 мм, а этот диаметр сопла эжектора вакуумирования картера 2 мм, $(12/2)^2 = 36$). Это приводит к тому, что давление пароводяной смеси перед соплом упомянутого эжектора при работе ППД будет ниже за счет роста гидравлических потерь, в подводящих трубопроводах. С уменьшением давления перед соплом эжектора вакуумирования картера ППД падает вакуум в картере согласно [1(табл. 2 от 10.05.2016 с 16:30 до 16:40 и табл. 3)] .

Из выше изложенного можно сделать вывод, что подача пароводяной смеси ППД и включение его в работу не меняет вакуум в картере. Это означает, что эжектор вакуумирования картера откачивает не столько пар, сколько воздух, проникающий в картер из-за его недостаточной герметичности. Это не смотря на то, что все эксперименты 2017г. проводились при герметизации не только обоих люков картера, но и крышки газораспределительного механизма исходного ДВС

УД-1 герметикомLoctite, S1 5699, как это было предложено в заключении[1]. В [1] подробно описаны проблемы утечек масла из негерметичного картера. Все это показывает большую вероятность того, что существующего эжектора вакуумирования картера, установленного на одноцилиндровый отсек ППД окажется достаточно для вакуумирования полноразмерного 4-х цилиндрового ППД при обеспечении достаточной герметизации картеров двухдвухцилиндровых ППД, объединенных в 4-ех цилиндровый ППД. Для этого, как минимум, надо использовать Loctite, S1 5699 для герметизации в том числе и продольного разъема картера, а как максимум, профрезеровать«как чисто» плоскости разъемов перед их сборкой на герметике (подробнее в заключении этой тех. справки).

10.05.2017 был определён расход воды через эжекторный конденсатор (№9 по схеме рис.1) с помощью мерной емкости в виде ведра, представлявшего собой конус с диаметром верхнего основания 28 см, нижнего – 22 см и высотой 26 см. Объем такого ведра 12,83 литра. Его заполнение произошло за 6,2 сек. Таким образом, расход воды составил 12,83/6,2 = 2,069 литра/сек. Температура холодной водопроводной воды была 8℃, а температура на выходе из конденсатора составила 45℃. Таким образом, перепад температур 45-8 = 37℃.

Приняв теплоемкость воды 1ккал/кг*град, по полученному ранее расходу оценим тепловую мощность пара потребляемого ППД, пренебрегая добавочной массой сконденсировавшегося пара.

2,069*1*37 = 76,54 ккал/ сек = 0,275 Гкал/час.

Расход насыщенного пара такой тепловой мощности можно оценить как 0,275/0,662 = 0,415 тонн/ час. Расход реальной пароводяной смеси конечно больше, но и расход её из парового котла при заданной его тепловой мощности тоже больше во столько же раз.

10.05.2017 при таких же параметрах работы ППД, которые отражены в таблице 1 от 07.04.2017 в 14:00 был произведен замер давления в выхлопном

патрубке ППД (№23 по схеме рис.1), оно оказалось ровно 0,4 кг/см^2. Таким образом, мощности ППД приведенные в таблице 1 получены при его работе с противодавлением.Известно, что противодавление снижает мощность парового двигателя любого типа. Поэтому если в [1] при выхлопе пара в атмосферу была получена мощность 2,18 кВт при давлении в коллекторе (№2 по схеме рис. 1) 7,4 кг/см^2 , то мощности указанные в таблице 1 значительно меньше. При этом наоборот, вакуум в конденсаторе (№9 по схеме рис. 1) оказался равным 0,55 кг/см^2 . То есть, потеря давления на подъемном обратном клапане d_y50 (№24 по схеме рис. 1), имевшимся тогда в нашем распоряжении, составила 0,4+0,55=0,95 кг/см^2. Известно, что подъемные обратные клапана обладают большим гидравлическим сопротивлением, чем поворотные. Именно поэтому для экспериментальной установки образца 2018г. был приобретен поворотный обратный клапан d_y85, что должно было обеспечить вакуум в выхлопном патрубке. Такой клапан массой 22 кг уже невозможно было разместить на выхлопном патрубке и для экспериментальной установки образца 2018г. создана целая выхлопная система, связанная с выхлопным патрубком ППД резиновым гофро-рукавом, о которой в следующем разделе.

1.3. Экспериментальная установка конца отопительного сезона 2018г.

Двигатель-генераторная часть и система электрических измерений установки сохранились с 2016г. и описаны в [1,5]. Изменена выхлопная система: если в [1] выхлоп ППД производился через резиновый гофрорукав в атмосферу, то в установках образца 2017 и 2018 годовбыл предусмотрен смешивающий конденсатор эжекторного типа, описанный в разделе 1.1, рабочим телом которого была водопроводная вода. В установке образца 2018г., в отличие установки образца 2017г., полученная теплая вода уже не сливалась в канализацию, а направлялась в пароструйный эжектор, рабочим телом которого была пароводяная смесь, а подсасываемой средой, эта теплая вода. В этом эжекторе

использовалось сужающиеся сопло для пароводяной смеси с минимальным сечением в виде трубы диаметром 10 мм.и такой же длиной. Он,для удешевления,так же создан из покупных стальных и чугунных фитингов. В качестве его корпуса использован тройник d_y50. Смесительная камера эжектора выполнена из водогазопроводной трубы d_y32. Применение пароструйного эжектора позволило создать большее давление на выходе из утилизационной установки и получить из теплой горячую воду, что создало перспективу ее подъема на большую пьезометрическую высоту.Схема экспериментальной установки образца 2018 г. приведена на рис.2. На этой схеме трубопроводы имеющие номера выполнены металлорукавами, резиновыми гофрорукавами, резиновыми шлангами или пожарным рукавом, остальные трубопроводы выполнены из водогазопроводных стальных труб.

В связи с изменившейся нумерацией элементов тепловой схемы, приведенной на рис.2, по сравнению с рис.1, авторы сочли целесобразным повторить в этом разделе часть текста раздела 1.1, но с №№ соответствующими рис.2 и изменившимися в сторону увеличения d_y отдельных элементов тепловой схемы.

Пароводяная смесь от парового котла, которому в котельной присвоен №1, отбирается врезкой в трубопровод подачи пара в паровой насос. Эта врезка снабжена клиновой задвижкой d_y50 №1 и после нее пароводяная смесь проходит в коллектор №2 снабженный манометром на 10 кг/см^2 №3. **Перед открытием задвижки №1 необходимо проконтролировать закрытие крана №35,** о чем в конце этого раздела**.**В коллектор вварен трубопровод d_y32, к которому подсоединен металлорукав высокого давления d_y32 №29, другой конец этого металлорукава подсоединен к тройнику, от которого через шаровой кран d_y15 №30 уходит металлорукавd_y15 №31 в систему подогрева масла и ваккуммирования картера. Основной поток пароводяной смеси через пусковой шаровой кран d_y25 №32 проходит в сопло в лаваля, установленное в головке цилиндра ППД №36 (подробнее в [5]), но перед этим пароводяная смесь

проходит через крестовину d_y25/d_y15 , на которую установлены 2 шаровых крана d_y15 №33 и №34. Перед запуском ППД после прогрева масла до 80 ℃ открываются шаровые краны №33 и №34 для слива конденсата

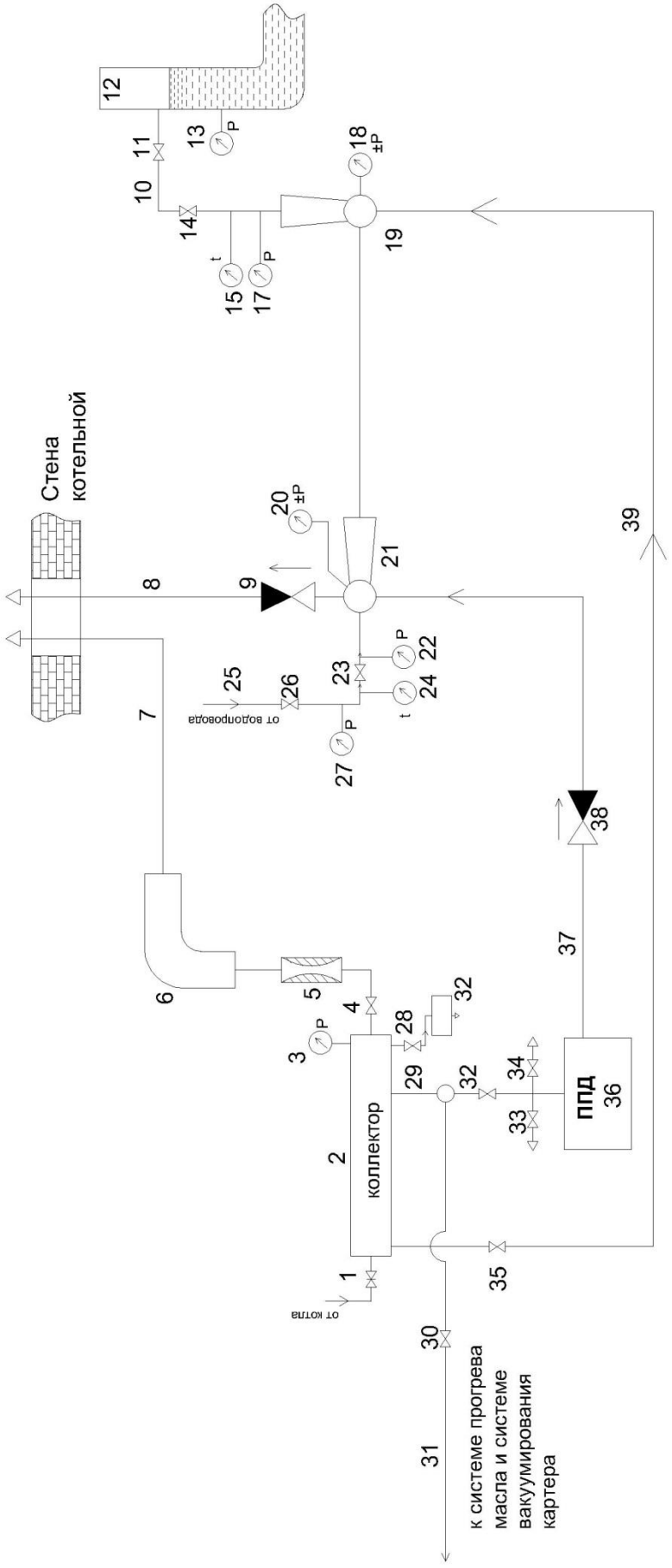

Рис.2 Тепловая схема паросиловой установки с ППД образца 2018г. Обозначение стрелочных приборов «t» означает, что это термометры, «р» -- манометр, «±р» -- мановакуумметр.

(нижний кран), и выхода пара (верхний кран) и приоткрывается пусковой кран №32 на время, пока из нижнего крана пойдет пар. После этого пусковой кран №32 закрывается, и затем закрываются шаровые краны №33 и №34. Затем коленвал ППД устанавливается на 30-45° вперед от верхней мертвой точки и резким полным открытием пускового крана №32 производится запуск ППД. Из коллектора через шаровой кран d_y25 №4 перед запуском ППД производится слив конденсата и пропуск пароводяной смеси через сопло лаваля №5 (такое же как в головке цилиндра ППД), входящее в состав эжекторного устройства слива конденсата и визуализация состава пароводяной смеси №6, от которого конденсат, а после прогрева пароводяная смесь вместе с подсасываемым атмосферным воздухом через резиновый гофрорукав№7, проходящий через отверстие в стене котельной, выхлапывается в атмосферу. Это производится пока на выходе и сопла лаваля будет видна белая однородная струя пароводяной смеси, без струи воды. Затем производится дросселирование пара путем прикрытия задвижки №1 до того момента, когда из сопла лаваля будет выходить голубая струя пара (при этом, давление по манометру №3 примерно 3кг/см^2 при давлении в паровом котле котельной около 8 кг/см^2). После чего производится запуск ППД, как описано выше, при открытом кране №4. Дальнейшие манипуляции для выхода ППД с электрогенератором на режим производились согласно инструкции 2017г.(приложение 1).

Описанная часть тепловой схемы паросиловой установки с ППД является неизменной с 2011г., когда была создана эта паросиловая установка, что отражено в [5].

В 2018г. была создана новая система утилизации выхлопной пароводяной смеси ППД. Выхлопная пароводяная смесь из выхлопного патрубка ППД №36 проходит через резиновый гофрорукавd_y76 №37 в поворотный обратный клапан d_y80, V 302-080, изготовитель ZetkamaSp. z.o.o., №38. К этому обратному клапану подсоединенакрестовина d_y50, на базе которой создан эжектор №21.

Давление на входе в смесительную камеру этого эжектора замерялось мановакуумметром №20. Выхлопная пароводяная смесь ППД в этом эжекторе была подсасываемой средой. Рабочим телом в этом эжекторе была водопроводная вода. Трубопровод этой воды подсоединялся через резиновый шланг d_y50 №25к шаровому крану d_y40 №26 давление воды за которым замерялось манометром №27, а температура – биметаллическим термометром №24. Непосредственно перед эжектором устанавливался еще один шаровой кран d_y40 №23, давление воды за ним измерялось манометром №22. Это позволяло менять давление воды перед эжектором путем прикрытия крана №23 и исследовать возможность работы эжектора при уменьшении давления воды. В эжекторе выхлопная пароводяная смесь конденсировалась на струе воды и полученная теплая вода проходила эжектор №19 выполненный на базе тройника d_y50. Давление перед смесительной камерой этого эжектора замерялось мановакуумметром №18. В этом эжекторе давление и температура воды повышались и уже горячая вода, давление которой на выходе из эжектора замерялось манометром №17, а температура биметаллическим термометром №15, проходила в шаровой кран d_y50 №14.Прикрытием крана №14 повышалось давление за эжектором, замеряемое манометром №17 и одновременно контролировалось наличие/отсутствие вакуума в эжекторе №21 по мановакуумметру №20. Это было необходимо для определения принципиальной возможности подъема горячей воды на значительно большуювысоту, чем уровень воды в баке аккумуляторе горячей воды и связанным с ним расширительным баком. Далее горячая вода через пожарный рукав d_y50 №10 и шаровой кран d_y50 №11 сливалась в расширительный бак системы горячего водоснабжения №12. Уровень воды в нем контролировался манометром №13.

Необходимость обратного клапана №38 обусловлена тем, что при срыве работы эжектора водопроводная вода может заполнить полость эжектора и через выхлопной патрубок зальет не запущенный ППД, если запуск ППД производится после подачи воды в эжектор. Если запуск ППД производится до подачи воды в

эжектор, то давление перед смесительной камерой эжектора №21повысится, откроется обратный клапанd_y65,V 302 – 065, изготовительZetkamaSp.z.o.o., №9и выхлопная из ППД пароводяная смесь через резиновый гофрорукав, составленный из отрезков d_y76 и d_y100 №8, проходящий через отверстие в стене котельной уйдет в атмосферу, как это было в установке образца 2016г.[1], когда не было системы утилизации выхлопной пароводяной смеси ППД. Таким образом, отсутствие подачи воды в эжекторный конденсатор №21 в этой установке, в отличии установки 2017г., уже не может привести к аварии. То есть, экспериментальная установка стала более “дуракоупорна”.

При дальнейшей подаче воды достаточного давления в эжекторный конденсатор №21, обратный клапан №9 закроется под действием атмосферного давления из за возникновения вакуума перед смесительной камерой этого эжектора, в следствии конденсации пароводяной смеси на струе воды и последующего ухода теплой воды к другим элементам тепловой схемы, как это уже было описано. В конечном счете она сольется в расширительный бак системы горячего водоснабжения.

Оси отверстий крестовины, на базе которой создан эжекторный конденсатор №21, находятся в вертикальной плоскости. Ось подвода водопроводной воды и отвода теплой воды, горизонтальна. Ось подвода подсасываемой пароводяной смеси и отвода к обратному клапану №9 вертикальна. При этом, подвод пароводяной смеси происходит сверху а отвод к обратному клапану №9 производится снизу вертикальной водогазопроводной трубойd_y50 длиной более 0.7 метра. По этому при ошибочном закрытии шаровых кранов №14 или №11 и подводе воды в эжекторный конденсатор №21 она сольется за пределы котельной и не просочится через закрытый обратный клапан №38в не работающий ППД.

Для работы пароструйного эжектора №19 пароводяная смесь от коллектора №2 через шаровой кран d_y25 №25 и металлорукав d_y25 №39 подается в пароструйный эжектор №19. **Перед открытием задвижки №1 необходимо**

проконтролировать закрытие крана №35. Иначе при отсутствии подачи водопроводной воды пароводяная смесь может пойти в пожарный рукав №10 и выведет его из строя. Допускается работа пароструйного эжектора №19 при подаче в него конденсата из прогреваемых паропроводов. В связи с этим можно не открывать шаровой кран d_y25 №4 и периодически кратковременно открывать кран d_y20 №28, визуально контролируя состав пароводяной смеси при прохождении ей сопла малого диаметра помещенного в устройство визуализации №32 соединенное с трубопроводом слива конденсата из парового насоса при его прогреве. Кратковременность открытия определяется тем что после 2011г. по ходу выхода среды из этого трубопровода были установлены пластмассовые трубопроводы которые могут быть повреждены при длительном прохождении пара через этот трубопровод. Использование малого сопла значительно снижает шум возникающий при прогреве паропровода по сравнению с открытием крана №4.

1.4 Результаты экспериментов конца отопительного сезона 2018г.

Эксперименты 2018г. были проведены на экспериментальной установке ППД, в которой полученная в конденсаторе эжекторного типа теплая вода сливалась в расширительный бак системы горячего водоснабжения. Установлено, что система регулирования температуры воды горячего водоснабжения отрабатывает попадание в систему теплой воды без специальных организационных и технических мероприятий. Уровень воды в этом баке и баке аккумуляторе горячей воды (это сообщающиеся сосуды) на 2-2,5 метра выше выхлопного патрубка ППД. Это создавало проблемы, которые удалось решить путем применения эжекторного конденсатора (№21 на рис.2), который был струйным насосом использующим в качестве рабочей среды водопроводную воду. Его одного оказалось достаточно, чтобы поднять выхлопной конденсат ППД выше уровня воды в баке-аккумуляторе горячей воды. Однако был применен еще один эжектор о чем далее.

При создании опытно-промышленной установки, обеспечивающей освещение котельной автономно от центральных электросетей, этих проблем уже не будет так как планируется ее расположение на втором этаже котельной рядом с не используемыми сейчас бойлерами горячего водоснабжения.

В экспериментах 2018г. ППД уже работал с вакуумом в выхлопном патрубке, что должно увеличить его мощность по сравнению с его работой с противодавлением в 2017г.. Однако эксперименты 2018г. были ориентированы на дальнейшие 100-часовые испытания и проводились при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 манометрических. Именно такое давление сейчас, может быть не очень обоснованно, используется в паровых котлах котельной «Текстильщик». В связи с этим мощность одноцилиндрового отсека заметно снизилась, результаты этих испытаний сведены в таблицу 3. Рассматривая ее можно видеть сильную зависимость мощности ППД от давления пароводяной смеси перед ним (давление в коллекторе №2, измеряемое манометром №3 на рис.2).

Созданная в 2018г. экспериментальная установка, включала в себя еще 1 эжектор (№19 на рис.2), где рабочим телом был уже пар, а подсасываемой средой теплая вода из первого эжектора. Рабочим телом первого эжектора (№21 на рис.2) была вода, а подсасываемой средой выхлопной пар ППД. Применение второго эжектора с одной стороны позволяет подогреть теплую воду до состояния горячей, а с другой дает запас по подъему этой воды выше выхлопного патрубка ППД. Последнее важно с учетом перспектив прямого привода вспомогательного оборудования котельной,оси вращения которого находятся существенно ниже коленчатого вала существующей экспериментальной установки.Результаты приведенные в таблице 3 получены при работе эжектора №19на рис.2. Теоретически, увеличение вакуума в выхлопном патрубке ППД при работе этого эжектора должно увеличивать мощность ППД. Однако, 13.04.18 в 15:35 при кратковременном перекрытии подачи пара в упомянутый эжектор, напряжения показываемые вольтметрами установленными в каждую фазу возросли (таблица 4).

Таблица 3

Дата	Время	Мощность	Давление в коллекторе	Давление в котле	Вакуум в выхлопном патрубке	Вакуум в картере	Температура масла	Температура входной воды	Температура на выходе из системы утилизации	Давление воды на входе в эжектор №21	Давление воды на выходе из системы утилизации
ч.м.г.	Час:мин	кВт	кг/см^2	кг/см^2	кг/см^2	кг/см^2	°C	°C	°C	кг/см^2	кг/см^2
2.04.18	13:15	0,97	4,6 – 4,8	5,5	0,2	0,21	90	5	59	–	–
2.04.18	15:00	1,06	5,2	6,1	0,2	0,25	–	5	59	3,9	0,36
2.04.18	16:00	1,08	5,2	6,2	0,2	0,28	95	5	60	4,05	0,35
2.04.18	17:00	1,12	5,6	6,5	0,2	0,3	98	4	60	3,9	0,3-0,4
2.04.18	18:00	1,12	5,2	6,2	0,2	0,3	92	4	58	4,2	0,3
2.04.18	18:45	1,12	5,2	6,1	0,2 – 0,15	0,3	90	5	61	3,5	0,25
13.04.18	14:52	1,29	4,6 – 5,1	6	0,2	0	–	4	56	4,6	–
13.04.18	15:30	1,60	5,8	7	0,2	–	–	–	62	–	–

Таблица 4

	№ фазы		
	1	2	3
	Напряжение Вольт	Напряжение Вольт	Напряжение Вольт
Работающий эжектор №19рис.2	200	210	215
Не работающий эжектор №19рис.2	220	220	220

Это означает рост мощности ППД при отключении эжектора №19 рис.2 (мощность ламп накаливания пропорциональна квадрату поданного на них напряжения). Такой результат можно объяснить тем, что расход пароводяной смеси через эжектор №19 рис.2 примерно равенрасходу пароводяной смеси через ППД. При подаче в этот эжектор пароводяной смеси возрастает ее расход через имеющийся паропровод. Это приводит к падению давления в коллекторе №2 рис.2. Как уже говорилось, такое давление сильно влияет на мощность ППД и она падает. При отсутствии подачи пароводяной смеси в упомянутый эжектор был отмечен звонкий металлический стук в обратном клапане №38 рис. 2. При подаче пароводяной смеси в эжектор №19 рис. 2 стук прекратился.

28.03.2018 осуществлялся прогрев масла при вращении ППД электродвигателем без подачи пароводяной смеси в ППД. В 14:45 температура достигла 78℃. В это время были включены в работу оба эжектора. Это привело к вакууме в выхлопном патрубке 0,7 кг/см^2 и температуре воды на выходе из системы утилизации выхлопной пароводяной смеси 30℃, при температуре входной водопроводной воды 5℃. При включении системы вакуумирования картера вакуум в нем составил 0,3кг/см^2, то есть меньше чем в выхлопном

патрубке. Вероятно, такое соотношение имеется и при отсутствии вращения ППД перед его запуском. В связи с этим не удавалось установить коленчатый вал в положение необходимое для запуска (примерно 30 градусов после верхней мертвой точки(ВМТ)), так как он самопроизвольно вставал в ВМТ. Не желая запускать ППД при отсутствии подачи воды в эжектор №21 рис. 2, была определена возможность запуска ППД из ВМТ. Это оказалось возможным при отклонении коленчатого вала ППД в сторону его вращения и самопроизвольном его возврате в ВМТ.

2.04.2018 была предпринята попытка оценить суммарный унос масла через систему вакуумирования картера и цилиндро-поршневую группу одноцилиндрового отсека ППД за время шестичасовых испытаний. Прямой замер массы масла до испытаний и после невозможен, так как значительная часть масла остаётся на стенках картера ППД фильтре и т.д. Поэтому, перед шестичасовыми испытаниями масло было слито при температуре 80°С. Затем залито 1700 см³ растительного масла при температуре масла 28°С, равной температуре в помещения котельной. Проведены 2.04.18 шестичасовые испытания. 4.04.2018 в 16:10 после предварительного разогрева масла до 85°С, оно было слито в две прозрачные бутылки изпод кефира. 8.04.2018 вККМТспомощьюрычажныхвесовPHISICALBALANCECOPACITY 1000gsensitivity 100mg с разновесами было проведено взвешивание этих бутылок с маслом. Отстоя воды на их дне обнаружено не было. Суммарная масса этих бутылок составила

872,5 + 709,1 = 1581,6 г.

9.04.2018 было залито 1700 см³ нового растительного масла, произведён его разогрев до 82°Си слив в две другие прозрачные бутылки из под кефира. Суммарная масса этих бутылок с маслом составила:

824,73 +774,2 = 1598,93 г.

Таким образом разница масс бутылок с маслом бывшем в работающем ППД и бутылок с маслом побывавшем в картере ППД в который пар не подавалсяи включение системы вакуумирования не производилосьсоставила:

1598,93 – 1581,6 = 17,33 г.

Это значение, в первом приближении, можно считать уносом масла за 6 часов работы ППД,приняв что масса пустых бутылок из под кефира одинакова. Это действительно так: взвешивание бутылок даже с разными датами изготовления бывшего в них кефира (27.03.18 и 23.02.18) путём установки их обоих на разные чашки рычажных весов показало разницу всего 0,02 г. При этом, для эксперимента отбирали бутылки с близкой, а по возможности с одинаковой датой. Конечная это только оценка величины уноса, так как цена деления литровой мензурки с помощью которой в два этапа производилось измерение объёма заливаемого масла 10 см³. Старались чтобы на стенках мензурки при обоих заливах оставалось одинаковое количество масла (частота падения капель). Безусловно, для более точного определения уноса масла и по другим причинам, о чём в заключении,нужны сточасовыеиспытания непрерывно работающего одноцилиндрового отсека ППД. 6.04.2018 был произведён замер уровень масла залитого 4.04.2018 вместо слитого после шестичасовых испытаний. Его уровень оказался на 9,1 мм ниже верхней метки маслощупа при температуре масла 30°С. 9.04.2018 перед заливкой, как уже говорилось, нового масла и сливом предыдущего в 12:15 произведён замер его уровня по маслощупу. Уровень масла оказался на 9,8мм ниже верхней метки при температуре масла 30°С. Таким образом, за 70 часов 15 минут уровень масла в картере понизился на

9,8 – 9,1 = 0,7 мм.

То есть, не смотря на предпринятые меры масло из картера продолжало вытекать. Это не сказывается прямо при его расходе при работе ППД, так как в картере вакуум, но сказывается косвенно, так как подсос воздуха в картер приводит к усилению уноса масла. Согласно [1,табл.5] на уровне 8,6 мм ниже

верхней метки маслощупа доливка масла до уровня 100 см³ приводит к повышению его уровня на 2,8 мм, а на уровне 11,4 от верхней метки маслощупа на 4,1 см³. Для нашего случая (район 10 мм) берём среднее арифметическое, и получаем, что доливка 100 см³ приводит к увеличению уровня на (4,1 + 2,8)/2 = 3,45 мм. Таким образом, можно предположить, что утечка составила за 70,25 часов 20,29 см³,следовательно за один час вытекало 0,289 см³.

Учитывая, что шестичасовые испытания закончились 2.04.2018 в 19:05, а слив масла для взвешивания был произведён 4.04.2018 в 16:10, то есть через 45 часов, утечки масла могли составить 0,289 * 45 = 13 см³. При плотности растительного масла 0,9 г/см³, это по массе 13*0,9 = 11,7 г., что означает что за шесть часов могло утечь 11,7*6/45 = 1,56г. масла.

Таким образом, полученный унос масла за шесть часов работы ППД 17,33 г. может оказаться завышенным и, с учётом утечек, составит за шесть часов

17,33-1,56 = 15,77г.

Однако, для дальнейших рассуждений, которые в силу вышеизложенного носят сугубо предварительный характер, примем, что унос масла за 6 часов составил 18 г., то есть 3 г./час. Отметим, что в [1] верхняя граница уноса масла за 6 часов работа ППД составила 140 см³. Почти десятикратную разницу можно объяснить,во первых, большими утечками масла из картера до принятых в 2017 мер, а во вторых большей вязкостью масла применяемого в 2018 году и, кроме того, вакуум в картере при испытаниях в 2018 г. был существенно ниже чем в 2016 г. из-за более низкого давления пара подаваемого в систему вакуумирования картера. Последнее обусловлено более низким давлением в паровом котле, и о чём уже говорилось. Эта вынужденная ситуация оказалась полезной, так как отстоя воды в масле обнаружено не было. В связи с этим правильно будет поддерживать вакуум в картере на уровне 0,2 кг/см² не зависимо от давления в котле и коллекторе путём дросселирования имеющимся в вакуумной системе

шаровым краном d_y15пара подаваемого на вход эжектора вакуумирования картера.

Оценим на сколько допустимо использовать выхлопной пар ППД, конденсируя его в воде горячего водоснабжения.

Предположим, что весь унос масла уходит в выхлопной патрубок, что конечно не так. Выхлопной пар системы вакуумирования, а именно он, в основном,уносит масло в данной установке сливается в канализацию. Однако можно для экономии тепловой энергии и воды направить его в систему горячего водоснабжения, тогда приводимый ниже расчёт будет достоверен.

В разделе 1.2 данной техсправки показано, что расход водопроводной воды, отправляемой через систему утилизации выхлопного пара ППД в систему горячего водоснабжения составляет 2,06 л/сек то есть 3600*2,69 = 7448,4 л/час. Было принято, что унос масла 3 г/час = 3000 мг/час. Таким образом, концентрация масла в одном литре составляет 3000/7448,4 = 0,402 мг/л. СанПин 2. 14.1074-01[6] предусматривает нормирование содержания в питьевой воде наиболее вредных веществ, куда растительного масло не входит. Но в нём есть предельно допустимая концентрация в питьевой воде малеиновой кислоты 1 мг/л. Эта кислота относится к классу жирных кислот. Растительное масло состоит из триглицеридов других жирных кислот, вероятно менее вредных и не нашедших отражения в упомянутомСанПине. Таким образом, даже если вместо растительного масла была бы использована наиболее вредная из жирных кислот малеиновая кислота, то её концентрация была бы почти в два с половиной раза ниже максимально допустимой. Это означает допустимость отправки выхлопного пара вакуумирования картера в систему горячего водоснабжения с целью экономии тепловой энергии и воды. Однако, для перестраховки в разделе 1.5 даннойтехсправки будем считать, что такой выхлопной пар уходит (естественно в виде конденсата) в канализацию.

Таким образом, в 2018г. была оценена величина уноса уже растительного масла, которая составила менее 18 грамм за 6 часов работы ППД, при мощности ППД 1,8 кВт, т.е. удельный расход масла составил 1,66 г/кВт*ч, в то время как удельный расход масла на угар отечественных дизелей колеблется от 9 до 1г/кВт*ч[3].Но 1 г/кВт*час это расход масла очень большого дизеля ЧН 36/46 с диаметром поршня 360 мм и его ходом 460 мм [3]. У дизелей обычно не менее 3 компрессионных поршневых колец, в то время как исходный УД1 имеет их только 2. Поэтому этот результат испытаний можно считать очень хорошим. Кроме того, удалось добиться отсутствия отстоя деэмульгированной воды.

1.5. Консервативная оценка экономической эффективности применения ППД в котельной «Текстильщик»

Исходные данные:

1) Тариф на электроэнергию 5,3руб/кВт*час ,включая НДС;
2) Себестоимость тепловой энергии 1200руб/Гкал;

3)Стоимость исходной водопроводной воды 21,44руб/$м^3$,включаяНДС;

4) Стоимость соли для химводоподготовки4550руб/тонна(4,55 руб/кг),включая НДС;
5) Стоимость технического растительного масла 140руб за кг. в бочке 225кг. ,включая НДС.
6) Давление в паровом котле 6 кг/см² манометрических. Это реальное давление в котельной “Текстильщик”, что не очень обосновано (консервативный вариант: экономические показатели будут выше при давлении 7 кг/см² и тем более 8 кг/см²).

Расчетные исходные данные.

1) Оценка стоимости химводоподготовки кубометра воды.

   На одну регенерацию фильтра затрачивается 200 кг соли. Производительность фильтра между регенерациями 250-300 м³. Консервативно берём 250м³. Тогда на кубометр воды затрачивается

200/250 = 0,8 кг соли стоимостью 0,8 * 4,55 = 3,64 руб. Будем в первом приближении считать, что это цена водоподготовки кубометра воды.

2) Оценка расхода тепловой энергии и физической воды на работу эжектора системы вакуумирования картера, критическое сечение его сопла имеет диаметр 2 мм.

В существующей экспериментальной установке выхлоп из системы вакуумирования картера уходит в канализацию. В данном разделе принято, что это так и будет в опытно-промышленной установке.

В разделе 1.4 показано, что без подачи пара в ППД и работе эжекторов №19 и №21 на рис. 2 вода на выходе из системы утилизации имела температуру 30°С, а на входе водопроводная вода имела температуру 4°С. В разделе 1.2 определен расход воды через сопло эжектора №9 на рис. 1 2,069 литров/сек ≈2 кг/сек. Отсюда можно определить тепловую мощность системы утилизации в этом режиме, приняв теплоемкость воды 4,19 кДж/(кг*°С):

4,19*2*(30-4) = 217,88кВт.

Сопло эжектора №19 рис. 2, через который проходила пароводяная смесь имеет критический диаметр 10 мм, так как сопло эжектора системы вакуумирования картера имеет критический диаметр 2 мм, то площади критических сечений этих сопел отличаются в$(10/2)^2$ = 25 раз. Приняв, что давление пароводяной смеси перед этими соплами одинаково, получаем тепловую мощность затрачиваемую системой вакуумирования картера 217,88/25 = 8,71 кВт = 0,00749 Гкал/час. Таким образом, на работу одного эжектора системы вакуумирования картера затрачивается 0,00749 Гкал/час.

Определение расхода физической воды на работу такого эжектора представляет большие сложности, так как нет расходных характеристик сопла лаваля работающего на пароводяной смеси. Кроме того, нет степени сухости пара пароводяной смеси вырабатываемой паровым котлом

ДКВР10-13 при давлениях в нём существенно ниже номинального (13 кг/см^2).

Известно, что при давлении пара в паровом котле 8 кг/см^2 манометрических и пропуске пароводяной смеси через сопло лаваля при полностью открытой задвижке подачи пароводяной смеси в коллектор ППД из этого сопла летит белая непрозрачная струя, так как, вероятно, за время пребывания в сопле не успевает произойти равновесного процесса испарения воды, подобно тому как в сопле жидкостного ракетного двигателя не успевает пройти релаксация продуктов сгорания. Приприкрытия этой задвижки до давления в коллекторе 3кг/см^2 манометрических пароводяная смесь за время прохода по трубопроводам успевает релаксировать и на выходе из упомянутого сопла получается прозрачная струя голубого цвета. Это означает, что оставшиеся капли воды уже являются мелкодисперсными и концентрация их невелика. При дальнейшем дросселировании струя становится прозрачной и бесцветной. Приняв, что после изоэнтальпийного процесса расширения пара в задвижке, а потом в сопле лаваля получается насыщенный пар с абсолютным давлением 1 кг/см^2 (0кг/см^2 манометрических) и степенью сухости равной единице, можно от точки пересечения изобары 1 бар и линии насыщения H-Sдиаграммы водяного пара провести горизонтальную линию изоэнтальпы до пересечения с изобарой 9 бар (примерно 8 кг/см^2 манометрических) и в этой точке H-Sдиаграммы определить степень сухости по имеющимся на ней линиям постоянной сухости. Эта величина составила 0,95 , при этом величина энтальпия вдоль упомянутойизоэнтальпы 2680 кДж/кг. По тепловой мощности этой величине можно определить расход физической воды. Однако для увеличения этого расхода, чтобы исключить ее занижение, примем степень сухости 0,61. Это последняя линия на H-Sдиаграмме имеющая точку пересечения с изобарой 1 бар. Энтальпия в этой точке только 1800кДж/кг.

Тогда часовой расход физической воды для работы эжектора системы вакуумирования картера составит:

$G_в$ = 8,71*3600/1800 = 17,42 кг/час ≈ 17,4 л/час = 0,0174 м^3/час.

3) Оценка мощности 4х цилиндрового ППД создающегося путём конвертации двух двухцилиндровых двигателей УД2.

Оценивать будем консервативно рассматривая мощность, которая может быть при давлении в паровом котле 6 кг/см² манометрических (при более высоком давлении она будет значительно больше). Тогда согласно таб. 3 мощность на лампах накаливания одноцилиндрового отсека существующего ППД 1,29 кВт при работающем эжекторе №19 рис. 2. при его отключении мощность возросла, что дало рост напряжения табл. 4. Учитывая, что мощность ламп накаливания пропорциональна квадрату напряжения, определим ее величину при отключении эжектора №19 рис. 2. Мощность увеличилась в $\frac{220}{\sqrt{\frac{200^2+210^2+215^2}{3}}} = 1{,}055$и составила 1,29 * 1,055 = 1,36 кВт.

4х цилиндровый ППД будет иметь мощность не менее 1,36 * 4 = 5,45 кВт. Это именно консервативная оценка так как использовался асинхронный электрогенератор, созданный на базе общепромышленного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя мощностью 3 кВт. Величина КПД такого электрогенератора при половинной мощности существенно ниже планируемого к применению синхронного электрогенератора. Кроме того, планируется переход на более совершенную головку цилиндра с газодинамическим устройством, что приведет к увеличению мощности. Использование золотника вместо газодинамического устройства для реализации самостабилизации частоты вращения приведет к увеличению площади рабочего цикла, что также увеличит мощность. Однако, для дальнейших расчетов будем ориентироваться на мощность 5,45 кВт. Тогда при работе

электрогенераторной установки с ППД 8000 часов в течении года будем иметь экономию на электроэнергии при тарифе на нее 5,3 руб/(кВт*час).

5,45 * 8000 * 5,3 = 231080 руб.

Вся тепловая энергия выхлопного пара ППД полезно используется, таким образом, затраты тепловой энергии равны полученной механической энергии. При КПД синхронного электрогенератора ЕСС-52-4 электрической мощностью 5кВт 80,2% [7] годовая выработка механической мощности, равная затраченной за год тепловой энергии составит:

5,45 * 8000/ 0,802 = 54364,1 кВт*час = 54364,1 * 860 = 46753117 ккал = 46,75 Гкал

На всякий случай, примем потери равные 10%, например через теплоизоляцию, тогда затраты тепловой энергии на работу самого ППД составят 46,75 * 1,1 = 51,43 Гкал. При себестоимости тепловой энергии 1200 руб/Гкал ее стоимость за год составит:

51,43 * 1200 = 61716 руб.

Кроме того, тепловая энергия затрачивается на работу системы вакуумирования картера 0,00749 Гкал/час, то есть за год будет затрачено:

0,00749 * 8000 = 59,92 Гкал

и ее стоимость составит:

59,92 * 1200 = 71904 руб.

Из системы вакуумирования картера в канализацию уходит 0,0174 $м^3$/час физической воды , то есть за год уйдет 0,0174 * 8000 = 139,2 $м^3$ воды. При ее стоимости 21.44 руб./$м^3$ годовые затраты на нее составят 139,2 * 21,44 = 2984,4 руб.

Но это хим. подготовленная вода и на каждый ее кубометр затрачивается 3,64 руб., таким образом.годовые затраты на хим. водоподготовку воды использованной в составе пароводяной смеси в системе вакуумирования картера составят:

139,2 * 3,64 = 506,71 руб.

Выхлопная из ППД пароводяная смесь полезно используется в системе горячего водоснабжения, в том числе и физическая вода. Однако эта вода прошла химводоподготовку и затраты на нее бесполезно теряются в системе горячего водоснабжения. Определим эти затраты.

В разделе 1.2 показано, что тепловая мощность пароводяной смеси, проходящий через ППД 0,275 Гкал/час. Но эти эксперименты проходили при давлении в паровом котле около 8 кг/см^2, а рассматривается вариант давления в паровом котле 6 кг/см^2. 07.04.2017 в 15:30 при давлении в паровом котле 8,2 кг/см^3, давление в коллекторе было 7,2-7,8 кг/см^2, в среднем 7,5 кг/см^{2}манометрических. 13.04.2018 в 14:52 давление в паровом котле было 6 кг/см^2, а в коллекторе 4,6 – 5,1 кг/см^2, в среднем 4,85 кг/см^2 манометрических. Считая, что в сверхкритическом режиме для пароводяной смеси расход пропорционален абсолютному давлению в коллекторе, имеем уменьшение тепловой мощности пароводяной смеси в 2018г. по сравнению с 2017г., проходящей через ППД в (7,5 +1)/(4,85+1) = 1,45 раз. Таким образом, тепловая мощность пароводяной смеси, проходящей через ППД при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 составит 0,275/1,45 = 0,19 Гкал/час = 794086 кДж/час. Расход физической воды определим также, как это сделано в п.2 расчетных исходных данных. Приняв, с большой перестраховкой, энтальпию пароводяной смеси 1800 кДж/кг имеем расход физической воды 794086/1800 = 441 кг/час ≈ 0,45 м^3/час.

За год (8000 часов) через ППД пройдет пароводяная смесь эквивалентная:

0,45*8000 = 3600 м^3 воды.

Стоимость ее химводоподготовки составит:

3600*3,64 = 13104 руб.

Это через одноцилиндровый отсек, через 4-ре цилиндра рассматриваемого ППД пройдет в 4 раза больше пароводяной смеси и затраты на ее водоподготовку составят:

13104*4 = 52416 руб.

Будем считать, что после герметизации картеров для рассматриваемого ППД будет достаточно одной системы вакуумирования картеров.тогда затраты на тепловую энергию для вакуумирования картеров рассматриваемого ППД составят 71904 руб., затраты на физическую воду 2984,4 руб. и на ее химводоподготовку 506,71 руб.

Годовой расход растительного масла, при его часовом расходе на 1 цилиндр 3 г/час = 0,003 кг/час составит для 4-х цилиндров:

8000*0,003*4 = 96 кг.

При стоимости этого масла 140 руб/кг, годовые расходы на него составят 96*140 = 13440 руб.

Таким образом годовые эксплуатационные расходы на 4-х цилиндровый ППД составят:

52416+71904+2984,4+13440+61716 = 202460,4 руб.

При этом, годовая экономия на оплату электроэнергии составила:

231080 руб.

Таким образом, использование существующей конструкции одноцилиндрового отсека ППД для создания электрогенераторной установки на базе 4-х цилиндрового ППД с применением асинхронного электрогенератора при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 и сливе в канализацию пароводяной смеси, используемой для работы системы вакуумирования картера экономически не целесообразно.

Для большей наглядности сведем полученные эксплуатационные затраты в таблицу 5.

Таблица 5

Годовые эксплуатационные затраты наэлектрогенераторную установку с 4-х цилиндровом ППД с асинхронным электрогенератором и с головками цилиндра образца 2009г. электрической мощностью 5,45 кВт при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 манометрических

Вид затрачиваемого материального ресурса	Величина затрачиваемого материального ресурса	Стоимость затрачиваемого материального ресурса
Тепловая энергия перешедшая в электрическую и потерь в ППД	51,43 Гкал	61716 руб.
Тепловая энергия затраченная на работу системы вакуумирования картера	59,92 Гкал	71904 руб.
Физическая вода ушедшая в связи с работой системы вакуумирования картера	139,2 м^3	2984,4 руб.
Затраты на химводоподготовку воды ушедшей в связи с работой системы вакуумирования картера	139,2м^3	506,7 руб.
Затраты на химводоподготовку сконденсировавшейся пароводяной смеси ушедшей в систему горячего водоснабжения	3600 м^3	13104 руб.
Масло растительное	96 кг	13440 руб.
Итого	-	202460,4 руб.

При повышении давления в паровом котле до 8 кг/см^2 мощность одноцилиндрового отсека существующей конструкции возрастет как минимум до 2,13 кВт на лампах накаливания с использования даже асинхронного электрогенератора с низким КПД (опыты 2016г.[1]). Как

минимум, потому что это была работа ППД с выхлопом в атмосферу, а теперь на выхлопе будет вакуум. То есть существующее конструктивные решения дадут мощность 4-х цилиндрового ППД 4*2,13 = 8,52 кВт и экономия на электроэнергии составит:

8,52*8000*5,3 = 361248 руб.

Использование выхлопа системы вакуумирования картеров в системе горячего водоснабжения, или замены эжектора вакуум насосом исключат годовые затраты в:

71904+2984,4+506,7 = 75394 руб.

О целесообразности ухода от существующей конструкции головки цилиндра одноцилиндрового отсека ППД образца 2009г. в заключении.

Заключение.

В данной технической справке рассматривались вопросы смазки ППД полученного конвертацией тронкового ДВС. Подобрано растительное масло достаточной вязкости, решены вопросы отсутствия воды в нём путём подогрева масла и вакуумирования картера. Решена проблема уноса масла при вакуумировании картера. Площадь подогревающей гофротрубы, расположенной внутри картера, оказалось недостаточной (масло перегревалось на её поверхности и темнело). Поэтому было признано целесообразным в дальнейшем изменить систему подогрева, используя специальный фрезерованный поддон, закреплённый под картером,через который пропускается пароводяная смесь более низкого давления и, следовательно, температуры, так как площадь нагрева будет на порядок больше.

В рамках описанной в технической справке НИР были проведены в несколько этапов работы по включению электрогенераторной установки с одноцилиндровым отсеком ППД в тепловую схему котельной. Создана и проверена в работе система утилизации выхлопной пароводяной смеси ППД для использования тепловой энергии этой смеси в системе горячего

водоснабжения в условиях когда выхлопной патрубок ППД находился на 2-2,5 метра ниже уровня воды в баке-аккумуляторе горячего водоснабжения.

Таким образом, в основном решены технические вопросы применения ППД в котельной “Текстильщик”.

Для оценки экономической эффективности достоверных данных, в частности о расходе пароводяной смеси на систему вакуумирования картера получено не было. Поэтому необходимые данные для оценки экономической целесообразности получены косвенным путём и использованы те их предельно возможные величины, которые максимально ухудшают экономические показатели. При этом реальные величины могли оказаться в разы меньше.

Для оценки экономической эффективности рассматривалась работа ППД при давлении пара в паровом котле 6 кг/см² манометрических, при котором экономические показатели более низкие по сравнению с таким давлением 8 кг/ см².

Доказана возможность использования выхлопной пароводяной смеси из системы вакуумирования картера в системе горячего водоснабжения. Тем не менее, при оценке экономической эффективности рассматривался вариант уноса этой смеси (вместе с тепловой энергией и физической водой) в канализацию, что существенно снижало экономическую эффективность применения ППД.

Мощность при оценке экономической эффективности бралась по результатам экспериментов при давлении пара в паровом котле 6 кг/см^2, при этом угловое расположение распредвала и коленвала друг относительно друга не оптимизировалось, также не подбирался зазор в клапанах. Эти мероприятия могут значительно увеличить мощность существующего одноцилиндрового отсека ППД и улучшить экономическую эффективность.

Тем не менее, даже при таком подходе оказалось, что экономия годовых затрат на электроэнергию всё же несколько выше годовых эксплуатационных расходов на работу ППД. Но этого не достаточно для экономической целесообразности, хотя может быть интересно с точки зрения безопасности работы котельной в условиях падающей надёжности электроснабжения от центральных электросетей (проход “миганий” без остановки котлов).

Для более достоверного определения экономической целесообразности необходимо ОАО “Теплосеть” принять решение о допустимости / недопустимости использования выхлопной пароводяной смеси из системы вакуумирования картера в системе горячего водоснабжения и определиться при каком давлении в паровом котле будет работать ППД (6, 7 или 8 кг/см²). С учётом этих решений мы проведём эксперименты с существующим одноцилиндровым отсеком ППД в отопительный сезон 2018/2019 г.г. (когда будет работать котёл №1) направленные на получение исходных данных для достоверного определения экономической целесообразности.

Конструкция газодинамической головки цилиндра существующего одноцилиндрового отсека ППД была разработана в 2009 г. Эта разработка основывалась на представлениях о сверхзвуковом течении газа, а не пароводяной смеси (таких данных в литературе нет). В 2011 г. в рамках контракта по программе “Старт” М.К. Лаврухиным с нашим участием были проведены эксперименты с пароводяной смесью на физической модели головки цилиндра. Они дали данные по проектированию оптимальной именно для пароводяной смеси головки цилиндра. Для изготовления такой головки у нас тогда не было организационных и финансовых возможностей и, главное, перспектив для её испытания. Сейчас гл. инженер рассматриваемого в даннойтехсправке проекта С.О. Шкарупа. Он заведующий учебной-научной лабораторией технологического оборудования и оснастки при ККМТ. Для неё МГОТУ

приобретён современный станок с ЧПУ. Под руководством С.О. Шкарупа студент ККМТ, участник СКБ МГОТУ Егор Оленич стал победителем чемпионата России по WorldSkillsв компетенции “Работа на фрезерных станках с ЧПУ”. Поэтому планируется изготовление головки цилиндра одноцилиндрового отсека ППД с использованием данных М.К. Лаврухина. В результате её применения возможно существенное повышение мощности одноцилиндрового отсека ППД, даже при давлении пара в паровом котле 6 кг/см², что может сделать экономически целесообразным применение ППД и в этих условиях. Но для проектирования такой головки нужно от ОАО “Теплосеть” получить чёткое указание какое будет давление в паровом котле при работе ППД (6,7 или 8 кг/см²). Разрешённого давление в котельной “Текстильщик” 10 кг/см².

Учитывая необходимость глубокой модернизации существующего отсека ППД и по другим параметрам (фрезеровка разъёмов с целью качественной герметизации картера, замена системы нагрева и т.д.) с целью сохранения в рабочем состоянии существующего одноцилиндрового отсека ППД с асинхронным электрогенератором, будет изготовлен новый одноцилиндровый отсек ППД и по его готовности он будет установлен на месте существующей электрогенераторной установки с ППД. При этом планируется использование уже промышленного синхронного электрогенератора, а не асинхронной самоделки. Для проектирования такой установки необходимо получить от ОАО “Теплосеть” указание о допустимости или не допустимости использования выхлопной пароводяной смеси системы вакуумирования картера в системе горячего водоснабжения.

Для привода электрогенератора в перспективе предполагается использовать ППД с системой самостабилизации частоты вращения. Это означает применение вместо газодинамической головки цилиндра, головки цилиндра имеющей впускное золотниковое устройство.

Предварительные расчеты показывают, что даже при давлении в паровом котле 6 кг/см^2 мощность 4-х цилиндрового ППД будет около 12 кВт. Электрическая мощность потребляемая на освещение котельной «Текстильщик» 10 кВт. Однако на первом этапе вместо сложного золотникового устройства с электронным управлением будет использован его размерный макет, который позволит головке цилиндра созданной под золотниковое устройство работать в режиме газодинамического устройства без подвижных деталей. Такая конструкция может быть в дальнейшем применена для привода вспомогательного оборудования котельной частота вращения которого будет регулироваться дросселированием пара на входе в ППД.После начала опытно-промышленной эксплуатации электрогенератора с приводом от ППД можно будет приступить к дальнейшей автономизации котельной “Текстильщик” от центральных электросетей.

Котельная «Текстильщик» оснащена тремя паровыми котлами ДКВР 10-13, при этом круглогодично работает лишь 1 котел, обеспечивая горячее водоснабжение в летний период. Остальные 2 котла включаются только в отопительный период, при этом используются менее половины отопительного периода. Поэтому для получения наибольшей экономической эффективности целесообразно рассмотреть применение ППД для обеспечения практически круглогодичной его работы для чего вспомогательное оборудование только 1 котла работает автономно от центральной электросети. В данной ситуации, этот котел должен использоваться в первую очередь для горячего водоснабжения, которое действует 8000 час/год с остановкой котельной только на период технического обслуживания в течение менее двух недель. Для работы этого котла необходим привод дутьевого вентилятора, оснащенного в настоящее время электродвигателем, мощностью 10 кВт с частотой вращения 730 об/мин; привод дымососа, оснащенного в настоящее время

электродвигателем, мощностью 22 кВт с частотой вращения 735 об/мин; привод питательного насоса ЦНСГ 13-175. Этот насос развивает напор 175 м при расходе 13 $м^3$/час воды. Он приводится электродвигателем, мощностью 18,5 кВт с частотой вращения 2950 об/мин. Однако, данный питательный насос имеет частотный регулируемый привод с целью экономии электроэнергии, настроенный таким образом, чтобы давление за насосом было 9 $кг/см^2$, то есть напором 90 м. Поэтому частота вращения данного насоса снижена и мощность составляет 5,82 кВт.

Предполагается, что электропривод перечисленного вспомогательного оборудования котельной «Текстильщик» будет заменен на ППД. Кроме того, для обеспечения работы системы горячего водоснабжения (ГВС) независимо от сетевой электроэнергии будет применено пароструйное устройство, заменяющее насос ГВС с электродвигателем мощностью 30 кВт и бойлер ГВС.

Таким образом, в результате предполагаемого технического решения будет вытеснено 67,82 кВт электрической мощности: 5,82+22+10+30=67,82 кВт

Кроме экономии средств на оплату электроэнергии, данное техническое решение обеспечит сохранение в работе системы теплоснабжения в отопительный период при аварии в электросетях, для чего предусмотрен аварийный пароструйный агрегат (эжектор),установленный параллельно с сетевым насосом на который подается весь пар с единственного котла данной котельной, работающего независимо от центрального электроснабжения. В этом случае ГВС отключается. Это позволяет в условиях котельной «Текстильщик» при отсутствии электроснабжения обеспечить температуру обратной сетевой воды не менее +4°С (нормальная температура обратной сетевой воды +70

°С). Это означает, что не надо сливать воду из теплосети при отсутствии электроэнергии.

В разделе 4.5 диссертация В.С. Дубинина [8], выложенной на сайте www.energodub.ru , приведёнпримертехнико-коммерческого предложения применения паропоршневых двигателей на при их использования для привода вспомогательного оборудования котельной“Текстильщик” с использованием многоцилиндровых ППД, которые могут быть созданы на базе испытанного экспериментального образца одноцилиндрового отсека ППД. В этой диссертации автономизация работы одного парового котла от центральных электросетей рассмотрена подробно. Получен простой срок окупаемости, менее трёх лет. По результатам опытно-промышленной эксплуатации электрогенератора с приводом от ППД этот расчёт может быть актуализирован.

Список литературы

1. Техническая справка ООО «Энергокрафт». Проведение испытаний одноцилиндрового отсека паропоршневого двигателя в котельной «Текстильщик» ОАО «Теплосеть». Руководитель работы В.С. Дубинин, отв. исполнитель С.О. Шкарупа. Королев, 2016. — 31 с.
2. GunninghamR.G., DopkinR.J. Длины участка разрушения струи и смешивающей горловины жидкоструйного насоса для перекачки газа. — Теоретические основы инженерных расчетов, том 96, серия D, 1974, №3.— С.128-141.
3. Микутенок Ю.А., Шикаренко В.А., Резников В.Д. Смазочные системы дизелей — Л: Машиностроение, 1986.—125 с., ил.
4. Шкарупа С.О., Аракелян Э.К. Экспериментальное исследование самостабилизации частоты вращения одноцилиндрового пневматического поршневого двигателя.— Вестник Московского энергетического института,2017,№1.— С.84-91.
5. Аннотационная справка ООО «Новая энергия». Изготовление, монтаж и наладка паропоршневого двигателя привода электрогенератора. Этап №1. Разработка электрогенератора с паровым приводом, обоснование расположения ППД в тепловой схеме котельной. Тема № 11. Руководитель работы В.С. Дубинин, отв. исполнитель М.К. Лаврухин. Москва, 2011. — 35 с.
6. **СанПиН 2.1.4.1074-01.** Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М.: Рид Групп, 2012. – 127 с.
7. Справочник по электрическим машинам. Том 1., ред. Копылов И.П., Клоков Б.К. М. -Энергоатомиздат 1988. — 456 с.
8. Дубинин В.С. Совершенствование систем энергоснабжения в газифицированных регионах России на базе поршневых технологий: дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук / Национальный исслед. ун-т «Моск. энергетич. ин-т» (НИУ «МЭИ»). — М.: Б.и., 2013. — 242 с.

Примечание: данный текст отличается от утвержденного, это сделано для исключения информации содержащей ноу-хау.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

ИНСТРУКЦИЯ

по запуску и остановке ППД,

снабжённого струйным смешивающим конденсационным устройством.

(вариант временного слива горячей воды в канализацию).

Перед проведением запуска проверить положение исходных органов, которые должны быть следующими:

- Кран гидранта водопроводной воды - закрыт (манометр на 8 Атм., показывающий давление воды перед входом в пусковой кран должен показывать «0»),

- Кран ДУ40 на сливной магистрали - открыт,

- Пусковой кран воды струйного смешивающего кондесационного устройства - закрыт,

- Паровой пусковой кран ППД ДУ 25 - закрыт,

- Два крана 1/2" расположенные после этого крана - открыты,

- Кран подачи пара во вспомогательную систему ППД - закрыт,

- Кран подачи пара в систему подогрева масла - закрыт,

- Кран подачи пара в эжекторное устройство вакууммирования картера - закрыт,

- Кран продувки паровой магистрали - открыт,

- Крайняя левая ручка конденсаторов повернута вправо, остальные две ручки должны быть в нейтральном (вертикальном) положении,

- Ящик с лампами - открыт,

- Задвижка ДУ50 подачи пара в коллектор ППД - закрыта,

- Переключатель режима ящика с лампами должен находиться в положении «звезда»,

- Все пакетные выключатели в этом ящике, кроме выключателя второго сверху ряда - выключены,

- Пакетный выключатель второго сверху ряда ламп (три лампы по 200 Вт) - включён,

- На щите управления рубильник - выключен,

- Большой пакетный выключатель справа - выключен.

Для проверки работы струйного смешивающего кондесационного устройства полностью открыть кран гидранта водопроводной воды, закрыв два крана ДУ ½” расположенных после пускового крана ППД. После этого, производится быстрое, но не резкое (примерно 1 сек) открытие пускового крана воды струйного смешивающего кондесационного устройства. При этом в течении нескольких секунд вакуумметр должен показать разряжение примерно 0,5 кгс/см2. После этого, пусковой кран воды струйного смешивающего кондесационного устройства закрывается быстро, но не резко (примерно 1 сек), и краны расположенные после парового пускового крана ППД ДУ ½” в количестве двух штук - открываются.

Подача пара от парового котла №1 осуществляется на задвижку ДУ50 коллектора ППД (ТОЛЬКО ПЕРСОНАЛОМ КОТЕЛЬНОЙ). Одновременно начинается плавное повышение давление до 8 кгс/см2 (ТОЛЬКО ПЕРСОНАЛОМ КОТЕЛЬНОЙ). Контроль подачи пара, после подачи пара персоналом котельной, осуществляется контролем разогрева входного фланца задвижки ДУ50 . Далее осуществляется плавное открытие задвижки ДУ50. При этом из выхлопной трубы, обслуживающей контрольное сопло, выбивает воду. Это происходит примерно при достижении давления в коллекторе 2 кгс/см2. Далее давление в коллекторе повышается, путем открытия задвижки ДУ50, до 4 кгс/см2. Контролируем, в течении нескольких десятков минут, цвет выходящей струи пароводяной смеси из контрольного сопла. Цвет меняется на полупрозрачный, после чего открываем кран вспомогательных систем ППД. Для лучшего прогрева, кран контрольного сопла - закрывается, при неизменном положении задвижки ДУ 50. Это приводит к повышению давления в коллекторе. Открыв кран эжекторного устройства вакууммирования картера, проверяем наличие разряжения в картере, которое должно составлять 0,35 кгс/см2, проверяем кратковременно в течении нескольких секунд. При этом маслянный щуп должен быть вынут и на его место вставлена фторопластовая пробка. Уровень масла должен быть ниже верхней отметки и находиться выше середины между верхней и нижней отметками. После проверки вакуума в картере закрывается кран подачи пара в

эжекторноеустройство вакууммирования картера, производится очень малое открытие крана системы подогрева масла в картере, так чтобы из шланга отводящего пар, пошел пар (полностью открывать подачу пара в систему подогрева масла, при невращающемся ППД - нельзя, во избежание закоксовывания нагревательного элемента). В дальнейшем закрыть краны ½” расположенные после парового пускового крана ППД и открыть кран воды струйного смешивающего конденсационного устройства (быстро, но не резко). При этом коленчатый вал автоматически должен встать в положение ВМТ, что контролируется по положению шпоночного паза коленчатого вала, который занимает верхнее вертикальное положение. Выключить подачу воды в струйное конденсационное устройство. Открыть два крана ½” расположенных после парового пускового крана ППД и немного, до появления пара из этих кранов, открыть паровой пусковой кран ППД. Дождаться прекращения слива воды из нижнего крана, и закрыть паровой пусковой кран ППД. Закрыть вышеупомянутые два крана 1/2", открыть кран подачи воды в струйное конденсационное устройство (быстро, но не резко, примерно 1 сек). Убедиться в наличии вакуума в струйном смешивающем конденсационном устройстве (0,5 кгс/см2). Убедиться в положении коленчатого вала в ВМТ. Установить путем регулирования входной задвижки ДУ 50, давление в коллекторе 4 кгс/см2, при открытом кране контрольного сопла. После выполнения контрольного осмотра, первый номер расчёта резко открывает паровой пусковой кран ППД, при этом ППД должен начать вращение. Сразу после открытия парового пускового крана ППД, первый номер полностью открывает кран подачи пара в систему подогрева масла в картере и кран подачи пара в эжекторную систему вакууммирования картера. Второй номер расчёта наблюдает за ростом линейного напряжения, контролируя вольтметры. При достижении линейного напряжения в 220В, производит включение большого пакетного выключателя, расположенного справа на щите управления. При этом напряжение падает, и первый номер расчета начинает дальнейшее открытие задвижки ДУ50 подачи пара в коллектор ППД. Второй номер расчета отслеживает повышение линейного напряжения и по достижении 220В включает пакетный выключатель третьего, сверху ряда ламп (3х200Вт). Напряжение опять падает, и в дальнейшем, при достижении напряжения 220В включает пакетный выключатель пятого сверху ряда ламп (3х200Вт). Напряжение опять падает, и второй номер контролирует рост напряжения, от открытия задвижки пара в коллектор ППД, первым номером. Первый номер расчета закрывает кран контрольного сопла (это приводит к росту мощности ППД и росту напряжения). Производится включение рубильника на щите управления, после этого выключается большой пакетный выключатель, расположенный справа на

щите управления, это приводит к включению в работу электросчетчика (такое переключение необходимо для сохранения работоспособности электросчетчика при проходе переходных режимов). Можно считать ППД вышедшим на номинальный режим работы и производить замеры, контролируя уровень воды в сливном люке (в течении 20 мин после открытия пускового крана воды в струйное смешивающее конденсационное устройство, сливной люк переполняется).

Для экстренной остановки ППД, обусловленной переполнением сливного люка, необходимо выполнить следующие действия. Первый номер расчета плавно закрывает паровой пусковой кран в ППД. Частота вращения ППД уменьшается, напряжение падает. Второй номер, при достижении напряжения 100В и менее, выключает рубильник на щите управления. Сразу после того, как лампы погаснут, первый номер расчета быстро закрывает полностью паровой пусковой кран ППД и открывает полностью два крана 1/2" , расположенные после этого крана. Далее первый номер расчета, закрывает кран подачи пара в систему подогрева масла в картере, если он не был закрыт ранее (см. примечание). Потом закрывает кран подачи пара в эжекторную систему вакуумирования картера. Далее все элементы управления приводятся в исходное состояние, описанное выше.

ПРИМЕЧАНИЕ: При работе ППД необходимо отслеживать температуру масла в картере по биметаллическому термометру. В случае, если температура масла в картере достигнет 90-95 град.С, подача пара в систему подогрева масла прекращается, путем закрытия крана подачи пара в систему подогрева масла в картере.