

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики  
Кафедра теплоэнергетических систем




УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой  
д-р тех. наук, проф.

  
А.П. Левцев  
(подпись)

« 15 » 06 2020 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**  
**УСТАНОВКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ПИТАТЕЛЬНЫЕ**  
**НАСОСЫ №7 и №8 ТИПА ПЭ-580-185 САРАНСКОЙ ТЭЦ-2**

Автор бакалаврской работы:  04.06.2020 г. Р. Р. Мурсыяев  
Обозначение бакалаврской работы БР-02069964-13.03.01-12-20  
Направление 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Руководитель работы  
канд. техн. наук, доц. 11.06.2020 г.  А. Г. Ванин  
Нормоконтролер  
ст. преподаватель 05.06.2020 г.  А. А. Кузнецов

Саранск  
2020

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики  
Кафедра теплоэнергетических систем

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой  
д-р тех. наук, проф.

  
А.П. Левцев  
(подпись)

« 02 » 03 2020 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Студент Мурсякаев Руслан Ринатович

1 Тема Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8  
типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2

Утверждена по МордГУ № 1901-с от 02.03.2020 г.

2 Срок представления проекта к защите 04.06.2020 г.

3 Исходные данные для проектирования: ГОСТы, СНиПы, РД, научно-  
техническая литература по заданной теме, технические и экономические  
данные Управления эксплуатации и генерации.

4 Содержание бакалаврской работы

4.1 Основные темы и задачи бакалаврской работы

4.2 Анализ текущей схемы насосного агрегата ПЭ-580-185

4.3 Анализ существующих систем управления производительностью насосных агрегатов

4.4 Техничко-экономическое решение и обоснование

Руководитель работы

02.03.2020

дата

*Ван*

А. Г. Ванин  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

02.03.2020

дата

*[Handwritten signature]*

	Формат	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.
1					
2			<u>Документация текстовая</u>		
3					
4	A4	БР-02069964-13.03.01-12-20	Пояснительная записка	62	
5					
6			<u>Документация</u>		
7			<u>графическая</u>		
8					
9	A3	БР-02069964-13.03.01-12-20	Соотношение загрузки		
10			питательного насоса ст. №7 и		
11			блока ст. №1	1	
12	A3	БР-02069964-13.03.01-12-20	Проектная схема ЧРП с двумя		
13			энергблоками	1	
14	A3	БР-02069964-13.03.01-12-20	Потребление электрической		
15			энергии на собственные нужды		
16			до и после установки ЧРП	1	
17					
18			<u>Документация прочая</u>		
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					

					БР-02069964-13.03.01-12-20			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Мурсякаев Р.		04.06.2020		Д	3	62
Пров.		Ванин А.Г.		11.06.2020	Ведомость бакалаврской работы	ИМЭ, каф. ТЭС, з/о, 504		
Н. контр.		Кузнецов А.А.		05.06.2020				
Утв.		Левцев А.П.		15.06.2020				

## РЕФЕРАТ

Данная бакалаврская работа содержит 62 страницы машинописного текста, 11 таблиц, 5 формул, 24 рисунка.

ГИДРОМУФТА, КОТЛОАГРЕГАТ, ПИТАТЕЛЬНЫЙ НАСОС,  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, РЕГУЛЯТОР, ТУРБИНА, ЧАСТОТНО-  
РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ЭНЕРГОБЛОК.

Объектом разработки является система регулирования частоты вращения питательных насосов №7 и №8 Саранской ТЭЦ-2 филиала «Мордовский» ПАО «Т Плюс».

Цель работы – установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2.

В процессе работы рассмотрены основные показатели и характеристики питательных установок, произведена оценка их работы и режимы нагрузки, рассмотрены аналогичные технические решения, а также экономическая оценка установки преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2.

В результате проведенной работы разработана система регулирования частоты вращения питательных насосов №7 и №8 Саранской ТЭЦ-2 с использованием частотно-регулируемого привода.

Степень внедрения – система регулирования частоты вращения питательных насосов №7 и №8 Саранской ТЭЦ-2 будет принята к рассмотрению в филиале «Мордовский» ПАО «Т Плюс».

Эффективность разработки определяется снижением расхода электрической энергии на собственные нужды, а также снижением нагрузки на электродвигатели и питающие сети за счет плавного пуска.

				БР – 02069964 - 13.03.01 – 12 - 20				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Мурсякаев Р.		04.06.2020		Д	4	62
Пров.		Ванин А.Г.		11.06.2020	Пояснительная записка	ИМЭ, каф. ТЭС, з/о, 504		
Н.-контр.		Кузнецов А.А.		05.06.2020				
Утв.		Левцев А. П.		15.06.2020				

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Основные темы и задачи бакалаврской работы	8
1.1 Краткая история и общая характеристика Саранской ТЭЦ-2 филиала «Мордовский» ПАО «Т Плюс»	8
1.2 Описание основного и вспомогательного оборудования Саранской ТЭЦ-2 филиал «Мордовский» ПАО «Т Плюс»	11
1.3 Задачи бакалаврской работы	14
1.4 Актуальность темы и степень ее разработанности	15
2 Анализ текущей схемы насосного агрегата ПЭ-580-185	17
2.1 Устройство и принцип работы насосного агрегата	17
2.2 Анализ работы питательных установок и режимы нагрузки	20
2.3 Выявленные недостатки в работе насосного агрегата	22
3 Анализ существующих систем управления производительностью насосных агрегатов	25
3.1 Гидромуфта для регулирования производительности насосов	25
3.2 Турбопривод для питательных насосов ТЭЦ	34
3.3 Частотно-регулируемый электропривод	41
4 Техничко-экономическое решение и обоснование	52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	59

## ВВЕДЕНИЕ

Частотно-регулируемый электропривод используется в системах автоматизированного управления (САУ) насосных установок, чтобы с его помощью привести в соответствие режим работы насосов с режимом работы обслуживаемой системы подачи жидкости.

Процесс регулирования осложняется несоответствием характеристик центробежных насосов и трубопроводов. Чтобы подать увеличенный расход воды по трубопроводу, напор на насосной станции надо увеличивать, а характеристики центробежных насосов таковы, что при увеличении подачи воды напор, развиваемый насосом, падает. В то же время при уменьшении подачи воды напор насоса следовало бы тоже уменьшить, а он увеличивается. Поэтому в периоды уменьшенного водопотребления работают с избыточным напором, который гасится в дросселирующих устройствах. При этом энергия, потребляемая насосами, нерационально расходуется на создание избыточных напоров.

Аналогичные явления имеют место в теплофикационных системах. Несоответствие в режимах работы насосов и трубопроводов может быть устранено изменением частоты вращения насосов. При уменьшении частоты вращения насоса уменьшается его подача воды и развиваемый им напор. При увеличении частоты вращения напор увеличивается одновременно с увеличением подачи воды.

Регулированием частоты вращения насоса его рабочие параметры приводятся в соответствие с режимом работы обслуживаемой системы. Чтобы изменить частоту вращения насоса, необходим регулируемый электропривод (РЭП). Значение частоты вращения насоса, с которой он должен работать в тот или иной момент времени, определяется системой САУ насосной установки.

Требуемое значение частоты вращения устанавливается в зависимости от многих факторов. К ним относятся: расход жидкости в системе значения

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						6
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

статического и динамического противодействия, количество параллельно работающих насосов и насосных установок, подающих жидкость в систему, и т. д.

В данной работе будет рассмотрена работа частотно-регулируемого электропривода и целесообразность установки преобразователя частоты на питательные насосы типа ПЭ 580 - 185 Саранской ТЭЦ-2.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		7



# 1 Основные темы и задачи бакалаврской работы

## 1.1 Краткая история и общая характеристика Саранской ТЭЦ-2 филиала «Мордовский» ПАО «Т Плюс»

30 июля 1951 года Совет Министров Мордовской АССР, рассмотрев предложения комиссии Минэнерго СССР, постановил: построить Саранскую ТЭЦ-2 мощностью 50 тысяч киловатт, с возможностью ее дальнейшего развития, на левом берегу р. Инсар на расстоянии 4,5 км от центра города. Изыскательские работы и проектное задание ТЭЦ выполнялись Одесским и Харьковским отделениями института «Теплоэлектропроект».

ТЭЦ-2 строилась вначале изолированно от единой энергосистемы страны из-за отсутствия в республике соответствующих линий электропередачи. Перед пуском первого турбогенератора была выполнена кабельная связь 6 кВ ТЭЦ-2-ТЭЦ-1. В 1959 году ТЭЦ-2 была подключена к Алексеевской ТЭЦ-3 (построенной для цемзавода) на напряжении 35 кВ.

Согласно утвержденному в 1952 году проектному заданию предусматривалась установка двух турбогенераторов мощностью по 25 тыс. кВт и четырех паровых котлов производительностью по 120 тонн пара в час. В качестве основного топлива предназначался каменный уголь марки «АШ» (антрацитовый штыб) Донецкого месторождения. Растопочным топливом служил мазут. Строительство было начато в 1952 году и практически завершено с вводом котла №4 в 1962 году.

Одновременно с завершением работ по первой очереди велось строительство второй очереди в составе: турбогенератор стационарный №3 мощностью 60 МВт, два паровых котла, водогрейный котел.

Топливом для паровых котлов второй очереди, также, как и для первой очереди служил донецкий уголь «АШ». Работа водогрейного котла

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		8

предусматривалась на мазуте, для хранения которого на первом поле золоотвала было построено мазутное хозяйство с двумя емкостями по 10 тыс. тонн мазута.

Технический проект третьей очереди расширения Саранской ТЭЦ-2 был утвержден Минэнерго в мае 1973 года. Этим документом предусматривалась установка двух энергоблоков с теплофикационными турбогенераторами по 110 МВт, 175 Гкал/час, двумя паровыми котлами по 500 т/час, а также двумя водогрейными котлами по 100 Гкал/час. В этом же 1973 году начаты работы по переводу действующих котлов на газомазутное топливо.

Оборудование третьей очереди вводилось в эксплуатацию в следующие сроки:

Водогрейный котел №2 - 1975 год.

Турбина №4 (паровое опробование) - декабрь 1977 года.

Блок №1 в полном объеме - 19 января 1978 года.

Блок №2 в полном объеме - в декабре 1979 года.

Водогрейный котел №3 - в декабре 1981 года.

Электростанция достигла мощности 340 тысяч киловатт и стала покрывать 57% максимума нагрузки энергосистемы.

В объем строительства третьей очереди станции входило мазутное хозяйство и газораспределительная станция (ГРС). На первой очереди золоотвала было построено мазутное хозяйство на 100 тысяч кубометров (2 бака по 10 тыс. м<sup>3</sup> и 4 бака по 20 тыс. м<sup>3</sup>). Для приемки мазута была сооружена железнодорожная эстакада на 28 цистерн. Для подачи мазута в главный корпус выполнена эстакада на железобетонных конструкциях, по которой проложены мазутопроводы и паропроводы для прогрева мазута.

Газоснабжение станции осуществляется от магистрального газопровода (55 ати), идущего на Алексеевский цемзавод. В районе с. Владимировка по титулу ТЭЦ-2 была построена ГРС для снижения давления газа до 12 ати. От нее проложен подземный газопровод до ГРП-Н, расположенного у поселка ТЭЦ-2, а затем до электростанции, где на ее территории с южной стороны построен

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						9
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

газораспределительный пункт ГРП-1, производительностью 300 тыс. м<sup>3</sup>/час. После завершения строительства ГРС, ГРП-Н и газопровода от ГРС до ГРП-1 были переданы на баланс тресту «Газпром межрегионгаз Саранск». ГРП-1 остался в ведении станции, от него по воздушным газопроводам газ подается ко всем паровым и водогрейным котлам. Перевод первых двух очередей на газ и мазут, и ввод третьей очереди на этих же видах топлива снизил экологическую напряженность. Была построена железобетонная труба высотой 150 метров с диаметром верхнего отверстия - 8,4 м. На нее были переведены газоходы от первой и второй очереди, а две трубы высотой по 80 м были разобраны.

Водоснабжение электростанции осуществляется для хозяйственно-питьевых целей и химводоочистки из артезианских скважин электростанции и Горводоканала. Для охлаждения конденсаторов турбин и пробоотборных точек оборудования используется вода р. Инсар, на которой построена плотина и насосная станция. В связи с дефицитом воды из р. Инсар, она, пройдя через конденсаторы турбин, охлаждается в градирнях и вновь используется в цикле станции. Вода из горводопровода имеет большую жесткость, что отрицательно сказывается на работе оборудования.

Электрическая часть электростанции состоит из ОРУ-110 кВ, ОРУ-35 кВ, КРУ-6 кВ, ГРУ-6 кВ и распреустройства собственных нужд (РУСН-0,4 кВ).

От ОРУ-110 кВ отходит десять воздушных линий, от ОРУ-35 кВ - четыре ВЛ-35 кВ; к ГРУ-6 кВ подключено семь кабельных линий 6 кВ, питающих близлежащих потребителей. ОРУ-110 кВ состоит из двух систем рабочих шин и одной обходной. Для связи с энергосистемой на ОРУ установлено 4 трансформатора: 2 мощностью по 80 тыс. кВА и 2 по 125 тыс. кВА.

В настоящее время Филиал «Мордовский», работающий в составе Группы «Т Плюс», объединяет генерирующие и теплосетевые активы в Саранске и Пензе.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		10

## 1.2 Описание основного и вспомогательного оборудования Саранской ТЭЦ-2 филиал «Мордовский» ПАО «Т Плюс»

Саранская ТЭЦ-2 является источником централизованного теплоснабжения в г. Саранске. ТЭЦ-2 при выработке электрической энергии отпускает тепловую энергию как в виде горячей воды для теплоснабжения жилищно-коммунального сектора и промышленности, так и в виде пара для пароснабжения промышленности.

В настоящее время Саранская ТЭЦ-2 работает в три очереди.

Первая очередь - 2 паровых котла марки ПК-19 Подольского котельного завода производительностью 150 т/ч каждый с температурой перегрева пара 540 °С и давлением 100 кгс/см<sup>2</sup>;

Вторая очередь - 2 паровых котла марки ТП-47 Таганрогского котельного завода производительностью 220 т/ч каждый с температурой перегрева пара 540 °С и давлением 100 кгс/см<sup>2</sup>;

Третья очередь - 2 паровых котла марки ТГМЕ-464 производительностью 500 т/ч каждый с температурой перегрева пара 560 °С и давлением 140 кгс/см<sup>2</sup>;

Так же имеется 1 пиковый водогрейный котёл ПТВМ-100 (производительность 100 Гкал/ч).

Третья очередь выполнена по блочной схеме и работает только на турбогенераторы ТГ-4 и ТГ-5 (Т-100/120-130-3), мощностью 110 МВт каждый. Тепловая мощность каждой блочной установки составляет 175 Гкал/ч.

Первая и вторая очередь работают на турбогенератор ТГ-2 (ПТ-65/75-90/13) мощностью 60 МВт. Со ступеней низкого и среднего давления турбин производится отбор пара для снабжения промышленных предприятий, а отработанный пар поступает в бойлерные установки, нагревающие сетевую воду, или в конденсатор.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		11

На Саранской ТЭЦ-2 установлено: четыре бойлерные установки в составе основных и пиковых бойлеров, четырёх подогревателей сетевых горизонтальных (ПСГ), один водогрейный котёл (ПТВМ), 12 сетевых насосов, четырёх подкачивающих насосов, трёх подпитывающих насосов, два деаэратора подпитки теплосети, химводоочистка подпитки тепловой сети (ХВО ПТС).

Характеристика установленного оборудования ТЭЦ-2 приведена в таблицах 1.1 - 1.9.

Таблица 1.1 - Сетевые насосы

№	Наименование	Объемный расход, м <sup>3</sup> /ч	Напор, кгс/см <sup>2</sup>	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт
1	СЭ-800-100-11	800	100	1500	400
2	СЭ-1250-140-11	1250	140	1500	630
5 - 6	KRNA-300/600-40	1250	140	1491	710
7	ЦН-1000-180-3	1000	180	1500	630
8 - 10	СЭ-2500-60-11	2500	60	1500	500
11	СЭ-2500-60-11	2500	60	1480	500
12 - 13	СЭ-2500-60-11	2500	60	1500	500
14	СЭ-2500-60-11	2500	60	1500	630
1 - 4	Д-2500-45(20НДС)	2500	45	750	400

Таблица 1.2 - Питательные насосы

№	Наименование	Объемный расход, м <sup>3</sup> /ч	Напор, кгс/см <sup>2</sup>	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт
1-5	ПЭ-270-150	300	1420	2980	2000
7-8	ПЭ-580-185	580	2030/2190	2985	5000

Таблица 1.3 - Подпиточные насосы

№	Наименование	Объемный расход, м <sup>3</sup> /ч	Напор, кгс/см <sup>2</sup>	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт
2 - 3	К 100-65-250	100	80	2940	37
5	1Д-200-90	200	90	2940	90
6	6НД-60	360	33	1460	75
7	АХ-200-150-400	315	50	1500	75

Таблица 1.4 - Деаэраторы

Наименование	Давление, МПа	Температура, °С	Производительность, т/ч	Объем бака аккумулятора, м <sup>3</sup>
ДСА-300	0,2	104	300	75
ДП-225	5	158	225	65
ДСП-500	6	164	500	120

Таблица 1.5 - Бойлерная №2

№	Наименование	Расход сетевой воды, м <sup>3</sup> /ч	Температура воды на выходе, °С	Давление в трубной системе, кгс/см <sup>2</sup>	Давление в корпусе, кгс/см <sup>2</sup>
2БО-1	ПСВ-500-14-23	1800	150	23	14
2БО-2	ПСВ-500-14-23	1800	150	23	14
2БО-3	ПСВ-500-14-23	1800	150	23	14
ПБ-2	ПСВ-500-14-23	1800	150	23	14

Таблица 1.6 - Бойлерная №3

№	Наименование	Расход сетевой воды, м <sup>3</sup> /ч	Температура воды на выходе, °С	Давление в трубной системе, кгс/см <sup>2</sup>	Давление в корпусе, кгс/см <sup>2</sup>
ЗБО-1	БО-550-3М	1800	116	14	2
ЗБО-2	ПСВ-500-3-23	1800	120	23	2,5
ПБ-3	ПСВ-500-14-23	1800	150	23	14

Таблица 1.7 - Бойлерная №4

№	Наименование	Расход сетевой воды (ном/макс), м <sup>3</sup> /ч	Температура воды на выходе, °С	Давление в трубной системе, кгс/см <sup>2</sup>	Давление в корпусе, кгс/см <sup>2</sup>
ПСГ-1	ПСГ-2300-2-8-1	3500/4500	115	8	2
ПСГ-2	ПСГ-2300-2-8-П	3500/4500	120	8	3

Таблица 1.8 - Бойлерная №5

№	Наименование	Расход сетевой воды (ном/макс), м <sup>3</sup> /ч	Температура воды на выходе, °С	Давление в трубной системе, кгс/см <sup>2</sup>	Давление в корпусе, кгс/см <sup>2</sup>
ПСГ-1	ПСГ-2300-2-8-1	3500/4500	115	8	0,3 - 2
ПСГ-2	ПСГ-2300-2-8-П	3500/4500	120	8	0,6 - 2,5

Таблица 1.9 - Характеристика котла ПТВМ-100

Параметры	Основной режим	Пиковый режим
Тепловая производительность, Гкал/ч	100	
Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	10 - 16	
Температура воды на входе, °С	70	104
Температура воды на выходе, °С	150	
Гидравлическое сопротивление при 2-х ходовой схеме, кгс/см <sup>2</sup>	0,95	
Расход воды минимальный, т/ч	800	1500
Расход воды номинальный, т/ч	1235	2140
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	2960	

### 1.3 Задачи бакалаврской работы

Целью данной работы является внедрение преобразователя частоты на

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		14

питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2. Предусматривается установка ПЧ на энергоблоки ст. №1, 2 с турбинами типа Т-100/120-130 в целях снижения затрат на собственные нужды и соответственно, увеличению отпуска эл. энергии потребителям при неизменных затратах топлива на производство электро- и теплоэнергии.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть основные показатели и характеристики питательных установок;
- произвести оценку работы питательных установок и режимы нагрузки;
- рассмотреть существующие аналогичные технические решения по сокращению потребления электроэнергии на собственные нужды и осуществлению плавного пуска эл. двигателя;
- произвести экономическую оценку установки преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2.

#### **1.4 Актуальность темы и степень ее разработанности**

Обеспечение энергоэффективности - одна из наиболее актуальных и в то же время сложных задач в настоящее время. Сокращение затрат на потребление электроэнергии - это один из методов повышения рентабельности производства и эффективной эксплуатации технологических линий. Общий анализ предприятий в самых различных областях применения показывает, что затраты, связанные с закупкой оборудования и простоем производства из-за обслуживания и ввода нового оборудования в эксплуатацию, могут быть частично компенсированы за счет экономии на потреблении электроэнергии.

Энергоэффективные технологии - одно из приоритетных направлений теплоэнергетических компаний. Самые современные методы и разработки для

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		15



обеспечения наиболее эффективной эксплуатации нашли свое применение в современном оборудовании - преобразователях частоты и устройствах плавного пуска, которые широко применяются для управления приводными механизмами насосных установок и позволяют существенно сократить потребление электроэнергии на объектах водоподготовки и водоочистки.

При этом следует учитывать, что общими принципами организации отношений в сфере теплоснабжения являются:

- обеспечение надёжности теплоснабжения в соответствии с требованиями технических регламентов;

- обеспечение энергетической эффективности теплоснабжения и потребления тепловой энергии;

Таким образом, для разработки энергоэффективной системы теплоснабжения требуется поэтапное внедрение современных технологий во всей цепочке теплоснабжения; своевременный ремонт для предотвращения появления аварийных ситуаций; создание нормативной базы по стимулированию к развитию высоких технологий в области. В связи с вышеизложенным, данную тему можно считать актуальной.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						16
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

## 2 Анализ текущей схемы насосного агрегата ПЭ-580-185

### 2.1 Устройство и принцип работы насосного агрегата

Питательный насосный агрегат ПЭ-580-185 предназначен для подачи питательной воды в котел. Общий вид насоса представлен на рисунке 2.1.

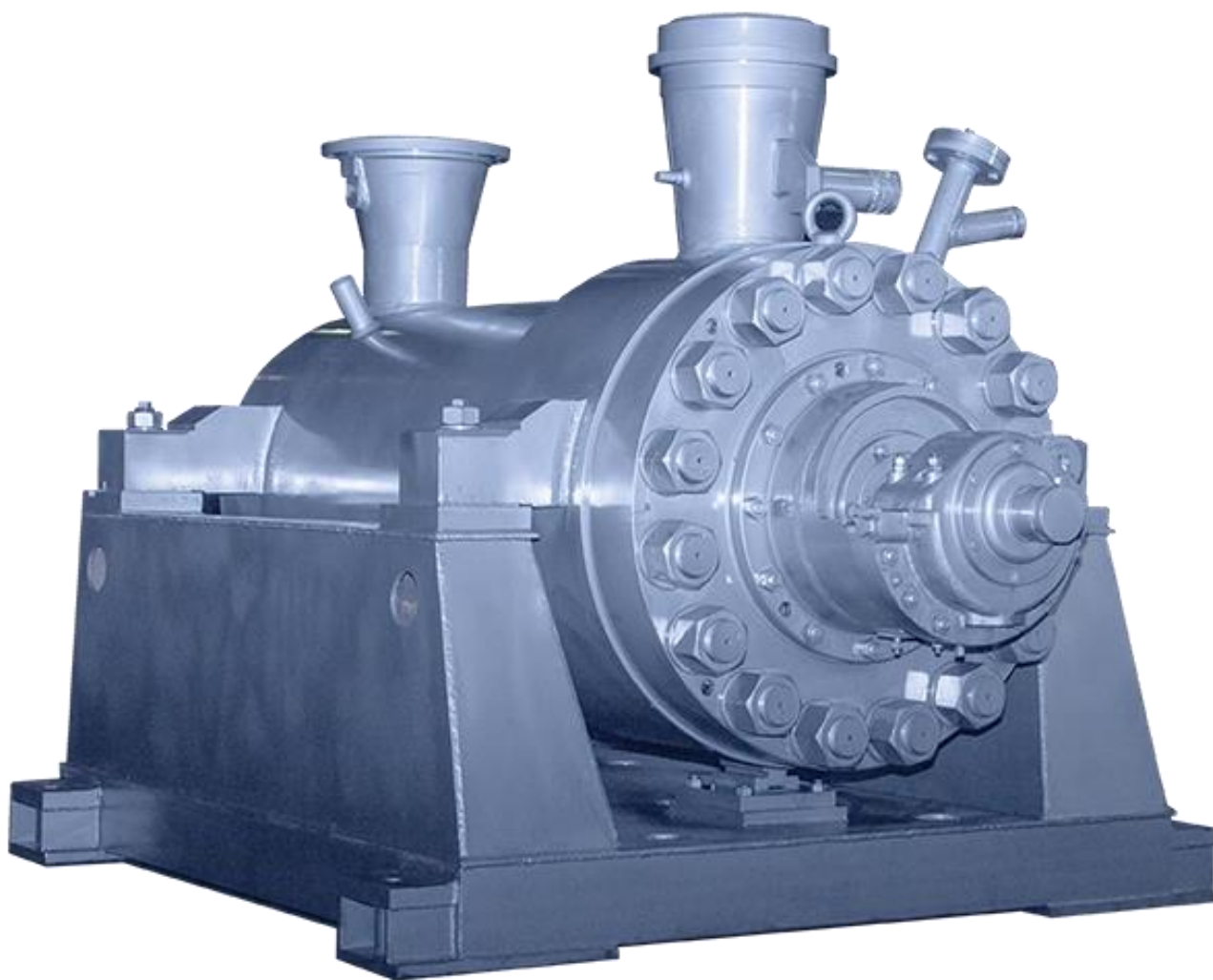


Рисунок 2.1 - Питательный насосный агрегат ПЭ-580-185

Основные технические характеристики представлены в таблице 2.1.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		17

Таблица 2.1. Технические характеристики насоса

Производительность насоса	580 м <sup>3</sup> /ч
Напор при номинальной подаче и частоте вращения	2030/2190 м.в.ст.
Допустимый кавитационный запас	не менее 15 м
Номинальная частота вращения	2985 об/мин
Температура перекачиваемой воды	160°С
Давление на входе в насос	6,7 кгс/см <sup>2</sup>
Давление на выходе из насоса при номинальных подаче, частоте вращения и температуре	191,7/206,7 кгс/см <sup>2</sup>
Мощность эл. двигателя	5000 кВт
Напряжение эл. двигателя	6000 В
Параметры отбора за III-й ступенью:	
-подача	50 м <sup>3</sup> /ч
-давление	55 кгс/см <sup>2</sup>

Питательный насос - центробежный, горизонтальный, двухкорпусной, с внутренним корпусом специального типа и односторонним расположением рабочих колес. Насос ПЭ-580-185 имеет 9 рабочих колес. Сняты 6 и 9 рабочие колеса. Конструкция насоса позволяет производить отбор питательной воды от III-ей ступени внутреннего корпуса.

Рабочее колесо I-ой ступени специальной конструкции с повышенной всасывающей способностью, остальные колеса имеют одинаковую проточную часть. Гидравлическое осевое усилие ротора, опирающегося на подшипники скольжения с принудительной смазкой, воспринимается гидравлической пятой. Концевые уплотнения насоса - щелевого типа с промежуточным подводом запирающего холодного конденсата.

Насосы приводятся в действие асинхронным электродвигателем с напряжением 6000 В. Электродвигатель имеет воздушное охлаждение по замкнутому контуру вентиляции через 4 воздухоохладителя, охлаждаемых технической водой.

Питательный насос имеет собственную маслоустановку.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		18

Маслоустановка предназначена для обеспечения смазкой подшипников агрегата и зубчатых муфт, соединяющих оборудование агрегата. Маслоустановка насосного агрегата состоит из следующих основных узлов:

- маслонасосы - один рабочий и один резервный:
  - тип Ш-8-25;
  - производительность  $Q=5,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
  - напор  $H=2,5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ ;
  - мощность двигателя  $N=2.2\text{кВт}$ ;
  - напряжение  $V=380 \text{ В}$ ;
  - число оборотов  $n=1430 \text{ об}/\text{мин}$ .
- фильтр масляный двойной;
- маслоохладитель;
- маслобак  $V=0,5 \text{ м}^3$ ;
- арматура и маслопроводы.

Для надежного маслоснабжения подшипников питательного насоса маслонасосы оснащены устройством АВР. Давление масла на входе в подшипники не должно превышать  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ . Для регулирования количества масла в подводящих маслопроводах к подшипникам устанавливаются дроссельные шайбы. С подшипников масло самотеком возвращается в маслобак ПЭН №7,8.

Уровень масла в маслобаке контролируется поплавковым указателем. Для слива отстоя масла и выпуска воды в нижней части бака имеется вентиль. Сдвоенный масляный фильтр дает возможность производить чистку одного из них во время работы насосного агрегата. Степень загрязнения фильтра контролируется по перепаду давлений на фильтре, который должен быть не больше  $1 \text{ кгс}/\text{см}^2$ .

Порядок переключения фильтров следующий: трехходовый кран на входе масла в фильтр ставится в положение «В работе оба фильтра», трехходовый кран

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		19

на выходе масла с фильтра становится в положение «В работе оба фильтра». Положение крана определяется по рискам на штоке трехходового крана.

Далее кран на входе масла в фильтры ставится в положение «В работе резервный фильтр». Кран на выходе с фильтров ставится в положение «В работе резервный фильтр». Переключение производится одним приемом, поворачивая кран на 90° в нужное положение, не останавливаясь в промежуточном положении.

## 2.2 Анализ работы питательных установок и режимы нагрузки

В 2015 году на турбинах Т-100/120-130 Саранской ТЭЦ-2 филиала «Мордовский» ПАО «Т Плюс» смонтированы и введены в эксплуатацию производственные отборы пара давлением 8-13 ата.

Это привело к работе тепловых турбин в межотопительный период с возможностью отключения группы давлением 90 ата, вырабатывающей пар давлением 8-13 ата.

Режим несения тепловой и электрической нагрузок в межотопительный период крайне неравномерен:

- в дневные часы нагрузка практически достигает максимальной;
- в ночные нагрузка на границе технологического минимума.

Особенностью работы энергоблока является то, что в его состав входит один питательный насос, который вынужден покрывать и максимальные и минимальные нагрузки.

При поперечных связях пропорциональность разгрузки можно регулировать количеством работающих механизмов, при блочных связях данный режим работы не возможен.

На рисунке 2.2 и в приложении, лист 1, показано соотношение загрузки на

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		20

примере питательного насоса ст. №7 и блока ст. №1 (турбина ст. №4 и котел ст. №7).

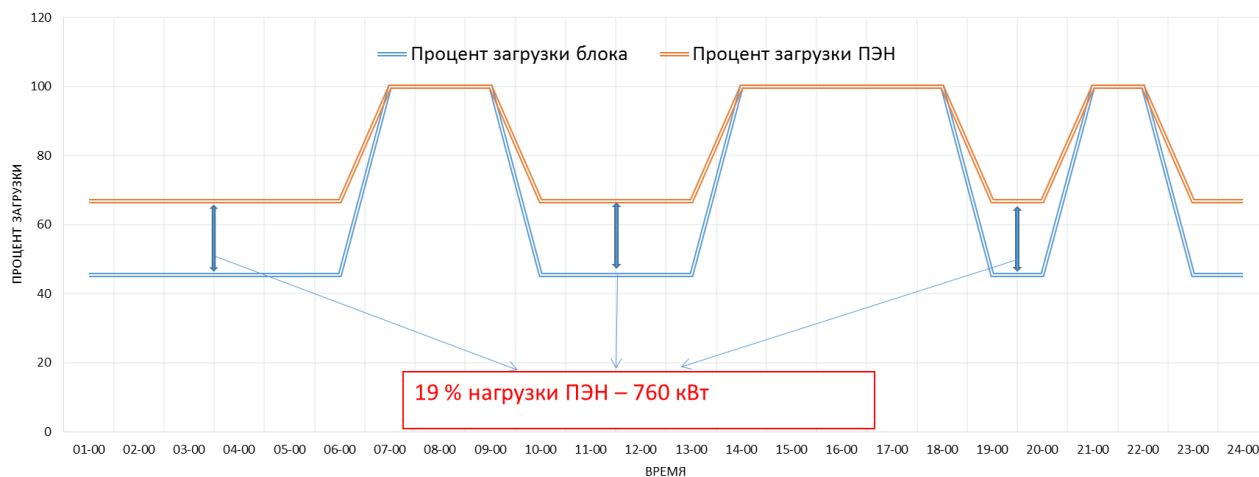


Рисунок 2.2 - Соотношение загрузки на примере питательного насоса №7 и блока ст. №1 (турбина ст. №4 и котел ст. №7).

При типовой низкой летней нагрузке энергоблока в часы ночного минимума 40 МВт и расходе перегретого пара 240 т/ч наибольшее падение давления наблюдается после регулирующего питательного клапана - это связано с потерями на механическое дросселирование.

Избежать данных непроизводительных потерь возможно только полностью открыв регулирующего питательного клапана, что наблюдается только при нагрузках питательного насоса близких к номинальным. Для сохранения необходимой производительности и напора необходимо снизить частоту вращения ротора электродвигателя.

Схема работы питательного насоса ст.№8 с регулирующим питательным клапаном представлена на рисунке 2.3.

Данная схема актуальна как для блока ст. №1, в состав которого входит турбина ст. №4 и котел ст. №7, так и для блока ст. №2, в состав которого входит

турбина ст. №5 и котел ст. №8.

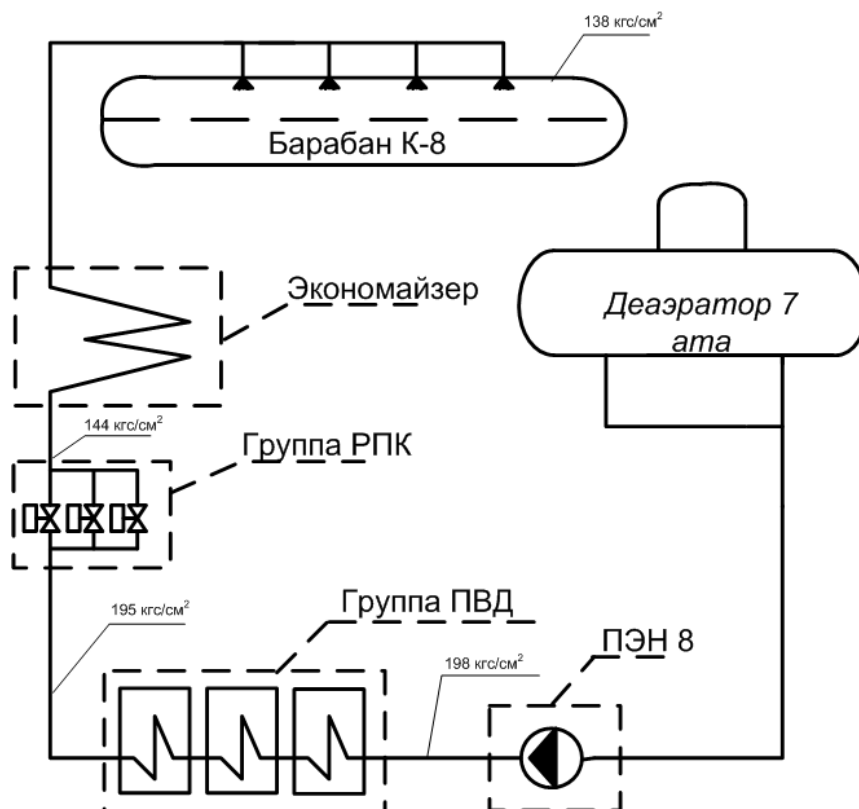


Рисунок 2.3 - Схема работы питательного насоса ст.№8 с регулирующим питательным клапаном.

### 2.3 Выявленные недостатки в работе насосного агрегата

Рассмотрев работу основного и вспомогательного оборудования блочной установки, и проанализировав потребление электрической энергии на собственные нужды, была составлена диаграмма, в которой отражены основные потребители электрической энергии в процентном отношении.

Данная диаграмма отражает текущую ситуацию и представлена на рисунке 2.4.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		22



Рисунок 2.4 - Потребление электрической энергии на собственные нужды

Как видно из диаграммы, основным потребителем является питательный насос, практически половина всей потребленной электрической энергии.

Основным недостатком синхронных и асинхронных с короткозамкнутым ротором электродвигателей является постоянная частота вращения ротора электродвигателя, практически не зависящая от нагрузки. А также:

- малый пусковой и большой спусковой ток;
- чувствительны к изменениям параметров в сети;
- для плавного регулирования скорости требуется преобразователь частоты;
- асинхронные двигатели из электросети потребляют реактивную мощность. Предел их применения определяется мощностью системы электроснабжения определённого предприятия;
- большинство пусковых токов при малой мощности системы могут создавать значительные понижения напряжения;
- для уменьшения пусковых токов необходимо использовать преобразователь частоты или устройство с плавным пуском.



Однако подавляющее большинство систем, элементами которых являются приводимые электродвигателем механизмы, работают в режимах с переменной нагрузкой, что позволяет применять преобразователи частоты (ПЧ), которые позволяют точно управлять скоростью и моментом электродвигателя по заданным параметрам в точном соответствии с характером нагрузки. Это в свою очередь, позволяет осуществлять точное регулирование практически любого процесса в наиболее экономичном режиме, без тяжёлых переходных процессов в технологических системах и электрических сетях.

Таким образом, для снижения расхода электрической энергии на собственные нужды, необходимо произвести модернизацию питательной установки.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		24

### **3 Анализ существующих систем управления производительностью насосных агрегатов**

#### **3.1 Гидромуфта для регулирования производительности насосов**

Рассмотрим эффективность применения регулируемых гидродинамических приводов для управления производительностью центробежных насосных агрегатов.

Центробежные насосы являются одним из наиболее энергоемких видов оборудования, широко представленным в промышленности, энергетике, коммунальном хозяйстве. Регулирование производительности центробежных насосных агрегатов имеет огромный потенциал экономии электроэнергии.

По данным Европейской ассоциации производителей насосного оборудования возможное снижение энергопотребления за счет регулирования скорости вращения значительно выше, чем суммарный потенциал экономии за счет таких мероприятий как: замена насосов и электродвигателей на их современные аналоги, подрезка и замена рабочих колес, параллельная установка насосов для каскадного регулирования подачи.

Кроме того, отказ от широко используемого дросселирования и переход к регулированию производительности агрегата позволяет существенно увеличить сроки службы оборудования, повысить техническую готовность и сократить потери от простоев оборудования.

Вопросы эффективности гидродинамического регулирования производительности рассматривались применительно к различным агрегатам центробежного типа. Потребность в регулировании производительности и потенциал экономии энергетических ресурсов раскрыты в [15]. Опираясь на значительный опыт внедрения гидродинамических приводов в тепловой энергетике, показаны преимущества регулирования скоростью вращения

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		25

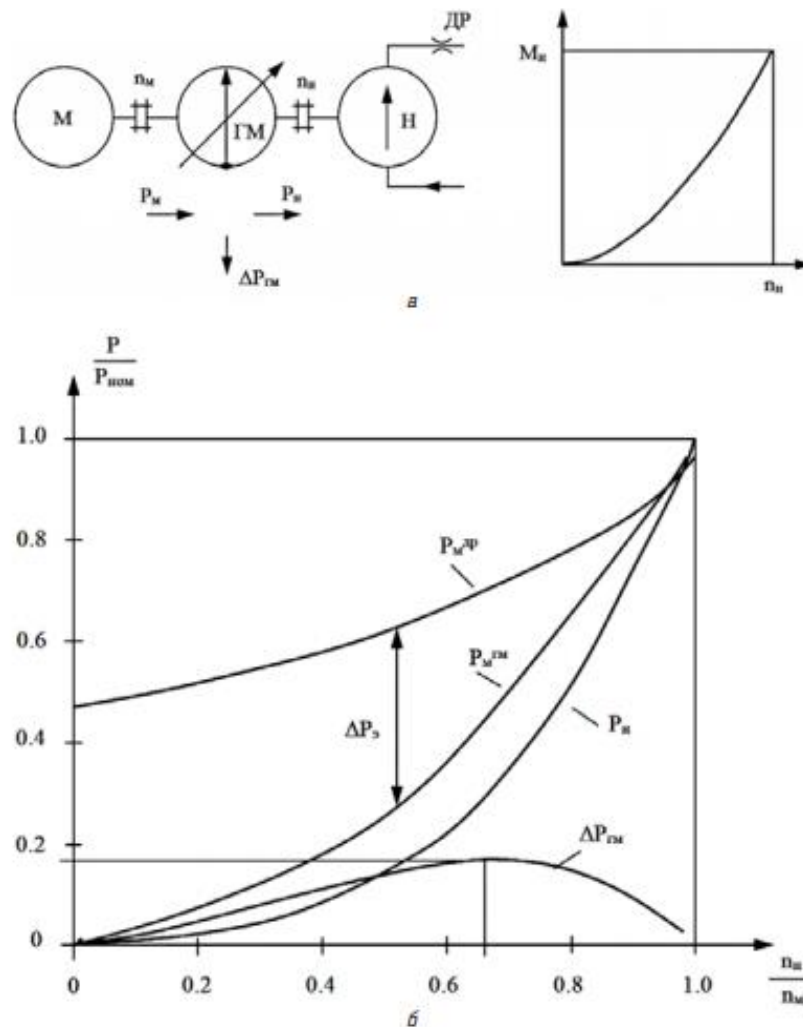
питательных и сетевых насосов теплоэлектростанций [24, 25].

Наряду с анализом эффективности управления насосными агрегатами исследованы вопросы регулирования производительности компрессоров и вентиляторов [10, 14, 22]. Ряд работ [11, 24, 31] посвящен сравнительному анализу эффективности альтернативных способов регулирования производительности: гидродинамическому и частотно-регулируемому приводам.

По результатам внедрения регулируемых гидродинамических приводов на ряде тепловых электростанций СНГ [27, 28] отмечены как преимущества регулируемых гидромуфт, так и необходимые условия успешной реализации проектов. В то же время специалисты, осуществляющие эксплуатацию насосного оборудования, хотели бы знать, какие факторы влияют на эффективность применения регулирующих приводов, от чего зависят сроки окупаемости проектов, как правильно выбрать тип привода, удовлетворяющего условиям конкретного производства.

Сравнивая способы регулирования производительности центробежных насосов следует отметить, что электронное (частотное) регулирование предполагает управление скоростью вращения электродвигателя, в то время, как гидродинамическое состоит в управлении скоростью вращения насоса при неизменной скорости вращения электродвигателя. В качестве механизма, выполняющего функцию управления скоростью вращения насоса используется гидромуфта с изменяющимся уровнем наполнения рабочей камеры. Вопросы сравнения эффективности 2-х приведенных технологий и исследование факторов, влияющих на выбор способа регулирования, рассмотрены в [14]. Значения КПД гидромуфты и частотно-регулируемого привода (ЧРП) при номинальной скорости насоса практически одинаковые и равны 95-96 %. При уменьшении скорости насоса ниже номинальной, КПД ЧРП снижается незначительно - до 92-94 %, а КПД гидромуфты более резко - до минимум 84-85 % при скорости около 2/3 от номинальной (рисунок 3.1).

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		26



а - схема регулируемого насосного агрегата с гидромуфтой; б - зависимость потребляемой мощности насосного агрегата от скорости его вращения и способа регулирования; М - мотор, Н - насос, ГМ - гидромуфта, ДР - дроссель,  $n_M$  - скорость двигателя;  $n_H$  - скорость насоса,  $P_H$  - теоретическая кривая насоса,  $P_{гм}$  - мощность на валу электродвигателя при регулировании гидромуфтой,  $P_{др}$  - мощность на валу электродвигателя при дроссельном регулировании,  $\Delta P_{гм}$  - потери в гидромуфте,  $\Delta P_э$  - разница электрических мощностей при регулировании гидромуфтой и дроссельном регулировании

Рисунок 3.1 - Баланс мощностей насосного агрегата с гидромуфтой и дросселем.

Множество проектов, реализованных в России, Украине, Белоруссии и других странах СНГ подтверждают сделанные выводы о высокой эффективности применения гидродинамического регулирования производительности центробежных насосов с высоковольтными приводами. Экономия электроэнергии при внедрении регулируемых гидродинамических приводов составляет от 15 до 30 % по сравнению с дроссельным регулированием.

Только в тепловой энергетике СНГ в приводах питательных и сетевых насосов установлено более 400 энергосберегающих гидромуфт VOITH. Отметим, что все гидромуфты были установлены в период 1980-2014 г.г. и практически все находятся в активной эксплуатации до настоящего времени. Для всех проектов получены приемлемые сроки окупаемости, которые, как правило, составляют 2-3 года только за счет снижения энергопотребления.

При этом на всех объектах отмечается также увеличение ресурса оборудования (электродвигателей, насосов, трубопроводов, клапанов и задвижек) благодаря разгруженному пуску электродвигателей, плавному ускорению и остановам насосов, демпфированию нагрузок и колебаний, отсутствию гидроударов.

Представляет интерес анализ факторов, влияющих на эффективность применения гидромуфт, выполненный на основе полученной информации о реализованных проектах и опыте их эксплуатации. Наряду с факторами, определяющими общие экономические условия или среду, в которой реализуется проект, такими как статус проекта (новое строительство, реконструкция, модернизация), величина тарифа на электроэнергию, индекс инфляции, стоимость кредитных ресурсов и др., следует выделить и проанализировать факторы, характеризующие сам объект внедрения и определяющие выбор оборудования и его стоимость.

К таким факторам относятся: - номинальная мощность и скорость вращения насоса; - коэффициент использования насосного агрегата; - режимы

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						28
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

загрузки насосного агрегата. Технические параметры центробежного насоса (мощность и скорость вращения) в решающей степени влияют на выбор типоразмера гидромуфты и, следовательно, на величину инвестиционных расходов. С другой стороны, потенциал экономии электроэнергии также зависит, прежде всего, от мощности насоса и если исходить из условия одинакового в процентном отношении сокращения энергопотребления за счет гидродинамического регулирования, то оснащение регулируемым приводом насосов большей мощности обеспечит и большую экономию электроэнергии.

Условно характер изменения инвестиционных затрат в зависимости от мощности и скорости вращения насоса показан на рисунке 3.2.

Как видно из рисунка 3.2, зависимость величины необходимых инвестиций от мощности насосов указывает на значительное снижение темпов роста инвестиционных затрат по мере увеличения мощности привода. Напротив, для частотно-регулируемых приводов характерна обратная тенденция - увеличение темпов роста затрат по мере повышения мощности насосов.

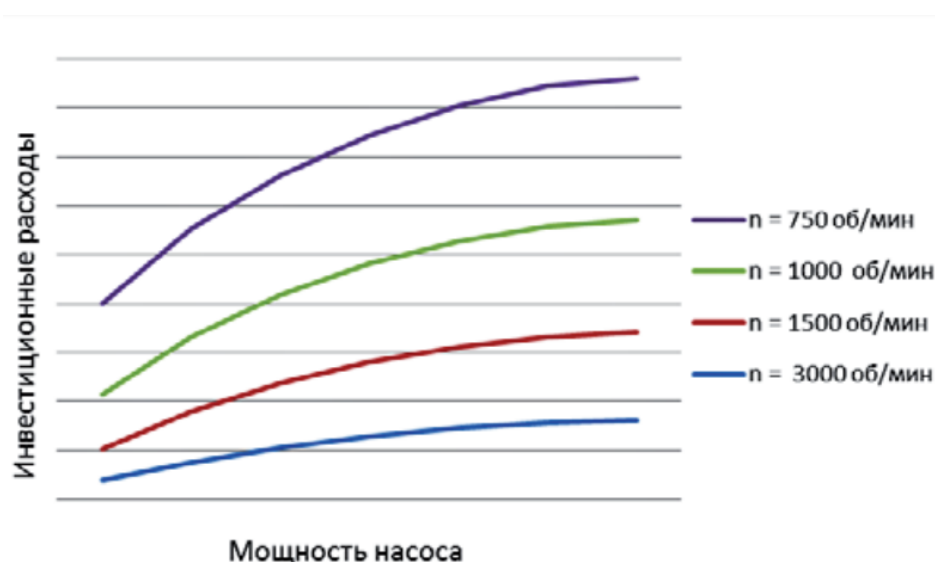


Рисунок 3.2 - Изменение потребности в инвестициях при внедрении регулируемых гидромуфт в приводах насосов различной мощности и скорости вращения

Кривые иллюстрируют также значительный рост необходимых инвестиций при уменьшении скорости насосов, что объясняется кубическим характером зависимости мощности от скорости вращения.

В этом случае, для передачи определенной мощности с уменьшенной скоростью требуется значительно увеличивать крутящий момент, а, следовательно, диаметр колес, размеры и стоимость конструкции.

Соотношение величин потребляемой электроэнергии при дроссельном управлении расходом и гидродинамическом регулировании производительности насоса, а также экономию электроэнергии в различных рабочих точках демонстрирует рисунок 3.3, полученный на основе расчетов, выполненных для гидродинамического привода питательного насоса ПЭ 720-185, установленного на Кураховской ТЭС.

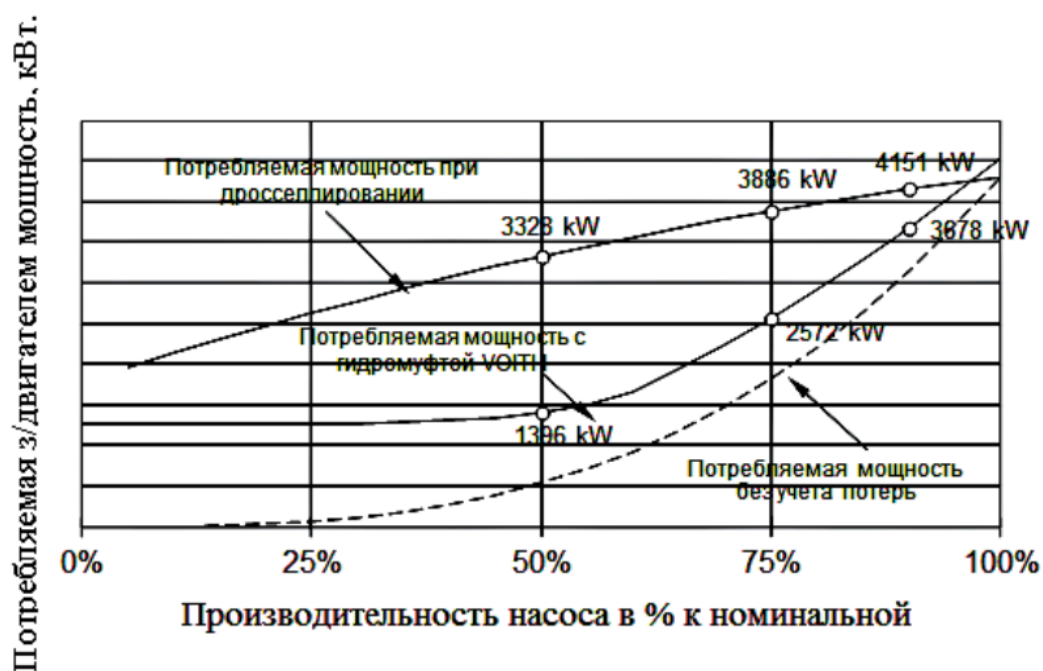


Рисунок 3.3 - Изменение потребляемой мощности при различных методах регулирования производительности центробежного насоса.

Принимая приведенные на графике данные о потребляемой мощности и

исходя из информации о распределении суточного режима использования насоса (50 % - 9 час., 75 % - 2 час., 90 % - 13 час.) рассчитаем экономию электроэнергии в сутки при переходе от дроссельного регулирования к регулированию с помощью гидромуфты:  $\Delta E_{сут} = (3328 - 1396) \times 9 + (3886 - 2572) \times 2 + (4151 - 3678) \times 13 = 26165$ , кВт-ч. Если принять коэффициент использования насосного оборудования 0,90, то годовая экономия электроэнергии составит 8595202 кВт-ч.

Принимая условие, что насосы различной мощности работают в одинаковых режимах нагрузки и с одинаковым уровнем использования, можно получить кривые изменения удельной экономии электроэнергии на единицу инвестиционных затрат кВт-ч/руб (рисунок 3.4).

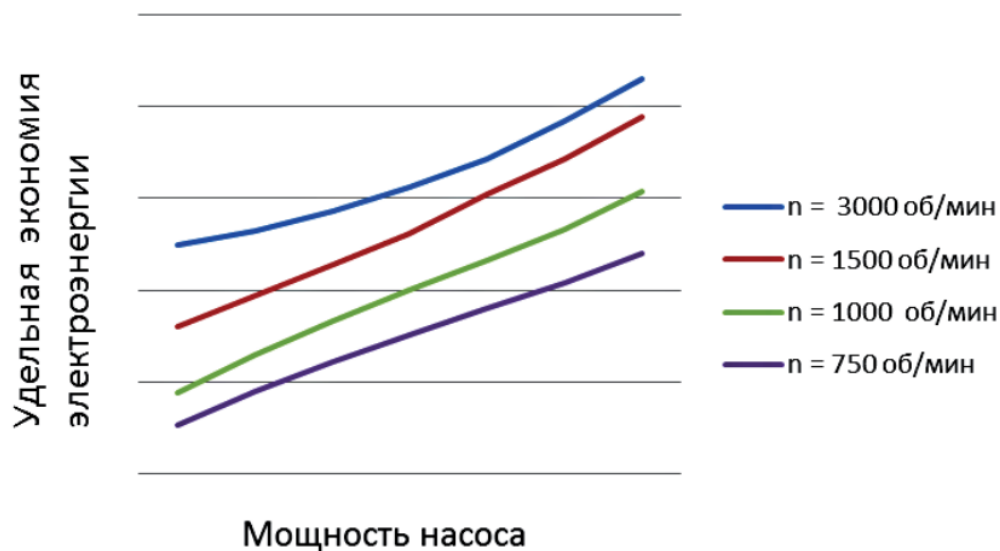


Рисунок 3.4 - Изменение удельной экономии электроэнергии на единицу инвестиционных затрат (кВт-ч/руб) в зависимости от мощности насосов

Их характер показывает значительный рост инвестиционной привлекательности проектов по мере увеличения мощности приводов, а также предпочтительность установки гидромуфт в приводах насосов с более высокой скоростью вращения (1500; 3000 об/мин).



Однако, рассмотрим в сравнении гидромуфты и ЧРП. КПД гидромуфты со снижением частоты вращения падает, поэтому ее применение целесообразно при небольшом (10-15%) диапазоне регулирования частоты вращения вниз от номинальной. При работе на пониженной частоте вращения, гидромуфта малоэффективна из-за больших потерь. При снижении частоты вращения ниже 80%, КПД гидромуфты значительно уменьшается и падает ее энергоэффективность.

Эффективность частотно-регулируемого электропривода существенно выше по сравнению с гидромуфтой независимо от диапазона частоты вращения электропривода. ЧРП сохраняет высокий КПД, хорошую жесткость механических характеристик и возможность работы в двигательном и генераторном режимах. Применение гидромуфты не уменьшает пусковой ток при запуске электродвигателя. Использование сложных гидромуфт с облегченным пуском снижает продолжительность пуска, но пусковой ток по величине не уменьшает.

Применяя схему привода с ЧРП «в разрыв», где нет практической возможности прямого пуска, бессмысленно использовать запас мощности по току на входной трансформатор системы электропитания (для прямого пуска нужен как минимум 7-ми кратный запас) и на кабели электропитания, рассчитанные на большие токи. Что снова подтверждает экономический эффект использования ЧРП в сравнении с гидромуфтой.

Применение ЧРП позволяет включить привод по схеме «электрического байпаса». В случае отказа ЧРП есть возможность переключить двигатель на сеть электроснабжения байпасным контактором. Также, если ЧРП по условиям технологического процесса должен длительно работать с номинальной частотой вращения, то с помощью «синхронного» байпаса электродвигатель переводится на сеть в режиме точной автоматической синхронизации (без бросков тока и провалов напряжения).

Гидромуфта обеспечивает работу только одного двигателя в то время, как

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						32
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

ЧРП может управлять несколькими электроприводами. Применение ЧРП в групповом электроприводе обеспечивает значительную экономию затрат на оборудование. С гидромуфтой изменение режимов работы в регулируемом и не регулируемом режимах нереализуемо. Ремонт ЧРП производится в среднем за час/полтора, и оборудование быстро вводится в работу. Отказ ЧРП не приведет к нарушению технологического процесса в отличие от отказа гидромуфты.

Даже на «дешевые» гидромуфты цены выше. А цены на такое оборудование, которое сопоставимо по возможностям регулирования с ЧРП (к примеру, могут повышать частоту больше номинала), лучше и не смотреть, чтобы не расстраиваться. Многоступенчатые муфты с переменной частотой вращения значительно сложнее турбомуфт, но допускают более расширенный диапазон регулирования. За счет применения планетарной передачи, такая муфта позволяет увеличивать выходную частоту вращения выше входной. Обычная гидромуфта снабжается электротехническим и электронным оборудованием. В нее включена электрогидравлическая следящая система для перемещения трубки, регулирующей изменение масла, с сервоусилителем и датчиком положения.

Также включена электрогидравлическая следящая система для поворота направляющих лопаток преобразователя момента с сервоусилителем и датчиком положения, двигатель переменного тока дополнительного насоса смазки, датчики (вибрации, уровня, давления, температуры, нагреватель масла и т.д). Гидромуфты снабжаются еще и системой водяного охлаждения, а мощные гидромуфты требуют значительного расхода воды. Для уменьшения токов при пуске насосных и вентиляторных установок многоступенчатые планетарные гидромуфты обеспечиваются на входном валу дополнительными устройствами, ещё более усложняющими и удорожающими такие гидромуфты с расширенным диапазоном регулирования. Следовательно, стоимость самой гидромуфты, - это еще далеко не все затраты на обеспечение её работы в составе с приводом исполнительного механизма.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		33

Сравнение полных стоимостей приобретения и владения ЧРП и Гидромуфты снова не в пользу гидромуфт. Время реагирования на изменения частоты вращения у ЧРП практически мгновенное. У гидромуфт одноступенчатой конструкции быстродействие составляет 2-4 минуты, и определяется временем, требуемым для закачки масла в рабочую зону муфты и его откачкой. Экологический аспект применения Гидромуфты заключается в утилизации отработанного масла и частой замене отработавшего масла. С ЧРП таких проблем нет.

Таким образом, применение гидромуфт для регулирования механизмов особенно на маневренных ТЭС вряд ли целесообразно как по техническим, так и по экономическим соображениям.

### 3.2 Турбопривод для питательных насосов ТЭЦ

Питательный насос может быть отнесен к основному оборудованию ТЭЦ наряду с котлом, паровой турбиной и конденсационной установкой. Эффективная работа питательных насосов и их надежность являются важными факторами для успешной эксплуатации ТЭЦ.

Для привода питательных насосов небольших мощностей обычно используют асинхронный двигатель. Электропривод прост в эксплуатации и имеет высокий КПД. Двигатели номинальной мощности 200-8000 кВт выполняются на напряжение 6 кВ. Для всех асинхронных двигателей применяется прямой пуск от полного напряжения сети.

Так как энергоблоки на ТЭЦ работают в режимах частых пусков и остановов из-за неравномерности графика нагрузки энергосистемы, то возникает необходимость в частых пусках асинхронных двигателей, на что последние не рассчитаны, особенно мощностью свыше 1000 кВт, у которых ресурс пусковых

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		34

режимов весьма ограничен.

Частые пуски асинхронных двигателей приводят к ускоренному износу обмоток статора и ротора, что увеличивает затраты на их ремонт и понижает надежность работы ТЭЦ.

Следует отметить также, что при использовании электропривода регулирование расхода питательной воды может вестись либо дросселированием, либо с помощью гидромуфты. Регулирование дросселированием крайне неэкономично и ведет к быстрому износу насоса и арматуры, поэтому на крупных блоках питательная установка снабжается гидромуфтой.

Регулирование с помощью гидромуфты экономичнее, но и здесь при низких нагрузках блока потери велики: КПД гидромуфты составляет 95-98% при полной нагрузке (что соответственно увеличивает мощность собственных нужд на номинальном режиме) и лишь 75-80% при нагрузке блока, составляющей 50% номинальной.

Для ТЭЦ с параметрами пара 140 ата характерно наличие турбин типа ПТ и Р, позволяющих получить пар давлением 13 ата на производственные нужды сторонних потребителей.

В настоящее время, как правило, из-за снижения потребности в паре такие турбины недогружены.

В этой связи при решении проблемы увеличения тепловой и электрической нагрузки ТЭЦ целесообразно использовать взамен электропривода питательного насоса турбину, пар на которую будет поступать из коллектора 13 ата, а отработанный пар подаваться в теплофикационный коллектор 1,2-2,5 ата.

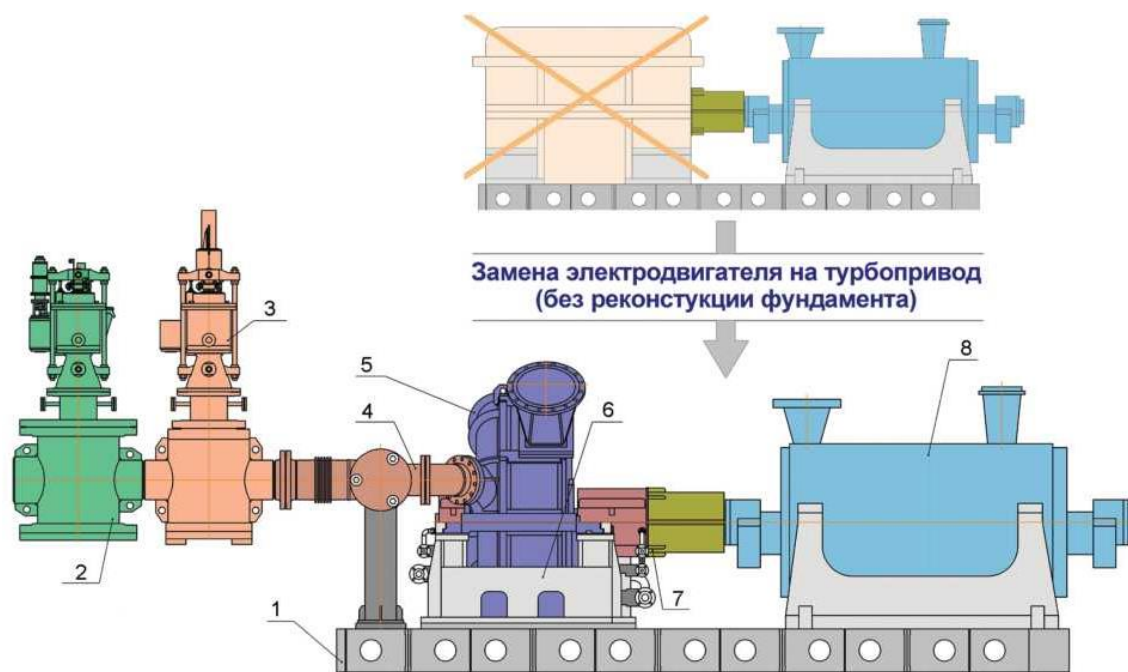
Такое техническое решение экономически выгодно, т.к. кроме дополнительной выработки электроэнергии (за счет загрузки турбин) и снижения потребления электроэнергии на собственные нужды (за счет замены электропривода питательных насосов на турбопривод) ТЭЦ получит возможность отпускать дополнительное количество тепла внешним

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		35

потребителям (за счет отработанного пара приводных турбин насосов).

Кроме того, турбопривод позволяет наиболее экономично регулировать производительность питательного насоса за счет изменения числа оборотов ротора.

На рисунке 3.5 приведена схема реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода.



1 - фундаментная рама; 2 - стопорный клапан с паровым ситом; 3 - регулирующий клапан с линейным приводом; 4 - блок компенсаторный; 5 - цилиндр; 6 - опорная система цилиндра; 7 - кожух муфты; 8 - питательный насос

Рисунок 3.5 - Схема реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода.

Для того чтобы схема с использованием турбинного привода питательного насоса была эффективнее электропривода и подходила к условиям размещения и работы на действующих ТЭЦ, турбопривод должен соответствовать следующим

требованиям:

- обладать высокой маневренностью;
- обеспечивать необходимые параметры питательного насоса на всех режимах работы котлоагрегата в течение года;
- быть экономичным на всех режимах;
- быть простым в обслуживании;
- размещаться на фундаменте питательного насоса на месте электродвигателя и не превышать его весовые нагрузки;
- не требовать схемных переключений на режимах;
- иметь достаточный запас по мощности при колебаниях давлений и температур в коллекторах;
- использовать существующую масляную систему.

В соответствии с этими требованиями для замены электродвигателей насосов типа ПЭ- 380-185/200, ПЭ-500-180 и ПЭ-580-185 разработана паровая турбина с высокоэкономичной (запатентованной) проточной частью.

Помимо высокой экономичности, разработанная турбина, в сравнении с существующими подобной мощности, имеет ряд преимуществ:

- замена литого корпуса на сварную конструкцию;
- снижение числа регулирующих клапанов до одного;
- замена масляных сервомоторов высокого давления на автономный быстродействующий электрогидравлический привод;
- уменьшение осевого габарита турбоустановки за счет минимизации числа ступеней, ликвидации валоповоротного устройства и применения малогабаритных, но весьма эффективных концевых уплотнений;
- замена традиционной баббитовой заливки в подшипниках на композитный материал на основе фторопласта, который обеспечивает высокую надежность работы, меньшие потери трения и низкий расход масла;
- применение новой проточной части позволяет работать в широком диапазоне не только начальных, но и конечных параметров пара.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		37

Все эти решения делают турбину не только малогабаритной и экономичной, но и высокоманевренной.

Конструкция турбопривода представляет собой одноцилиндровую турбину, монтируемую на существующую фундаментную раму насосного агрегата в пределах компоновки электродвигателя. Весовая нагрузка от турбопривода не превышает значения весовой нагрузки замещаемого электродвигателя.

Цилиндр турбины - сварной, имеет горизонтальный разъем, опирается двумя лапами на переднюю опору и двумя лапами на заднюю опору. Ротор турбины (жесткий) опирается на два опорных подшипника (Ø150 мм). В задней опоре также расположен упорный подшипник. На вал турбины насаживается двухвенечное колесо с рабочими лопатками I и II ряда.

Сопловой аппарат состоит из двух половин с наборными лопатками и центруется по расточке цилиндра. Лопатки соплового аппарата спроектированы с высокоэффективным профилем, разработанным для сверхзвуковых течений и имеющим минимальные потери на переменных режимах и обеспечивающим высокий КПД проточной части. В корневой части соплового аппарата выполнено лабиринтное уплотнение по рабочему колесу.

Направляющий аппарат состоит из двух половин с наборными лопатками и устанавливается в верхней и нижней половинах цилиндра. Лопатки направляющего аппарата имеют цельнофрезерованную хвостовую и бандажную части, с осевыми и радиальными лабиринтными уплотнениями.

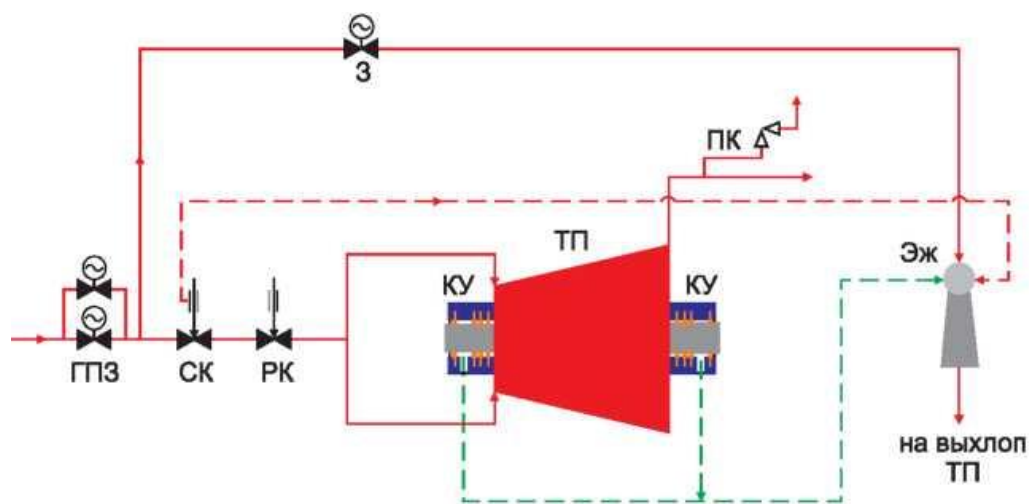
Парораспределение турбины дроссельное. Перед турбиной последовательно установлены стопорный и регулирующий клапаны (рисунок 3.6).

В корпусе концевого уплотнения, имеющего горизонтальный разъем, устанавливаются угольные сегменты плавающего типа, которые надеваются на вал. Данное уплотнение имеет ряд преимуществ: при замене не требуется

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		38

разбирать цилиндр турбины; минимальные линейные габариты; минимальные протечки пара.

Вместо традиционной баббитовой заливки в опорных подшипниках и колодках упорного подшипника применен композитный материал на основе фторопласта. В результате используемые подшипники выдерживают большую удельную нагрузку, имеют более высокую надежность работы, меньшие потери трения и расхода масла и допускают работу на другой, отличной от масла, смазывающей жидкости (например, вода). Кроме того, данный материал позволяет осуществлять выбег ротора всухую.



ГПЗ - главная паровая задвижка; СК - стопорный клапан; РК - регулирующий клапан; З - задвижка; ТП - турбопривод; ПК - предохранительный клапан; КУ - концевые уплотнения; Эж - эжектор

Рисунок 3.6 - Тепловая схема турбопривода.

Вместо зубчатой муфты, соединяющей роторы насоса и электродвигателя, устанавливается упругая кулачковая муфта. Данная муфта имеет ряд преимуществ:

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		39



- высокие компенсирующие свойства, снижающие нагрузки на опоры и роторные детали;
- минимальные осевые нагрузки;
- повышенный ресурс работы;
- повышенная технологичность при изготовлении и ремонтпригодность при эксплуатации;
- отсутствие масла для смазки зубьев.

При проведении реконструкции питательной электроустановки с установкой турбопривода осуществляется замена штатной системы автоматики и КИП насосного агрегата на единую электронную систему регулирования. Основной функцией системы регулирования является поддержание заданной величины давления питательной воды за насосом путем изменения числа оборотов.

Параметры работы турбопривода приведены на рисунке 3.7.

Параметры работы  
турбопривода питательного насоса

Наименование параметра	Значение для насосов типа ПЭ-500-180/ПЭ-580-185
Мощность, МВт	3,1/3,7
Начальные параметры пара: ● абсолютное давление, ата ● температура, °С	12±2 280±20
Номинальная частота вращения ротора, об./мин	2985
Абсолютное давление пара за турбиной P <sub>2</sub> , ата	1,2-2,5
Расход пара через турбину (при P <sub>2</sub> =1,5 ата), т/ч	38/46,2

Рисунок 3.7 - Параметры работы турбопривода.

Разработанная схема маслоснабжения турбопривода максимально использует существующую схему маслоснабжения питательной электроустановки. При проведении реконструкции потребуется замена масляных электронасосов, а

также установка масляного фильтра тонкой очистки для стопорного клапана и дополнительных масляных трубопроводов и арматуры.

Использование на ТЭЦ турбопривода питательного насоса вместо электродвигателя позволяет решить две основные задачи: увеличить выработку и отпуск электроэнергии и тепла на станции; реализовать возможность эффективного регулирования производительности насоса.

Сделаем выводы, касаемо возможности применения турбопривода на Саранской ТЭЦ-2. После установки ТНП номинальная электрическая и тепловая мощности Т-100 снизится соответственно на 5 МВт и 20 Гкал/час (без учета дополнительного отпуска пара, см. ниже)!

Также установка ТПН можно вести только при наличии существенных избытков мощностей П-отборов, так как турбопривод насоса ПЭ-580-185 требует 50 т/час пара давлением 12 ата. В нашем случае (учитывая целевой состав оборудования без группы 90 ата) по группе 130 таких избытков нет - при номинальной мощности П-отбора 70 т/час ТПН будет потреблять 50 т/час (71%). Оставшихся 20 т/час на каждом энергоблоке крайне недостаточно для отпуска пара потребителям и обеспечения собственных нужд, так как летом выработка пара 8-13 ата составляет в среднем 60-65т/час, зимой около 130 т/ч, т.е. П-отборы блоков в настоящее время загружены почти полностью.

Таким образом, данная модернизация не подходит для наших турбин Т-100 из-за отсутствия избытков мощностей П-отборов энергоблоков.

### 3.3 Частотно-регулируемый электропривод

Вследствие переменных режимов большинства энергоблоков ТЭС ухудшается надежность эксплуатации как основного тепломеханического оборудования, так и механизмов собственных нужд - многочисленных насосных

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		41

и вентиляторных установок и их приводных асинхронных двигателей. Частые пуски и остановки энергоблоков, изменения их нагрузок сопровождаются дополнительными потерями из-за неоптимальных режимов работы основного оборудования и механизмов СН, вследствие необходимости дросселирования теплоносителей (пара, воды, воздуха, газов и т.д.)

При этом часы работы механизмов СН с максимальной нагрузкой на большинстве ТЭС не превышают в среднем, как правило, 20-25% общего времени их использования, что приводит к значительным (до 12-14%) потерям электроэнергии.

Примерную структуру потерь в электрооборудовании СН энергоблока 210 МВт иллюстрируют диаграммы рисунок 3.8 и 3.9.

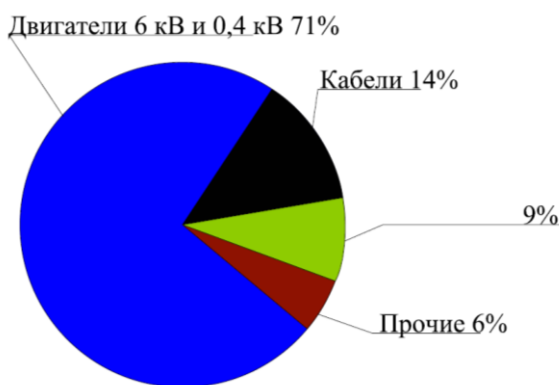


Рисунок 3.8 - Структура потерь в электрооборудовании

Исключение дросселирования по тракту питательной воды и газоздушному тракту котлов и переход к регулированию производительности многочисленных насосных и вентиляторных установок ТЭС с помощью электроприводов с переменной частотой вращения позволяет добиться ощутимого энерго- и ресурсосбережения при приемлемой окупаемости затрат на энергосберегающее оборудование.

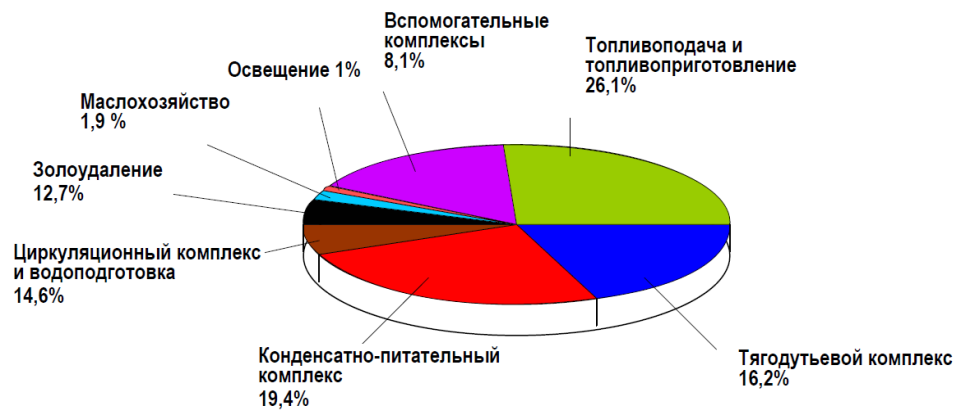


Рисунок 3.9 - Структура потерь по технологическим комплексам ТЭС

Принцип частотного метода регулирования скорости асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту  $f_1$  питающего напряжения, можно в соответствии с выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p} \quad (1)$$

при неизменном числе пар полюсов  $p$  изменять угловую скорость магнитного поля статора.

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью. Регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения асинхронного двигателя, поэтому потери мощности при регулировании невелики. Для получения высоких энергетических показателей асинхронного двигателя - коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности - необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение.

Закон изменения напряжения зависит от характера момента нагрузки  $M_c$ . При постоянном моменте нагрузки ( $M_c = \text{const}$ ) напряжение на статоре должно

регулируться пропорционально частоте:

$$\frac{U_1}{f_1} = const \quad (2)$$

Для вентиляторного характера момента нагрузки это состояние имеет вид:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const \quad (3)$$

При моменте нагрузки, обратно пропорциональном скорости:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const \quad (4)$$

Таким образом, для плавного бесступенчатого регулирования частоты вращения вала асинхронного электродвигателя, преобразователь частоты должен обеспечивать одновременное регулирование частоты и напряжения на статоре асинхронного двигателя.

На рисунке 3.10 представлена блок-схема силовой части преобразователя с промежуточным звеном постоянного тока (так называемый U - инвертор).

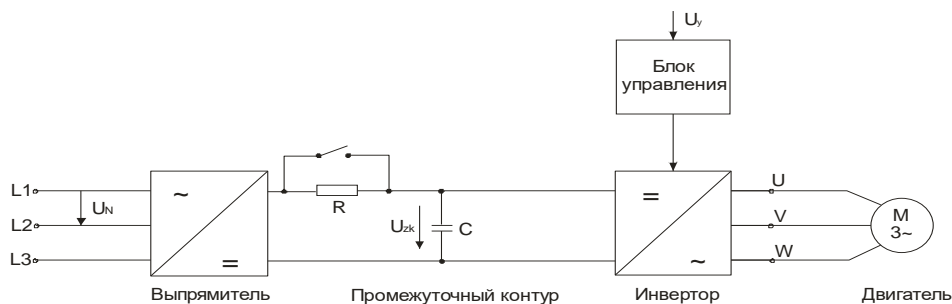


Рисунок 3.10 - Блок-схема силовой части преобразователя

Напряжение сети  $U_1$  стандартной частоты  $f_1$  подается на вход неуправляемого выпрямителя, преобразующего переменное напряжение  $U_1$  в постоянное  $E_0$ .

Выпрямленное и напряжение  $E_0$  подается на вход инвертора, который преобразует его в трехфазное напряжение  $U_{1\text{рег}}$  регулируемой частоты  $f_{1\text{рег}}$ , поступающее на двигатель. Частота выходного напряжения инвертора  $f_{1\text{рег}}$  регулируется блоком управления в функции сигнала управления  $U_y$ .

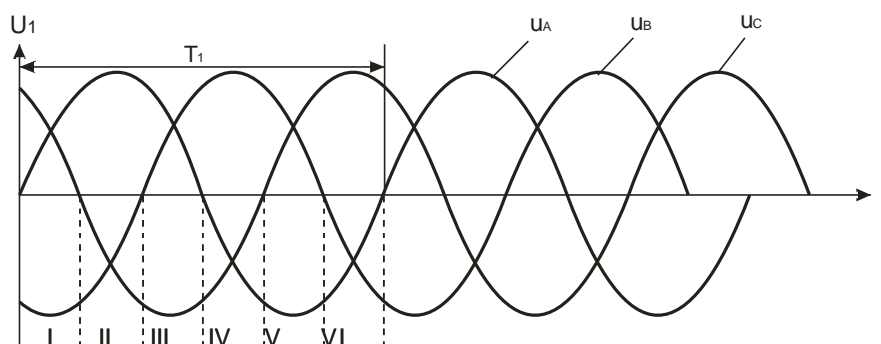


Рисунок 3.11 - Входное напряжение сети

Остановимся подробнее на работе управляемого инвертора (рис. 3.12), полагая, что с помощью управляемого выпрямителя на его вход подается постоянное напряжение  $E_0$ .

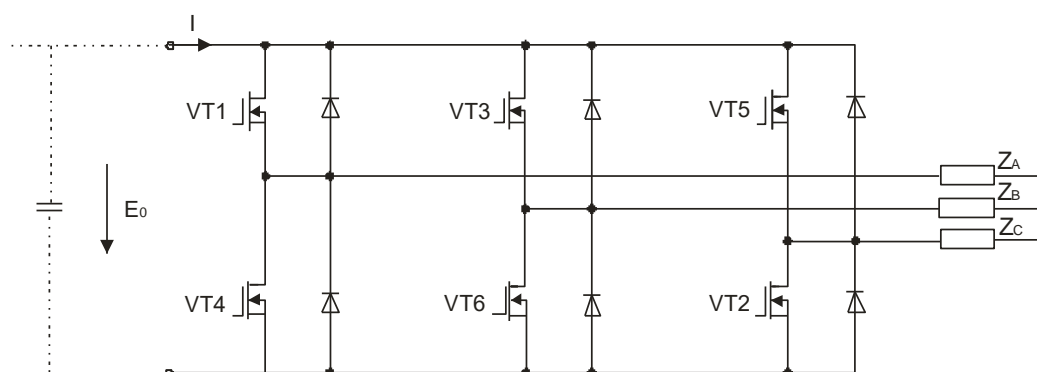


Рисунок 3.12 - Коммутационная схема инвертирования

Предположим, что трехфазная нагрузка  $Z_A$ ,  $Z_B$  и  $Z_C$  (обмотки статора асинхронного двигателя) соединена в звезду, а транзисторы VT1...VT6, на которых выполнен инвертор, соединены по мостовой схеме и по сигналам с блока управления открываются в требуемой последовательности. Обычно продолжительность открытого состояния каждого транзистора  $\lambda$  составляет половину или треть периода  $T_{\text{пер}}=1/f_{\text{пер}}$ , а сдвиг моментов открытия транзисторов VT1...VT6 - шестую часть этого периода. Рассмотрим сначала работу схемы со временем открытия транзисторов  $\lambda=T_{\text{пер}}/2$ . Временная токовая диаграмма работы транзисторов для этого случая показана на рис. 3.13, где токи фаз  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , проходящие через нечетные транзисторы, отложены в положительном направлении, а через четные - в отрицательном. В каждый момент времени включены (открыты) три транзистора из шести, причем за время периода можно выделить шесть интервалов (I, II, III, IV, V, VI) различных сочетаний открытых и закрытых состояний транзисторов.

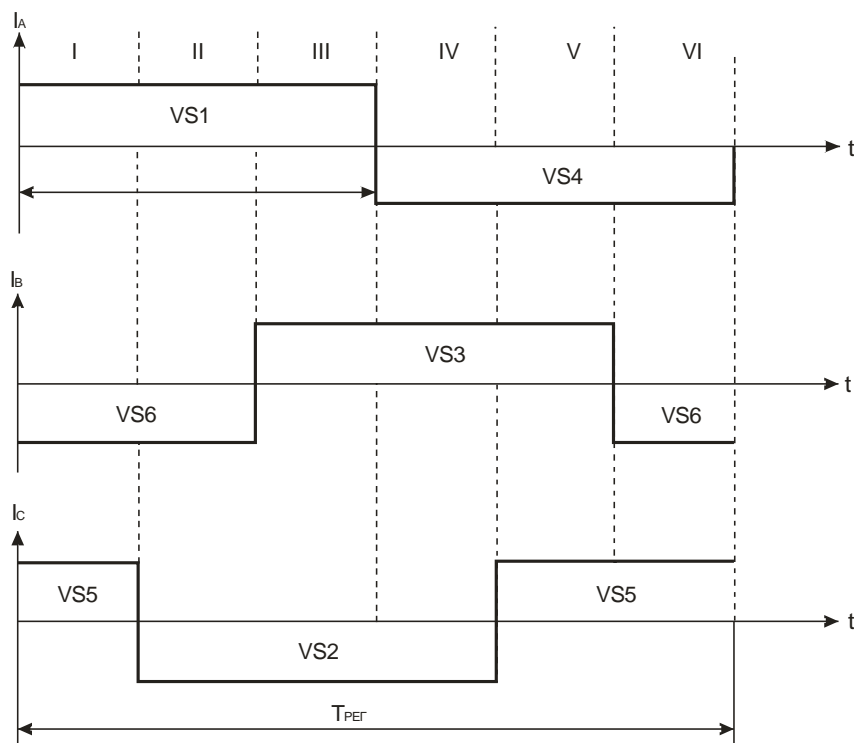


Рисунок 3.13 - Временная токовая диаграмма работы транзисторов

Для определения формы напряжения на нагрузке рассмотрим схемы включения фаз статора асинхронного двигателя на каждом из шести временных интервалов.

В течение интервала I открыты транзисторы VT1, VT5 и VT6 начала фаз  $Z_A$  и  $Z_C$  соединены с плюсовым выводом источника  $+E_0$ , а начало фазы нагрузки  $Z_B$  - с минусовым выводом  $-E_0$  (рис. 3.14).

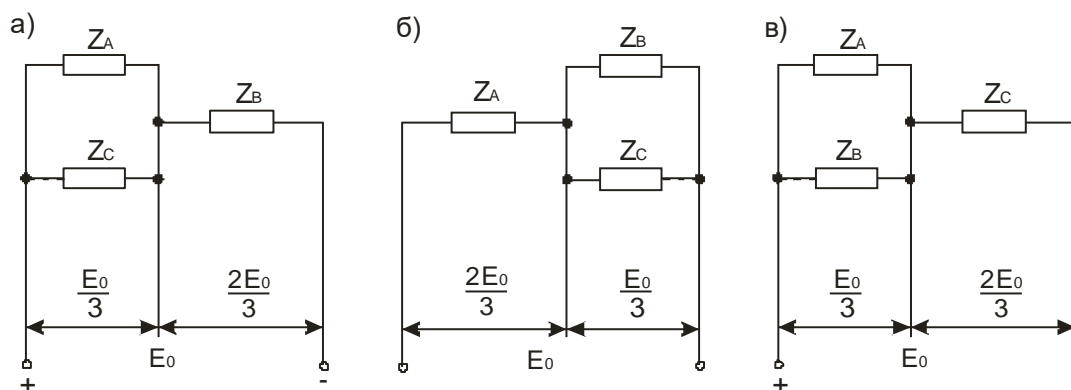


Рисунок 3.14 - Схемы включения фаз статора

Если при этом сопротивления всех трех фаз одинаковы, то эквивалентное сопротивление параллельно соединенных фаз нагрузок  $Z_A$  и  $Z_C$  будет в два раза меньше сопротивления фазы нагрузки  $Z_B$ . Тогда и напряжение на параллельно соединенных фазах нагрузок  $Z_A$  и  $Z_C$  будет в два раза меньше, чем на фазе нагрузки  $Z_B$ , и составит  $E_0/3$ .

На интервале II открыты транзисторы VT1, VT6 и VT2, фазы нагрузок  $Z_B$  и  $Z_C$  включены параллельно, к ним прикладывается напряжение  $E_0/3$ , а к фазе нагрузки  $Z_A$  - напряжение  $2E_0/3$ .

При переходе к интервалу III закрывается транзистор VT6 и открывается транзистор VT3 (транзисторы VT1 и VT2 по прежнему открыты), в соответствии с чем фазы нагрузок  $Z_A$  и  $Z_B$  включены параллельно.

Аналогично можно изобразить схемы соединения фаз статора для интервалов IV, V и VI, которые будут соответствовать



схемам для интервалов I, II и III, но иметь другую полярность напряжения на началах фаз. График изменения напряжения на фазах нагрузки при  $\lambda = T_{\text{рег}}/2$  (рис. 3.15) имеет ступенчатую форму, и оно является переменным, причем максимумы этого напряжения сдвинуты по фазам на треть периода регулируемой частоты. Другими словами, на нагрузке получается стандартная система трехфазного напряжения переменного тока, хотя и несинусоидальной формы.

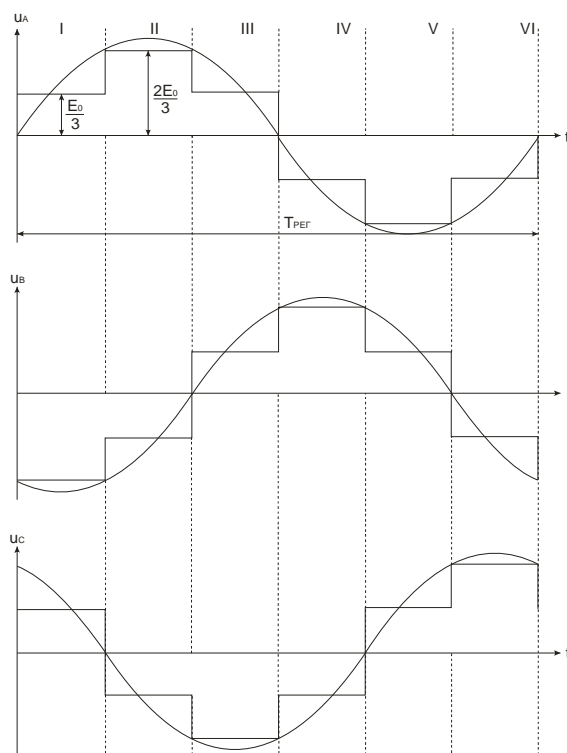


Рисунок 3.15 - Напряжение на двигателе.

Частотное регулирование производительности механизмов СН, наряду с такими известными преимуществами, как снижение потребления электроэнергии и топлива, исключение гидро- и электродинамических ударов в пусковых режимах и при других переходных процессах, позволяет обеспечить новые существенно важные в эксплуатации ТЭС возможности:

- Оптимизацию нагрева поверхностей парогенераторов при разгрузках энергоблоков за счет уменьшения температурных перекосов, что не только

повышает надежность их работы, но и существенно увеличивает ресурс;

- Экономичное прохождение энергоблоками режима «скользящих» параметров пара, что обеспечивает маневренность и высокую эффективность топливоиспользования в этом режиме;

- Дополнительное повышение мощности энергоблока в часы максимума нагрузок в энергосистеме;

- Обеспечение режима «мягкого» пуска, а также самозапуска (рестарта) электроприводов с механизмами СН при глубоких колебаниях или кратковременных исчезновениях с последующим восстановлением напряжения в системе электроснабжения собственных нужд;

- Снижение уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу до 1.5% и эмиссии CO<sub>2</sub> до 1.5 тонн на каждую сэкономленную тонну условного топлива за счет оптимизации процесса его сжигания;

- Повышение уровня автоматизации, совершенствование АСУ ТП энергоблоков.

Очевидно, что основанием для внедрения ЧРП в СН ТЭС является технико-экономическое предложение, базирующееся на расчетах и анализе, учитывающем все многообразие показателей эффективности.

При расчетах периода окупаемости необходимо знать затраты на ввод ЧРП («проект под ключ»), включающие в себя не только стоимость оборудования ЧРП (и сопутствующего - кабели, выключатели, разъединители, элементы вторичной коммутации и т.п.), но и затраты на проектирование, строительномонтажные и наладочные работы.

Весь этот комплекс факторов, определяющих эффективность такой энерго- и ресурсосберегающей технологии в целом оценивается сочетанием двух определяющих показателей - качество (т.е. «интеллект» и возможность реализации разнообразных требований и свойств регулируемого электропривода при высокой его надежности) и цена, которую за это приходится платить. Представляется, что именно с этих позиций целесообразно сравнивать

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		49

гидромуфту и ЧРП.

В последние годы на ряде отечественных ТЭС для регулирования производительности насосных и вентиляторных установок начато применение гидромуфт. Гидромуфты являются механическими устройствами, устанавливаемыми между асинхронным двигателем и насосом или вентилятором. Они производятся несколькими фирмами, включая Nelson, Twin-Disc, Voith Turbo. Наибольшее применение получили гидромуфты Voith Turbo.

Сопоставляя электрическое частотное регулирование с механическим регулированием гидромуфтой можно отметить следующее:

- Применение гидромуфты не уменьшает 6-7 кратный ток при пуске электродвигателя. Нагрев и значительные электродинамические воздействия на статор разрушают изоляцию и сокращают ресурс двигателя. Применение более сложных гидромуфт с облегченным пуском позволяет снизить продолжительность пуска, но не уменьшает величину пускового тока. При пуске от ПЧ пусковой ток, как правило, не превосходит номинальный ток двигателя. Это в принципе исключает дополнительный нагрев и разрушающие воздействия на изоляцию статора, не ограничивает количество пусков и продлевает ресурс.

- Гидромуфта обеспечивает регулирования только одного двигателя, в то время, как ПЧ позволяет осуществить групповое управление несколькими электроприводами. При этом в группе, например, из трех-четырех электронасосов, работающих параллельно, один (или два) работают с постоянной частотой вращения, а частоту других необходимо регулировать по условиям технологического процесса. Три или четыре насосных агрегата могут совместно использовать один или два ПЧ.

- Применение ЧРП повышает надежность работы технологической схемы. Во-первых, двигатель может быть включен по схеме «электрического байпаса», позволяющей в случае отказа ПЧ переключить двигатель на сеть электроснабжения байпасным контактором. ПЧ может быть отремонтирован (среднее время ремонта 1-2 часа) и быстро введен в работу. Поэтому его отказ не

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		50

приведет к нарушению технологического процесса в отличие от отказа гидромфты. Во-вторых, если ЧРП по условиям технологического процесса должен длительно работать с номинальной частотой вращения, то с помощью «синхронного» байпаса электродвигатель может быть переключен на сеть в режиме точной автоматической синхронизации (без бросков тока и провалов напряжения). При этом исключаются дополнительные потери в ПЧ в этом режиме. В случае необходимости регулирования частоты вращения электродвигателя он легко может быть отключен от сети и переключен на ПЧ. С гидромфтой этот режим в принципе нереализуем.

- Эффективность частотно-регулируемого электропривода существенно выше по сравнению с гидромфтой независимо от диапазона частоты вращения электропривода.

На рисунке 3.16 сравниваются зависимости к.п.д. для трех типов гидромфт фирмы Voith и преобразователя частоты при переменных нагрузках, а на рис. 8 - при различных частотах вращения. При снижении частоты вращения ниже 80% к.п.д. гидромфты уменьшается очень быстро, падает ее энергоэффективность.

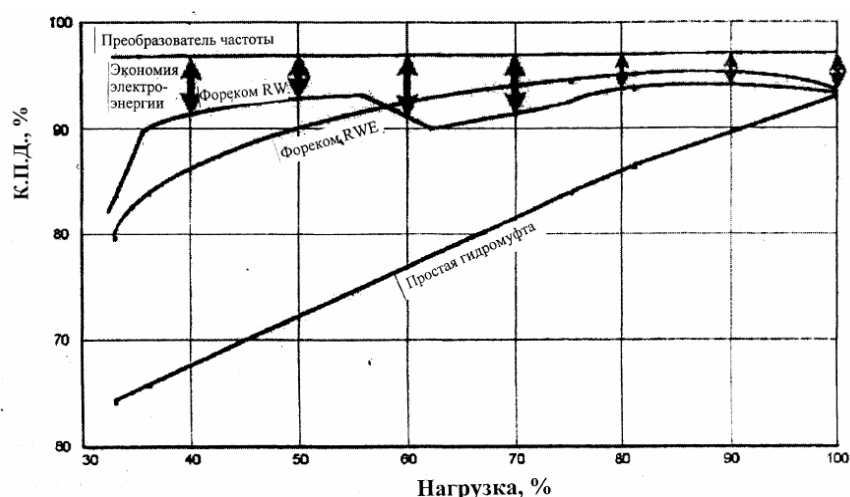


Рисунок 3.16 - Зависимость к.п.д. преобразователя частоты и гидромфты в диапазоне изменения нагрузки электропривода

#### 4 Технико-экономическое решение и обоснование

На основании проведенного анализа в главе 3, наиболее оптимальным и экономически эффективным является частотно-регулируемый привод (ЧРП). Таким образом, предлагается установить один модуль управления на два ПЭНа №7 и №8 Саранской ТЭЦ-2 с возможностью поочередной коммутации ПЭНов блоков с целью минимизации простоя пуско-регулирующей аппаратуры ЧРП.

Расчет экономии электрической энергии основан на снижении напора, развиваемого ПЭНом, который является избыточным для котла ТГМЕ-464 в часы пониженных нагрузок котла. Соответственно, снижается и потребляемая насосом мощность в кубической зависимости от снижения оборотов вала питательного насоса.

Ключевым фактором в снижении потребляемой мощности является снижение избыточного не востребованного напора, развиваемого питательным насосом с сохранением требуемой производительности. При этом режим работы турбин типа Т-100/120-130 перейдет на работу на пониженных параметрах пара.

ЧРП - система управления частотой вращения ротора асинхронного электродвигателя состоит из собственно электродвигателя и частотного преобразователя.

Для ЧРП характерны (рисунок 4.1):

- наличие всех необходимых функций защиты как самого преобразователя, так и двигателя, и приводимого механизма;
- гибкая настройка всех защитных функций и параметров работы привода;
- встроенный ПИД-регулятор, обеспечивающий регулирование технологического параметра;
- пульт дистанционного управления преобразователем частоты, располагаемый на расстоянии до 300 метров от преобразователя;
- удобный ввод в эксплуатацию: настройка преобразователя, диагностика;

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		52

- возможность добавления любой программной и аппаратной функциональности по требованию заказчика;



Рисунок 4.1 - Оборудование ЧРП в части КИПиА

В целях минимизации простоя блока ЧРП и более эффективного и полного его использования ЧРП необходимо реализовать схему, используя которую, один ЧРП имеет возможность переключения управления между двумя независимыми асинхронными двигателями.

При одновременной работе блоков, один работает в базе, другой регулирует нагрузку.

Проектная схема ЧРП с двумя энергоблоками изображена на рисунке 4.2 и в приложении, лист 2.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		53

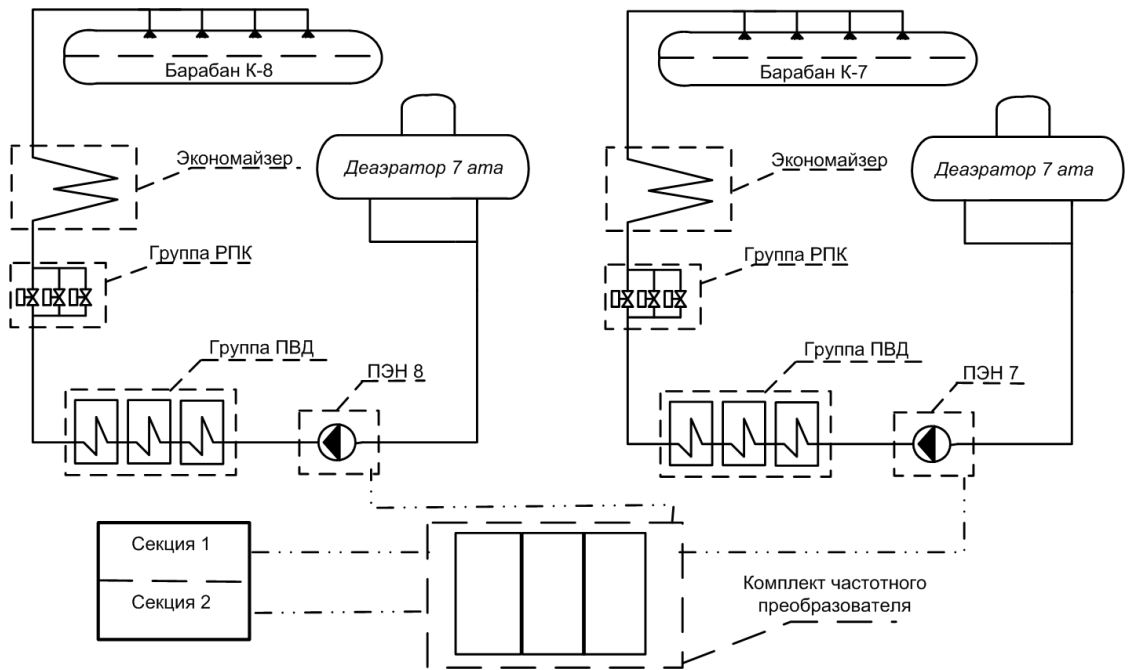


Рисунок 4.2 - Проектная схема ЧРП с двумя энергоблоками.

Также разработана электрическая схема подключения ЧРП к существующей, см. рисунок 4.3.

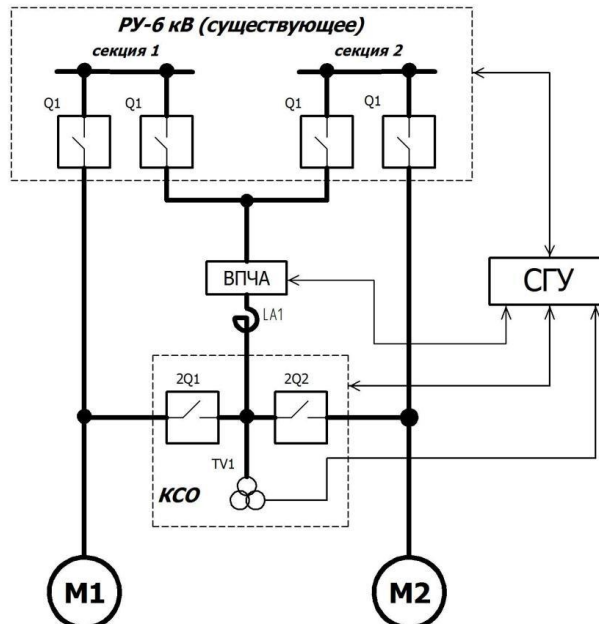


Рисунок 4.3 - Электрическая схема подключения ЧРП.

											Лист
											54
Изм.	Лит.	№ докум.	Подп.	Дата							

БР-02069964-13.03.01-12-20

Реализация данного проекта позволяет реализовать следующие эффекты:

- снизить расход эл. энергии на собственные нужды;
- снизить нагрузку на электродвигатели и питающие сети за счет плавного пуска, что увеличит срок службы электродвигателей и питающих сетей;
- увеличить срок службы подогревателей высокого давления, трубопроводов питательной воды, регуляторов питания котла и прочей арматуры питательного тракта котла;
- в дальнейшем, совместная с внедрением ЧРП модернизация системы автоматики и технической сигнализации позволит более качественно вести режим работы энергоблоков;
- перейти турбинам типа Т-100/120-130 на режим работы с пониженными параметрами.

После внедрения ЧРП потребление электрической энергии на собственные нужды будет составлять, см. рисунок 4.4 и приложение, лист 3:



Рисунок 4.4 - Потребление электрической энергии на собственные нужды

Расчет снижения расхода эл. энергии на собственные нужды базируется на принципе классического закона гидродинамики, согласно которому снижение



потребляемой мощности пропорционально в квадратичной зависимости от снижения развиваемого насосом напора. Так как развиваемый напор ПЭНа тем избыточен, чем меньше его подача, то эффект имеет наибольшее значение именно при низких нагрузках ПЭНа.

В методике определения эффектов приведен подход к определению снижения потребления расхода эл. энергии. Сам расчет непосредственно выполнен и предоставлен Управлением эксплуатации генерации Саранской ТЭЦ-2, см. таблица 4.1.

Разбивка часов работы ПЭН для разных диапазонов нагрузок на основании статистических данных за 2019 г					Расчет экономического эффекта внедрения ЧРП				
Диапазон нагрузок т/ч	Расход питательной воды т/ч	Время Работы ч.	Давление на напоре <sup>2</sup> кгс/см <sup>2</sup>	Мощность насоса кВт	Требуемый напор зависящий от давления в барабане котла при использовании ЧРП, кгс/см <sup>2</sup>	Частота вращения с использованием ЧРП	Мощность насоса с использованием ЧРП кВт	Годовая экономия э/э соответствующая фактическим режимам работы ПЭН за 2019 год, кВт ч	Годовая экономия в денежном выражении имлн. руб.
200-250	225	900	217	2574	146	2449	2191	344700	0,4
250-300	275	340	215	2823	147	2470	2250	194820	0,2
300-350	325	1676	211	3075	150	2515	2375	1171524	1,3
350-400	375	922	207	3330	153	2567	2526	741288	0,8
400-450	425	1696	201	3588	157	2635	2732	1451776	1,6
450-500	475	2816	195	3849	160	2704	2951	2525952	2,8
итого	350	8350	208	3207	152	2557	2504	6430060	7,1

Как видно из таблицы 4.1 годовой экономический эффект  $P_{эф}$  составляет 7 100,00 руб.

Величина капитальных вложений  $K_с$  на этапе планирования - 29 639,00 тыс. руб, в т.ч.:

1. Проектно-изыскательские работы - 800,00 тыс. руб.

2. Оборудование и материалы - 25 839,00 тыс. руб.

3. Строительно-монтажные работы - 3 000,00 тыс. руб.

Данные предоставлены Управлением эксплуатации генерации Саранской ТЭЦ-2

Срок окупаемости капитальных вложений  $C_o$ , лет, вычисляются по формуле 5.

$$C_o = \frac{K_{\text{с}}}{P_{\text{эф}}}, \quad (5)$$

$$C_o = \frac{29639,00}{7100,00} = 4,17 \text{ года}$$

Результаты расчета показывают, что при существующих показателях срок окупаемости 4,17 года и запланированные мероприятия по установке преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2 являются экономически эффективны.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		57

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа создана с целью разработки и установки преобразователя частоты для питательных насосов №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2.

Реализация данного проекта позволяет реализовать следующие эффекты:

- снизить расход эл. энергии на собственные нужды;
- снизить нагрузку на электродвигатели и питающие сети за счет плавного пуска, что увеличит срок службы электродвигателей и питающих сетей;
- увеличить срок службы подогревателей высокого давления, трубопроводов питательной воды, регуляторов питания котла и прочей арматуры питательного тракта котла;
- в дальнейшем, совместная с внедрением ЧРП модернизация системы автоматики и технической сигнализации позволит более качественно вести режим работы энергоблоков;
- перейти турбинам типа Т-100/120-130 на режим работы с пониженными параметрами;

Расчет снижения расхода эл. энергии на собственные нужды базируется на принципе классического закона гидродинамики, согласно которому снижение потребляемой мощности пропорционально в квадратичной зависимости от снижения развиваемого насосом напора. Так как развиваемый напор ПЭНа тем избыточен, чем меньше его подача, то эффект имеет наибольшее значение именно при низких нагрузках ПЭНа.

Результаты расчета показывают, что при существующих показателях срок окупаемости 4,17 года и запланированные мероприятия по установке преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЭ-580-185 Саранской ТЭЦ-2 являются экономически эффективны.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						58
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) Беляев С.А., Литвак В.В., Солод С.С. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. - Томск: Изд-во НТЛ, 2008 - 218 с.
- 2) Ваньков Ю.В., Горбунова Т.Г, Политова Т.О., Зиганшин Ш.Г. «Функциональная надежность тепловых сетей: теория и практика» // надежность и качество - 2012 : Труды Международного симпозиума: в 2 т. Под ред. Н. К. Юркова. - Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2012. - 1 том - 506 с.
- 3) Ваньков Ю.В., Зиганшин Ш.Г., Горбунова Т.Г., Политова Т.О., Хабибуллин Р.М. «Анализ повреждаемости тепловых сетей и разработка рекомендаций для повышения их надежности» // Известия вузов. Проблемы энергетики, №7-8, 2012, с.10-18.
- 4) Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. - М.; Наука, 1982г.
- 5) Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. Учебник для вузов. - М.; Высшая школа. 1985г.
- 6) Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем / В.М. Гуменюк. - М: Учебное пособие для вузов, 2010. - 218 с.
- 7) Дружинин Г.В. Надежность производственных систем. - М., Энергия, 1986г.
- 8) Дьяченко, С.М. К вопросу оценки технико-экономической эффективности развития систем теплоснабжения на краткосрочную и долгосрочную перспективу / С.М. Дьяченко, К.Н. Сотникова //Инженерные системы и сооружения. - 2010. № 2. - С. 137-148.
- 9) Ефимов А.Ю., Марков В.А. Анализ и оценка проблем систем горячего водоснабжения // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. - 2016. с. 167-173.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		59

10) Иванов, В. Б. Применение гидродинамических приводов VOITH в системах транспорта нефти и газа / В. Б. Иванов, Д. А. Костенко // Энергополитика. Нефть и газ. - 2011. - № 3. - С. 61-64.

11) Иванов, В. Б. К вопросу о сравнительной эффективности механотронного и частотно-регулируемого приводов / В. Б. Иванов, М. Рихтер, В. И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2012. - № 3/10(57). - С. 32-35. - Режим доступа: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/4180>.

12) Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. - М.; Стройиздат. 1989г.

13) Китаев, Д.Н. Вариантное проектирование систем теплоснабжения с учетом надежности тепловой сети/Д.Н. Китаев, С.Г. Булыгина, М.А. Слепокурова // Молодой ученый. Технические науки. 2010 . № 7 (18). С.46-48.

14) Костенко, Д. А. Перекачка газа должна быть экономной / Д. А. Костенко, В. Б. Иванов // ТЭК. -2007. - № 6. - С. 114-117.

15) Костенко, Д. А. Регулируемые приводы: возможности, затраты, эффективность / Д. А. Костенко, В. Б. Иванов // ТЭК. - 2008. - № 4. - С. 30-33.

16) Марков В.А., Хусяинов И.А. Анализ и оценка показателей надежности тепловых сетей // "Студент. Аспирант. Исследователь.". - 2017. с. 167-173.

17) Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. РД 50-6090-89.-М.: Стандарты, 1989.

18) Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 27.002-89.-М.: Стандартиздат, 1990.

19) Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. Под ред. Андрюшенко А.И., - М.; Высшая школа. 1991г.

20) Постановление Правительства РФ от 22 Февраля 2012 г. N 154 "О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения" [Электронный ресурс] // <http://www.rg.ru/2012/03/06/teplosxemy-site-dok.html>.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						60
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		

21) Приказ Минэнерго России N 565, Минрегиона России N 667 от 29.12.2012 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке схем теплоснабжения» [Электронный ресурс] // [http://www.rosteplo.ru/Npb\\_files/npb\\_shablon.php?id=1557](http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1557).

22) Рихтер, М. Регулируемые приводы VOITH в электростанциях комбинированного типа и магистральных газопроводах / М. Рихтер, В. Б. Иванов, В. И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - № 3/3(45). - С. 57-59. - Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/2798>.

23) Сеннова Е.В. Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов/ Е.В. Сеннова, С.Н. Кирюхин // М.;Газпром промгаз. 2013г.

24) Ситас, В. И. Гидромуфта Фойт - конкурентоспособный регулируемый привод для энергетики / В. И. Ситас, А. Пёшк, М. Рихтер // Энергетик. - 2005. - № 2. - С. 45.

25) Ситас, В. И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций / В. И. Ситас, А. Пёшк, Р. М. Фаткуллин // Электрические станции. - 2003. - № 2. - С. 61-65.

26) СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. - Взамен СНиП 2.04.0786; введ. 2003-01-09. М.: Стройиздат, 2003. 38 с.

27) Фаткуллин, Р. М. Об экономической эффективности применения регулируемого привода на питательных насосах ТЭЦ с поперечными связями [Текст] / Р. М. Фаткуллин, О. В. Зайченко, В. Э. Кремер // Энергетик. - 2004. - № 4. - С. 9-11.

28) Фардиев, И. Ш. О целесообразности и опыте применения гидромуфт на вспомогательном оборудовании ТЭС с поперечными связями [Текст] / И. Ш. Фардиев, А. А. Салихов, Р. М. Фаткуллин // Энергетик. - 2004. - № 5. - С. 15-18.

29) Федеральный закон РФ от 27 Июля 2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [Электронный ресурс] // [http://www.consultant.ru/document/2cons\\_doc\\_LAW\\_102975](http://www.consultant.ru/document/2cons_doc_LAW_102975).

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		61

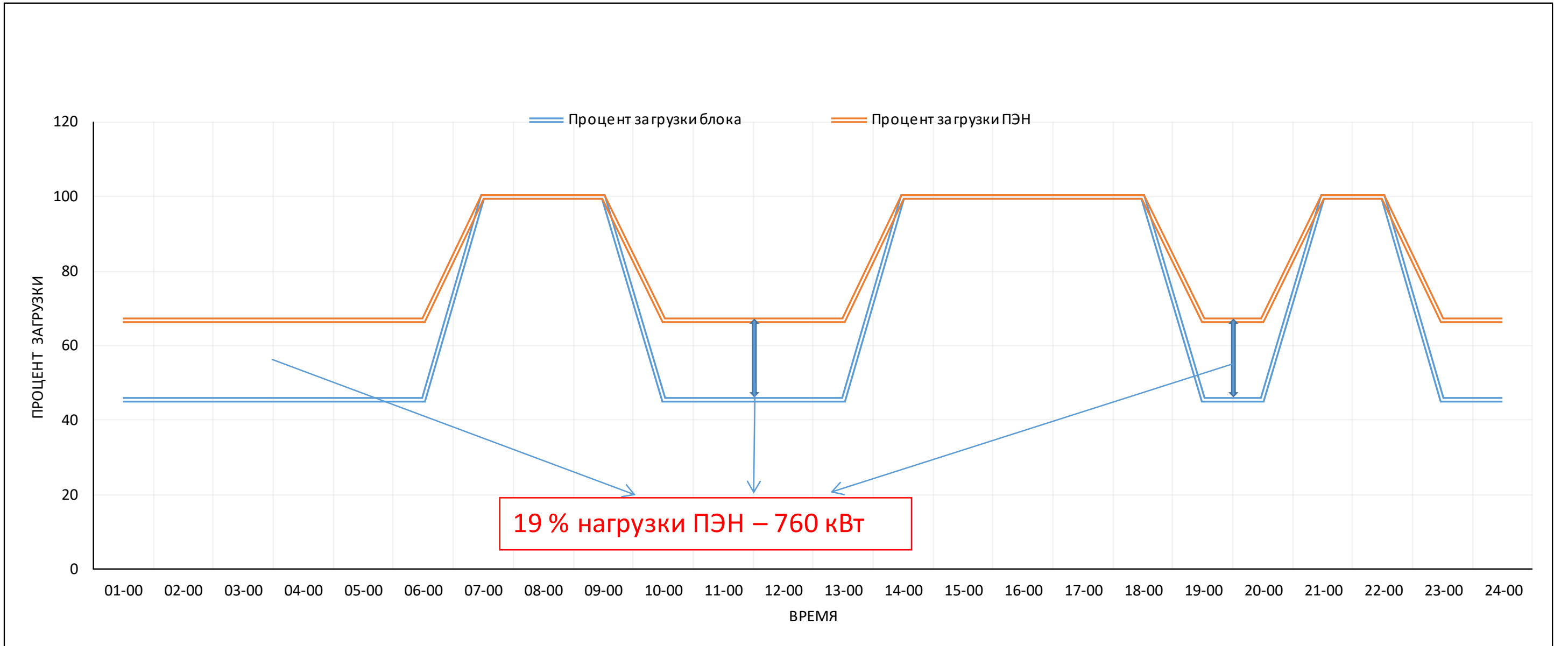
30) Ярмошкин А.С., Байбаков С.А. Определение фактических гидравлических характеристик трубопроводов тепловых сетей в эксплуатационных условиях / [http://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=2695](http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2695).

31) Alas, P. Electro Compression a Challenging Alternative: How and Why to Choose a Gas Turbine or an Electric Motor to Drive a Centrifugal Compressor / P. Alas, E. Noulette // Proceedings of ASME Turbo Expo 2013: Turbine Technical Conference GT 2013, June 3-7, 2013, San Antonio, Texas, USA. - ASME International, 2013. - 9 p. doi:10.1115/gt2013-94163.

32) Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach. 7th Edition ed. New York: Mcgraw-Hill, 2012.

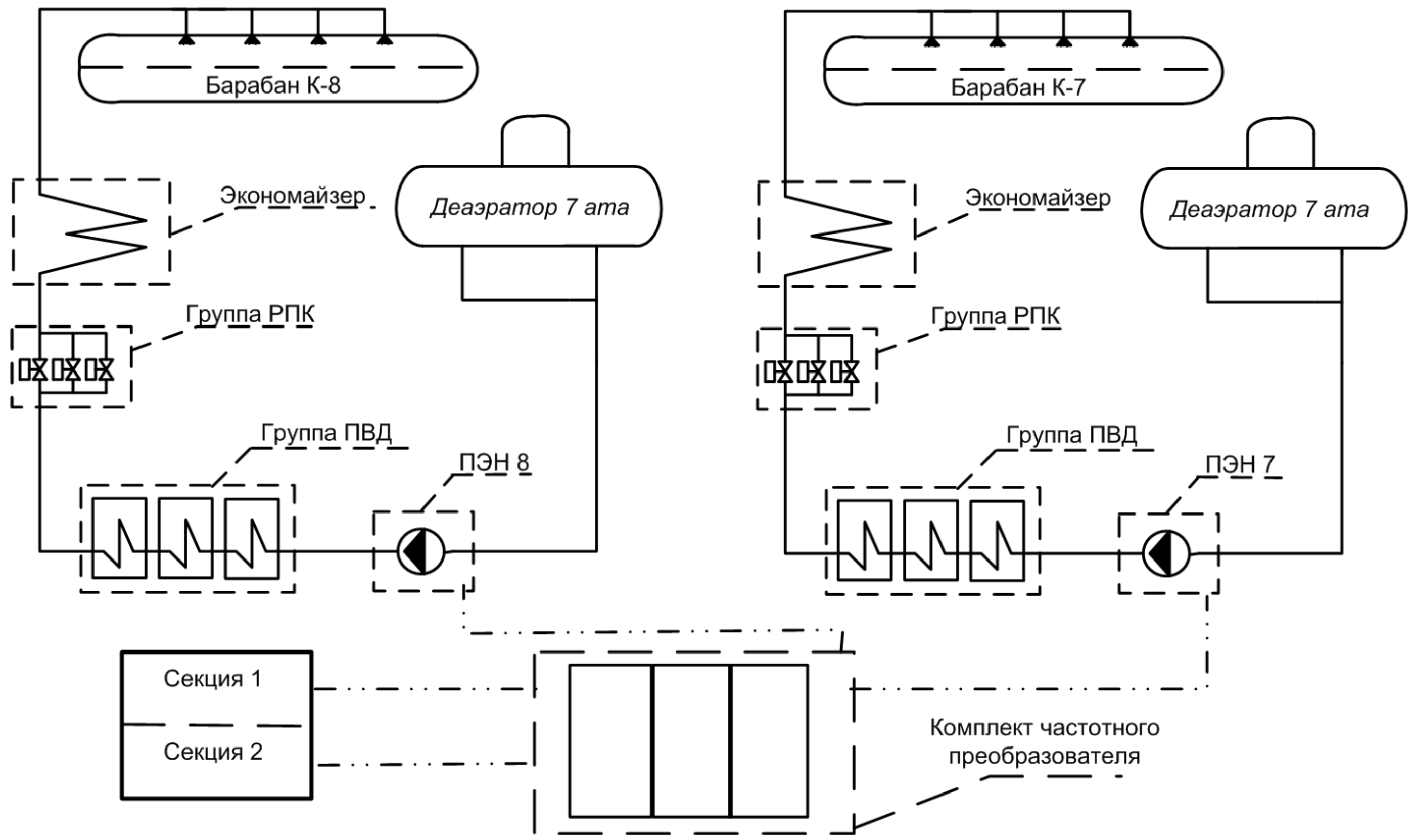
33) Jeong, K. Analytical modeling of water condensation in condensing heat exchanger / Kwangkook Jeong, Michael Kessen, Harun Bilirgen, Edward Levy // International Journal of Heat and Mass Transfer. - 2010. - №53. - С. 2361-2368.

					БР-02069964-13.03.01-12-20	Лист
						62
Изм	Лит	№ докум	Подп.	Дата		



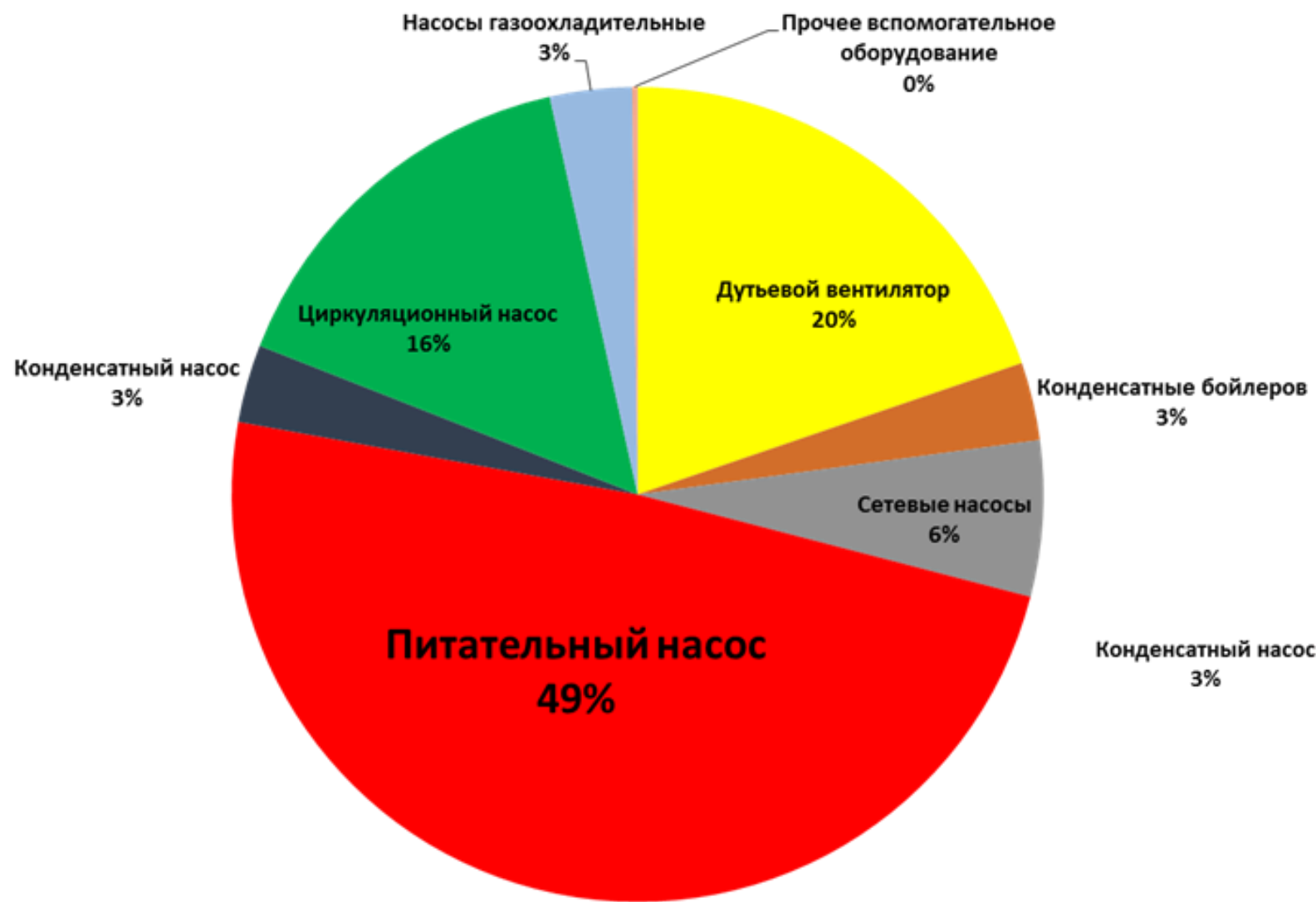
					<i>БР-02069964-13.03.01-12-20</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЗ-580-185 Саранской ТЭЦ-2</i>	<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масшт.</i>
						<i>д</i>		
<i>Провер.</i>		<i>Ванин А.Г.</i>		<i>11.06.2020</i>		<i>Лист 1</i>	<i>Листов 3</i>	
<i>Н.Контр.</i>		<i>Кизнецов А.А.</i>		<i>05.06.2020</i>	<i>Соотношение загрузки питательного насоса ст. №7 и блока ст. №1</i>	<i>ИМЭ, Кафедра ТЭС, з/о</i>		
<i>Утвер.</i>		<i>Левцев А.П.</i>		<i>15.06.2020</i>				





					БР-02069964-13.03.01-12-20			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЗ-580-185 Саранской ТЭЦ-2	Лит.	Масса	Масшт.
	Разраб.	Мурсякаев Р.Р.		04.06.2020		д		
	Провер.	Ванин А.Г.		11.06.2020				
						Лист 2	Листов 3	
Н.Контр.	Кизнецов А.А.			05.06.2020	Проектная схема ЧРП с двумя энергоблоками	ИМЭ, Кафедра ТЭС, з/о		
Утвер.	Левцев А.П.			15.06.2020				

### До установки ЧРП



### После установки ЧРП



					БР-02069964-13.03.01-12-20			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Установка преобразователя частоты на питательные насосы №7 и №8 типа ПЗ-580-185 Саранской ТЭЦ-2	Лит.	Масса	Масшт.
						д		
Разраб.	Мурсякаев Р.Р.			04.06.2020		Лист 3	Листов 3	
Провер.	Ванин А.Г.			11.06.2020				
Н.Контр.	Кизнецов А.А.			05.06.2020				
Утвер.	Левцев А.П.			15.06.2020				
					Потребление электрической энергии на собственные нужды до и после установки ЧРП			
					ИМЭ, Кафедра ТЭС, з/о			