

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки)

Энергосбережение и энергоэффективность

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности на предприятии АО «Геомаш»

Обучающийся

Д.А. Сибилев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., О.В. Самолина

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти, 2023

Содержание

Введение.....	4
1 Описание объекта исследования и определение перспективных путей энергосбережения на предприятии	7
1.1 Описание объекта исследования.....	7
1.2 Нормативные требования к программам энергосбережения.....	14
1.3 Направления разработки программы энергосбережения	15
2. Технические мероприятия в системе теплоснабжения	19
2.1 Расчет нормативной отопительной характеристики	19
2.2 Замена окон.....	29
2.3 Теплоизоляция теплотрасс	37
2.4 Индивидуальный тепловой пункт с погодозависимой автоматикой.....	57
3. Технические мероприятия в системе электроснабжения	62
3.1 Реконструкция системы освещения	62
3.2 Внедрение частотных преобразователей.....	64
4 Расчет экономической эффективности энергосберегающих мероприятий	78
4.1 Расчет затрат	78
4.2 Чистая текущая стоимость	80
4.3 Индекс рентабельности	80
4.4 Определение предельного значения изменения дохода	81
Заключение	84
Список используемой литературы и используемых источников.....	85

Введение

Вопросы энергосбережения и повышения энергетической эффективности являются актуальными в нашей стране. Несмотря на более низкую стоимость энергетических ресурсов, из-за климатических особенностей страны и структуры экономики обеспечить конкурентоспособность продукции на внутреннем и внешнем рынках можно лишь применяя современные энергоэффективные решения как в производстве, так и в сферах жилищно-коммунального хозяйства. В настоящее время нашими предприятиями освоено производство материалов и оборудования, позволяющих снизить потери энергоресурсов. Ведется активная работа по импортозамещению вышедших с нашего рынка технологий, позволяющих снижать затраты на оплату электрической и тепловой энергии. По мере роста тарифов и насыщения отечественных рынков отечественные предприятия будут просто вынуждены заниматься вопросами энергосбережения, чтобы вписываться в конкурентную себестоимость выпускаемой продукции [2].

Со стороны государства разработаны и внедряются меры поддержки предприятий для инвестиций в основные средства с целью энергосбережения, а также стимулирование производства товаров, имеющих высокую энергетическую эффективность. Меры поддержки включают в себя и налоговые послабления, и субсидирование целевых кредитов, и содействие в разработке и реализации инвестиционных проектов. Для государства работа в этой области важна по многим аспектам. Это и повышение конкурентоспособности экономики в целом и высвобождение генерирующих и сетевых мощностей для подключения новых производств. Кроме того, при использовании отечественных материалов и оборудования происходит стимулирование смежных отраслей производства, формируется спрос на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Для организаций, стоимость услуг которых регламентируется государством

законодательно устанавливаются требования по реализации программ энергосбережения с отнесением расходов в согласованные тарифы [23, 24,].

Одним из основных ограничений для более активного внедрения энергосберегающих технологий является отсутствие соответствующих компетенций у персонала предприятий, на который возлагаются обязанности ответственного за энергосбережение на предприятиях [6,11,13,18]. Несмотря на то, что существуют образовательные программы дополнительного профессионального образования, обучение по которым оплачивается или субсидируется государством, обучающиеся не в состоянии освоить огромный пласт информации в сжатые сроки. В образовательных организациях внедряются полноценные образовательные программы, связанные с энергосбережением, но, во-первых, данная направленность еще не столь распространена, а во-вторых, не сформирован спрос на таких специалистов со стороны предприятий. Только крупные организации могут позволить себе держать в штате такого узкоспециализированного сотрудника.

Выходом из сложившейся ситуации может быть более активная передача на подряд функций по внедрению энергосберегающих технологий. Такие попытки ранее осуществлялись в форме заключения энергосервисных договоров со специализированными энергосервисными организациями, которые осуществляли первичное обследование организации или пользуясь результатами ранее проведенного обследования формировали программы и внедряли энергосберегающие мероприятия за счет собственных или привлеченных средств [17,27,28,29]. Затраты компенсировались за счет сэкономленных средств, на оплату энергетических ресурсов. Но данная практика не особо распространилась по причине сложности учета объема сэкономленных средств и определения сопоставимых условий. При изменении объема производства продукции, климатических условий и других трудно прогнозируемых факторов довольно сложно определить

спрогнозировать денежные потоки, что сильно увеличивает риски как с одной, так и с другой стороны [3,30,31,32].

В настоящее время энергосервисные договоры, не смотря на все трудности, снова начали реализовываться. Но реализуются они теперь производителями оборудования, которое используется в типовых мероприятиях. К такому оборудованию относятся осветительные установки на базе светодиодов, силовые преобразователи для электродвигателей, индивидуальные тепловые пункты с функцией погодозависимого регулирования, вентиляционные установки с рекуператорами и т.д [4]. Для производителей такого оборудования риски реализации энергосервисных договоров компенсируются увеличением рынков сбыта.

Для специалистов предприятий, самостоятельно реализующих инвестиционные проекты в рамках программы энергосбережения, разработаны типовые мероприятия с приблизительно рассчитанным эффектом, а также регулярно публикуется сборники с опытом реализации пилотных проектов.

Целью магистерской диссертации является снижение затрат предприятия на энергетические ресурсы.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать текущее состояние вопроса энергосбережения на предприятии;
- на основании полученной информации с использованием типовых рекомендаций и опыта реализации энергосберегающих мероприятий на предприятиях схожего профиля предложить актуальные мероприятия для АО «Геомаш»;
- произвести требуемые инженерные и экономические расчёты.

1 Описание объекта исследования и определение перспективных путей энергосбережения на предприятии

1.1 Описание объекта исследования

АО «Геомаш» - предприятие с историей. Первые упоминания о начале производства относятся к далекому 1885 году. В 1896 году построены первые кирпичные здания для механического цеха и деревянные для литейного и кузнечного цехов [1].

В 1927 году в цехах Щигровского механического завода изготавливаются первые буровые станки КМА-300.

В 1935 году начинается выпуск станков для ударного бурения типа УА-75, а также насосных лебедок. В 1975 году было спроектировано и освоено порядка двадцати наименований бурового оборудования и значительное количество позиций специального бурового инструмента. В начале 90-х годов прошлого столетия предприятие было акционировано, и новые собственники начали постепенно заниматься модернизацией оборудования.

Сейчас компания «Геомаш» занимает лидирующие позиции в области производства буровой техники (буровых установок для инженерных изысканий, буровых установок для бурения скважин на воду, бурового инструмента). Буровое оборудование, а именно его разработка и производство, является важнейшим направлением деятельности. Более 100 лет буровое оборудование «Геомаш» используется на территории Российской Федерации.

АО «Геомаш» выпускает широкий ряд буровой техники от малогабаритных (ББУ-000 «Опенк») до самоходных буровых установок (ПБУ-2 и другие), а также специальных буровых установок на воду (буровая установка УРБ). Основная специализация компании «Геомаш» – самоходная буровая техника, которая устанавливается на различные транспортные средства: автомобили и шасси повышенной проходимости.

В структуру предприятия АО «Геомаш» входит ряд административно-производственных зданий, цехов и участков:

- административно-бытовой корпус блока цехов,
- компрессорная,
- кузнечный цех,
- литейный цех,
- механический цех,
- модельный участок,
- насосная станция 2-го подъема,
- опытный участок ОИС,
- покрасочный участок,
- ремонтно-строительный цех,
- сборочный цех,
- транспортный цех,
- цех металлоконструкций,
- столовая,
- автомойка,
- автогараж,
- электромастерская,
- здание депо,
- заводоуправление.

Территория предприятия показана на рисунке 1. Основные характеристики зданий приведены в таблице 1. Характеристики систем освещения приведены в таблице 2.



Рисунок 1 – Производственная территория АО «Геомаш» (вид со спутника).

Таблица 1 – Основные характеристики зданий АО «Геомаш»

Наименование здания	Площадь, м ²	Отопление	Высота	Материал оконной рамы	Площадь оконного проема, м ²	
Административно-бытовой корпус блока цехов	1200	есть	3	пластик	324	
Компрессорная	250		5		дерево	67,5
Кузнечный цех	1600		10			432
Литейный цех	1600	нет	12	дерево	432	
Механический цех	1600	есть	12		432	
Модельный участок	800		10		216	

Продолжение таблицы 1

Наименование здания	Площадь, м ²	Отопление	Высота	Материал оконной рамы	Площадь оконного проема, м ²
Насосная станция 2-го подъема	600	есть	5	дерево	162
Опытный участок ОИС	450		4		121,5
Покрасочный участок	450		5		121,5
Ремонтно-строительный цех	1600		12		432
Сборочный цех	1600		12		432
Транспортный цех	1600		12		432
Цех металлоконструкций	1600		12		432
Столовая	200		3		54
Автомойка	150		5		40,5
Автогараж	850		5		229,5
Электромастерская	600		5		162
Здание депо	1150		10		310,5
Заводоуправление	450		3		пластик

Таблица 2 – Характеристики систем освещения

Наименование здания	Ограждающая конструкция	Этажность	Тип ламп	Кол-во светильников
Административно-бытовой корпус блока цехов	кирпич	4	светодиодные	80
Компрессорная	кирпич, штукатурка	1	ДНаТ	10
Кузнечный цех	бетон, монолит			64
Литейный цех				64

Продолжение таблицы 2

Наименование здания	Ограждающая конструкция	Этажность	Тип ламп	Кол-во светильников
Модельный участок	кирпич, штукатурка	1	ДНаТ	32
Насосная станция 2-го подъема				24
Опытный участок ОИС	бетон, монолит			18
Покрасочный участок				18
Ремонтно-строительный цех				64
Сборочный цех				64
Транспортный цех				64
Цех металлоконструкций				64
Столовая				кирпич, штукатурка
Автомойка	6			
Автогараж	34			
Электромастерская	24			
Здание депо	46			
Заводоуправление	2	светодиодные	30	

На территории завода есть собственная котельная, которая обеспечивает тепловой энергией все производственные здания и административные корпуса. Общая протяженность всех магистральных тепловых сетей составляет 4,8 км, теплоизоляция сетей находится в неудовлетворительном состоянии. Количественное потребление электрической энергии представлено в таблице 3, характер потребления – на рисунке 2. Электрическая схема показана на рисунке 3.

Таблица 3 – Потребление электрической энергии в 2022 году

Месяц	Потребление, кВт·ч
Январь	436452
Февраль	559239
Март	607097
Апрель	517349
Май	405693
Июнь	485932
Июль	410839
Август	481911
Сентябрь	499481
Октябрь	557305
Ноябрь	0
Декабрь	0
Год	4961298

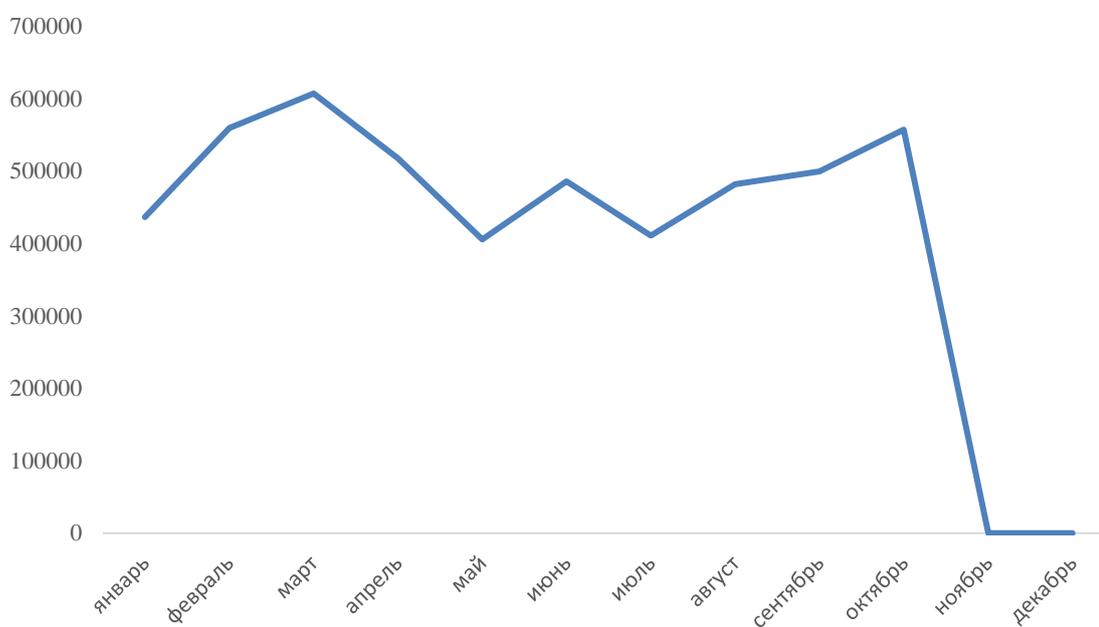


Рисунок 2 – График потребления электрической энергии по месяцам в 2022 году, кВт·ч

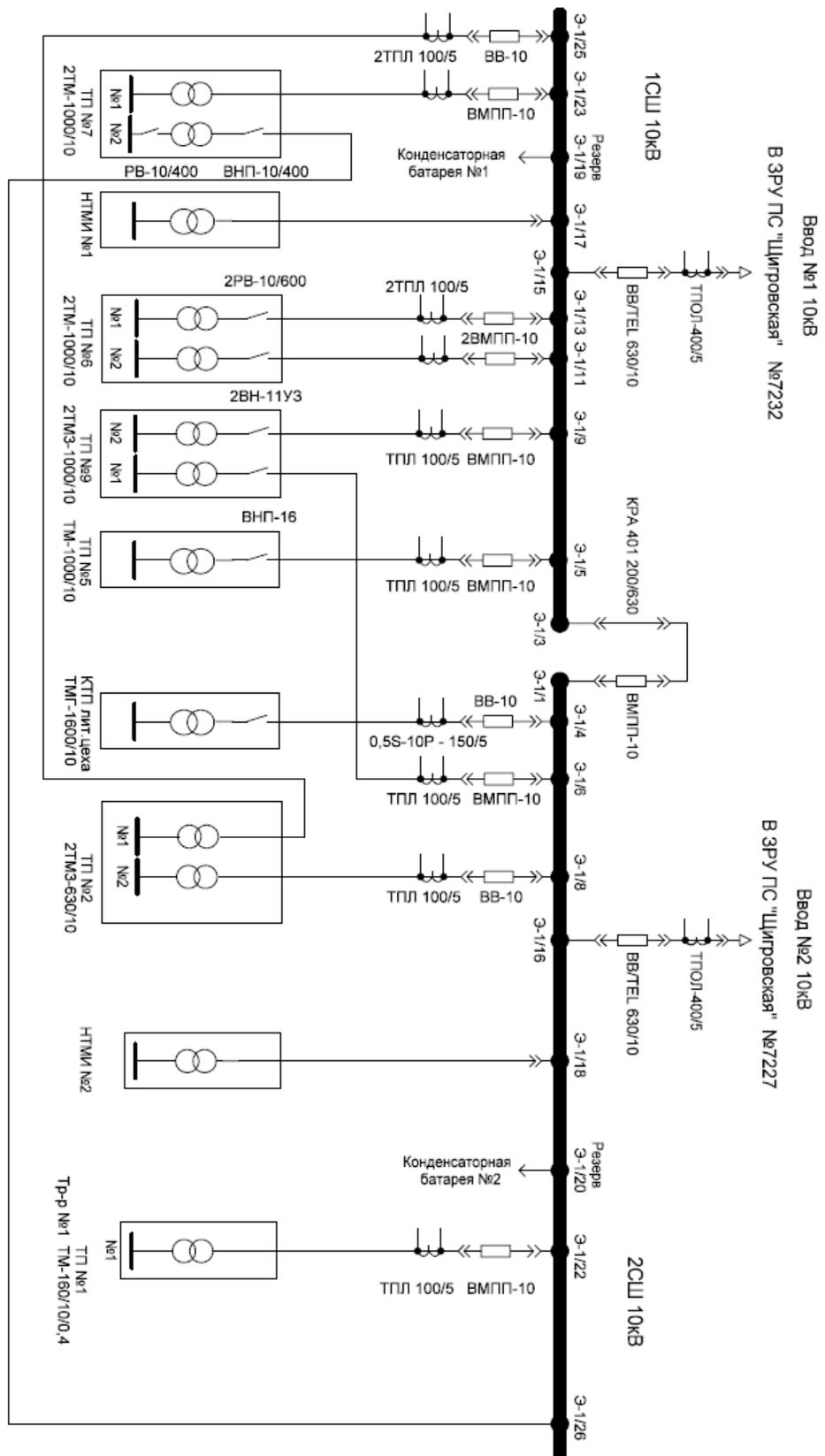


Рисунок 3 – Однолинейная электрическая схема. Максимальная установленная мощность предприятия – 6293 кВт

1.2 Нормативные требования к программам энергосбережения

К числу других наиболее важных нормативных документов, которые регламентируют разработку энергетических паспортов и программ энергосбережения и повышения энергетической эффективности, относятся следующие акты:

- Указ Президента Российской Федерации О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики №889 [21];
- Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2010 г. № 579 Об оценке эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности [22];
- Приказ Министерства экономического развития РФ N 174 «Об утверждении примерных условий энергосервисного договора (контракта), которые могут быть включены в договор купли-продажи, поставки, передачи энергетических ресурсов (за исключением природного газа)» [17];
- ГОСТ 31531-2012 «Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования» [3];
- ГОСТ 31607-2012 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения» [5];
- ГОСТ 31532-2012 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.» [4].

В настоящее время в соответствие со статьей 48 федерального закона №261 ФЗ программы энергосбережения обязательны для двух категорий

организаций- осуществляющие регулируемые виды деятельности и организаций с участием государства (или муниципальных органов власти) [23]. К первой категории относятся предприятия, занимающиеся производством и передачей тепловой и электрической энергии, воды и другими сферами деятельности, стоимость которых определяется рыночными механизмами, а с участием уполномоченных органов власти. Ко второй категории относятся муниципальные образования, госпредприятия, администрации разного уровня и т.д. Для коммерческих организаций, не относящихся к вышеперечисленным категориям, разработка программы энергосбережения не является обязательной, и ее наличие определяется внутренними регламентами. Но, как правило, предприятия с высокой культурой производства сами заинтересованы в наличии такого документа, выполнение требований которого может сократить издержки и увеличить эффективность производства.

1.3 Направления разработки программы энергосбережения

На сегодняшний день предприятие требует значительных инвестиций в основные средства в силу того, что устарело основное технологическое оборудование, производственные помещения требуют реконструкции. Поэтому перед руководством акционерного общества стоит задача планомерного снижения энергоемкости производства и экономии энергетических ресурсов, которые расходуются на технологические нужды, отопление производственных помещений и освещение.

Исходными данными является документация, полученная на предприятии:

- план расположения производственных помещений;
- площади помещений с характеристиками ограждающих конструкций;

- схемы принципиальные электрические питающих и распределительных сетей;
- схемы принципиальные тепловой сети предприятия;
- графики нагрузок, полученные с системы коммерческого и технического учета электрической энергии.

Также в процессе разработки мероприятий программы проводились консультации с ответственными специалистами на предприятии.

В результате консультаций и изучения технической документации АО «Геомаш», были выявлены следующие недочеты, которые негативным образом сказываются на показателях энергоэффективности предприятия:

- на всех производственных цехах установлены изношенные оконные конструкции с деревянными рамами, тепловой сопротивление и инфильтрация не отвечает минимальным требуемым значениям;
- неудовлетворительная состояние ограждающих конструкций, нарушенная теплоизоляция стен;
- изношенная теплоизоляция наружных трубопроводов системы отопления;
- отсутствие регулирования тепловых режимов в помещениях;
- преобладает использование ламп типа ДНаТ в целях освещения производственных участков;
- неравномерное распределение нагрузки по фазам.

Все мероприятия программы энергосбережения можно разделить на организационные и технические.

1.3.1 Организационные мероприятия

Организационные мероприятия по экономии электрической энергии и снижению потерь тепловой энергии сводятся к соблюдению должностных инструкций, поддержанию номинальных режимов работы технологического оборудования. Достигается это путем проведения инструктажей дежурного персонала ответственным за энергосбережение на предприятии, разработкой руководящих документов по работе с различными видами оборудования. При

этом мотивация работников может достигаться за счет внедрения на предприятии системы поощрения за надлежащее выполнение требований и инструкций в области энергосбережения.

Обучение ответственных за энергосбережение. Цель - обучение руководителей и специалистов современными методами управления энергетической эффективностью.

На момент разработки программы средняя рыночная стоимость обучения по программам энергосбережения составляет 8000 рублей.

1.3.2 Технические мероприятия

Технические мероприятия по повышению энергетической эффективности можно условно разделить на два основных направления: мероприятия в области теплоснабжения и мероприятия в области электроснабжения.

Для предприятия, основные фонды которого значительно изношены, основным мероприятием можно считать приведение состояния зданий и сооружений, технологическое оборудование в соответствие проектным решениям. Так как фактическое состояние и степень износа основных фондов без качественного технического и энергетического аудита с применением приборов неразрушающего контроля (тепловизор, измеритель плотности тепловых потоков, логгеры электрических параметров и т.д.) определить затруднительно в качестве отправной точки будем считать состояние оборудования и зданий близким к нормативным значениям. Все мероприятия программы выбираются исходя из современных повышенных требований энергетической эффективности и с учетом более эффективных технологий, чем существовавшие на момент строительства предприятия. Мероприятия, предусматриваемые программой и предлагаемые к реализации, приведены на рисунке 4.

Теплоснабжение



- Замена окон на энергоэффективные
- Установка индивидуальных тепловых пунктов на вводах в здания
- Замена теплоизоляции теплотрассы на более энергоэффективную

Электроснабжение



- Установка частотных преобразователей
- Замена ламп

Рисунок 4 – Технические мероприятия программы энергосбережения АО «Геомаш»

Выводы по разделу 1

На основании приведенной в разделе информации установлено, что на предприятии большой потенциал энергосбережения и снижения показателя энергоёмкости продукции: необходимо провести замену изношенных оконных проёмов с деревянными рамами, утеплить ограждающие конструкции, модернизировать котельную и тепловые сети, провести реконструкцию системы освещения с заменой устаревших светильников на светодиодные.

В разделе также приведён перечень организационных и технических мероприятий для систем теплоснабжения и электроснабжения предприятия.

2 Технические мероприятия в системе теплоснабжения

2.1 Расчет нормативной отопительной характеристики

Для определения потенциала энергосбережения необходимо определить нормативное потребление для отапливаемых помещений [12,34,35,36]. В отапливаемых зданиях при наличии разности температур между внутренним и наружным воздухом постоянно происходят потери тепла через ограждающие конструкции – наружные стены, перекрытия, полы и проемы (окна, двери, ворота, фонари). Потери тепла через наружные ограждения при заданном тепловом режиме определяются величиной теплового потока и зависят от конструкции и теплофизических свойств строительных материалов ограждений, а также от архитектурно-планировочного решения здания. Значительное влияние на величину теплопотерь оказывает также остекление наружных стен. Не менее важна ориентация здания по странам свет. В зданиях с благоприятной ориентацией на местности, оборудованных системами отопления с автоматическим регулированием параметров теплоносителя, при изменениях температуры наружного воздуха можно, используя солнечную радиацию, уменьшить теплопотери и получить экономию тепла. После расчета теплозащитных качеств и выбора конструкций наружных ограждений, а также выполнения других теплотехнических расчетов, требуемых для составления теплового баланса отапливаемых помещений, можно оценить удельные характеристики здания пути и резервы экономии.

В административных зданиях и цехах для поддержания нормативного теплового баланса используется наиболее распространённый способ обогрева помещений – обогрев с помощью ребристых радиаторов.

На основе полученных исходных данных определим теплоэнергетические показатели отапливаемых зданий предприятия. Расчёт

приводится для административного здания заводоуправления. В качестве исходных данных принимаем значения из кадастрового паспорта объекта.

Сопротивление теплопередаче R (рисунок 5) ограждения [12]:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_B + R_H \quad (1)$$

где δ_i – толщина слоя ограждения, м;

R_B – сопротивление тепловосприятию у внутренней поверхности ограждения (R_B равное 0,133 для внутренних поверхностей стен, полов, а также для гладких или со слабовыступающими и редкорасположенными ребрами потолков), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

R_H – сопротивление теплоотдаче у наружной поверхности (R_H равное 0,143 – для поверхностей, выходящих на чердак, R_H равное 0,2 – для поверхностей над холодными подвалами или подпольями, R_H равное 0,05 – для остальных случаев), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$;

λ_i – коэффициент теплопроводности ограждения, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{°C}$.

Схема теплопередачи представлена на рисунке 5.

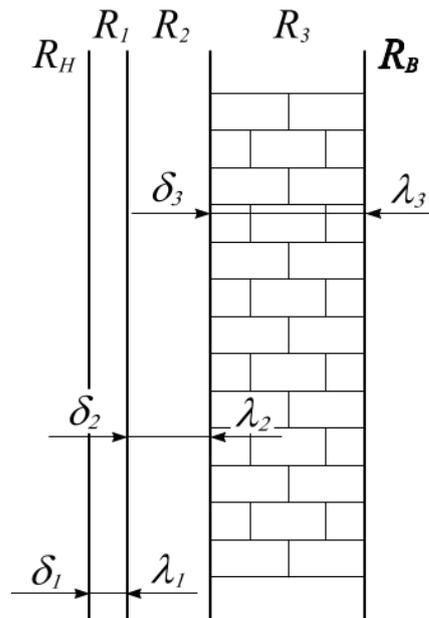


Рисунок 5 – Схема теплопередачи через плоскую стенку.

Для стен сопротивление теплопередаче R по формуле (1):

Кирпичная стена: толщина кладки 37 см., слой штукатурки 3 см.:

$$R = 0,133 + 0,05 + \frac{37 \cdot 10^{-2}}{0,65} + \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,45} = 0,81 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Для светопроемов сопротивление теплопередаче R по формуле (1):

Стекло толщиной 3 см.

$$R = 0,133 + 0,05 + \frac{3 \cdot 10^{-2}}{0,7} = 0,22 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Для дверных проемов сопротивление теплопередаче R по формуле (1):

Стальные двери толщиной 0,5 см, утепленные минеральной ватой толщиной 5 см.

$$R = 0,133 + 0,05 + \frac{5 \cdot 10^{-2}}{0,038} + \frac{0,5 \cdot 10^{-2}}{0,482} = 1,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Для покрытий сопротивление теплопередаче R по формуле (1):

Железобетон 30 см.

$$R = 0,133 + 0,05 + \frac{30 \cdot 10^{-2}}{1,45} = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Для перекрытий сопротивление теплопередаче R по формуле (1):

Железобетон 30 см.

$$R = 0,133 + 0,05 + \frac{30 \cdot 10^{-2}}{1,45} = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Данные расчетов сведем в таблицу 4.

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций охлаждаемых зданий и сооружений показано в таблице 4 и должно соответствовать нормируемой величине [10,37].

Таблица 4 – Приведенное сопротивление ограждений

Обозначение площади ограждения	Площадь ограждения м ²	Обозначение приведенного сопротивления	Приведенное сопротивление (м ² · °C) / Вт	Норма для пром. здания	Норма для админ. здания
A_W	535,6	R_W^r	0,81	0,8	1,0
A_F	66,3	R_F^r	0,22	0,25	0,25
A_{ed}	8,4	R_{ed}^r	1,5	0,25	0,25
A_c	305,71	R_c^r	0,38	-	-
A_f	305,71	R_f^r	0,38	-	-

Продолжение таблицы 4

Обозначение площади ограждения	Площадь ограждения м ²	Обозначение приведенного сопротивления	Приведенное сопротивление (м ² · °С) / Вт	Норма для пром. здания	Норма для админ. здания
A_e^{sum}	1221,72	-	-	-	-

Теплозащита ограждающих конструкций здания не соответствует современным требованиям к теплозащите.

Для наружных стен и покрытий (в том числе вентилируемых наружным воздухом), перекрытий чердачных (с кровлей из штучных материалов); перекрытий над холодными (без ограждающих стенок) подпольями принимаем $n=1$ [12].

Тогда приведенный трансмиссионный коэффициент теплопередачи здания:

$$K_m^{tr} = \frac{1,1 \cdot \left(\frac{535,6}{0,81} + \frac{66,3}{0,22} + \frac{8,4}{1,5} + 1 \cdot \frac{305,71}{0,38} + 1 \cdot \frac{305,71}{0,38} \right)}{1221,72} = 2,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}} \quad (2)$$

Требуемая краткость воздухообмена жилого здания n_a , 1/ч, из расчета 3 м³/ч удаляемого воздуха на 1 м² жилых помещений определяется по формуле:

$$n_a = \frac{3 \cdot A_r}{(\beta_v \cdot V_h)} \quad (3)$$

Тогда требуемая краткость воздухообмена жилого здания n_a по формуле (3):

$$n_a = \frac{3 \cdot 549,9}{(0,85 \cdot 3144,9)} = 0,61 \frac{1}{ч}$$

Приведенный инфильтрационный (условный) коэффициент теплопередачи здания определяется по формуле:

$$K_m^{inf} = \frac{0,28 \cdot c \cdot n_a \cdot \beta_v \cdot V_h \cdot \gamma_a^{ht} \cdot k}{A_e^{sum}}, \quad (4)$$

где γ_a^{ht} – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, определяется по формуле (5), кг/м³;

k – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,75.

$$\gamma_a^{ht} = \frac{353}{(273 + 0,5 \cdot t_{ext}^{av})}, \quad (5)$$

где t_{ext}^{av} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период. Согласно СП 131.13330.2020 «Свод правил. Строительная климатология» t_{ext}^{av} равна 4,78°С [19].

$$\gamma_a^{ht} = \frac{353}{(273 + 0,5 \cdot 4,78)} = 1,29$$

Приведенный инфильтрационный коэффициент теплопередачи здания:

$$K_m^{inf} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,85 \cdot 3144,9 \cdot 1,29 \cdot 0,75 / 1221,72 = 0,36$$

Общий коэффициент теплопередачи здания $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, определяемый по формуле:

$$K_m = K_m^{tr} + K_m^{inf}, \quad (6)$$

$$K_m = 2,3 + 0,36 = 2,66 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

2.1.1 Теплоэнергетические показатели

Общие теплопотери через ограждающую оболочку здания за отопительный период определяются по формуле (6), МДж:

$$Q_h = 0,0864 \cdot K_m \cdot D_d \cdot A_e^{sum}, \quad (7)$$

где K_m – общий коэффициент теплопередачи;

D_d – количество градусо-суток отопительного периода. Согласно ТСН 23-346-2003 г. Щигры находится в III климатическом районе Курской области, поэтому D_d равняется 4700.

$$Q_h = 0,0864 \cdot 2,66 \cdot 4700 \cdot 1221,72 = 1\,319\,668,7 \text{ МДж}$$

Удельные бытовые тепловыделения q_{int} , $\text{Вт}/\text{м}^2$, следует устанавливать исходя из расчетного удельного электро- и газопотребления здания, но не менее $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Принимаем q_{int} равными $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$

Бытовые теплопоступления в здание за отопительный период определяются по формуле (7), МДж:

$$Q_{int} = 0,0864 \cdot q_{int} \cdot Z_{ht} \cdot A_L, \quad (8)$$

где q_{int} – величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 полезной площади (площади жилых помещений), но не менее $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

A_L – для жилых зданий – площадь жилых помещений и кухонь для общественных зданий – полезная площадь здания, м^2 .

$$Q_{\text{int}} = 0,0864 \cdot 10 \cdot 159 \cdot 549,9 = 75543 \text{ МДж}$$

Теплопоступления в здание от солнечной радиации за отопительный период определяются по формуле (8), МДж: Расположение здания показано на рисунке 6, значения площадей в таблице 5.

$$Q_S = \tau_F \cdot k_F \cdot (A_{F1} \cdot I_1 + A_{F2} \cdot I_2 + A_{F3} \cdot I_3 + A_{F4} \cdot I_4) + \tau_{\text{scy}} \cdot k_{\text{scy}} \cdot A_{\text{scy}} \times \times I_{\text{bor}} \quad (9)$$

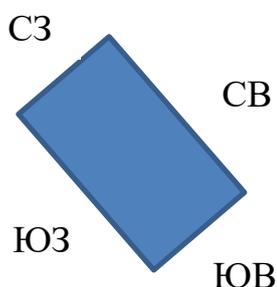


Рисунок 6 – Расположение здания по сторонам света

Таблица 5 – Значения площадей и величин солнечной радиации.

Обозначение площади ограждения	Площадь ограждения, м ²	Обозначение солнечной радиации	Солнечная радиация, МДж/м ²	τ_F	k_F
A _{F1}	20,55	I ₁	816	0,9	0,9
A _{F2}	9	I ₂	816		
A _{F3}	25,8	I ₃	382		
A _{F4}	10,95	I ₄	816		

$$Q_S = 0,9 \cdot 0,9(20,55 \cdot 816 + 9 \cdot 816 + 25,8 \cdot 382 + 10,95 \cdot 816) + 0 = 42903,6 \text{ МДж}$$

Потребность в тепловой энергии на отопление здания за отопительный период, МДж, при автоматическом регулировании теплоотдачи нагревательными приборами определяют по формуле [12]:

$$Q_h^y = (Q_h - (Q_{int} + Q_s) \cdot V) \cdot \beta_h, \quad (10)$$

$$Q_h^y = (1\,319\,668,7 - (75543 + 42903) \cdot 0,8) \cdot 1,13 = 1384150,5 \text{ МДж}$$

$$Q_h^y = (691983,7 - (75543 + 42903,06) \cdot 0,8) \cdot 1,13 = 648096,9 \text{ МДж}$$

Удельный расход тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} определяется по формуле, кДж/(м²·°С·сут) [12]:

$$q_h^{des} = \frac{10^3 \cdot Q_h^y}{A_h \cdot D_d}, \quad (11)$$

$$q_h^{des} = \frac{10^3 \cdot 648096,9}{549,9 \cdot 2464,5} = 478,2 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}}$$

$$q_h^{des} = \frac{10^3 \cdot 1384150,5}{549,9 \cdot 2464,5} = 72 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°С} \cdot \text{сут}}$$

Тогда удельная расчетная тепловая характеристика здания определяется по формуле:

$$q_{уд} = \frac{72 \cdot 10^3}{3144,9 \cdot (16 - (-21))} = 0,69 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}} \quad (12)$$

2.1.2 Определение удельной фактической отопительной характеристики здания

С другой стороны, количество теплоты, ГДж за расчетный период в общем случае определяется по формуле [12]:

$$Q_o = Q_{выр} = 3,6 \cdot Q_{o \max} \cdot \frac{t_i - t_m}{t_i - t_o} \cdot Z \cdot 24 \quad (13)$$

$$Q_{o \max} = \frac{342,3}{3,6 \cdot \frac{16 - 0,5}{16 - (-21)} \cdot 159 \cdot 24} = 0,059 \text{ МВт}$$

Суммарная фактическая удельная отопительная характеристика здания вычисляется по формуле:

$$q_o = \frac{Q_{o \max}}{V_{3\delta} \cdot (t_i - t_o)} \quad (14)$$

$$q_o = \frac{0,059 \cdot 10^6}{3144,9 \cdot (16 - (-21))} = 0,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Для остальных зданий расчеты проводятся аналогично. Результаты расчетов сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчета теплоэнергетических показателей

Наименование	Нормативная удельно-тепловая характеристика зданий, q_0			Площадь, $S, \text{м}^2$	$t_{\text{int}},$ $^{\circ}\text{C}$	Нормативное теплопотребление, Гкал		
	q_0	q_v	Σq			Q_0	Q_v	ΣQ
Столовая	0,3	0,70	1,1	2047,8	16	159	312	470
Сборочный цех	0,48	0,13	0,7	1775,9	20	681	179	860
Опытный участок ОИС	0,48	0,13	0,7	5636,1	20	870	229	1099
Механический цех	0,48	0,13	0,7	4118,1	20	922	243	1164
Покрасочный участок	0,48	0,13	0,7	1233,3	20	413	109	522

2.2 Замена окон

При анализе первичной информации определили, что для реконструкции зданий и сооружений АО «Геомаш» необходимо заменить окна в корпусах с общей площадью 3,01 тыс. м^2 оконных проемов. Существующие окна не соответствуют действующим нормативам теплозащиты.

В настоящее время наиболее доступным вариантом для реконструкции являются окна с рамами из поливинилхлоридного профиля. Данное решение обладает рядом преимуществ [12]:

- универсальность профильных систем позволяет путем комбинирования различных видов ПВХ-профилей изготавливать пластиковые окна различных форм и размеров;
- хорошая звукоизоляция, обеспечивающая приемлемый уровень акустического комфорта;
- улучшенная по сравнению с деревянными окнами с листовым стеклом теплоизоляция;
- устойчивость к воздействию агрессивных сред (щелочей, кислот)

- устойчивость к атмосферным воздействиям;
- пожаробезопасные, т.к. ПВХ профиль слабовоспламеняющийся и самогасящийся, индекс распространения пламени для ПВХ окон равен нулю.
- низкие эксплуатационные расходы (ухода требует лишь фурнитура)

Количество окон, не соответствующие нормативным требованиям, по корпусам приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Площадь оконных проемов, не соответствующих нормативным требованиям

Объект внедрения	Общая площадь, м ²
Сборочный цех	1089
Механический цех	1089
Опытный участок ОИС	537
Покрасочный участок	201
Транспортный цех	537
Ремонтно-строительный цех	172
Столовая	130

Фактическое потребление природного газа за 2022 год составило 1222,827 тыс. м³.

В настоящее время установлены окна с деревянными рамами, листовым стеклом двойным остеклением, двустворчатые. Сопротивление теплопередаче 0,35-0,39 м²·°С/Вт. Объемная воздухопроницаемость при ΔP=100 50 Па, м³ / (ч · м²).

Суммарные теплопотери через окна приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Суммарные теплотери через существующие окна

Объект внедрения	Общая площадь, м ²	Теплотери, Вт/м ²
Сборочный цех	1089	1197900
Механический цех	1089	1197900
Опытный участок ОИС	537	45810,43
Покрасочный участок	402	442200
Транспортный цех	537	45810,43
Ремонтно-строительный цех	172	189200
Столовая	130	143000

В зданиях с классом энергоэффективности В ("высокий") при реконструкции и капитальном ремонте должны оснащаться окнами с приведенным сопротивлением теплопередаче 0,56-0,8 (м² · °С) / Вт).

Тепловые характеристики окон описываются следующими параметрами [12]:

- сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции R_0 , м²·°С/Вт - отношение разности температур окружающей среды по обе стороны однородной ограждающей конструкции к плотности теплового потока через конструкцию в условиях стационарной теплопередачи, вычисляемое по формуле:

$$R_0 = \frac{t_B - t_H}{q}, \quad (15)$$

где t_B , t_H - температура окружающей среды по обе стороны ограждающей конструкции, °С.

- приведенное сопротивление теплопередаче неоднородной ограждающей конструкции R_0^{np} , м²·°С/Вт- усредненное по площади расчетной

поверхности неоднородной ограждающей конструкции значение сопротивления теплопередаче, вычисляемое по формуле:

$$R_o^{пр} = \frac{\sum F_1}{\sum (F_1/R_{0i})} \quad (16)$$

По показателю приведенного сопротивления теплопередаче изделия подразделяют на классы, представленные в таблице 9:

Таблица 9 – Сопротивление теплопередачи

Классы по показателю приведенного сопротивления теплопередаче	Сопротивление теплопередаче, м ² ·°С/Вт (не менее)
А1	0,80
А2	0,75-0,79
Б1	0,70-0,74
Б2	0,65-0,69
В1	0,60-0,64
В2	0,55-0,59
Г1	0,50-0,54
Г2	0,45-0,49
Д1	0,40-0,44
Д2	0,35-0,39

Воздухопроницаемость - свойство конструкции оконного блока пропускать воздух в закрытом состоянии при наличии разности давления воздуха на его наружных и внутренних поверхностях, G, кг/(ч·м²). Значения воздухопроницаемости, в зависимости от класса помещений представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Объемная воздухопроницаемость

Класс	Объемная воздухопроницаемость при $\Delta P=100$ Па, $\text{м}^3 / (\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ для построения нормативных границ классов
А	3
Б	9
В	17
Г	27
Д	50

Основная часть площади окна – стеклопакет. В большей степени от теплофизических свойств стеклопакета зависят теплопотери через окна.

Потери тепла через стеклопакет происходят посредством инфильтрационных потерь и за счет теплопроводности окон.

Расчет суммарных теплопотерь:

Трансмиссионные потери через 1 м^2 окна составляют, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$:

$$\frac{Q_{ht}}{A_F} = M \cdot \frac{1}{R_F^r} \cdot 10^{-3}, \quad (17)$$

где M - количество градусо-часов за период, определяется по формуле (18), $\text{град}\cdot\text{ч}$.

$$M = 24 \cdot Z_{ht} \cdot (t_{int}^h - t_{ext}) \quad (18)$$

При замене окна с меньшим теплосопротивлением R_{w1}^r на окно с большим теплосопротивлением R_{w2}^r , сэкономленная тепловая энергия рассчитывается по формуле:

$$\frac{Q_{ht}}{A_F} = M \cdot \frac{1}{R_{w1}^r} \cdot \left(1 - \frac{1}{m}\right) \cdot 10^{-3}, \quad (19)$$

где m – коэффициент повышения уровня теплозащиты, определяется по формуле (20).

$$m = \frac{R_{w2}^r}{R_{w1}^r} \quad (20)$$

Расход теплоты на нагрев инфильтрующего наружного воздуха, прошедшего через 1 м^2 окна:

$$\frac{Q_{inf}}{A_F} = M \cdot 0,28 \cdot c \cdot G_F^r \cdot p_a^{ht} \cdot k \cdot 10^{-3}, \quad (21)$$

где G_F^r – воздухопроницаемость окна;

k – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока;

c – удельная теплоемкость воздуха, равная $1 \text{ кДж/кг } ^\circ\text{С}$.

Тепловая энергия, сэкономленная за отопительный период при замене окна с воздухопроницаемостью G_{F1}^r на окно с воздухопроницаемостью G_{F2}^r рассчитывается по формуле:

$$\frac{\Delta Q_{inf}}{A_F} = M \cdot 0,28 \cdot c \cdot (G_{F1}^r - G_{F2}^r) \cdot p_a^{ht} \cdot k \cdot 10^{-3} \quad (22)$$

Вариант 1

Поливинилхлоридные со стеклопакетами, однокамерные, одностворчатые, нормального исполнения. Характеристики показаны в таблице 11.

Таблица 11 – Техничко-экономическая характеристика первого варианта замены окон (однокамерный стеклопакет)

Объект внедрения	Кол-во, м ²	Теплопотери В1, кВт·ч	Разница с сущ, кВт·ч	Разница в газовом эквиваленте м ³ , газа	Экономия, руб.
Сборочный цех	1089,00	490050,00	707850,00	67094,79	415311,38
Механический цех	1089,00	490050,00	707850,00	67094,79	415311,38
Опытный участок ОИС	537,00	241650,00	349050,00	33085,31	204795,42
Покрасочный участок	402,00	90450,00	130650,00	12383,89	76655,29
Транспортный цех	537,00	241650,00	349050,00	33085,31	204795,42
Ремонтно-строительный цех	172,00	77400,00	111800,00	10597,16	65595,57
Столовая	130,00	58500,00	84500,00	8009,48	49578,04

Вариант 2

Поливинилхлоридные со стеклопакетами, двухкамерные, одностворчатые, нормального исполнения. Характеристики показаны в таблице 12.

Таблица 12 – Техничко-экономическая характеристика второго варианта замены окон (двухкамерный стеклопакет)

Объект внедрения	Теплопотери В , кВт·ч	Разница с сущ, кВт·ч	Разница в газовом эквиваленте м ³ , газа	Экономия, руб.
Сборочный цех	375705	822195	77933,18	482400,15
Механический цех	375705	822195	77933,18	482400,15
Опытный участок ОИС	185265	405435	38429,86	237877,759
Покрасочный участок	69345	151755	14384,36	89038,0377

Продолжение таблицы 12

Объект внедрения	Теплопотери В , кВт·ч	Разница с сущ, кВт·ч	Разница в газовом эквиваленте м3, газа	Экономия, руб.
Транспортный цех	185265	405435	38429,86	237877,759
Ремонтно-строительный цех	59340	129860	12309	76191,7253
Столовая	44850	98150	9303,32	57586,8065

Применяемые окна должны соответствовать требованиям настоящего стандарта, ГОСТ 23166 и изготавливаться по конструкторской и технологической документации, утвержденной в установленном порядке.

Изделия состоят из рамочных элементов, сваренных из ПВХ профилей, усиленных стальными вкладышами.

Стоимость замены окон формировалась на основании опросных листов, коммерческих предложений и изучения рынка услуг по данным видам работ.

Результаты расчета экономии в денежном выражении по двум вариантам замены окон приведены в таблице 13:

Таблица 13 - Результаты расчета экономии в денежном выражении по двум вариантам замены окон

Объект внедрения	Вариант 1, экономия, руб.	Вариант 2, экономия, руб.
Сборочный цех	415311	482400
Механический цех	415311	482400
Опытный участок ОИС	204795	237878
Покрасочный участок	76655	89038

Продолжение таблицы 13

Объект внедрения	Вариант 1, экономия, руб.	Вариант 2, экономия, руб.
Транспортный цех	204795	237878
Ремонтно-строительный цех	65596	76192
Столовая	49578	57587
Итого	1 432 041,00	1 663 373,00

Стоимость замены окон формировалась на основании опросных листов, коммерческих предложений и изучения рынка услуг по данным видам работ. Суммарные затраты по первому варианту 9 331 тыс.руб. Суммарные затраты по второму варианту 13 810 тыс. руб.

2.3 Теплоизоляция теплотрасс

В соответствии с Приказом Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №325 "Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя" формулы расчетов нормативов технологических потерь, применяются для водяных тепловых сетей, с присоединенной к ним расчетной часовой тепловой нагрузкой менее 50 Гкал/ч (58 МВт) [7].

К нормативам технологических потерь относятся потери и затраты энергетических ресурсов, обусловленные техническим состоянием теплопроводов и оборудования и техническими решениями по надежному обеспечению потребителей тепловой энергией и созданию безопасных условий эксплуатации тепловых сетей, а именно:

- потери и затраты теплоносителя (пар, конденсат, вода) в пределах установленных норм;

- потери тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционные конструкции теплопроводов и с потерями и затратами теплоносителя;
- затраты электрической энергии на передачу тепловой энергии (привод оборудования, расположенного на тепловых сетях и обеспечивающего передачу тепловой энергии).

К нормируемым технологическим затратам теплоносителя относятся:

- затраты теплоносителя на заполнение трубопроводов тепловых сетей перед пуском после плановых ремонтов и при подключении новых участков тепловых сетей;
- технологические сливы теплоносителя средствами автоматического регулирования теплового и гидравлического режима, а также защиты оборудования;
- технически обоснованные затраты теплоносителя на плановые эксплуатационные испытания тепловых сетей и другие регламентные работы.

К нормируемым технологическим потерям теплоносителя относятся технически неизбежные в процессе передачи и распределения тепловой энергии потери теплоносителя с его утечкой через неплотности в арматуре и трубопроводах тепловых сетей в пределах, установленных правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, а также правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок.

Нормативные значения потерь теплоносителя за год с его нормируемой утечкой, м³, определяются по формуле [8]:

$$G_{\text{ут.н}} = a \cdot V_{\text{год}} \cdot n_{\text{год}} \cdot 10^{-2} = m_{\text{ут.год.н}} \cdot n_{\text{год}}, \quad (23)$$

где a - норма среднегодовой утечки теплоносителя, м³/чм³, установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, а также правилами

технической эксплуатации тепловых энергоустановок, в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час;

$V_{\text{год}}$ - среднегодовая емкость трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией, ч;

$n_{\text{год}}$ - продолжительность функционирования тепловых сетей в году, ч;

$m_{\text{ут.год.н}}$ - среднегодовая норма потерь теплоносителя, обусловленных утечкой, м³/ч.

Значение среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей, определяется из выражения:

$$V_{\text{год}} = \frac{(V_{\text{от}} \cdot n_{\text{от}} + V_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}})}{(n_{\text{от}} + n_{\text{л}})} = \frac{(V_{\text{от}} \cdot n_{\text{от}} + V_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}})}{n_{\text{л}}}, \quad (24)$$

где $V_{\text{от}}$ и $V_{\text{л}}$ - емкость трубопроводов тепловых сетей в отопительном и неотопительном периодах, м³·ч;

$n_{\text{от}}$ и $n_{\text{л}}$ - продолжительность функционирования тепловых сетей в отопительном и неотопительном периодах, ч.

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционные конструкции трубопроводов производится на базе значений часовых тепловых потерь при среднегодовых условиях эксплуатации тепловых сетей.

Определение нормативных значений часовых потерь тепловой энергии производится в следующем порядке:

- для всех участков тепловых сетей, на основе сведений о конструктивных особенностях теплопроводов (тип прокладки, год проектирования, наружный диаметр трубопроводов, длина участка) и норм тепловых потерь (теплового потока), пересчетом табличных

значений удельных норм на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, определяются значения часовых тепловых потерь теплопередачей через теплоизоляционные конструкции трубопроводов, эксплуатируемых организацией;

- для участков тепловой сети, характерных для нее по типам прокладки и видам изоляционной конструкции, и подвергавшимся испытаниям на тепловые потери, в качестве нормативных принимаются полученные при испытаниях значения фактических часовых тепловых потерь, пересчитанные на среднегодовые условия эксплуатации тепловой сети;
- для участков тепловой сети, аналогичных подвергавшимся тепловым испытаниям по типам прокладки, видам теплоизоляционных конструкций и условиям эксплуатации, в качестве нормативных принимаются значения часовых тепловых потерь, определенные по соответствующим нормам тепловых потерь (теплового потока) с введением поправочных коэффициентов, определенных по результатам испытаний;
- для участков тепловой сети, не имеющих аналогов среди участков, подвергавшихся тепловым испытаниям, а также вводимых в эксплуатацию после монтажа, реконструкции или капитального ремонта с изменением типа или конструкции прокладки и изоляционной конструкции трубопроводов, в качестве нормативных принимаются значения часовых тепловых потерь, определенные теплотехническим расчетом.

Значения нормативных часовых тепловых потерь в тепловой сети в целом при среднегодовых (среднесезонных) условиях эксплуатации определяются суммированием значений часовых тепловых потерь на отдельных участках.

Определение нормативных значений часовых тепловых потерь, Гкал/ч, для среднегодовых (среднесезонных) условий эксплуатации трубопроводов тепловых сетей производится по формуле [8]:

$$Q_{\text{из.н.год}} = \sum (q_{\text{из.н}} \cdot L \beta) \cdot 10^{-6}, \quad (25)$$

где $q_{\text{из.н}}$ - удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, ккал/чм;

L - длина участка трубопроводов тепловой сети, м;

β - коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 - при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования).

Исходные данные для расчета:

- Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{н.в.от.п.}}$ равна $-5,5^{\circ}\text{C}$;
- Средняя температура наружного воздуха за межотопительный период $t_{\text{н.в.межот.п.}}$ равна 14°C ;
- Средняя расчетная температура наружного воздуха $t_{\text{н.в.}}$ равна 5°C ;
- Средняя температура теплоносителя за отопительный период в подающем трубопроводе $t_{\text{п.от.п.}}$ равна 79°C ;
- Средняя температура теплоносителя за отопительный период в обратном трубопроводе $t_{\text{о.от.п.}}$ равна 42°C ;

- Средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды горячего водоснабжения (далее – ГВС) в подающем трубопроводе $t_{п.межот.п.}$ равна 65 °С;
- Средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды горячего водоснабжения (далее – ГВС) в подающем трубопроводе $t_{о.межот.п.}$ равна 55 °С;
- Продолжительность отопительного периода $T_{от.п.}$ равна 213 сут;
- Продолжительность межотопительного периода $T_{межот.п.}$ равна 152 сут;
- Плотность теплоизоляции – 20 кг/м³, коэффициент теплопроводности при средней температуре 50 °С – 0,033 Вт/(м·°С).

В соответствие со схемой тепловой сети параметры трубопроводов приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Параметры трубопроводов теплотрассы

Номер трассы	Количество труб, экв. диаметр	Длина, м	Материал	Способ прокладки
1	2 Ду 200 мм	252	сталь	надземная
2	2 Ду 70 мм	569		
3	2 Ду 50 мм	12		
4	2 Ду 50 мм	35		
5	2 Ду 50 мм	50		
6	2 Ду 80 мм	208		
7	2 Ду 40 мм	25		
8	2 Ду 70 мм	60		
9	2 Ду 32 мм	80		
10	2 Ду 50 мм	97		
11	2 Ду 150 мм	101		
12	2 Ду 25 мм	25		
13	2 Ду 100 мм	105		
14	2 Ду 100 мм	60		

Продолжение таблицы 14

Номер трассы	Количество труб, экв. диаметр	Длина, м	Материал	Способ прокладки
15	2 Ду 50 мм	68	сталь	надземная
16	2 Ду 50 мм	25		
17	2 Ду 100 мм	140		
18	2 Ду 50 мм	25		
19	2 Ду 50 мм	25		
20	2 Ду 50 мм	5		
21	2 Ду 50 мм	35		
Итого Ду 200		252	-	-
Итого Ду 150		101	-	-
Итого Ду 100		305	-	-
Итого Ду 80		208	-	-
Итого Ду 70		629	-	-
Итого Ду 50		377	-	-
Итого Ду 40		25	-	-
Итого Ду 32		80	-	-
Итого Ду 25		25	-	-

Потери тепла при надземной прокладке трубопроводов с изношенной теплоизоляцией определяются как максимально возможные с учетом работы в отопительный и межотопительный период (на ГВС). Фактические потери могут отличаться от расчетных при отклонении фактической продолжительности отопительного периода и графика температуры наружного воздуха. Градусосутки и продолжительность отопительного периода, расчетная температура наружного воздуха в холодный период года и средняя за отопительный период для города Щигры принимаются в соответствии СП 131.13330.2020 «Свод правил. Строительная климатология» [20].

2.3.1 Отопительный период

Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам, ккал/ч·м:

$$q_{п.н} = \left[q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{п.от.п} - t_{н.в.от.п}) - (t_1 - t_{н.в})}{(t_2 - t_{н.в}) - (t_1 - t_{н.в})} \right] + \left[q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{о.от.п} - t_{н.в.от.п}) - (t_1 - t_{н.в})}{(t_2 - t_{н.в}) - (t_1 - t_{н.в})} \right], \quad (26)$$

где $q_{н.t_1}$ – меньшая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды, ккал/ч·м;

$q_{н.t_2}$ – большая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды, ккал/ч·м;

$t_{п.от.п}$ – среднее значение температуры в подающем трубопроводе;

$t_{о.от.п}$ – среднее значение температуры в обратном трубопроводе

$t_{н.в.от.п}$ – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.}$ – табличная температура наружного воздуха.

2.3.2 Межотопительный период

Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам, ккал/ч·м:

$$q_{п.н} = \left[q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{п.межот.п} - t_{н.в.межот.п}) - (t_1 - t_{н.в})}{(t_2 - t_{н.в}) - (t_1 - t_{н.в})} \right] + \left[q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{о.межот.п} - t_{н.в.межот.п}) - (t_1 - t_{н.в})}{(t_2 - t_{н.в}) - (t_1 - t_{н.в})} \right] \quad (27)$$

где $q_{н.т1}$ – меньшая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды, ккал/ч·м;

$q_{н.т2}$ – большая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды;

$t_{п.межот.п.}$ – среднее значение температуры в подающем трубопроводе;

$t_{о.межот.п.}$ – среднее значение температуры в обратном трубопроводе;

$t_{н.в.межот.п.}$ – средняя температура наружного воздуха;

$t_{н.в.}$ – табличная температура наружного воздуха для надземной прокладки тепловых сетей с теплоизоляцией.

2.3.3 Определение нормативных и фактических потерь тепловой энергии

Результаты расчетов сведены в таблицы 15-16.

Таблица 15 – Фактические значения часовых тепловых потерь до реконструкции

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период. подающий, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период. обратный, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за межотопит. период. подающий, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за межотопит. период. обратный, ккал/чм	Продолжит. отопит. периода Tot.п.= 159 сут.	Продолжит. межотопит. периода $T_{межот.п.}$ (197 сут.)	Теплопотери на трассе за отопительный период, ккал	Максимальные теплопотери на теплотрассе с учетом межотопительного периода, ккал
1	2 Ду 200 мм	252	78	60	60	46	3816	4728	132705216	234638208
2	2 Ду 70 мм	569	45	35	35	25	3816	4728	173704320	303982560
3	2 Ду 50 мм	12	30	30	30	21	3816	4728	2747520	5082912

Продолжение таблицы 15

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период, подающий, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период, обратный, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за межотопит. период, подающий, ккал/чм	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за межотопит. период, обратный, ккал/чм	Продолжит. отопит. периода Tot.п.= 159 сут.	Продолжит. межотопит. периода T _{межот.п.} (197 сут.)	Теплопотери на трассе за отопительный период, ккал	Максимальные теплопотери на теплотрассе с учетом межотопительного периода, ккал
4	2 Ду 50 мм	35	30	30	30	21	3816	4728	8013600	14825160
5	2 Ду 50 мм	50	30	30	30	21	3816	4728	11448000	21178800
6	2 Ду 80 мм	208	50	38	38	28	3816	4728	69848064	122234112
7	2 Ду 40 мм	25	36	27	27	18	3816	4728	6010200	10303200
8	2 Ду 70 мм	60	35	35	35	25	3816	4728	16027200	29764800
9	2 Ду 32 мм	80	36	27	27	18	3816	4728	19232640	32970240
10	2 Ду 50 мм	97	30	30	30	21	3816	4728	22209120	41086872
11	2 Ду 150 мм	101	65	50	50	38	3816	4728	44322840	78239448
12	2 Ду 25 мм	25	25	25	25	23	3816	4728	4770000	9349200
13	2 Ду 100 мм	105	55	43	43	31	3816	4728	39266640	68916960
14	2 Ду 100 мм	60	55	43	43	31	3816	4728	22438080	39381120
15	2 Ду 50 мм	68	40	30	30	21	3816	4728	18164160	31398048
16	2 Ду 50 мм	25	40	30	30	21	3816	4728	6678000	11543400
17	2 Ду 100 мм	140	55	43	43	31	3816	4728	52355520	91889280
18	2 Ду 50 мм	25	40	30	30	21	3816	4728	6678000	11543400
19	2 Ду 50 мм	25	40	30	30	21	3816	4728	6678000	11543400
20	2 Ду 50 мм	5	40	30	30	21	3816	4728	1335600	2308680
21	2 Ду 50 мм	35	40	30	30	21	3816	4728	9349200	16160760
Годовые потери тепла до реконструкции, ккал									673981920	1188340560
Годовые потери тепла до реконструкции, Гкал									673,98192	1188,34056

Таблица 16 – Фактические значения часовых тепловых потерь после реконструкции

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период. подающий, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за отопительный период. обратный, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за межотопительный период. подающий, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за межотопительный период. обратный, ккал/чм	Продолжительность отопительного периода Тот.п.= 159 сут.	Продолжительность межотопительного периода $T_{\text{межот.п.}}$ (197 сут.)	Теплопотери на трассе за отопительный период, ккал	Максимальные теплопотери на теплотрассе с учетом межотопительного периода, ккал/
1	2 Ду 200 мм	252	51	29	29	14	3816	4728	76930560	118280736
2	2 Ду 70 мм	569	28	15	15	7	3816	4728	93366072	141134760
3	2 Ду 50 мм	12	25	14	14	6	3816	4728	1785888	2701728
4	2 Ду 50 мм	35	25	14	14	6	3816	4728	5208840	7880040
5	2 Ду 50 мм	50	25	14	14	6	3816	4728	7441200	11257200
6	2 Ду 80 мм	208	31	17	17	8	3816	4728	38098944	57942144
7	2 Ду 40 мм	25	12	22	22	5	3816	4728	3243600	5819400
8	2 Ду 70 мм	60	28	15	15	7	3816	4728	9845280	14882400
9	2 Ду 32 мм	80	22	12	12	5	3816	4728	10379520	15569280
10	2 Ду 50 мм	97	25	14	14	6	3816	4728	14435928	21838968
11	2 Ду 150 мм	101	41	23	23	11	3816	4728	24666624	37770768
12	2 Ду 25 мм	25	20	10	10	4	3816	4728	2862000	4197600
13	2 Ду 100 мм	105	34	19	19	9	3816	4728	21236040	32455080
14	2 Ду 100 мм	60	34	19	19	9	3816	4728	12134880	18545760
15	2 Ду 50 мм	68	25	14	14	6	3816	4728	10120032	15309792
16	2 Ду 50 мм	25	25	14	14	6	3816	4728	3720600	5628600

Продолжение таблицы 16

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина	Нормы тепл. потерь теплопроводами, за отопит. период. подающий, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за отопительный период. обратный, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за межотопительный период. подающий, ккал/чм	Нормы тепловых потерь теплопроводами, за межотопительный период. обратный, ккал/чм	Продолжительность отопительного периода Тот.п.= 159 сут.	Продолжительность межотопительного периода Т _{межот.п.} (197 сут.)	Теплотери на трассе за отопительный период, ккал	Максимальные теплотери на теплотрассе с учетом межотопительного периода, ккал/
17	2 Ду 100 мм	140	34	19	19	9	3816	4728	28314720	43273440
18	2 Ду 50 мм	25	25	14	14	6	3816	4728	3720600	5628600
19	2 Ду 50 мм	25	25	14	14	6	3816	4728	3720600	5628600
20	2 Ду 50 мм	5	25	14	14	6	3816	4728	744120	1125720
21	2 Ду 50 мм	35	25	14	14	6	3816	4728	5208840	7880040
Годовые потери тепла после реконструкции, ккал									377184888	574750656
Годовые потери тепла после реконструкции, Гкал									377,184888	574,75066

Годовая экономия в результате реконструкции

Снижение тепловых потерь в результате реконструкции физически изношенных тепловых сетей заменой теплоизоляции определяется по формуле, Гкал:

$$\Delta Q = (Q_{1\text{год}} + Q_{\text{годИзол}}) - (Q_{2\text{год}} + Q_{\text{годИзол}}), \quad (28)$$

где $Q_{1\text{год}}$ – потери существующих тепловых сетей;

$Q_{2\text{год}}$ – потери реконструированных тепловых сетей;

$Q_{\text{годИзол}}$ – потери существующих тепловых сетей с теплоизоляцией.

Годовая экономия в денежном выражении определяются по формуле:

$$C = \Delta Q \cdot C_m, \text{ руб.}, \quad (29)$$

где C_m – удельная стоимость тепловой энергии (тариф), с 01.07.2022 до 31.12.2022 равна в 2022 году 4954,92 руб./Гкал.

Годовая экономия тепловой энергии за отопительный период в результате реконструкции в натуральном и денежном выражении приведена в таблице 17.

Таблица 17 – Годовая экономия тепловой энергии за отопительный период

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина, м	Теплопотери на трассе до реконструкции, ккал	Теплопотери на трассе после реконструкции, ккал	Экономия тепловой энергии, ккал	Экономия тепловой энергии, руб.
1	2 Ду 200 мм	252	132705216	76930560	55774656	276 358,96
2	2 Ду 70 мм	569	173704320	93366072	80338248	398 069,59
3	2 Ду 50 мм	12	2747520	1785888	961632	4 764,81
4	2 Ду 50 мм	35	8013600	5208840	2804760	13 897,36
5	2 Ду 50 мм	50	11448000	7441200	4006800	19 853,37
6	2 Ду 80 мм	208	69848064	38098944	31749120	157 314,35
7	2 Ду 40 мм	25	6010200	3243600	2766600	13 708,28
8	2 Ду 70 мм	60	16027200	9845280	6181920	30 630,92
9	2 Ду 32 мм	80	19232640	10379520	8853120	43 866,50

Продолжение таблицы 17

Номер трассы	Количество труб, диаметр	Длина, м	Теплопотери на трассе до реконструкции, ккал	Теплопотери на трассе после реконструкции, ккал	Экономия тепловой энергии, ккал	Экономия тепловой энергии, руб.
10	2 Ду 50 мм	97	22209120	14435928	7773192	38 515,54
11	2 Ду 150 мм	101	44322840	24666624	19656216	97 394,98
12	2 Ду 25 мм	25	4770000	2862000	1908000	9 453,99
13	2 Ду 100 мм	105	39266640	21236040	18030600	89 340,18
14	2 Ду 100 мм	60	22438080	12134880	10303200	51 051,53
15	2 Ду 50 мм	68	18164160	10120032	8044128	39 858,01
16	2 Ду 50 мм	25	6678000	3720600	2957400	14 653,68
17	2 Ду 100 мм	140	52355520	28314720	24040800	119 120,24
18	2 Ду 50 мм	25	6678000	3720600	2957400	14 653,68
19	2 Ду 50 мм	25	6678000	3720600	2957400	14 653,68
20	2 Ду 50 мм	5	1335600	744120	591480	2 930,74
21	2 Ду 50 мм	35	9349200	5208840	4140360	20 515,15
Итого					296797032	1 470 605,55

Основным мероприятием при реконструкции тепловых сетей является замена физически изношенной и поврежденной теплоизоляции на участках трубопроводов. Всего планируется реконструировать 1200 метров трубопроводов. В качестве теплоизоляционного слоя предполагается использовать теплоизоляционные изделия URSA [33].

Теплоизоляционные изделия из стеклянного штапельного волокна URSA предназначены для использования в промышленной тепловой изоляции при температуре изолируемых поверхностей от минус 60°C до плюс 320°C, а также для утепления строительных конструкций жилых, общественных и производственных зданий.

Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна марки URSA® изготавливаются из силикатного расплава с высоким

содержанием кремнезема. Основные компоненты шихты - кварцевый песок, доломит и глинозем. Диаметр волокна не более 4-5 мкм. Теплоизоляционные изделия URSA® не выделяют в процессе эксплуатации вредных и неприятно пахнущих веществ и являются невзрывоопасным материалом. Изделия с плотностью не более 35 кг/м³ относятся к негорючим материалам, а с большей плотностью - к трудносгораемым, группа Г1. Все изделия, оклеенные алюминиевой фольгой или стеклохолстом, также имеют группу горючести Г1.

Изделия теплоизоляционные из стеклянного штапельного волокна URSA сертифицированы в системе сертификации ГОСТ Р, прошли испытания на соответствие гигиеническим требованиям и требованиям пожарной безопасности.

Для изготовления обкладок применяют алюминиевую фольгу или стеклохолст по действующей технической документации, и клеевые композиции, обеспечивающие качественное сцепление между поверхностью изделий и обкладочным материалом. Схема утепления приведен на рисунке 7. Характеристики изделий URSA в таблице 18.

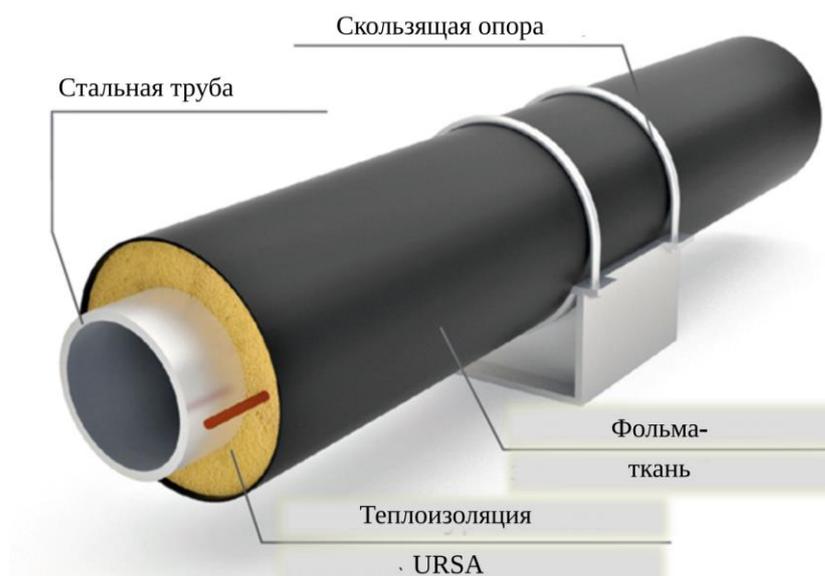


Рисунок 7 – Предлагаемая схема утепления трубы

Таблица 18 - Физико-технические характеристики изделий URSA

Наимен-е показателя	Значение для изделий марки											
	М-11	М-15	М-20	М-25	П-15	П-20	П-30	П-35	П-45	П-60	П-75	П-85
Плотность, кг/м ³	Св.10 до 13	Св. 15,5 до 18	Св.18 до 21	Св.21 до 25	Св.13 до 18	Св.19 до 22	Св.27 до 31	Св.32 до 38	Св..38 до 50	Св. 50 до 66	Св. 66 до 75	Св.75 до 87
Теплопроводность, Вт/(м.К), не более, при температуре:												
(10±2) °С	0,039	0,036	0,034	0,032	0,037	0,034	0,032	0,031	0,030	0,030	0,030	0,030
(25±5) °С	0,042	0,039	0,038	0,037	0,039	0,037	0,034	0,034	0,033	0,032	0,032	0,033
(25±5) °С	0,042	0,039	0,038	0,037	0,039	0,037	0,034	0,034	0,033	0,032	0,032	0,033
Сжимаем. под удельной нагрузкой 2000Па, %, не более	90	70	65	60	70	60	50	45	40	30	20	15
Сорбционная влажность за 72 ч, % по массе, не более	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5
Водопоглощ. при частичном погружении за 24ч, % по массе, не более	50	40	35	35	40	35	35	30	25	20	20	20

Расчетные характеристики теплоизоляционных конструкций на основе теплоизоляционных изделий URSA.

Допустимое значение плотности теплового потока с поверхности изолированного объекта определяется требованиями технологического процесса, общим тепловым балансом предприятия или нормативными значениями плотности теплового потока по приложению 4 СНиП 2.04.14-88

«Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» с изменением №1 от 31.12.97 г.

Расчетная толщина тепловой изоляции, определяемая по нормам плотности теплового потока, для трубопроводов наружным диаметром до 1020 мм включительно зависит от расположения изолируемого объекта (на открытом воздухе или в помещении), температуры окружающего воздуха (t_0), температуры теплоносителя (t_m), геометрических размеров (наружного диаметра d_H) и величины заданной или нормативной линейной плотности теплового потока (q_i) [7].

Расчет ведется по формуле:

$$\ln \frac{d_{из}}{d_H} = 2\pi\lambda_{из} \left(\frac{t_m - t_0}{q_1} - \frac{1}{\pi \cdot d_H \cdot \alpha_H} \right), \quad (30)$$

где $\lambda_{из}$ - теплопроводность изоляционного слоя, Вт/м·°С, которая принимается при средней температуре теплоизоляционного слоя;

d_H - наружный диаметр изоляционной конструкции, м;

$d_{из}$ - наружный диаметр изолируемого объекта, м;

t_m - температура теплоносителя, °С;

t_0 - среднегодовая температура окружающего воздуха - для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, °С;

q_i - расчетная линейная плотность теплового потока, Вт/м;

α_H - коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции к окружающему воздуху, Вт/(м²·°С).

Толщину изоляции вычисляют по формуле, м.:

$$\delta_{из} = \frac{d_H}{2} \cdot \left(\frac{d_{из}}{d_H} - 1 \right) \quad (31)$$

В таблице 19 приведены расчетные значения толщины теплоизоляционного слоя, отвечающие нормам плотности теплового потока, в конструкциях тепловой изоляции на основе теплоизоляционных матов и плит URSA для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе для среднегодовой температуры +5°C.

Расчетная толщина теплоизоляционного слоя на основе плит URSA марок П-15 и П-20 в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов, расположенных на открытом воздухе, обеспечивающая действующие нормы плотности теплового потока при числе часов работы более 5000:

Таблица 19 – Расчетная толщина теплоизоляционного слоя

Наружный диаметр трубопровода, мм	Температура теплоносителя, °С				
	20	50	100	150	180
18	16	22	29	36	37
25	16	25	32	37	40
32	18	27	35	42	44
45	19	29	36	43	47
57	19	29	43	50	54
76	21	36	46	53	59
89	21	36	47	56	62
108	22	37	51	59	65
133	24	38	52	64	70
159	26	41	55	69	73
219	26	43	60	74	80

Расход теплоизоляционных изделий URSA производства ООО «УРСА Чудово» и ООО «УРСА Серпухов» на изоляцию 10 метров трубопроводов различных диаметров в зависимости от наружного диаметра трубопровода и толщины теплоизоляционного слоя приведен в таблице 20:

Таблица 20 – Расход теплоизоляционных изделий

Наружный диаметр трубопровода, мм	Толщина теплоизоляционного слоя в конструкции, мм								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
18	0,024	0,05	0,07	0,11	0,15	0,19	0,25	0,31	0,37
25	0,024	0,05	0,07	0,11	0,15	0,19	0,25	0,31	0,37
32	0,03	0,06	0,09	0,13	0,17	0,22	0,28	0,32	0,41
38	0,04	0,07	0,10	0,14	0,18	0,24	0,30	0,36	0,43
45	0,04	0,07	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,38	0,46
57	0,05	0,08	0,12	0,17	0,22	0,28	0,34	0,42	0,49
76	0,06	0,10	0,15	0,20	0,26	0,32	0,39	0,47	0,55
89	0,07	0,11	0,16	0,22	0,28	0,35	0,43	0,51	0,60
108	0,08	0,13	0,19	0,25	0,35	0,39	0,47	0,56	0,65
133	0,08	0,13	0,19	0,25	0,35	0,39	0,47	0,56	0,65
159	0,11	0,18	0,25	0,33	0,41	0,50	0,60	0,70	0,81
219	0,15	0,24	0,33	0,42	0,53	0,64	0,75	0,87	0,87

Заказной объем теплоизоляционных изделий URSA для теплоизоляционного слоя без учета трудноустраняемых потерь на монтаже определяется с учетом коэффициента уплотнения по формуле:

$$V_{из} = V_k \cdot K_y, \quad (32)$$

где $V_{из}$ - заказной объем (расход) теплоизоляционных изделий URSA (матов или плит) до установки их на трубопровод, м³;

V_k - объем теплоизоляционного слоя из изделий URSA® (матов или плит) в конструкции тепловой изоляции трубопровода;

K_y - коэффициент уплотнения теплоизоляционных изделий (средний 3,6).

Для реконструкции участков трубопроводов с поврежденной теплоизоляцией согласно вышеприведенным таблицам и длинам участков с

учетом коэффициентов уплотнения необходимо приобрести 237,6 м³ теплоизоляционных изделий URSA. Розничная стоимость упаковки URSA GEO M-25 (Утеплитель URSA GEO M-25 (9000x1200x50 мм) составляет 1900 руб. При этом стоимость 1 м³ по состоянию на 2022 год составляет 3519 руб. Таким образом общая стоимость теплоизоляционных изделий составит 834 000 рублей.

Для покрывного слоя теплоизоляции предполагается использование фольма-ткани. Фольма-ткань не подвержена коррозии, гниению и воздействию микроорганизмов, не выделяет вредных веществ при нагревании. Материал хорошо переносит воздействия окружающей среды - такие как, дождь, снег и ветер, характеристики даны в таблице 21.

Таблица 21 – Характеристики покрывного материала (фольма-ткани)

Характеристики фольма-ткани	
Коэффициент отражения теплового излучения, %	95
Плотность материала, гр/м ² по ГОСТ 19907-83	от 140 до 600
Разрывная нагрузка, Н (кгс)	не менее 1078
не менее 1078	Ширина, мм 1
Длина рулона, м	Длина рулона, м
Толщина стеклоткани, мм	от 0,13 до 0,5
Толщина фольги, мм по ГОСТ 618-73	от 0,02 до 0,2
Морозостойкость, циклы	50
Температура применения, С	от - 50 до +550
Группа распространения пламени, РП1	нераспространяющий
Группа воспламеняемости, В1	трудновоспламеняемый
Группа горючести, Г1	слабогорючий
Дымообразующая способность	(-)
Класс пожарной опасности КМ1	КМ1
Срок службы, лет	не менее 15

Для изоляции поврежденных участков теплосети всех диаметров потребуется около 400 м² фольма-ткани. При розничной стоимости 521 руб./м² затраты составят 208 400 рублей.

Рыночная стоимость монтажа теплоизоляции предлагаемой конструкции на 2022 год составляет 298 руб./п.м., что для всего объема составит 357 600 р.

Общая стоимость мероприятия по реконструкции тепловых сетей с целью восстановления теплоизоляции составит 1 400 000 рублей по состоянию на 2022 год.

2.4 Индивидуальный тепловой пункт с погодозависимой автоматикой

Индивидуальный тепловой пункт – это комплект оборудования, предназначенного для распределения теплоносителя и регулирования его параметров. В данном сценарии предлагается использование ИТП для создания обособленного внутреннего контура отопления внутри помещения, в котором будет обеспечиваться следование температурному графику, что обеспечит комфортную температуру в зданиях и обеспечение оптимальных тепловых и гидравлических режимов работы системы теплоснабжения.

Необходимость установки системы обуславливается сильной зависимостью средней температуры воздуха в здании от температуры окружающей среды. Такая зависимость является следствием несоответствия температурного графика теплоносителя тепловым потребностям здания в теплую погоду и его несоблюдением источником тепла - в холодную. Неуправляемость потока теплоносителя приводит к завышению теплопотребления в теплую погоду и завышению температуры обратного трубопровода системы теплоснабжения.

Работает система регулирования следующим образом: регулятор температуры - погодный компенсатор получает информацию о температуре от всех 4 датчиков и на основании заложенного температурного графика определяет необходимую степень открытия клапана (1). При изменении степени открытия клапана происходит изменение расхода теплоносителя, поступающего в систему отопления из внешней тепловой сети. При этом происходит изменение коэффициента подмеса и, следовательно, температуры подающего трубопровода после элеватора. Циркуляционный насос (2) необходим для обеспечения требуемой циркуляции теплоносителя в системе отопления при малой степени открытия регулирующего клапана, когда водоструйный элеватор не способен обеспечить необходимый подмес теплоносителя из обратной магистрали. Посредством изменения степени открытия клапана 1 регулятор температуры поддерживает необходимый температурный график, т.е. требуемую зависимость температуры подающего трубопровода системы отопления от температуры наружного воздуха. Заданный температурный график может подвергаться параллельному смещению для поддержания в здании комфортной температуры. Кроме этого, регулятор осуществляет ограничение минимальной и максимальной температуры подающего трубопровода и максимальной температуры обратного трубопровода системы отопления. Схема показана на рисунке 8.

Основные функции система регулирования тепловой мощности:

- поддержание заданной температуры воздуха в помещениях;
- поддержание требуемого температурного графика в подающем и обратном трубопроводах системы отопления;
- снижение теплопотребления здания в ночное время и нерабочие дни.

Циркуляционный насос обеспечивает расход теплоносителя в системе отопления, даже при полностью отключенной подаче, не меньший, чем в исходной схеме. Увеличение расхода благоприятно сказывается на температурном режиме здания.

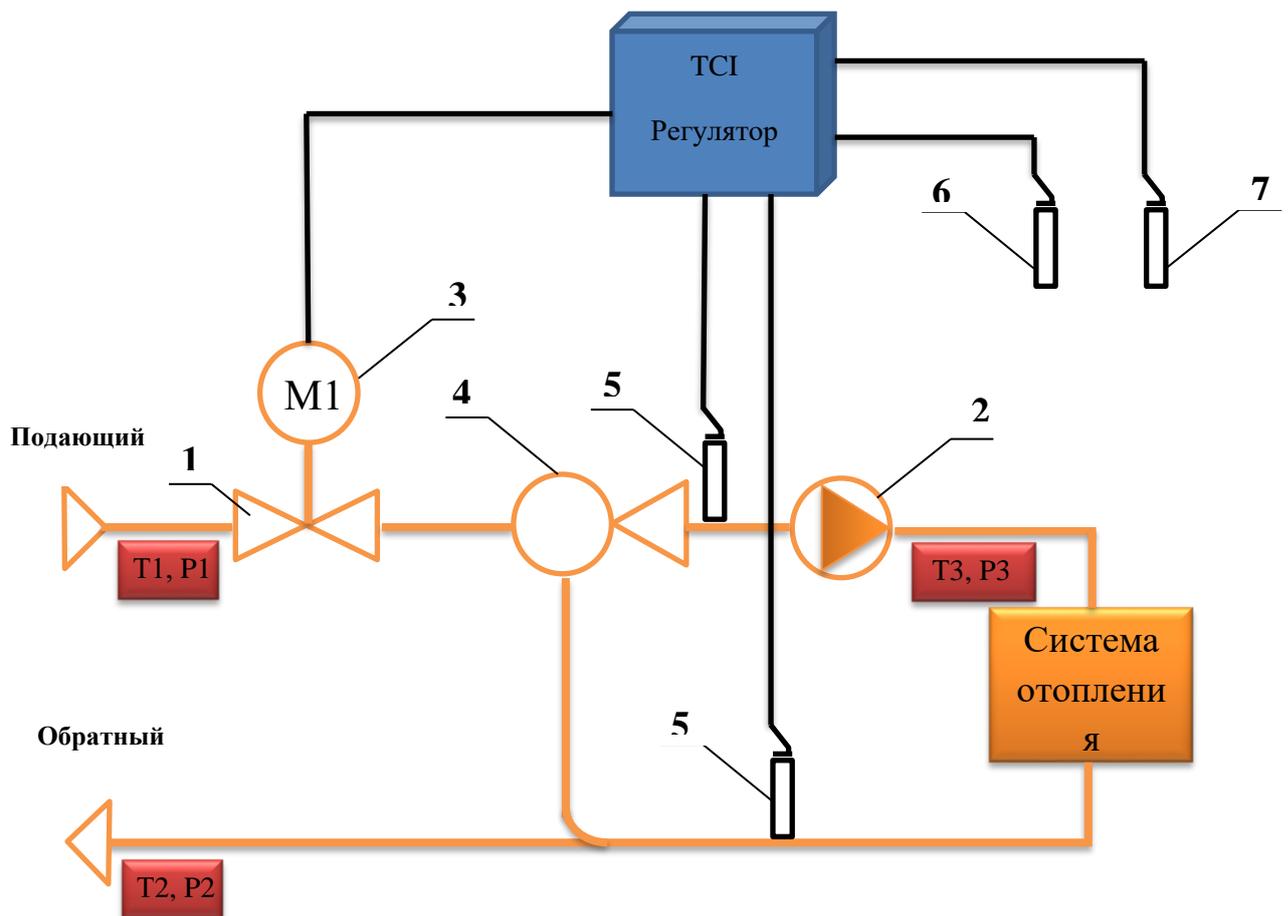


Рисунок 8 – Схема узла регулирования температуры теплоносителя внутри здания. 1 - Регулируемый клапан; 2 - Циркуляционный насос; 3 - Электропривод клапана; 4 - Водоструйный элеватор; 5 - Датчик температуры теплоносителя; 6 - Датчик температуры воздуха в здании; 7 - Датчик температуры наружного воздуха.

Экономия тепловой энергии здесь можно определить по превышению средней температурой в здании расчетной величины:

$$\Delta Q_{01} = \frac{q_{\text{оф}} \cdot T_{\text{оп}} \cdot \Delta t_{\text{вп}}}{(t_{\text{вр}} - t_{\text{нв}})}, \quad (33)$$

где $q_{\text{оф}}$ - фактическая величина тепловой нагрузки системы отопления, Гкал/ч;

$T_{\text{оп}}$ - время превышения расчетной температуры, ч;

$\Delta t_{\text{вп}}$ - среднее превышение расчетной температуры, °С;

$t_{вп}$ - расчетная температура внутри здания, °С;

$t_{нв}$ - расчетная температура наружного воздуха, °С.

Эффект от программируемого снижения температуры в здании в нерабочее время.

Экономия тепловой энергии в месяц определяется выражением:

$$\Delta Q_{02} = \frac{q_{оф} \cdot T_{он} \cdot \Delta t_{вп}}{(t_{вп} - t_{нв})}, \quad (34)$$

где $T_{он}$ – время включения в месяц режима пониженной температуры, ч;

$\Delta t_{вп}$ – величина снижения температуры, °С.

Расчет производится в таблицах Excel для каждого дня в году на основе температурного графика за 2022 год, полученного на ресурсе [26]. Так как отопление производственных помещений осуществляется собственной газовой котельной, экономию в денежном выражении вычисляем через стоимость газа (по данным Газпром межрегионгаз-Курск). Стоимость установки теплового пункта определяется на основании средней рыночной цены аналогичных по функционалы установок отечественного производства на 2023 год.

Планируется установка системы регулирования для помещений, наиболее удаленных от магистральной сети.

Результаты расчетов сводим в таблицу 22.

Таблица 22 – Эффективность внедрения регулирования тепловой мощности

Наименование	Нормативное теплопотребление, Гкал	Экономия, Гкал	Экономия, тыс.м ³	Экономия, руб	Стоимость внедрения, руб
Столовая	470	103,4	11,1004	71264,59	315000
Сборочный цех	860	146,2	15,69515	100762,9	480000
Опытный участок ОИС	1099	186,83	20,05695	128765,6	480000
Механический цех	1164	232,8	24,99201	160448,7	480000
Покрасочный участок	522	125,28	13,44931	86344,56	315000
Итого	-	794,51	85,29383	547586,4	2070000

Выводы по разделу 2

Таким образом, в разделе рассмотрены и рассчитаны технические мероприятия, которые определяют потенциал энергосбережения в системе теплоснабжения АО «Геомаш».

В разделе определены нормативные значения потребления тепловой энергии отапливаемыми помещениями. Выявлено, что имеются значительные тепловые потери через оконные проёмы.

По результатам расчётов потерь через тепловые трассы до реконструкции теплоизоляции и после реконструкции установлено, что восстановление изоляции приведёт к годовой экономии 673 Гкал.

Рассчитана годовая экономия при внедрении погодозависимой автоматики на пяти производственных участках в размере 794 Гкал.

3 Технические мероприятия в системе электроснабжения

3.1 Реконструкция системы освещения

Известно, что в АО «Геомаш» в производственных цехах используются неэнергоэффективные лампы типа ДНаТ, таблица 23.

Таблица 23 – Существующая система освещения на предприятии.

Наименование здания	Этажность	Тип ламп	Количество светильников	Мощность лампы, Вт	Суммарная мощность, кВт
Компрессорная	1	ДНаТ	10	250	2,5
Кузнечный цех	1		64	600	38,4
Литейный цех	1		64	600	38,4
Механический цех	1		64	600	38,4
Модельный участок	1		32	400	12,8
Насосная станция 2-го подъема	1		24	250	6
Опытный участок ОИС	1		18	250	4,5
Покрасочный участок	1		18	400	7,2
Ремонтно-строительный цех	1		64	600	38,4
Сборочный цех	1		64	250	16
Транспортный цех	1		64	400	25,6
Цех металлоконструкций	1		64	600	38,4
Столовая	1		8	250	2
Автомойка	1		6	250	1,5
Автогараж	1		34	250	8,5
Электромастерская	1		24	400	9,6
Здание депо	1		46	600	27,6
Итого					315,8

Предполагается замена устаревших типов светильников на аналогичные по световому потоку промышленные светодиодные светильники типа LGT-Prom-Mercury с установленной мощностью от 70 до 150 Вт, таблица 24.

Таблица 24 – Проектируемая система освещения

Наименование здания	Тип светильника	Кол-во свет-ов	Мощность лампы, Вт	Суммарная мощность, кВт
Компрессорная	LGT-Prom-Mercury-70	10	70	0,7
Кузнечный цех	LGT-Prom-Mercury-150	64	150	9,6
Литейный цех	LGT-Prom-Mercury-150	64	150	9,6
Механический цех	LGT-Prom-Mercury-150	64	150	9,6
Модельный участок	LGT-Prom-Mercury-100	32	100	3,2
Насосная станция 2-го подъема	LGT-Prom-Mercury-70	24	70	1,68
Опытный участок ОИС	LGT-Prom-Mercury-70	18	70	1,26
Покрасочный участок	LGT-Prom-Mercury-100	18	100	1,8
Ремонтно-строительный цех	LGT-Prom-Mercury-150	64	150	9,6
Сборочный цех	LGT-Prom-Mercury-70	64	70	4,48
Транспортный цех	LGT-Prom-Mercury-100	64	100	6,4
Цех металлоконструкций	LGT-Prom-Mercury-150	64	150	9,6
Столовая	LGT-Prom-Mercury-70	8	70	0,56
Автомойка	LGT-Prom-Mercury-70	6	70	0,42
Автогараж	LGT-Prom-Mercury-70	34	70	2,38
Электромастерская	LGT-Prom-Mercury-100	24	100	2,4
Здание депо	LGT-Prom-Mercury-150	46	150	6,9
Итого				80,18

Экономия электрической энергии после реконструкции системы освещения составит [25]:

$$\text{Эосв} = \text{Эднат} - \text{Эсд}, \quad (35)$$

где Эосв – экономия электрической энергии кВт·ч;

Эднат – потребление электрической энергии светильниками типа ДНаТ;

Эсд – потребление электрической энергии светодиодными светильниками.

$$\text{Эднат} = t \cdot 365 \cdot P_{\text{уст}} = 8 \text{ ч} \cdot 365 \cdot 315,8 = 922136 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\text{Эсд} = t \cdot 365 \cdot P_{\text{уст}} = 8 \text{ ч} \cdot 365 \cdot 80,18 = 234125,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

$$\text{Эосв} = 922136 - 234125,6 = 688010,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В итоге, экономия электрической энергии за год составит 688010,4 кВт·ч.

3.2 Внедрение частотных преобразователей

Насосная станция второго подъема обеспечивает питьевой водой административные корпуса и производственные цеха, а также покрывает технические нужды АО «Геомаш» и жилой комплекс, расположенный рядом с производственной зоной.

Для проведения корректных расчётов были запрошены суточные данные по потреблению электрической энергии с узла учёта (рисунки 9-16), который стоит на вводном устройстве, питающим насосную станцию, автомойку и автогараж.

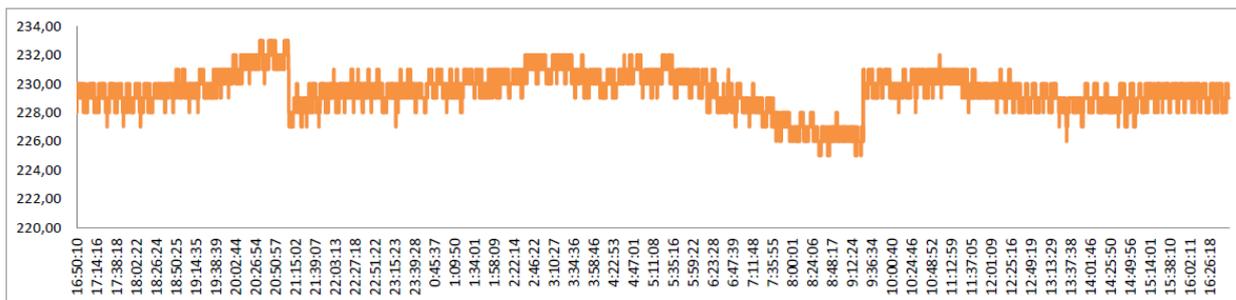


Рисунок 9 – Напряжение, фаза А, Вольт

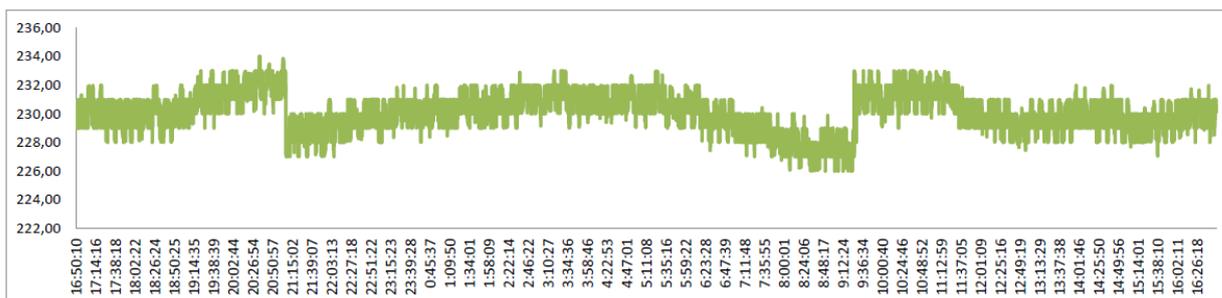


Рисунок 10 – Напряжение, фаза В, Вольт

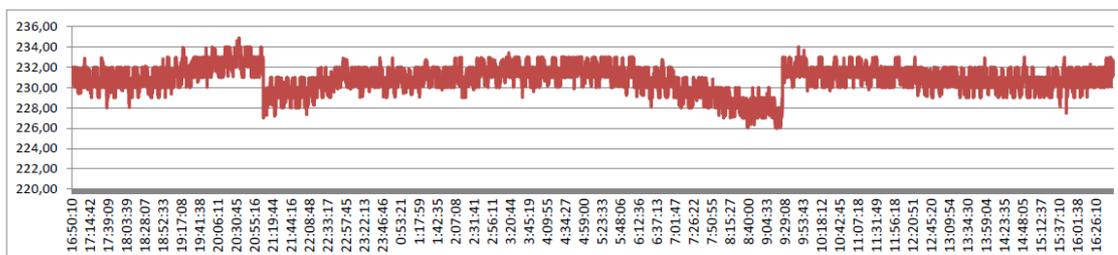


Рисунок 11 – Напряжение, фаза С, Вольт

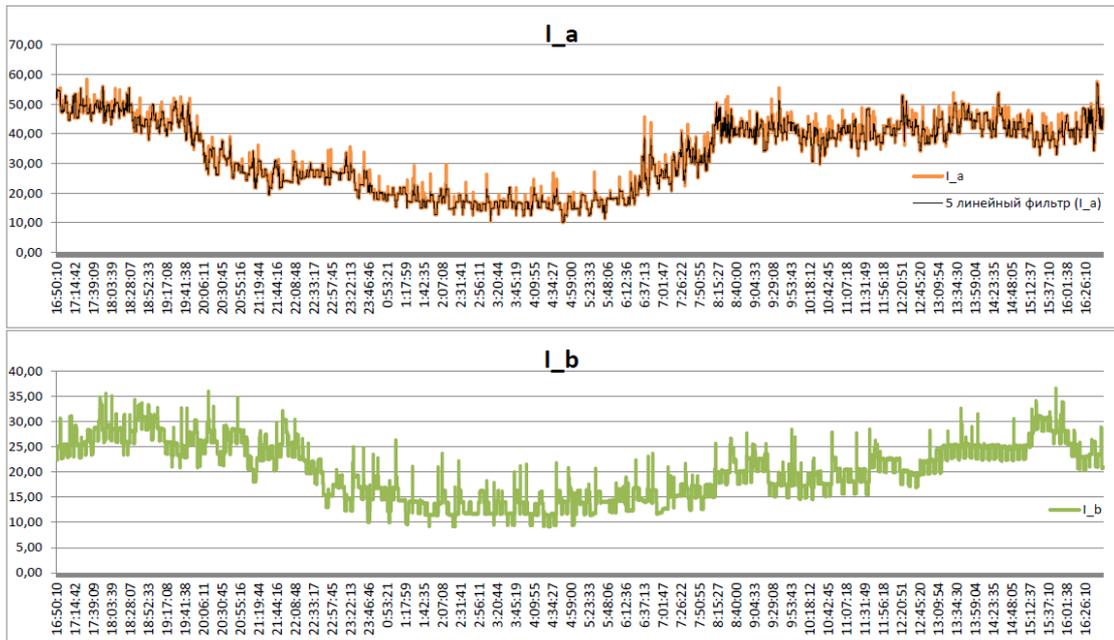


Рисунок 12 – Ток, фаза А, В, Ампер

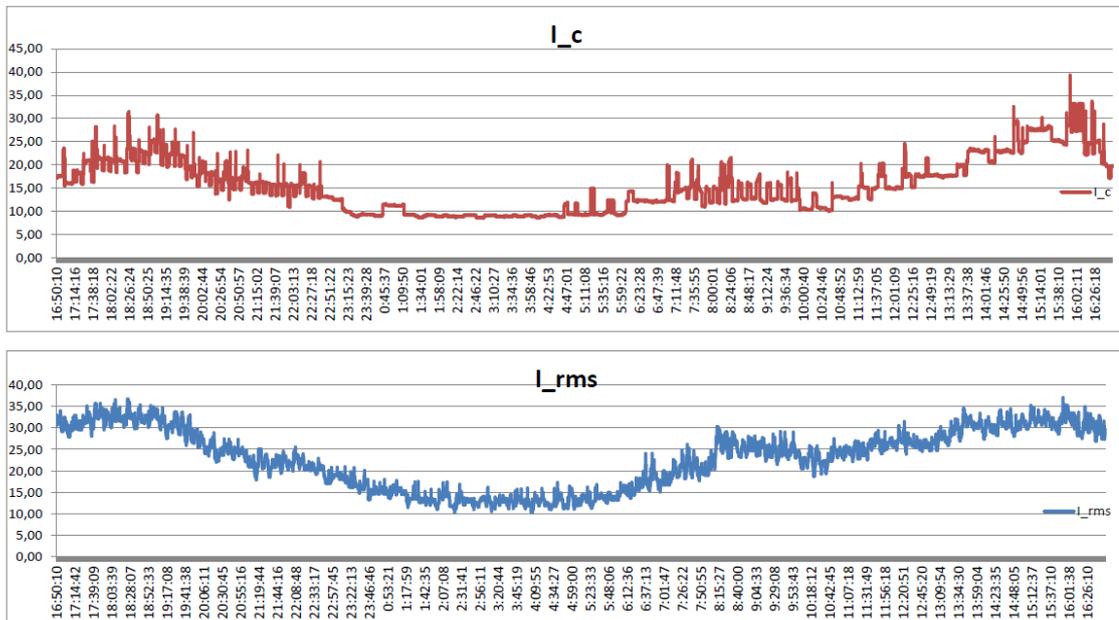


Рисунок 13 – Ток, фаза С, три фазы, Ампер

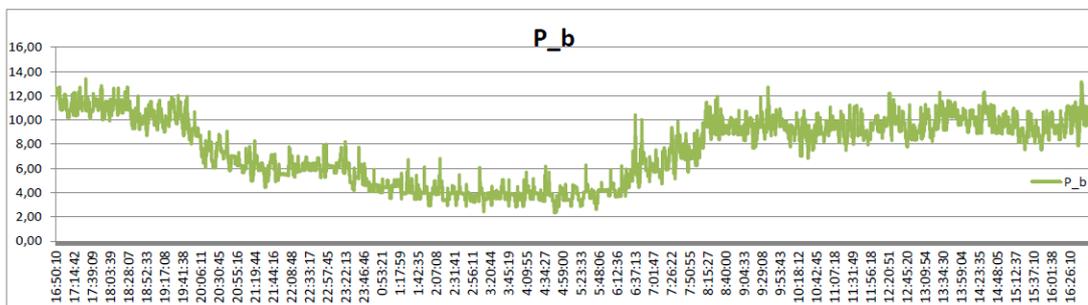
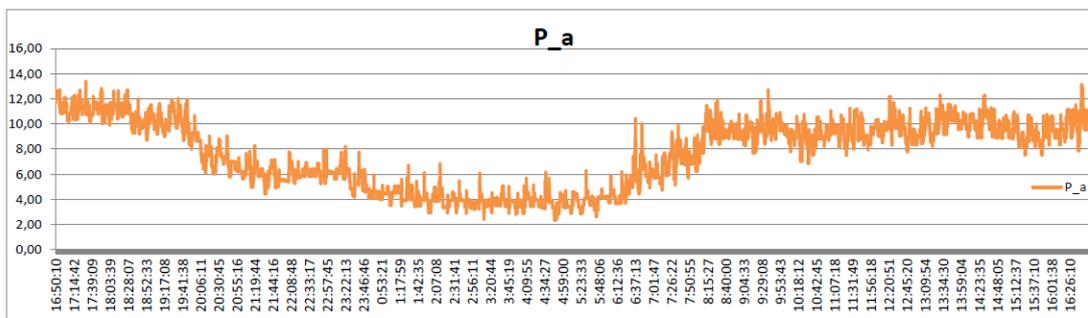


Рисунок 14 – Суточный график мощности, фаза А, В, Ватт

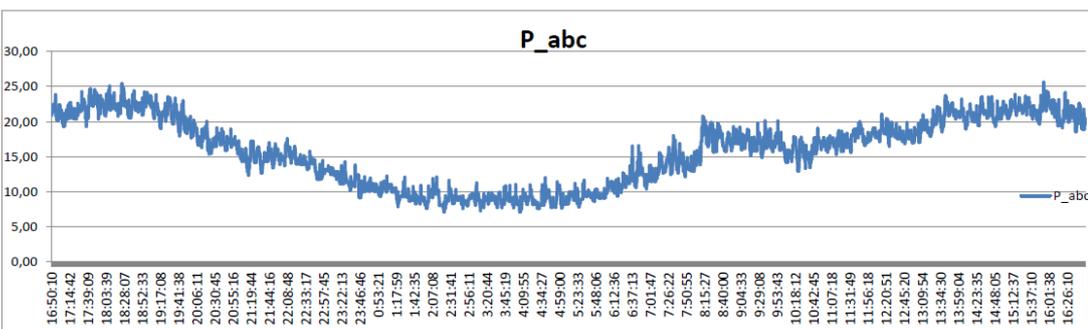
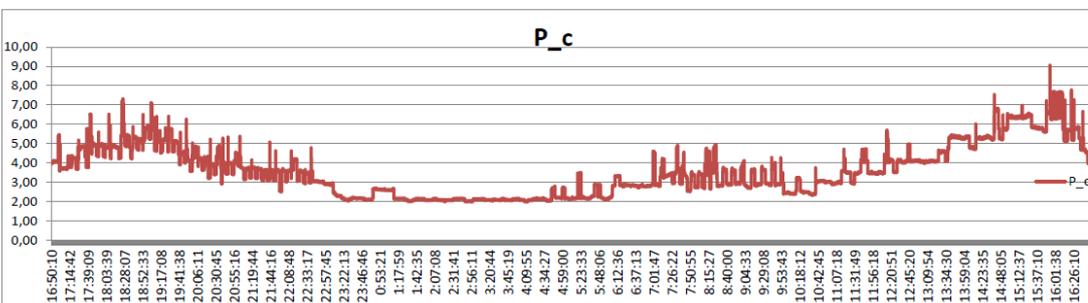


Рисунок 15 – Суточный график мощности, фаза С, три фазы, Ватт

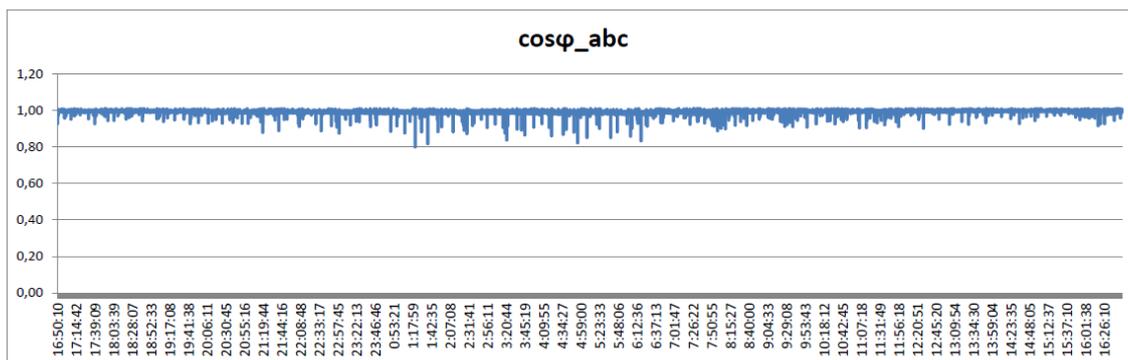


Рисунок 16 – Суточный показатель коэффициента мощности

На насосной станции установлены четыре насосных агрегата – два основных и два резервных. Двигатели – асинхронные устаревшей серии 4А. Перед установкой частотных преобразователей предлагается заменить двигатели на современные - серии АИР, данные в таблицах 25, 26.

Таблица 25 – Каталожные данные двигателя для электропривода центробежных насосов

Тип двигателя	P_n , кВт	$\cos\varphi$	η_n , %	S_n	M_{II} / M_n	M_{max} / M_n	M_{min} / M_n	I_{II} / I_n	J , кгм ²	Масса, кг
АИР132S2	7,5	87,5	0,86	4,0	2,1	2,5	1,8	7,5	0,028	58

Таблица 26 – Паспортные данные двигателя АИР132S2

Наименование показателя	Значение
Синхронная частота вращения, об/мин	3000
Установленная мощность эл.двигателя, кВт	7,500
Кратность моментов:	-
пусковой	2,1
максимальный	2,5
минимальный	1,8

Продолжение таблицы 26

Наименование показателя	Значение
Скольжение, о.е.:	-
номинальное	0,040
критическое	0,12
Момент инерции эл.двигателя, кг·м ²	0,028
Снижение напряжения сети, (%)	20
Мощность, кВт	7,2
Показатель степени X	2
Приведенный начальный момент сопротивления к номинальному, в о.е.	0,25
Приведённый момент инерции раб. машины, кг·м ²	0,05

Результаты расчетов сведем в таблицы 27 и 28.

Таблица 27 – Расчетные значения моментов двигателя и рабочей машины центробежного насоса

Частота вращения, об/мин	Скольжение	Моменты, Н·м		
		двигателя	рабочей машины	динамический
0,0	1,000	52,23	5,97	46,26
306,3	0,898	48,96	6,17	42,79
612,6	0,796	46,63	6,78	39,85
918,9	0,694	45,23	7,79	37,44
1225,2	0,592	44,77	9,21	35,56
1366,7	0,544	44,87	10,00	34,86
1508,2	0,497	45,16	10,88	34,28
1649,7	0,450	45,66	11,84	33,82
1791,1	0,403	46,36	12,89	33,46
1932,6	0,356	47,25	14,03	33,22
2074,1	0,309	48,35	15,26	33,09

Продолжение таблицы 27

Частота вращения, об/мин	Скольжение	Моменты, Н·м		
		двигателя	рабочей машины	динамический
2215,6	0,261	49,64	16,57	33,07
2357,0	0,214	53,82	17,96	35,86
2498,5	0,167	60,09	19,45	40,64
2640,0	0,120	62,17	21,01	41,16
2710,7	0,096	62,09	21,83	40,25
2781,4	0,073	61,71	22,67	39,04
2852,1	0,049	60,66	23,53	37,13
2922,8	0,026	57,31	24,41	32,89
3000,0	-	0,00	25,40	-

Таблица 28 – Расчетные значения времени разгона и торможения электропривода центробежного насоса

Время разбега, с.	Интегрированное время разбега, с	Время торможения, с	Интегрированное время торможения, с	Момент двигателя при снижении напряжения
0,000	0,000	2,410	12,998	33,43
0,056	0,056	1,998	10,588	31,34
0,117	0,173	1,612	8,590	29,84
0,181	0,354	1,268	6,979	28,95
0,250	0,604	0,974	5,710	28,65
0,283	0,887	0,854	4,736	28,71
0,316	1,203	0,743	3,882	28,90
0,350	1,553	0,642	3,139	29,22
0,384	1,937	0,548	2,498	29,67
0,419	2,356	0,462	1,949	30,24
0,454	2,810	0,384	1,487	30,94

Продолжение таблицы 28

Время разбега, с.	Интегрированное время разбега, с	Время торможения, с	Интегрированное время торможения, с	Момент двигателя при снижении напряжения
0,489	3,299	0,311	1,103	31,77
0,522	3,821	0,244	0,793	34,44
0,552	4,374	0,182	0,548	38,45
0,581	4,955	0,125	0,366	39,79
0,595	5,550	0,098	0,241	39,74
0,609	6,159	0,072	0,143	39,50
0,625	6,784	0,047	0,071	38,82
0,641	7,425	0,023	0,023	36,68

Приведем на рисунках 17, 18 полученные с помощью расчетной программы диаграммы разгона и торможения выбранного электропривода, а также механические характеристики двигателя центробежного насоса, рабочей машины, динамического момента и момента двигателя при сниженном на 20% напряжении [15].

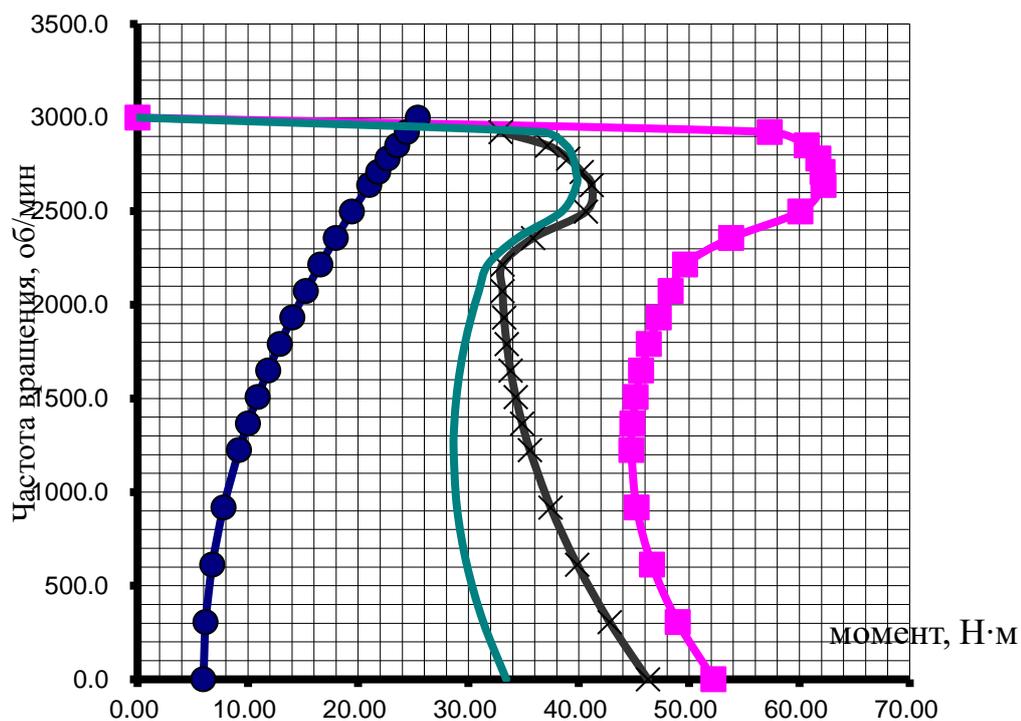


Рисунок 17 – Механические характеристики центробежного насоса (момент сопротивления рабочей машины, момент при сниженном напряжении, динамический момент, момент двигателя), Н·м

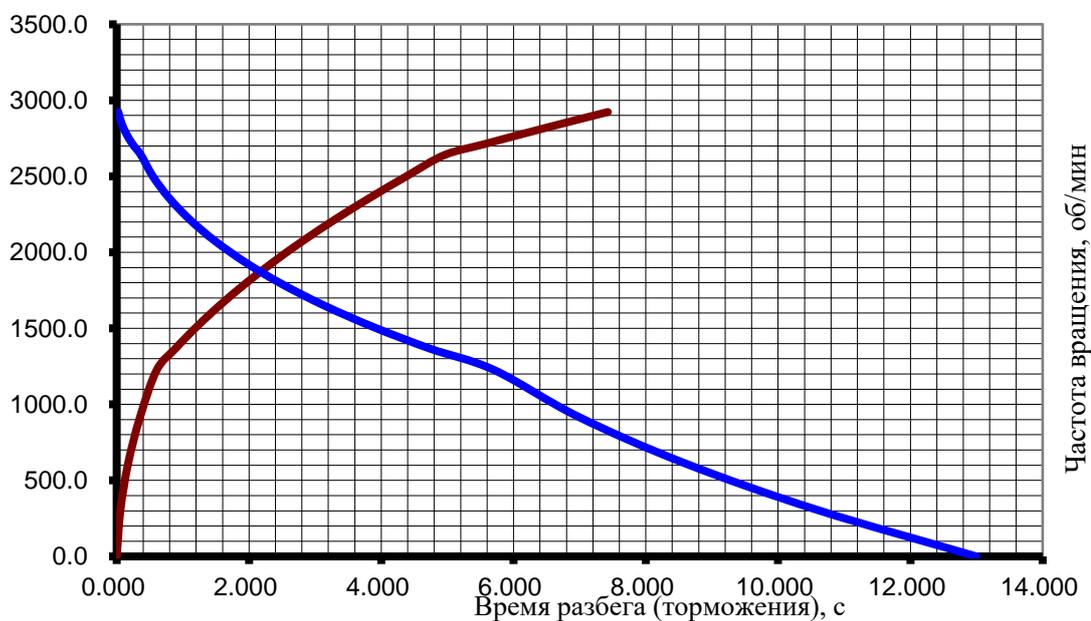


Рисунок 18 – Диаграмма разгона и торможения электропривода центробежного насоса

Для регулирования производительности насосных агрегатов выбираем два частотных преобразователя Schneider Electric ATV212HU75N4 мощностью 7,5 кВт каждый. Будет использована схема управления (рисунок 19), при которой один частотный преобразователь управляет двумя двигателями насосов [15].

АСУ насосной станции представляет собой замкнутую систему с обратной связью, обеспечиваемой датчиком давления в магистрали. Показания этого датчика поступают на вход системы регулирования, где они сравниваются со значением давления, которое необходимо обеспечить в соответствии с графиком давления. В результате этого сравнения определяется разница системы, которая затем обрабатывается по PID-алгоритму. Получается значение, на которое необходимо изменить (уменьшить или увеличить) число оборотов двигателя, от которого зависит производительность насоса, для устранения возникшей разницы.

Изменение числа оборотов двигателя производится изменением частоты и величины подводимого к нему напряжения с помощью частотного регулятора. Схема включения преобразователя показана на рисунке 19.

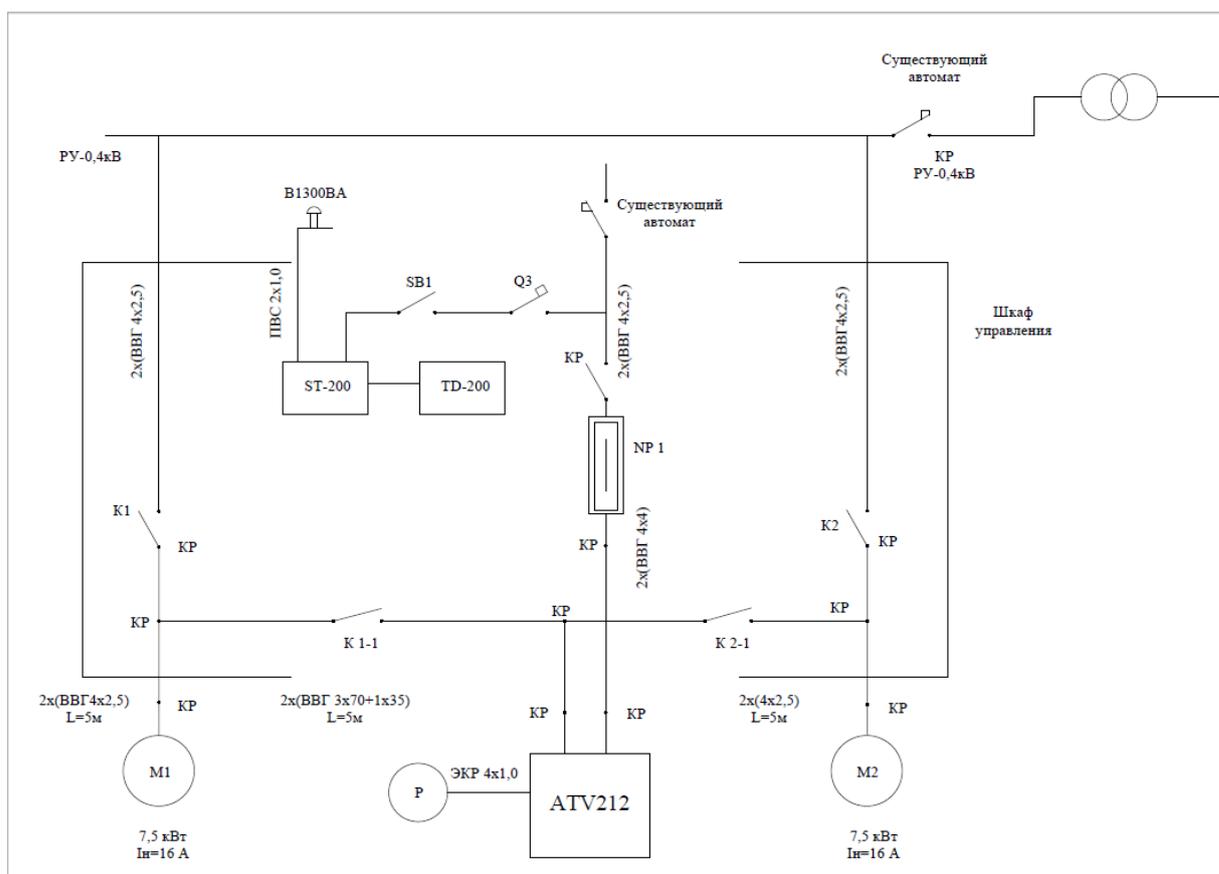


Рисунок 19 – Схема подключения частотного преобразователя

Двигатель М1 или М2 включается в работу через частотный регулятор (основной/дополнительный), либо включаются напрямую.

Для обеспечения равномерной загрузки двигателей системы в течение периода эксплуатации предусмотрена возможность задавать, какой двигатель будет работать через частотный регулятор (основной), а какой будет работать напрямую (дополнительный). Таким образом, в случае, если не хватает мощности основного двигателя для поддержания заданного уровня, включается в работу дополнительный двигатель. Режим задается оператором с кнопочной панели. Монтажная схема показана на рисунке 20.

Нормальный режим работы (все двигатели исправны). В соответствии с графиком включения работает основной двигатель с регулируемым числом оборотов. В случае если максимальной мощности этого двигателя будет

недостаточно для поддержания заданного давления, в работу будет включен дополнительный двигатель. Это происходит следующим образом. Если основной двигатель - М1, то включение напрямую двигателя М2 будет осуществлено с автоматическим снижением оборотов М1 до значения, при котором будет обеспечено заданное давление.

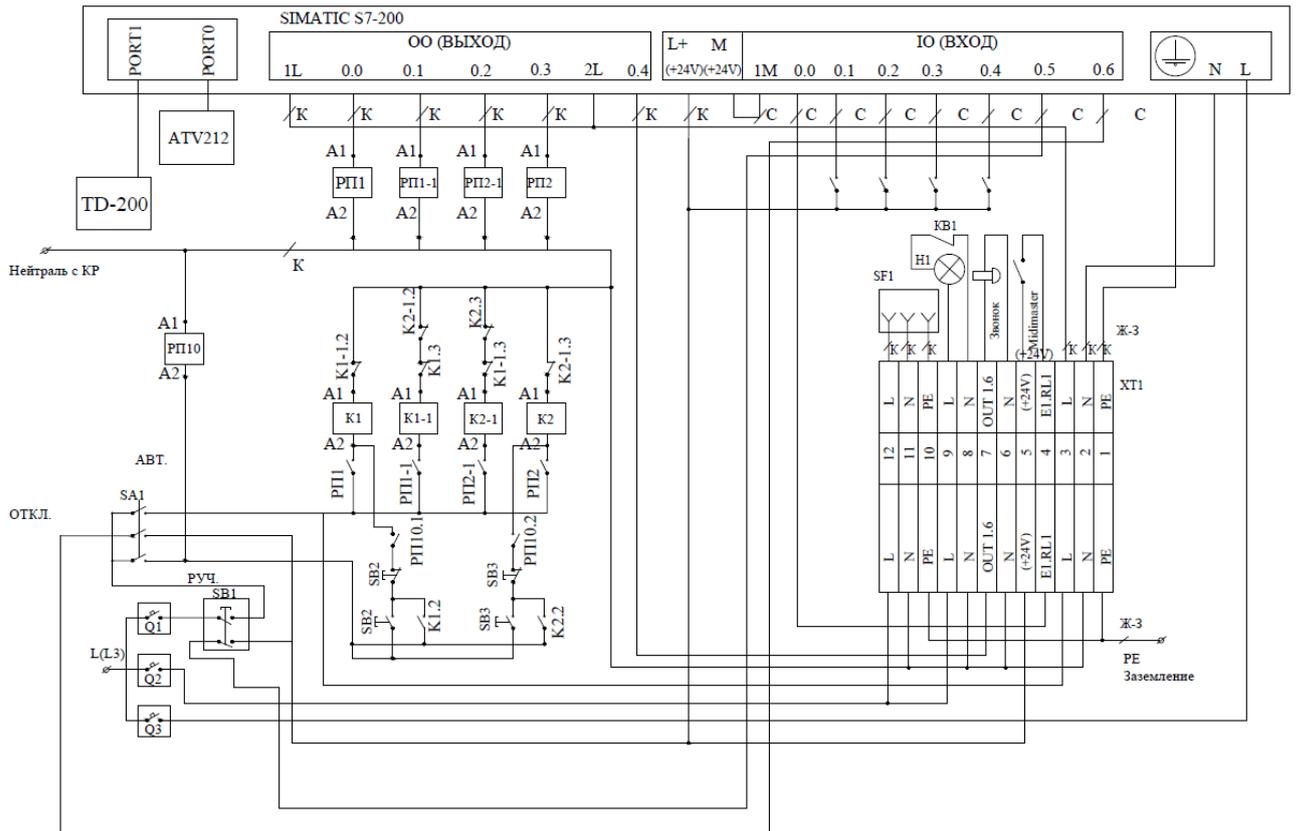


Рисунок 20 – Схема монтажная частного управления насосными агрегатами.

При понижении давления манипуляции с двигателями осуществляются в обратном порядке.

В случае если двигатель, который необходимо включить, не запускается (неисправен) оператору будет выдан звуковой сигнал и соответствующее сообщение.

При аварийном режиме работы предусмотрена возможность пуска двигателей М1 и М2 напрямую, без частотного регулятора.

Центробежные насосы являются крупными потребителями электрической энергии на любом производственном предприятии и сфере ЖКХ. На их долю приходится до 20% потребления энергоресурсов. Поэтому внедрение энергосберегающих технологий в системы водоснабжения и водоотведения значительно помогают снизить показатель энергоёмкости и экономить энергетические ресурсы [14].

Также внедрение частотного привода благополучно сказывается на ресурсе асинхронных электродвигателей, что влечёт за собой снижение стоимости технического обслуживания и ремонта насосных агрегатов:

- возможность создавать при необходимости напор выше основного;
- уменьшение износа основного оборудования за счет плавных пусков, устранение гидравлических ударов, снижение напора;
- возможность комплексной автоматизации систем водоснабжения;
- уменьшение уровня шума за счет широтно-импульсной модуляции.

Для расчета экономической эффективности внедрения частотного регулирования на насосной станции второго подъема примем, что в работе одновременно участвуют оба насоса мощностью 7,5 кВт каждый.

Общий расход электрической энергии за сутки составит:

$$Э_{сут} = Э_{час} \cdot t, \quad (36)$$

где $Э_{сут}$ – суточный расход электроэнергии, кВт;

$Э_{час}$ – часовой расход электрической энергии, кВт;

t – число работы в сутки, ч.

$$Э_{сут} = 15 \cdot 24 = 360 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Годовой расход электрической энергии определим по формуле:

$$Э_{год} = Э_{сут} \cdot 365, \quad (37)$$

где $Э_{год}$ – годовой расход электрической энергии, кВт.

$$\text{Эгод} = 360 \cdot 365 = 131400 \text{ кВт}$$

На основании типовых расчётов экономической эффективности частотных преобразователей известно, что в среднем экономия электрической энергии составляет 30 – 40%. Для наших расчетов возьмем экономию в 30%.

Суточная экономия составит:

$$\text{Э1сут} = \frac{\text{Эсут} \cdot 30}{100}, \quad (38)$$

$$\text{Э1сут} = \frac{360 \cdot 30}{100} = 108 \text{ кВт} \cdot \text{ч в сутки}$$

Итак, за сутки достигается экономия в 108 кВт · ч.

Экономия за год с частотным преобразователем (с учетом круглогодичной работы насосной станции):

$$\text{Эгод. чп} = \text{Э1сут} \cdot 365, \quad (39)$$

$$\text{Эгод. чп} = 108 \cdot 365 = 39420 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Выводы по разделу 3

Комплексная реконструкция системы освещения с заменой светильников типа ДНаТ на энергосберегающие светодиодные позволит сэкономить до 688 тыс. кВт·ч. электрической энергии в год.

А установка автоматизированной системы с частотным преобразователем на насосной станции дополнительно позволит сэкономить до 40 тыс. кВт·ч. электрической энергии в год.

4 Расчет экономической эффективности энергосберегающих мероприятий

4.1 Расчет затрат

Инвестиционные издержки рассчитываются по формуле [9]:

$$FC = FC_{об} + FC_{тр} + FC_{монт} + FC_{проч} , \quad (40)$$

где FC – общие инвестиционные издержки, руб.;

$FC_{об}$ – стоимость оборудования, руб.;

$FC_{тр}$ – затраты на транспортировку оборудования, руб.;

$FC_{монт}$ – затраты на установку и монтаж оборудования, руб.;

$FC_{проч}$ – прочие инвестиционные издержки, руб.

Результаты расчетов представлены в таблицах 29,30,31.

Таблица 29 – Сводные показатели мероприятий по энергосбережению

Наименование мероприятия	Условное обозначение мероприятия	Экономия, тыс. рублей	Затраты тыс. рублей
Замена окон	A	1 663	13810
Теплоизоляция теплотрасс	B	1471	1400
Индивидуальный тепловой пункт с погодозависимой автоматикой	C	547,59	2070
Реконструкция системы освещения	D	5428	9205,04
Внедрение частотных преобразователей	E	311	164
Итого:		8937,59	26649,04

Таблица 30 – Дисконтированные денежные затраты по годам, на протяжении четырех лет

Период	Коэффициент дисконтирования	A	B	C	D	E
0	1	13810	1400	2070	9205,04	164
1	0,8772	0	0	0	0	0
2	0,7695	0	0	0	0	0
3	0,675	0	0	0	0	0
4	0,5921	0	0	0	0	0
CFP	-	13810	1400	2070	9205,04	164

Таблица 31 – Дисконтированные денежные потоки с первого по пятый год

Период	Коэффициент дисконтирования	A	B	C	D	E
1	0,8275	97730,056	1217,312	453,153	4491,89	257,365
2	0,6848	80875,584	1007,375	375,002	3717,221	212,98
3	0,5667	66927,826	833,644	310,33	3076,151	176,25
4	0,469	55385,49	689,874	256,81	2545,64	145,854
5	0,3881	45833,738	570,899	212,521	2106,62	120,7
CF	-	346752,694	4319,104	1607,817	15937,523	913,148

4.2 Чистая текущая стоимость

Чистый дисконтированный доход является чистой текущей стоимостью и определяется, как сумма текущих эффектов за весь расчётный период [9]:

$$NVP = \sum \frac{CF_k}{(1+r)^k(1+i)^k} - \sum \frac{IC_k}{(1+r)^k(1+i)^k} \quad (41)$$

$$NVP(A) = 332942,7;$$

$$NVP(B) = 2919,104;$$

$$NVP(C) = -462,18;$$

$$NVP(D) = 6732,48;$$

$$NVP(E) = 749,18.$$

4.3 Индекс рентабельности

Индекс рентабельности инвестиций - показатель метода чистой приведённой стоимости, который рассчитывается как отношение суммы дисконтированных денежных потоков к первоначальным инвестициям [16]:

$$PI = \frac{\sum \frac{CF_k}{(1+r)^k}}{\sum \frac{IC_k}{(1+r)^k}} \quad (42)$$

$$PI(A) = 346752,694/13810 = 25,109;$$

$$PI(B) = 4319,104/1400 = 3,085$$

$$PI(C) = 1607,817/ 2070;$$

$$PI(D) = 15937,523/9205,04 = 1,731;$$

$$PI(E) = 913,148/164 = 5,568.$$

4.4 Определение предельного значения изменения дохода

В ситуации, когда инвестиционный проект будет иметь интегральную точку безубыточности, NPV будет равен нулю [16].

$$q_1 = \left(1 - \frac{DIC_t}{PV}\right), \quad (43)$$

где PV - приведенная стоимость;

$$q_1(A) = (1 - 13810/346752,7) = 96\%;$$

$$q_1(B) = (1 - 1400/4319,1) = 67,6\%;$$

$$q_1(C) = (1 - 2070/1607,817) = - 28,75\%;$$

$$q_1(D) = (1 - 9205/15937,5) = 42\%;$$

$$q_1(E) = (1 - 164/913,148) = 96\%.$$

Выводы по разделу 4

В соответствие с планом мероприятий по повышению энергетической эффективности, рассмотренных в предыдущих главах, рассчитаны общие инвестиционные издержки составляющие 26 649,04 тыс. руб.

Экономия от внедрения энергосберегающих мероприятий составит 8937,59 тыс. руб.

Были определены дисконтированные денежные затраты, дисконтируемые денежные потоки по годам для приведения к текущей стоимости.

Для сопоставления будущей прибыли с текущими вложениями рассчитана чистая текущая стоимость. На основании суммы, полученной в результате вычислений, доказана окупаемость инвестиционного проекта по прошествии пяти лет.

Заключение

В соответствии с поставленной целью в выпускной квалификационной работе решены следующие задачи:

- произведён анализ текущего состояния внедрения энергосберегающих мероприятий на предприятии;
- разработаны на основании полученной информации типовые мероприятия, а также на основании опыта реализации энергосберегающих мероприятий на предприятиях схожего типа предложены актуальные мероприятия для АО «Геомаш»;
- проведены необходимые технико-экономические расчёты.

Расчётами доказано, что реконструкция теплоизоляции на теплотрассах приведёт к экономии до 673 Гкал в год, а внедрение погодозависимой автоматики до 794 Гкал в год.

Модернизация системы освещения позволит сэкономить до 700 тыс. кВт·ч. электрической энергии в год, а установка автоматизированной системы с частотным преобразователем на насосной станции дополнительно сократит энергопотребление до 40 тыс. кВт·ч. в год.

Для сопоставления предполагаемой прибыли с текущими вложениями рассчитана чистая текущая стоимость.

Общие инвестиционные издержки составляют 26 649,04 тыс. руб., а экономия от внедрения энергосберегающих мероприятий 8937,59 тыс. руб.

Установлено, что данный инвестиционный проект окупится по прошествии пяти лет.

Практическая значимость магистерской диссертации состоит в том, что наработки в вопросах составления программ энергосбережения и энергетической эффективности применимы как на самом предприятии АО «Геомаш», так и на схожих по профилю предприятиях.

Список используемой литературы и используемых источников

1. АО «Геомаш». Режим доступа: <https://www.geomash.ru/> Дата обращения: 14.09.2022.
2. Аполлонский С.М. Энергосберегающие технологии в энергетике: учебник для вузов / С.М. Аполлонский. – Санкт-Петербург: Лань, 2023.
3. ГОСТ 31531-2012 от 01.01.2015 «Энергосбережение. Методы подтверждения соответствия показателей энергетической эффективности энергопотребляющей продукции их нормативным значениям. Общие требования».
4. ГОСТ 31532-2012 от 01.01.2015 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения».
5. ГОСТ 31607-2012 от 01.01.2015 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения».
6. Дронова Ю.В. Экономическое обоснование проектов в энергетике: учебное пособие / Ю.В. Дронова. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017
7. Заединов А.В., Гагулина Н.Л. Об экономической эффективности технологий реконструкции тепловых сетей. // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 4. С. 59-69.
8. Закомолдина Е.С. Влияние типа теплоизоляции и способа прокладки тепловых сетей на эффективность тепловых сетей. Энигма. 2021. № 29-1. С. 89-92.
9. Зеляковский Д. В. Учебно-методическое пособие по дисциплине "Экономика энергетики" / Д.В. Зеляковский, В.А. Титова. - Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015.
10. Корнилов Г.П., Лыгин М.М., Закирова Р.А., Абдулвелеев И.Р. Энергосберегающие технологии в электроэнергетике [Электронный ресурс] : учебное пособие / Геннадий Петрович Корнилов, Максим Михайлович Лыгин, Регина Артуровна Закирова, Ильдар Равильевич Абдулвелеев ;

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (2,85 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2020.

11. Коробов Г.В., Картавец В.В., Черемисинова Н.А. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Под. общ. ред. Г.В. Коробова. – 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Издательство «Лань», 2022.

12. Круглов Г.А. Теплотехника : учебное пособие для вузов / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022.

13. Николаенко С.А., Цокур Д.С. Учебное пособие Автоматизация технологических процессов . Изд-во КГАУ – Краснодар 2017. -108 с. с ил.

14. Оськин С.В. Экономическое обоснование организационно-технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах.- Краснодар, Изд-во КГАУ, 2018.- 108 с.

15. Оськин С.В., Богатырев Н.И. Учебник «Электрический привод» – Краснодар 2016. -491 с. с ил.

16. Петраков Г.П., Слепченко В.С. Экономическая эффективность замены старых теплопроводов в Санкт-Петербурге. Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 7 (34). С. 7-31.

17. Приказ Минэкономразвития России от 11.05.2010 №174 «Об утверждении примерных условий энергосервисного договора (контракта), которые могут быть включены в договор купли-продажи, поставки, передачи энергетических ресурсов (за исключением природного газа)».

18. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов.//М.М. Соколов/Учебник для студентов, обучающихся по специальности «Электропривод и автоматизация пром. установок». Изд. 3-е, переработ. и доп. М.: «Энергия», 1976.- 488 с.

19. Солдатов В.А. Электроэнергетические системы и сети. Часть 2 : учебное пособие / В.А. Солдатов. - Караваево: Костромская КГСХА, 2019.

20. СП 131.13330.2020 «Свод правил. Строительная климатология».

21. Указ Президента РФ от 04.06.2008 №889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики».

22. Указ Президента РФ от 13.05.2010 №579 «Об оценке эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (с изменениями на 14 октября 2012 года).

23. Федеральный закон об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года.

24. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие. 2-е изд., доп. - СПб.: Издательство "Лань", 2022.

25. Экономическая оценка проектных решений в агроинженерии : учебник / В.Т. Водяников, Н.А. Серeda, О.Н. Кухарев (и др.) ; под редакцией В.Т. Водяникова. - Санкт-Петербург : Лань, 2022.

26. Электронный ресурс: <https://www.gismeteo.ru/> Дата обращения: 14.09.2022.

27. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р. URL: <http://base.garant.ru>.

28. Albertelli, P.; Keshari, A.; Matta, A. Energy oriented multi cutting parameter optimization in face milling. J. Clean. Prod. 2016, 137, 1602–1618. [Google Scholar] [CrossRef]

29. Calvanese, M.L.; Albertelli, P.; Matta, A.; Taisch, M. Analysis of energy consumption in CNC machining centers and determination of optimal cutting conditions. In Proceedings of the Re-Engineering Manufacturing for

Sustainability-Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore, 17–19 April 2013; pp. 227–232. [Google Scholar] [CrossRef]

30. Chen, X.; Li, C.; Tang, Y.; Li, L.; Du, Y.; Li, L. Integrated optimization of cutting tool and cutting parameters in face milling for minimizing energy footprint and production time. *Energy* 2019, 175, 1021–1037. [Google Scholar] [CrossRef]

31. Hanafi, I.; Khamlichi, A.; Cabrera, F.M.; Almansa, E.; Jabbouri, A. Optimization of cutting conditions for sustainable machining of PEEK-CF30 using TiN tools. *J. Clean. Prod.* 2012, 33, 1–9. [Google Scholar] [CrossRef]

32. IRENA. Reaching Zero with Renewables: Eliminating CO2 Emissions from Industry and Transport in Line with the 1.5 °C Climate Goal. 2020. Available online: <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Reaching-Zero-with-Renewables> (accessed on 24 May 2021).

33. Li, C.; Chen, X.; Tang, Y.; Li, L. Selection of optimum parameters in multi-pass face milling for maximum energy efficiency and minimum production cost. *J. Clean. Prod.* 2017, 140, 1805–1818. [Google Scholar] [CrossRef]

34. Ritchie, H.; Roser, M. CO2 and Greenhouse Gas Emissions. *Our World in Data*. 2020. Available online: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (accessed on 24 May 2021).

35. Wang, W.; Tian, G.; Chen, M.; Tao, F.; Zhang, C.; Al-Ahmari, A.; Li, Z.; Jiang, Z. Dual-objective program and improved artificial bee colony for the optimization of energy-conscious milling parameters subject to multiple constraints. *J. Clean. Prod.* 2020, 245, 118714. [Google Scholar] [CrossRef]

36. Yan, J.; Li, L. Multi-objective optimization of milling parameters—the trade-offs between energy, production rate and cutting quality. *J. Clean. Prod.* 2013, 52, 462–471. [Google Scholar] [CrossRef]

37. Zhang, T.; Liu, Z.; Sun, X.; Xu, J.; Dong, L.; Zhu, G. Investigation on specific milling energy and energy efficiency in high-speed milling based on energy flow theory. *Energy* 2020, 192, 116596. [Google Scholar] [CrossRef]