

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»

институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г.Н. Чистяков  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_ »      \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.

## **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Автоматизация, как средство повышения энергоэффективности  
производственных процессов АО «УК «Разрез Степной»  
тема

Руководитель \_\_\_\_\_ доцент каф. ЭЭ, к.т.н.  
подпись, дата                      должность, ученая степень

\_\_\_\_\_ Е.В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ А.А. Солопченко  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ А.В.Коловский  
инициалы, фамилия

Абакан 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»

институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г.Н. Чистяков  
подпись    инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в виде бакалаврской работы**

Студенту Солопченко Анатолию Анатольевичу

(фамилия, имя, отчество студента)

Группа ЗХЭн-12-01(3-12) Направление 13.03.02

(код)

«Электроэнергетика и электротехника»

(наименование)

Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизация, как средство повышения энергоэффективности производственных процессов АО «УК «Разрез Степной»

Утверждена приказом по университету № 145 от 28.02.2017 г.

Руководитель ВКР: Е.В.Платонова, доцент каф. «Электроэнергетика», к.т.н.

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР: Однолинейные схемы электрических соединений подстанций и питающих подстанции потребителей фидеров, данные измерений электрических величин и показателей качества электрической энергии АО «УК «Разрез Степной», характеристика технологических процессов

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

Введение

- 1 Повышение энергоэффективности, как один из приоритетов государственной политики
- 2 Пути повышения энергоэффективности на предприятии по добыче и переработке угля
- 3 Характеристика системы электроснабжения АО «УК «Разрез Степной»
- 4 Разработка мероприятий энергосбережения систем электроснабжения и электропотребления
  - 4.1 Автоматизация водоотлива разреза
  - 4.2 Автоматизация системы компенсации реактивной мощности главного корпуса обогатительной фабрики
  - 4.3 Использование тиристорных преобразователей электроприводов экскаваторов
  - 4.4 Повышение энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения
    - 4.4.1 Замена источников освещения на энергоэффективные
    - 4.4.2 Автоматизация системы управления освещения на открытых горных выработках и отвалов с помощью фотодатчиков
    - 4.4.3 Автоматизация освещения в местах общего пользования с помощью датчиков движения административно-бытового комбината
  - 4.5 Снижение тока возбуждения сетевого двигателя на ЭШ 11/70
  - 4.6 Автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом

Заключение

Перечень обязательных листов графической части:

1. Э1 Автоматизация водоотлива разреза
2. Э2 Автоматизация УКРМ ОФ
3. Э3 Повышение энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения
4. Э4 Мероприятия по автоматизации АО «УК «Разрез Степной»

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_ Е.В.Платонова

(подпись)

(инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ А.А.Солопченко

(подпись)

(инициалы и фамилия)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Автоматизация, как средство повышения энергоэффективности производственных процессов АО «УК «Разрез Степной» содержит 101 страницу текстового документа, 26 использованных источников, 4 листа графического материала, приложений нет.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ.

Объектом автоматизации является оборудование и установки электроснабжения - АО «Угольной компании «Разрез Степной».

Основной целью автоматизации производственных процессов является повышение энергоэффективности АО «Угольной компании «Разрез Степной».

В процессе выполнения выпускной квалификационной работе были предложены энергоэффективные мероприятия, выбранные в результате технико-экономического сравнения вариантов, а также произведена оценка их эффективности сроков окупаемости их внедрения.

Основные мероприятия, которые были предложены в выпускной квалификационной работе:

1. Разработка системы автоматизации водоотлива разреза.
2. Автоматизация системы компенсации реактивной мощности главного корпуса обогатительной фабрики.
3. Использование тиристорных преобразователей электроприводов экскаваторов.
4. Повышение энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения.
5. Снижение тока возбуждения сетевого двигателя на ЭШ 11/70.
6. Применение автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом "Карьер".

## ABSTRACT

Final qualification work on topic "automation as a means of improving the efficiency of production processes of JSC "UK "Razrez Stepnoy" contains 101 page text document, 26 of sources used, 4 sheets of graphic material, application no.

ENERGY EFFICIENCY MEASURES, AUTOMATION, POWER SUPPLY SYSTEM, A TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON, PAYBACK PERIOD.

The object of automation is the equipment and installation of power supply to JSC "Coal company "Razrez Stepnoy".

The main objective of automation of production processes is to increase the efficiency of JSC "Coal company "Razrez Stepnoy".

During execution of final qualifying work was the proposed energy efficiency measures selected by a techno-economic comparison of variants and assessment of their efficiency the payback period for their implementation.

The main activities that were proposed in the final qualifying work:

1. Development automation system of drainage incision.
2. Automation system for reactive power compensation the main building of the processing plant.
3. The use of thyristor electric drives of excavators.
4. Energy efficiency systems, indoor and outdoor lighting.
5. The decrease of the excitation current network engine ESH 11/70, this.
6. The use of automated control system of mining transportation complex "Quarry".

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая программа России предусматривается дальнейшее развитие энергосберегающей политики. Это диктует необходимость совершенствования промышленной электроэнергетики: создание экономичных надежных систем электроснабжения, автоматизированного электропривода и систем управления.

Экономия энергетических ресурсов должна осуществляться путем перехода на энергосберегающие технологии производства; совершенствование энергетического оборудования; реконструкцию устаревшего оборудования; сокращение всех видов энергетических потерь и повышение уровня использования вторичных ресурсов; улучшение структуры производства; преобразование и использование энергетических ресурсов.

Развитие и усложнение структуры систем электроснабжения, возрастающие требования к экономичности и надежности их работы в сочетании с изменяющейся структурой и характером потребителей электроэнергии, широкое внедрение устройств управления распределением и потреблением электроэнергии на базе современной вычислительной техники предусматривают повышение уровня проектно-конструкторских разработок, внедрение и рациональную эксплуатацию высоконадежного электрооборудования, снижение непроизводительных расходов электроэнергии при ее передаче, распределении и потреблении. Передача, распределение и потребление выработанной электроэнергии на промышленных предприятиях должны производиться с высокой экономичностью и надежностью. В связи с этим широко применяют современные системы автоматики, а также простые и надежные устройства защиты отдельных элементов системы электроснабжения промышленных предприятий. Все это обеспечивает необходимое рациональное и экономное расходование электроэнергии во всех отраслях промышленности, являющихся основными потребителями огромного количества электроэнергии.

Технический прогресс в горнодобывающей промышленности тесно связан с созданием и внедрением унифицированного горнотранспортного оборудования с улучшенными энергетическими характеристиками и большой единичной мощностью. Внедрение этого оборудования приводит к росту электропотребления. Тенденция роста удельного расхода электроэнергии будет продолжаться в дальнейшем. Это связано с увеличением коэффициента вскрыши на горных работах, увеличением объемов вскрышных и добычных работ, вовлечением в переработку бедных и забалансовых руд, увеличением глубины карьера.

Дальнейшее совершенствование систем электроснабжения горных предприятий должно увязываться с совершенствованием технологии горных работ с новыми требованиями электроснабжению. Все это обеспечивает необходимое рациональное и экономное расходование электроэнергии во всех отраслях промышленности, являющихся основными потребителями огромного количества электроэнергии.

## **1 Повышение энергоэффективности, как один из приоритетов государственной политики**

Комплекс мероприятий по энергосбережению, проводимых на различных уровнях управления и хозяйствования – на федеральном, региональном, муниципальном, а также юридическими и физическими лицами; обеспечивается энергоэффективностью, достижением экономического эффекта, полученного от внедрения энергоэффективных мероприятий к затратам ресурсов, непосредственно направленных на проведение данных мероприятий.

В современных условиях энергоресурсы составляют основу жизнедеятельности человека в любой сфере производства и потребления. Энергосбережение позволяет существенно снизить затраты и обеспечить эффективность в промышленности и конкурентоспособность производства товаров и услуг, в том числе в жилищно-коммунальном хозяйстве [1].

В связи с повышением потребности в энергоресурсах и заметном росте цен на энергетические ресурсы (в РФ – на 8-15% в год в течение последних лет) возникает необходимость проведения активной политики в области энергосбережения. Кроме того, актуальность проведения активной политики энергосбережения в России связана с тем, что энергоемкость валового внутреннего продукта страны в 2,5 раза выше среднемирового уровня и в 2,5 - 3,5 раза выше, чем в развитых странах. Более 90% мощностей действующих электростанций, 83% жилых зданий, 70% котельных, 70% технологического оборудования электрических сетей и 66% тепловых сетей было построено еще до 1990 года. В промышленности эксплуатируется 15 процентов полностью изношенных основных фондов.

Сохранение высокой энергоемкости российской экономики приведет к снижению энергетической безопасности России и сдерживанию экономического роста. Выход России на стандарты благосостояния развитых стран на фоне усиления глобальной конкуренции и исчерпания источников экспортно-сырьевого типа развития требует кардинального повышения эффективности использования всех видов энергетических ресурсов.

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности следует рассматривать как один из основных источников будущего экономического роста. Однако до настоящего времени этот источник был задействован лишь в малой степени. Существенное повышение уровня энергетической эффективности может быть обеспечено только при комплексном подходе к вопросу энергосбережения.

Поэтому в последние годы, когда на федеральном уровне были приняты целый ряд нормативных документов:

- ФЗ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ»;
- Энергетическая стратегия России до 2030 г., утвержденная Распоряжением Правительства России от 13 ноября 2009 года №1715-р;

- Госпрограмма РФ «Энергосбережение и повышение электроэнергии на период до 2020 года», утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р с измен. и дополн. от 18.08.11 и 16.02.13 г.;
- Госпрограмма РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики», включающая 7 подпрограмм, в т.ч. «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» (Госпрограмма утверждена распоряжением Правительства РФ от 3.04.2013 г. № 512-р).

На региональном уровне, за последние 5 лет каждый регион РФ принял собственную целевую программу энергосбережения и повышения энергоэффективности, оформленную постановлениями правительств региона. Почти все крупные муниципалитеты приняли собственные программы. Всего по настоящий момент в РФ действует более 300 государственных программ энергосбережения различного уровня.

Стратегической целью государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности является рациональное использование энергетических ресурсов на основе обеспечения заинтересованности их потребителей в энергосбережении, повышении собственной энергетической эффективности и инвестировании в эту сферу.

В соответствии с энергетической стратегией России намечается существенное снижение энергоемкости экономики страны. Это выразится в сокращении к 2030 г. удельной энергоемкости ВВП - более чем в 2 раза.

Целью принятия закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности осуществляется путем установления:

- требований к обороту отдельных товаров, функциональное назначение которых предполагает использование энергетических ресурсов;
- запретов или ограничений производства и оборота товаров, имеющих низкую энергетическую эффективность;
- обязанности по учету используемых энергетических ресурсов;
- требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений;
- обязанности проведения обязательного энергетического обследования.

Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» включает семь подпрограмм, которые конкретизируют задачи энергосбережения в электроэнергетике, теплоснабжении и системах коммунальной инфраструктуры, в промышленности и других сферах экономики страны. Так Основной целью реализации мероприятий по энергосбережению и повышению

энергетической эффективности в государственных (муниципальных) учреждениях является снижение удельного расхода энергии на 1 кв. метр площади объектов этих учреждений на 15 процентов на I этапе (2011 - 2015 годы) и на 27 процентов за весь срок реализации программы.

Но не проработанность механизмов реализации программных мероприятий определила необходимость существенно скорректировать политику энергосбережения и разработать новые нормативные документы.

Распоряжением Правительства России РП-512 от 3-го апреля 2013 г. принята государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики», включающая подпрограмму «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» [2].

Основным целевым индикатором программы является снижение энергоемкости ВВП.

Важнейшими мероприятиями данной подпрограммы являются:

- предоставление субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию региональных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- развитие механизмов финансовой поддержки реализации проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- предоставление государственных гарантий по кредитам на реализацию проектов по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, привлекаемым организациями.

Приоритетами государственной политики в сфере реализации подпрограммы являются:

- обеспечение рационального и экологически ответственного использования энергии и энергетических ресурсов;
- создание благоприятной экономической среды для энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- поддержка стратегических инициатив в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Правительство Республики Хакасия от 11.12.2012 № 858 утвердило долгосрочную, республиканскую целевую программу «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013–2015 годы и на перспективу до 2020 года».

Цель программы - обеспечение снижения на территории Республики Хакасия объема потребляемых энергоресурсов и воды на 33% к 2020 году (в сопоставимых условиях относительно 2009 года) путем реализации потенциала энергосбережения. Программа является продолжением реализации комплекса мероприятий, обеспечивающих эффективное решение проблем и достижение целевых показателей в области энергосбережения и повышения энергоэффективности Республики Хакасия, установленных республиканской программой "Энергосбережение и повышение энергоэффективности в

Республике Хакасия на 2010 - 2015 годы и на перспективу до 2020 года".

Промышленный комплекс Республики Хакасия представлен цветной металлургией, энергетикой, предприятиями машиностроения, горнодобывающей, пищевой, легкой промышленности. Ведущими предприятиями по добыче каменного угля являются группа угледобывающих предприятий ООО "СУЭК - Хакасия", АО "Угольная Компания "Разрез Степной". ООО "СУЭК" - это крупнейшее в России угольное объединение и единственная отечественная компания, входящая в десятку лидеров мирового угольного рынка по объемам добычи угля.

Перед промышленностью Хакасии стоит задача: путем своевременного и планомерного выполнения энергосберегающих мероприятий на своих объектах обеспечить темпы роста энергоэффективности не менее 3% в год на первом этапе с ускорением до 6% в год на втором. Источник финансовых ресурсов - потенциал энергосбережения, годовые объемы его реализации в промышленности. Рост энергоэффективности промышленности не означает, что необходимо снижать объемы промышленного энергопотребления. Объемы энергопотребления в планируемом периоде будут нарастать. В этих условиях актуальна разработка технических мероприятий, повышающих энергоэффективность промышленных предприятий, в том числе крупных угледобывающих предприятий.

## **2 Пути повышения энергоэффективности на предприятиях по добыче и переработке угля**

Как показывает опыт энергетических обследований системы электроснабжения предприятий по добыче угля эксплуатируются не в номинальных режимах, электрооборудование и распределительные сети оказываются недогруженными или перегруженными. Это приводит к увеличению доли потерь в трансформаторах, электродвигателях, к снижению коэффициента мощности в системе электроснабжения [3].

Экономия потребляемой предприятиями по добыче и переработке угля электроэнергии достигается посредством:

- снижения потерь электрической энергии в системе трансформирования, распределения и преобразования (трансформаторы, распределительные сети, электродвигатели, системы электрического внешнего и внутреннего освещения);
- оптимизации режимов эксплуатации технологического электропотребляющего оборудования.

Неоправданные потери в трансформаторах наблюдаются как при недогрузках, когда потребляемая мощность значительно ниже номинальной мощности трансформатора, работающего в режиме, близком к режиму холостого хода (потери составляют 0,2 – 0,5% от номинальной мощности трансформатора), так и при перегрузках. Практика энергоаудитов показывает, чтобы избежать сверхнормативные потери электрической энергии, нагрузка трансформаторов должна быть более 30%. Экономия электроэнергии

обеспечивается за счет отключения недогруженных трансформаторов, увеличивая степень загрузки остальных трансформаторов.

Основными источниками реактивной мощности на предприятиях по добыче и переработке угля являются синхронные электродвигатели и трансформаторы всех ступеней трансформации. В сетях и трансформаторах циркулирует дополнительная реактивная мощность, которая приводит к дополнительным активным потерям. Для компенсации реактивной мощности, оцениваемой по величине  $\cos\phi$ , применяются батареи статических конденсаторов и синхронные электродвигатели, работающие в режиме перевозбуждения. Для большей эффективности компенсаторы располагают как можно ближе к источникам реактивной мощности, чтобы эти токи не циркулировали в распределительных сетях и не вносили дополнительные потери электрической энергии [4].

Если реактивная мощность вырабатывается синхронными электродвигателями применение компенсационных устройств необходимо:

- оценить эффективность работы компенсационных устройств;
- проанализировать влияние изменения коэффициента мощности  $\cos\phi$  на потери в течение суток;
- выбрать режимы работы статических конденсаторов;
- при наличии синхронных электродвигателей, работающих в режиме компенсации реактивной мощности, применить автоматическое управление током возбуждения;
- применение технических средств регулирования режимов работы электродвигателей, в частности, регулятора мощности на базе регулятора напряжения с отрицательной обратной связью по току электродвигателя.

Применение на предприятиях тиристорных устройств (нелинейные нагрузки), оказывает влияние на коэффициент мощности. Основной проблемой использования тиристорных устройств является генерация высших гармоник из-за коммутации тиристоров. В этом случае увеличивается реактивная составляющая мощности в сетях, которая вызывает дополнительные электрические потери. Гармоники существенно влияют на функционирование оборудования, особенно микропроцессорных средств диагностики и защиты, вызывая ложные срабатывания аппаратных средств и т.д. В ряде случаев приходится идти на создание дорогостоящей автономной электрической сети для обеспечения нормальной работы оборудования.

Электродвигатели являются наиболее распространенными потребителями электрической энергии на предприятиях по добыче и переработке угля. На них приходится около 70% потребления электроэнергии. С уменьшением степени загрузки двигателя возрастает доля потребляемой реактивной мощности на создание магнитного поля системы по сравнению с номинальным режимом работы, что приводит к снижению коэффициента мощности. При завышенной мощности электродвигателя следует произвести замену электродвигателя на меньшую мощность. Целесообразность капитальных затрат на замену одного

двигателя другим двигателем с соответствующей номинальной мощностью должно определяться следующими условиями:

- производить замену при загрузке менее 45%;
- при загрузке 45 – 70% для замены требуется проводить экономическую оценку мероприятия;
- при загрузке более 70% замена нецелесообразна;

Если двигатель работает с переменной нагрузкой на валу, требуется разработать мероприятия по повышению энергоэффективности в зависимости от режимов работы:

- при длительной нагрузке не превышающей 30%, следует использовать автоматическую систему переключения обмоток с “треугольника” на “звезду” на период малой загрузки;
- при нагрузке на валу, колеблющейся в пределах 30 – 100%, следует использовать регулятор мощности на базе регулятора напряжения на статоре с отрицательной обратной связью по току статора.

Переключение обмоток с “треугольника” на “звезду” является простейшим методом регулирования асинхронного электродвигателя, длительное время работающего на малой нагрузке. Это позволяет повысить КПД на несколько процентов. Более сложным методом является применение регулятора мощности, который обладает свойством автоматически поддерживать величину КПД близкую к номинальной величине при всех изменениях нагрузки на валу.

В установках с регулированием числа оборотов (насосы, вентиляторы, воздуходувки) требуется применение регулируемых электроприводов, в основном с преобразователями частоты для асинхронных и синхронных электродвигателей. Такие электропривода применяются в системах с переменным расходом (жидкости, воздуха).

Для предприятий по добыче и переработке угля значения экономии электроэнергии при применении регулируемого электропривода находятся в диапазонах:

- в системах приточно-вытяжной вентиляции, работающей в переменных режимах 40 – 50%;
- в воздуходувках и вентиляторах - 30 – 35%;
- в насосах - 25 – 30%.

Проведенные энергетические обследования и выполненные для предприятий расчеты, показывают, что применение регулируемых электроприводов для компрессорных станций, как правило, экономически не оправдано. Экономия электроэнергии составляет 4 – 5% при значительной стоимости высоковольтного регулируемого электропривода. В связи с этим рекомендуются следующие энергосберегающие мероприятия [5]:

1. Если компрессорные установки выработали свой ресурс и срок эксплуатации составляет 20 – 30 лет, необходима замена существующего оборудования на современные системы выработки сжатого воздуха,

обладающие меньшим удельным потреблением электрической энергии (экономия по электроэнергии составляет 8 – 12%).

2. Дискретное регулирование подачи путем включения либо отключения необходимого количества компрессоров на станции в зависимости от потребности в сжатом воздухе по графику воздухопотребления. Для этих целей используются микропроцессорные регуляторы, которые, когда это требуется, останавливают определенное число компрессоров, а затем, когда давление в сети падает, производя их автоматический пуск.

3. Использование затворов на всасывающей линии компрессоров. Система управляется микропроцессорным регулятором, который поддерживает давление в сети между заранее запрограммированными предельными значениями. Управление производится путем автоматической нагрузки и разгрузки компрессора в зависимости от потребления сжатого воздуха. Если потребление воздуха ниже производительности компрессора, давление в сети увеличивается. Когда давление в сети достигает верхнего предела рабочего давления (давления разгрузки), входной воздушный клапан перекрывает подачу воздуха в компрессорный элемент. Подача сжатого воздуха прекращается (0%), компрессор работает в режиме разгрузки. При падении давления в сети до нижнего предела рабочего давления (давления нагрузки) входной воздушный клапан открывает подачу воздуха в компрессорный элемент. Возобновляется подача сжатого воздуха (100%), компрессор работает в режиме нагрузки.

Система дискретного регулирования подачи совместно с использованием затворов на всасывающей линии компрессоров позволяет снизить потребление на 35 – 40% при переменном режиме работы компрессорной станции.

В балансе электропотребления предприятиями по добыче и переработке угля на освещение в отдельных случаях приходится до 8%-11% расхода электрической энергии.

Исходными данными для разработки мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности в системе освещения являются: степень использования естественного освещения, оснащённость эффективными источниками искусственного освещения, применение новых технологий регулирования.

Энергетический эффект определяется степенью использования энергоэффективных источников света. На современном этапе развития светотехнического оборудования наиболее энергоэффективными являются светодиодные (СД), натриевые высокого давления (ДНаТ), металлогалогенные (ДРИ) и люминесцентные (ЛБ) лампы. Выбор того или иного типа ламп определяется двумя обстоятельствами: экологическими аспектами и собственно энергоэффективностью.

Энергосбережение в системах освещения обеспечивается следующими мероприятиями [6]:

- заменой источников света на энергоэффективные;
- использованием современных светильников;
- применением современных систем управления;

– техническими мероприятиями.

Замена ламп накаливания на энергоэффективные позволяет получить следующие величины экономии электрической энергии (средние значения):

- светодиодные – до 80%;
- натриевые высокого давления – до 68%;
- металлогалогенные – до 66%;
- люминесцентные – до 55%.

Замена ртутных ламп типа ДРЛ на энергоэффективные позволяет получить следующие величины экономии электрической энергии (средние значения):

- светодиодные – до 52%;
- натриевые высокого давления – до 45%;
- металлогалогенные – до 42%;
- люминесцентные – до 22%.

Для случая, когда соблюдается норма освещенности в реконструируемой системе освещения, рекомендуется замену на энергоэффективные источники света осуществлять без перемонтажа осветительной сети. При этом количество существующих точек подключения светильников остается неизменным, что снижает затраты на монтажные работы.

Замена существующих светильников на современные позволяет сократить количество заменяемых источников освещения путем увеличения их светотдачи (лм/Вт) за счет большей отражательной способности. Использование современной осветительной арматуры с пленочными отражателями на люминесцентных светильниках позволяет на 40% сократить число ламп. Современные светильники промышленного назначения имеют отражатель из алюминия с электрохимической полировкой, например, R415, с высокой отражательной способностью – на 20% выше по сравнению с рядовыми светильниками.

Модернизация системы освещения посредством применения современных систем управления позволяет на 20 – 30% экономить электрическую энергию, затрачиваемую на освещение. Основные рекомендуемые мероприятия:

- применение аппаратуры для зонального отключения освещения;
- использование эффективных электротехнических компонентов светильников, например, балластных дросселей с низким уровнем потерь;
- применение в комплекте светильников взамен стандартной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) электронной ПРА;
- применение автоматических выключателей для систем дежурного освещения в зонах непостоянного, временного пребывания персонала. Управление включением освещения может осуществляться от инфракрасных и другого типа датчиков, реле времени и т.д.

Технические мероприятия в системе освещения следует применять в тех случаях, когда данные по освещенности оказываются значительно ниже

нормированной освещенности. Обычно такое положение возникает из-за санитарного состояния помещения или осветительной арматуры. В этом случае рекомендуются следующие мероприятия:

- чистка светильников;
- чистка стекол световых проемов;
- окраска помещений в светлые тона;
- своевременная замена перегоревших ламп.

Невыполнение предлагаемых мероприятий заставляет персонал устанавливать дополнительные источники освещения, повышающие расход электрической энергии сверх нормативных значений. Кроме замены существующих светильников и ламп на современные, которые даёт экономический эффект, можно увеличить этот самый эффект автоматизации управления режимами работы систем освещения.

Основными задачами, поставленными в выпускной квалификационной работе являются:

1. Разработка системы автоматизации водоотлива разреза.
2. Автоматизация системы компенсации реактивной мощности главного корпуса обогатительной фабрики.
3. Использование тиристорных преобразователей электроприводов экскаваторов.
4. Повышение энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения.
5. Снижение тока возбуждения сетевого двигателя на ЭШ 11/70.
6. Применение автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом "Карьер".

### **3 Характеристика системы электроснабжения АО «Угольной компании «Разрез Степной»**

С 1993 года АО «УК «Разрез Степной» ведет добычу каменного угля марки Д открытым способом на Черногорском каменноугольном месторождении Минусинского бассейна. Продукция разреза «Степной» представлена следующими марками угля: ДПК, ДОМ, ДПКОМ, ДСШ, ДР. Сортные марки угля выпускаются в результате переработки рядового угля (ДР) на обогатительной фабрике и дробильно-сортировочных комплексах (ДСК) разреза, перерабатывающих до 90% добываемого угля [7].

Электроснабжение АО «УК «Разрез Степной» осуществляется от ф.1018 и ф.3502 подстанции ГПП 110/35/10/6 кВ ОАО «Хакасэнерго» (основное производство) по воздушной линии ЛЭП 3503 напряжением 35 кВ, по ЛЭП 3505 напряжением 35 кВ, а также от ячеек № 31 и № 32 ГПП КСК ОАО «Хакасэнерго» кабельными линиями 10 кВ до ЦРП-10 кВ (грузовая автоколонна) и от ПС 35/10 кВ №84 «Солнечная» ОАО «Хакасэнерго» воздушной линией 10 кВ (фидер 84-04).

Внешнее электроснабжение ОФ выполнено от подстанции ТП 6/0,4 кВ № 111, которая запитана от подстанции РП-4 35/6 кВ по воздушной линии № 104 напряжением 6 кВ. Трансформаторная подстанция заблокирована с РУ-1 (ПСУ-1), в котором установлены распределительные панели потребителей 0,4 кВ обогатительной установки. Распределительные панели потребителей 0,4 кВ обогатительной установки и погрузочного комплекса установлены также в РУ-2 (ПСУ-2), питание которого осуществляется от ТП № 111 по кабельной линии 0,4 кВ. Распределение электроэнергии между электроприемниками карьера осуществляется магистральными линиями. В местах отпаек на магистральных линиях устанавливаются специальные ответвительные опоры с разъединителями. Для удобства эксплуатации на стационарных и передвижных воздушных линиях через 400-600 м устанавливаются секционные разъединители. Для электроснабжения электроприемников открытых горных работ сооружаются стационарные и передвижные линии электропередач.

Для освещения карьера применяются осветительные установки с лампами ДКСТ-20000. Автодороги и территория складов взрывчатых веществ освещаются лампами ДРЛ. Забой экскаваторов освещается прожекторами ПКН-1000, ПКН-1500. Каждая установка получает питание через свою понизительную мачтовую подстанцию.

Заземление электроприемников карьера выполняется через четвертые жилы кабелей и проводов марки АС-25 на центральные заземлители, расположенные у ПКТП-35/6 кВ. На разрезе применяется изолированная нейтраль. Для защиты от внешних перенапряжений на ВЛ-6 кВ через 200-400 м и в местах отпаек устанавливаются трубчатые разрядники. Для защиты от внутренних перенапряжений на ПКТП-35/6 кВ и ПКТП-6/0,4 устанавливаются вентильные разрядники.

В качестве резервного источника питания для пожарной насосной станции и модульной котельной ОФ используются дизельные электростанции ДЭС «Тундра» ПО «БЭМП». Для пожарной насосной станции установлена ДЭУ FG Wilson P135, 108 кВт третьей степени автоматизации с автоматическим переключением на резервный источник питания. Для модульной котельной предусматривается установка ДЭУ FG Wilson P200H, 160 кВт первой степени автоматизации с ручным переключением на резервный источник питания. По надежности электроснабжения различные потребители предприятия относятся к I, II и III категории.

Основным технологическим оборудованием предприятия являются экскаваторы типа ЭШ и ЭКГ. На АО «Угольная Компания «Разрез Степной» используются одноковшовые карьерные № № 522, 499, 560, 77 (ЭКГ-5А), № № 2103, 195 (ЭКГ-8И), № 39 (ЭКГ-5У), № 175 (ЭКГ-10), № 15 (ЭКГ-15), и шагающие экскаваторы: № 500 (ЭШ 10/70), № 2 (ЭШ 11/75), № 44 (ЭШ 11/70), № 40 (ЭШ 20/90).

Сведения о главной понизительной подстанции приведены в таблице 3.1.

Высоковольтные синхронные двигатели на предприятии установлены на карьерных экскаваторах. Сведения о двигателях приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.1 - Главные понизительные подстанции АО «УК «Разрез Степной»

Подстанции	Тип трансформатора	Количество трансформаторов	Суммарная мощность подстанции, кВА	Напряжение, кВ
РП- «Степная»	ТМ	2	2*6300	35/6 кВ

Таблица 3.2 - Сведения о высоковольтных синхронных электродвигателях

Место установки	Тип	Напряжение, кВ	Кол-во	Мощность, кВт	Суммарная мощность, кВт
ЭШ 20.90 №40	СДЭ2 17-69-8	6	1	2500	2500
ЭКГ-15 №22	СДЭ2 16-46-6	6	1	1250	1250
ЭКГ-10 №175 ЭКГ-8И №2103	СДЭ2 15-34-6	6	2	630	1260
ЭКГ-5У №39	СД800-6	6	1	800	800
ЭКГ-8И №1195	СДЭУ 14-29-6	6	1	520	520

С целью энергосбережения предлагается автоматизировать привода экскаваторов, произвести замену блоков магнитных усилителей реверсивными тиристорными преобразователями.

По сравнению с преобразователями, выполненными на магнитных усилителях, тиристорные преобразователи обладают рядом преимуществ:

1. Значительно меньшая инерционность (порядка 0,01 с).
2. Компактность и более высокий КПД.
3. Точность и плавность регулирования.
4. Неприхотливость в обслуживании и легкость замены.
5. Снижение энергопотребления на 3%.

Для компенсации реактивной мощности на обогатительной фабрике установлены комплектные конденсаторные установки на напряжение 0,4 кВ с ручным включением конденсаторных батарей. В настоящее время установки отключены. Сведения о конденсаторных установках приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Сведения об устройствах компенсации реактивной мощности

п/п	Место установки	Тип	Кол-во	Общая мощность, кВар
1	РУ 0,4 кВ пс 6/0,4 Кв главного корпуса оф	КРМ (УК) – 0,4 – 300	2	2*300

Предлагаем применить конденсаторные установки КРМ (УКМ58) – 0,4 – 300 – 25УЗ, с автоматическим регулированием. Установка УКМ 58 оснащена

микропроцессорным регулятором DCRK 7, под управлением которого выполняется включение/отключение необходимого количества конденсаторов, что обеспечивает соблюдение заданного коэффициента мощности с большой точностью и в широком диапазоне компенсируемой реактивной мощности.

#### **4 Разработка мероприятий энергосбережения систем электроснабжения и электропотребления**

Обязательное энергетическое обследование, проводимое в 2012 году на АО «УК «Разрез Степной», показало, что при удовлетворительном состоянии основного технологического оборудования и хорошем уровне подготовки эксплуатационного персонала, уровень автоматизации оборудования очень низкий, что значительно снижает эффективность его использования. Низкий уровень автоматизации при использовании устаревших технических средств приводит к росту затрат на эксплуатацию и ремонтно-профилактическое обслуживание [8].

##### **4.1 Автоматизация водоотлива разреза**

Водоотливные установки применяются для удаления за пределы открытых и подземных горных работ вод, которые поступают в горные выработки из атмосферы (дождь, тающий снег и т.д.) и водоносных горизонтов (грунтовые воды) [9].

Для осушения открытых горных работ применяются открытые водоотливные установки, дренажный подземный комплекс или погружные насосы. Подземные горные работы осушаются с помощью водоотливных установок. Водоотливная установка состоит из насосной станции (погружных насосов), водосборника (зумпф), системы трубопровода и штреков (дренажная шахта), по которым воды из массива горных пород стекают в зумпф. Обводненность горных выработок является основным неблагоприятным фактором, ограничивающим использование горных машин, ухудшающим безопасность и уменьшающим производительность труда.

Водоотлив горных предприятий является важным элементом всего комплекса горнотехнического оборудования, и его надежная работа во многом определяет бесперебойность и безотказность ведения горных работ по добыче полезных ископаемых. Экономичная работа водоотливных установок горных предприятий и рациональный режим их электропотребления в комплексе «энергосистема-потребитель» существенно влияют на экономику предприятия и отрасли в целом.

Водоотливные установки должны обеспечивать надежную откачку воды из горных выработок при возможно меньших эксплуатационных расходах. Для осуществления данных требований главные водоотливные установки должны быть полностью автоматизированы или управляться с помощью дистанционных и телемеханических систем.

Карьерный водоотлив выполнен посредством насосов типа К 100-65-250 с двигателем марки АИР200L2: 45 кВт, 3000 об/мин,  $\cos\varphi = 0,9$ ; установленных на плавучих понтонах. Вода откачивают из зумпфа, наполненного водой и через рукава воду подают к «гусаку», из под которого вывозится водовозками на базе БелАЗ-7548 и БелАЗ-7646, емкостью 20 м<sup>3</sup>. Используются карьерные воды для орошения забоев, полива автодорог и профилактики и тушения эндогенных пожаров.

Электроснабжение насосной установки осуществляется от трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ гибким кабелем КГХЛ 3х35 +1х10, длиной 142 метров. Фото водоотливной установки представлена на рисунке 4.1.

Работают в основном в летний период с мая по сентябрь 5 насосов, 12 часов в смену по 3 недели в месяц, т.е водоотливная установка работает 1260 час/год. Тариф электроэнергии с мая по сентябрь 2,7 руб./кВт.час. Расходы на ремонт водоотливных установок состоит из капитальных ремонтов одного электродвигателя в год 45 кВт, 3000 об/мин и составляет 35 тыс.руб. Ремонт самих насосов производится собственными силами с привлечением рабочих механического цеха.



Рисунок 4.1 - Водоотливная установка

Предлагаем автоматизировать водоотливные установки с помощью комплекса автоматизированного водоотлива (КАВ) [10].

Автоматически действующая аппаратура, выполняющая операции вместо машинистов насосов, обеспечивает точность, безошибочность и своевременность этих операций.

Основными задачами автоматизации водоотлива являются:

- обеспечение нормального функционирования водоотлива без постоянного присутствия обслуживающего персонала;
- пуск и остановка насосов в зависимости от уровня воды, в водосборнике в пределах регулировочной емкости;
- автоматическое управление насосными агрегатами; поочередная работа насосных агрегатов;
- автоматическое включение резервных насосных агрегатов при неисправности и автоматическом отключении работавших;
- возможность применения различных способов заливки (баковыми аккумуляторами, с применением погружных насосов, из нагнетательного трубопровода, вспомогательным насосом и с помощью сифонного способа);
- дозирование заливки по времени; работа насосов без управляемых задвижек;
- быстрое переключение с автоматического управления на ручное.

Согласно требованиям ПБ, главные водоотливные установки должны быть автоматизированы полностью, а участковые и вспомогательные установки - на 80 ... 85 %. Автоматизация осуществляется с применением серийно выпускаемой аппаратуры или индивидуального набора контактной и бесконтактной аппаратуры в зависимости от различных горнотехнических и гидрогеологических условий.

Системы автоматизации процесса откачки вод из также должны обеспечивать:

- местное управление отдельными агрегатами для наладочных ремонтных работ;
- местное управление любым числом насосных агрегатов без нарушения работы остальных агрегатов в автоматическом режиме;
- аварийный останов насосов при снижении или потере производительности, перегреве подшипников, исчезновении напряжения в цепях управления, коротких замыканиях;
- блокировки, исключающие пуск насосного агрегата при незалите насосе, включение моторного привода задвижки до пуска насосного агрегата, останов насосного агрегата до полного закрытия задвижки, дистанционное включение насосов при отсутствии воды в водосборнике, повторное включение аварийно отключившегося насоса до устранения причин аварийного отключения;
- контроль производительности насосов, перегрева подшипников и положения задвижек;

- гидравлическую защиту, защиту от перегрева подшипников скольжения и др.;
- сигнализацию в камере водоотлива;
- об аварийном отключении насосного агрегата и наличии напряжения в цепях управления, в центральном диспетчерском пункте рудника - о работе насосных агрегатов (световую), аварийном отключении (неисправности) насосных агрегатов (обезличенный сигнал), аварийном уровне воды в водосборнике, неисправности сигнальных цепей (световую и звуковую) и наличии напряжения в цепях управления.

Комплекс КАВ по сравнению с другими видами аппаратуры автоматического управления водоотливными установками обладает значительными преимуществами:

- бесконтактное исполнение логической части комплекса на основе использования наиболее прогрессивной элементной базы интегральных микросхем, что создает предпосылки для увеличения межремонтных и профилактических сроков обслуживания, надежности и срока службы аппаратуры;
- прогрессивность технологии изготовления устройств ввода и обработки информации и возможность применения высокопроизводительного оборудования для массового производства;
- блочный принцип построения аппаратуры, обеспечивающий применение типового унифицированного ряда субблоков.

Комплекс КАВ позволяет автоматизировать водоотливы с числом насосных агрегатов от одного до десяти, обеспечивает автоматическую работу агрегатов рудничного водоотлива в зависимости от уровня воды в водосборнике, а также местное и дистанционное управление. Предусмотрены возможность автоматизации комплексом различных технологических схем водоотлива, любой способ заливки главных насосов перед пуском, работа с управляемыми задвижками (до двух на один насос) как с электро-, так и с гидроприводом. При аварийном отключении работающего насоса предусмотрено автоматическое включение резервного насоса. Обеспечиваются последовательные пуск и остановка параллельно работающих насосных агрегатов. Обладая функциональными возможностями лучших образцов серийно изготавливаемой аппаратуры автоматического управления насосными агрегатами комплекс КАВ обеспечивает:

- расшифровку неисправностей по контролируемым параметрам; возможность работы с бесконтактным датчиком без дополнительных согласующих устройств;
- контроль пусковой аппаратуры насосного агрегата; возможность координируемой работы любого числа насосов, входящих в насосную установку;
- согласование работы водоотливных установок, расположенных на разных горизонтах;

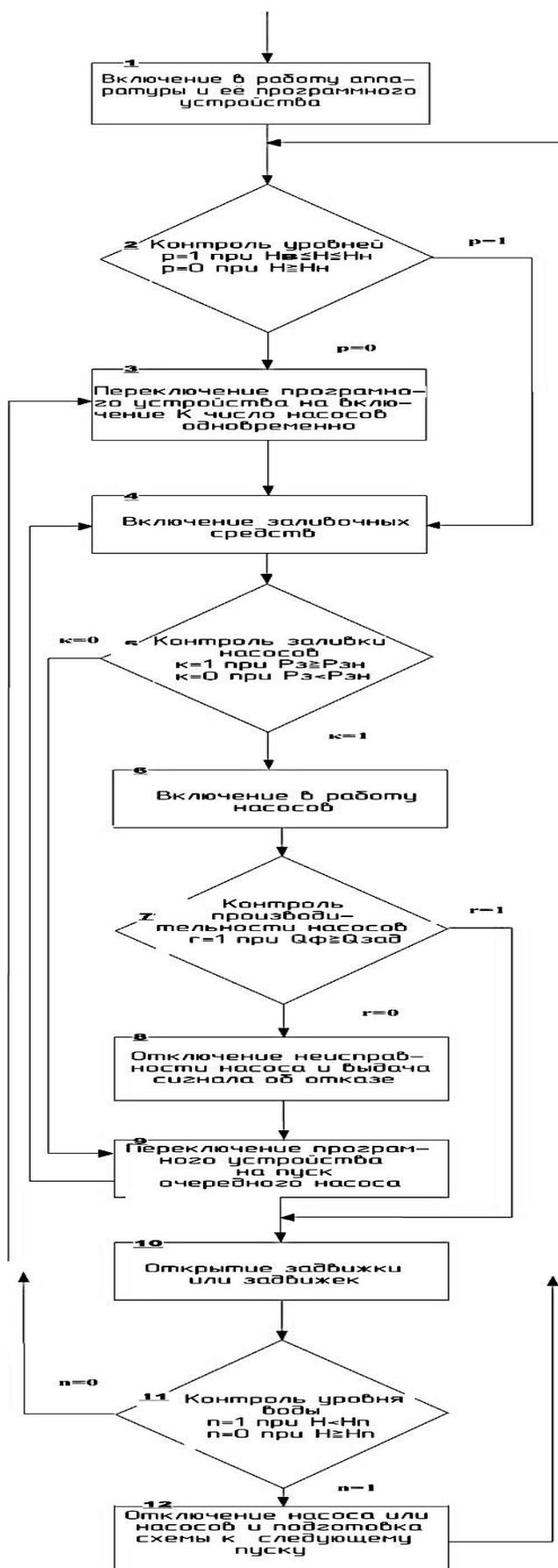


Рисунок 4.2 - Алгоритм управления автоматической водоотливной установкой

Алгоритм функционирования включает выполнение логических и временных зависимостей и оперативное запоминание информации. Может осуществляться программная перестройка алгоритма [11].

Обобщенный алгоритм управления водоотливной установкой при закрытых задвижках на нагнетательных трубопроводах насосных агрегатов показан на рисунке 4.2.

В соответствии с алгоритмом функционирование водоотлива осуществляется следующим образом. После включения в работу аппаратуры и ее программного устройства (оператор 1) контролируется уровень воды в водосборнике с помощью электродных датчиков (условие, представленное оператором 2). Когда вода поднимется к электродному датчику верхнего уровня  $H=H_B$ , поступает команда на включение заливочного насоса, который подает воду в насос в течение времени, предусмотренного программным блоком. Качество заливки контролируется реле давления (оператор 5). Если в момент контроля уровня он достиг повышенного  $H=H_{II}$  или аварийного уровня  $H=H_A$  ( $p=0$ ), то программный блок сначала переключает схему на включение насосов одновременно (оператор 4), а лишь затем включает заливочный насос.

Когда насос (насосы) будет залит  $P_3 P_{3H}$  ( $k=1$ ), подается команда на ввод его в работу (оператор 6) с последующим контролем за производительностью с помощью флажкового реле производительности (логическое условие, представленное оператором 7). Если насос (насосы) развил заданную производительность  $Q_{\Phi} \geq Q_{\text{зад}}$  ( $R=1$ ), то подается команда на открытие задвижки (задвижек) и схема переключается на контроль нижнего уровня (оператор 11), при достижении которого  $H < H_H$  ( $p=1$ ) насос будет отключен (оператор 2). Если насос по какой-либо причине не развил заданной производительности  $Q_{\Phi} < Q_{\text{зад}}$  ( $R=0$ ), он отключается и подает сигнал диспетчеру (оператор 8), а аппаратура начнет новый цикл по включению в работу очередного насоса.

Блок-схема комплекса КАВ показана на рисунке 4.3. В состав блок-схемы, входят:

1. Устройство ввода и обработки информации УВО-1.
2. Устройство электропитающее УЭП-1.
3. Блок ввода сигналов БВС-1.
4. Сигнальное табло водоотлива СТВ-1.
5. Заливочный погружной насос ЗПН.
6. Привод задвижек типа ПЗ с пускателем ПВИ.
7. Кабельные ящики ЯСЯ-1 и ЯРВ-1.
8. Переключатель цепей управления ПЦУ-3.
9. Датчики уровня электродные типа ЭД.
10. Реле давления РДВ.
11. Реле производительности РПН.
12. Термодатчик ТДЛ-2.

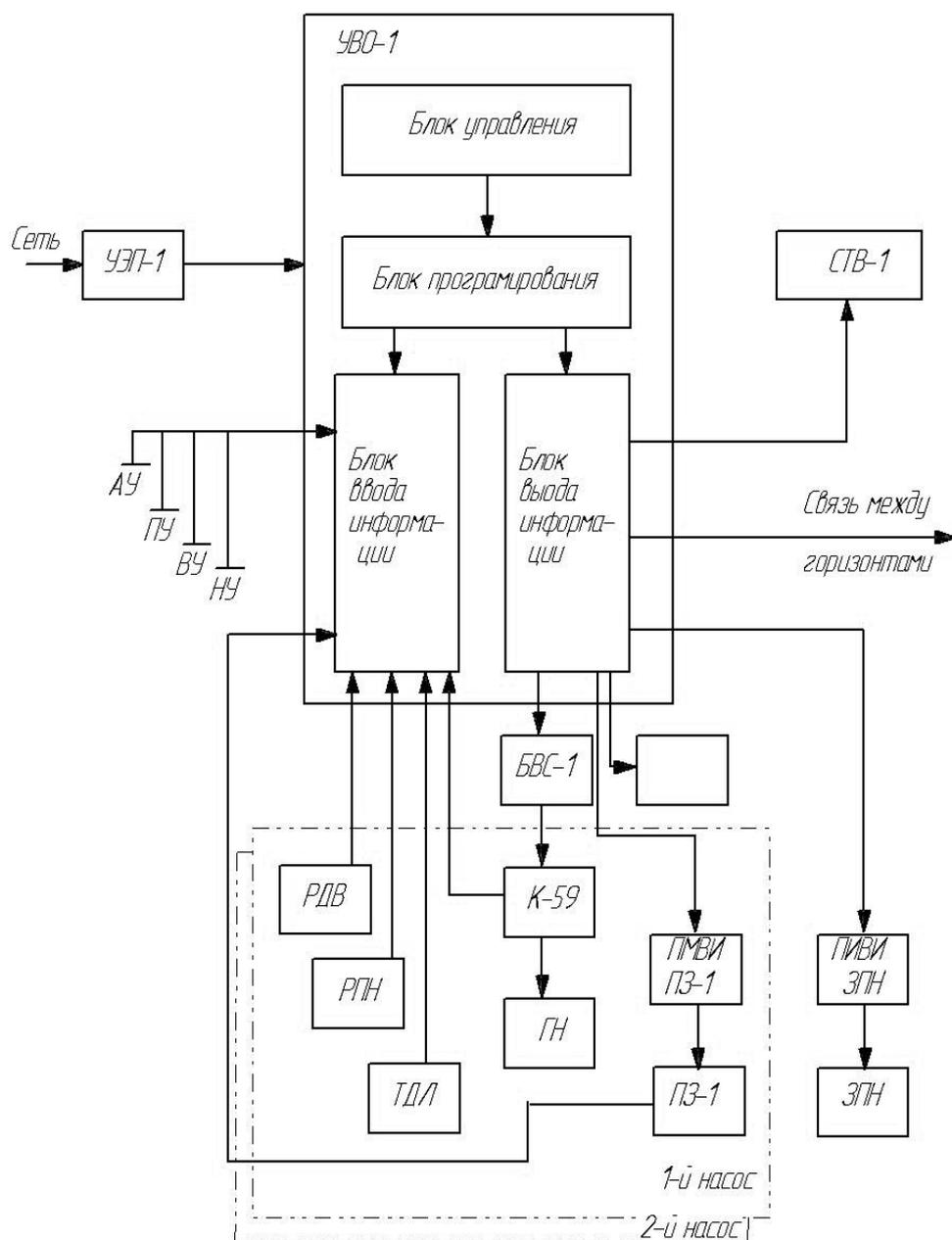


Рисунок 4.3 - Блок-схема комплекса КАВ для главного водоотлива

Для контроля уровня воды в водосборнике используем электродные датчики типа ЭД, которые контролируют сопротивление цепи: электрод - вода - "земля", представленного рисунке 4.4.

Электродный датчик представляет собой один контакт в цепи управления, а вторым контактом является вода в водосборнике. При повышении уровня воды и контактировании ее с датчиком уровня замыкается цепь управления и подается сигнал на включение насосного агрегата. Электродный датчик состоит из стального диска 6, со стаканом 2 и свинцовой обкладкой 1 для защиты диска от коррозии. На стакан навинчивается кабельный ввод 3. Контактующим элементом является диск.

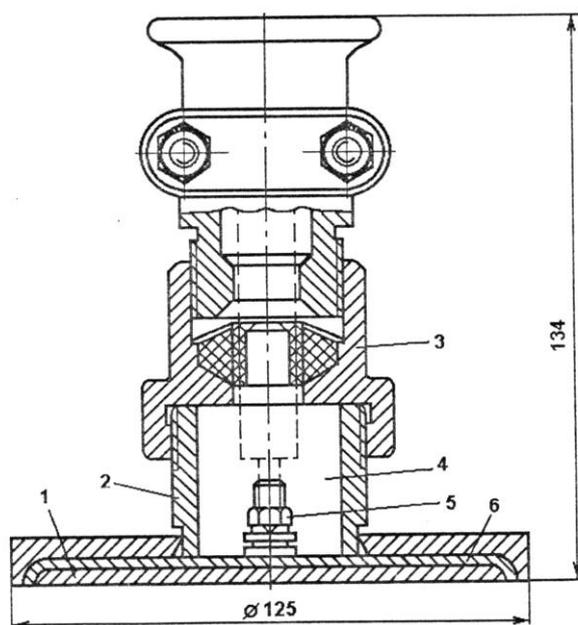


Рисунок 4.4 - Электродный датчик уровня ЭД

После подключения жилы кабеля к контактной шпильке 5 полость стакана 4 заливается кабельной массой. Датчик подвешивается на кабеле в водосборнике на требуемой высоте. Подвеска датчика должна обеспечивать возможность изменения ее высоты. Обычно датчик нижнего уровня располагают на 50 мм выше всасывающей сетки подводящего трубопровода, датчик аварийного уровня - на 1 м ниже уровня пола насосной камеры.

Для контроля уровня применяются также электродные датчики ДУ-1007. Датчик выполнен в виде кислотоупорного винипластового стержня, на котором смонтированы контакты нижнего уровня и подвижное кольцо с контактом верхнего уровня.

Электродные датчики работают совместно с различными схемами устройств контроля уровня. Цепи контроля уровня должны быть искробезопасными. Исполнительные элементы схемы обеспечивают релейность характеристики, т.е. напряжение на обмотке исполнительного реле изменяется скачкообразно в зависимости от величины сопротивления цепи: электрод - вода - земля.

Наибольшей надежностью обладают схемы контроля уровня, построенные с использованием транзисторных и тиристорных усилителей, а также реле на герконах. Наладку электродных датчиков производят в зависимости от выбранного режима работы водоотливной установки с учетом удельной электропроводности шахтных вод, максимального сопротивления самих электродных датчиков и уровня воды в водосборнике.

Для контроля заливки насосов используем реле контроля давления РДВ, представленный на рисунке 4.5., которое устанавливается на всасывающей крышке насоса в отверстие, предназначенное для установки вакуумметра, чувствительным элементом реле давления является резиновая мембрана 7.

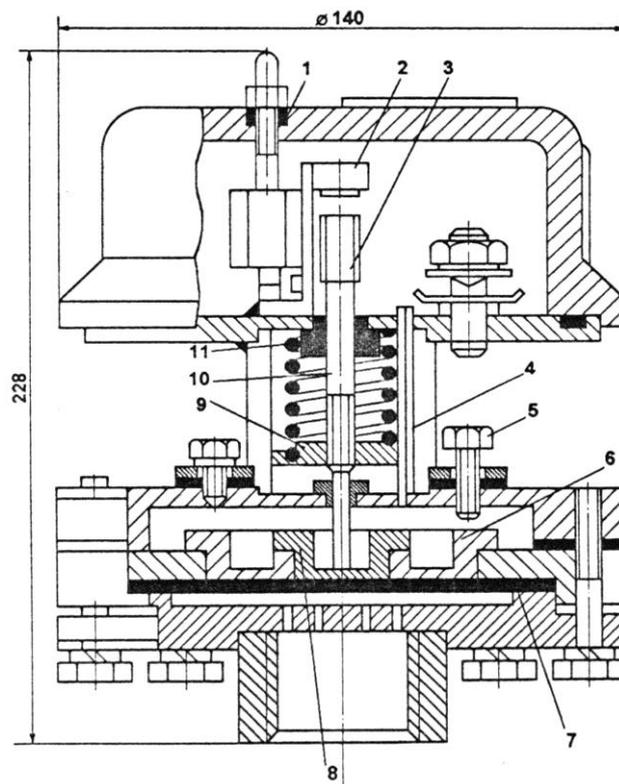


Рисунок 4.5 - Реле контроля давления РДВ

Реле имеет две дискретные ступени регулировки срабатывания по давлению. Выбор ступени осуществляется при введении в действие с помощью винта 5 только малого поршня 8 или малого поршня совместно с большим 6, что соответствует уменьшению или увеличению рабочей площади мембраны.

При заливке погружным или вспомогательным насосом реле РДВ настраивают для работы на малом поршне. В случае заливки насоса из бакового аккумулятора реле настраивают для работы на большом поршне. Сила давления воды, воспринимаемая мембраной, передается через поршень на шток 10, который воздействует на микропереключатель 2. Предварительное сжатие пружины 11, необходимое для четкого срабатывания реле, регулируется штоком 10, в верхней части которого имеется участок шестигранного сечения. При регулировке шток ввинчивают в специальную гайку 9, которая фиксируется шпилькой 4. Зазор между микропереключателем и штоком (не более 0,5 мм) можно изменять с помощью регулировочной гайки 3. Под гайку болта, крепящего крышку реле, подложена шайба 1 из гетинакса для обеспечения герметизации. Реле имеет высокую чувствительность, быстро реагирует на изменение давления, имеет длительный межремонтный срок. толщину мембраны выбирают в зависимости от способа крепления, качества материала и площади опорного диска. На работу реле отрицательно действуют температурные изменения: при низких температурах резиновое покрытие мембраны отвердевает.

Реле контроля производительности РПН, представленный на рисунке 4.6., предназначается для контроля работы насосов по наличию потока жидкости на всасывающем трубопроводе.

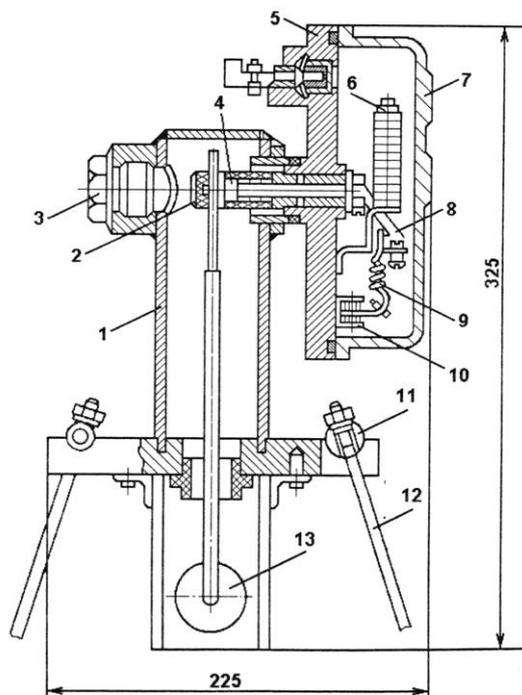


Рисунок 4.6 - Реле контроля производительности РПН

Принцип действия основан на изменении усилия, возникающего при обтекании флажка потоком жидкости с различными давлениями. пропорциональными расходу жидкости по трубопроводу. Реле состоит из корпуса 1 и платы 5, соединенных болтами. В верхней части корпус имеет два отверстия: одно для ввода валика 4, второе, заглушенное пробкой 3, для ключа под специальную гайку 2, крепящую шток с резиновым флажком 13. Нижняя часть корпуса состоит из массивной платы с двумя проушинами для поворотных валиков 11, при помощи которых шпильками 12 реле укрепляется на трубопроводе. Крышка 7 закрывает рабочую камеру реле, в которой размещается контактная группа 6. При воздействии потока жидкости на флажок 13 поворачиваются жестко связанный с ним валик 4 и рычаг 8, переключающий контактную группу. Изменяя предварительное натяжение пружины 9 с помощью винта 10, реле можно настроить на срабатывание при определенной скорости потока жидкости. При снижении скорости жидкости в трубопроводе флажок под действием пружины возвращается в исходное положение. При этом замкнутся или разомкнутся электрические цепи, сигнализирующие о неисправности насоса или его остановке.

Реле производительности РПН устанавливается на горизонтальном участке всасывающего трубопровода, для этого в трубе вырезается щель. В отверстие вставляют нижнюю часть реле с флажком и затягивают гайки шпилек обжимного хомута. Для устранения засасывания воздуха между корпусом реле

и трубопроводом располагается резиновая прокладка. Эти реле не требуют сложной наладки, на их работу в малой степени влияет загрязнение рудничных вод.

Термодатчик ТДЛ-2, представленный на рисунке 4.7., применяется для контроля температуры подшипников в насосных установках.

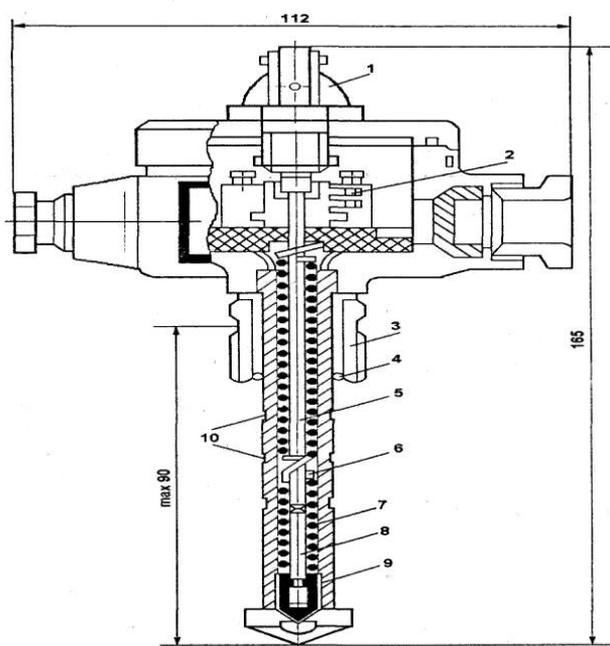


Рисунок 4.7 - Термодатчик ТДЛ-2

В наконечник датчика 9 сплавом Вуда (температура плавления примерно 65 ... 75°C) впаян стержень 8, который спиральной пружиной 7 соединен с валиком 5. Такое соединение, заменяющее храповой механизм, обеспечивает относительный поворот стержня и валика только в направлении разворота витков другой пружины, нижний конец которой через втулку 6 соединен с валиком, а верхний - закреплен в корпусе датчика. При заводе пружины рукояткой 1 происходит поворот валика в витках пружины и переключение контактов микропереключателя 2. После этого датчик готов к работе. При нагреве датчика в наконечнике плавится сплав Вуда и нарушается его связь со стержнем. Подвижная часть датчика поворачивается, размыкая контакты микропереключателя. После остывания сплава поворотом рукоятки датчик снова приводится в рабочее состояние.

Датчик температуры ТДЛ-2 монтируется в специально рассверленное отверстие в корпусе подшипника с возможным отклонением отверстия по вертикали не более 20°. На один насосный агрегат устанавливаются четыре датчика. Датчики соединяются между собой последовательно.

Датчик крепится в корпусе подшипника с помощью штуцера 3, который опирается на проволочное кольцо 4. В зависимости от глубины отверстия

кольцо устанавливается в соответствующую выточку 10 трубки. В верхней части отверстия нарезают резьбу М18х1,5 на глубину 20 мм. Для

лучшей теплопроводности и устранения дополнительной погрешности срабатывания отверстие заполняют машинным маслом, затем вставляют наконечник датчика и заворачивают штуцер.

Датчик ТДЛ-2 имеет рудничное нормальное исполнение. Разрывной ток контактов.

Для контроля температуры подшипников насоса и электродвигателя применяется также аппаратура АТВ-229, позволяющая контролировать температуру в 10 точках с помощью термодатчиков ТР-33 (терморезисторы с релейной характеристикой).

Привод задвижки ПЗ-1 предназначен для управления задвижками нагнетательных трубопроводов водоотливных установок, оборудованных аппаратурой автоматизации.

Привод ПЗ-1 обеспечивает:

- дистанционное включение двигателя при подаче команды от аппаратуры автоматизации;
- автоматическое отключение двигателя в крайних установленных положениях задвижки;
- регулировку отключения двигателя в крайних положениях задвижки в диапазоне от 5 до 40 оборотов;
- автоматическое отключение двигателя при перегрузке привода;
- отключение двигателя при переходе на ручное управление;
- фиксирование цепи управления в разомкнутом состоянии или самовосстановление с регулируемой выдержкой времени до 1 минуты.

Привод задвижки состоит из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, мощностью 2,2 кВт, четырехступенчатого редуктора с прямыми зубными шестернями, маховика, расположенного на предпоследнем валу редуктора и служащего для ручного управления задвижкой, полумуфты, посаженной на выходной вал редуктора, и камеры выключателей.

Корпус редуктора, отлитый из чугуна, неразъемной конструкции, в нижней части имеет лапы для крепления привода. В корпусе с выходным валом редуктора посредством пары цилиндрических шестерен связан червячный редуктор, который обеспечивает передачу вращения блоку кулачков, воздействующих на конечные выключатели. В редукторе имеется регулируемая предохранительная муфта.

Корпус камеры выключателей содержит блок кулачков, блок выключателей, блок защиты и шкалу положения задвижки. На крышке камеры есть смотровое окно, закрытое стеклом, для визуального наблюдения за шкалой положения задвижки и кнопка восстановления цепи управления приводом после срабатывания защиты от перегрузки.

Опрос датчиков, обработка информации, поступающей от датчиков и от реле времени, выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы в комплексе КАВ производится последовательно во времени. Для этого время работы комплекса разбивается на промежутки, называемые

циклами. Каждому насосному агрегату присваивается цикл, номер которого совпадает с номером агрегата. Время цикла дополнительно распределяется на десять тактов. В течение такта происходит ввод в узел обработки информации определенных независимых и производных переменных, решение тех или иных промежуточных или выходных функций в соответствии с программой. Некоторые переменные в течение цикла участвуют в решении нескольких функций на разных тактах. Программирование таких переменных производится на шинах, которые собираются в программном узле.

Программирование опроса датчиков отдельных насосов по циклам производится путем подачи напряжения питания на датчики данного насоса лишь во время цикла этого насоса. Датчики других насосов в это время питания не получают. Выводы одноименных датчиков всех насосных агрегатов подключены к исполнительному устройству параллельно. Питание электродных датчиков всех уровней, являющихся общими для всех насосных агрегатов, осуществляется постоянно во времени. В случае выхода из строя рабочего насоса и при наличии сигнала от датчика верхнего уровня в работу включается резервный насос, настроенный на работу от аварийного уровня.

Устройство УВО-1 предназначено для ввода и обработки полученной от технологических датчиков информации и выдачи команд на исполнительные механизмы, а также для выдачи информационных сигналов на сигнальное табло в помещении диспетчера. В основу построения устройства УВО-1 положен унифицированный набор технических средств комплекса управляющего логического КУЛ-1, который представляет собой программируемый управляющий автомат с концентрированными функциональными связями и перестраиваемой структурой. Комплекс КУЛ-1 строится по блочному принципу с применением современной элементной базы - интегральных схем.

Объектом проектирования предлагается установка главного водоотлива карьера. Она представляет собой комплекс энергомеханического оборудования (насосы, их приводные двигатели, трубопроводы с арматурой), который служит для откачки вод из горных выработок.

Установка главного водоотлива карьера, технологическая схема которой представлена на рисунке 4.8, состоит из зумпфа 1; подводящего трубопровода 2, оборудованного приемной сеткой ПС и обратным клапаном ОК; насоса 3; нагнетательного трубопровода 4 с обратным клапаном ОК, регулировочной задвижкой ЗР с приводом ПЗ и двумя концевыми выключателями, один из которых (КВЗ) контролирует закрытое состояние задвижки, другой (КВО) – открытое её состояние; расходомера переменного перепада давления Р, установленного на подводящем трубопроводе; манометра М, установленного на нагнетательном патрубке насоса.

Водоотливная установка оборудуется не менее чем тремя насосными агрегатами. Каждый насос и нагнетательный трубопровод включаются в работу поочередно, каждый из них рассчитан на откачку нормального суточного притока, и только при повышенном притоке (весной, осенью) предусматривается одновременное включение двух насосов и трубопроводов.

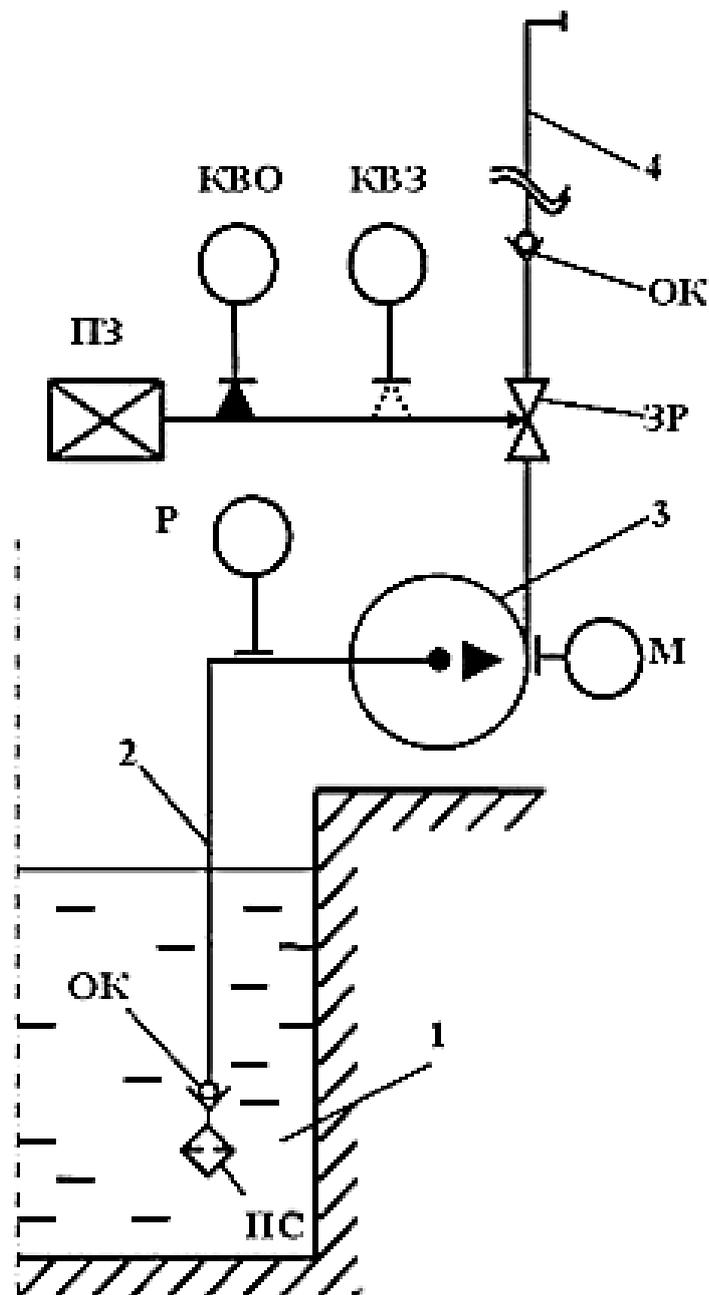


Рисунок 4.8 - Технологическая схема насосной установки главного водоотлива карьера

Трубопровод закольцован и оборудован распределительными задвижками, что образует коллектор. С помощью этих задвижек каждый из насосов может работать на один из напорных ставов или на оба става в параллель.

К основному оборудованию водоотливной установки относятся насосы, электродвигатели, подводный и напорный трубопроводы. На входе в подводном трубопроводе монтируется приемное устройство, которое состоит из предохранительной сетки и приемного клапана. Последний предназначен для удержания воды в насосе и подводном трубопроводе при его заливке перед пуском. В напорном трубопроводе монтируются задвижки и обратный

клапан, который предотвращает обратный ход воды и опорожнение трубопровода при остановке насоса. В практике водоотлива горных предприятий преимущественное применение нашли центробежные высоконапорные секционные насосы ЦНС с подачей 40-1000 м<sup>3</sup>/ч и напором 900-1300 м при частоте вращения 1475-2950 об/мин. Количество секций насосов от 2 до 8-10. В качестве электропривода насоса водоотливных установок в основном применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и реже – асинхронные с фазным ротором. Для насосов типа ЦНС применяются электродвигатели с короткозамкнутым ротором в нормальном исполнении единой серии А и АТ. А для водоотливных установок, которые работают во взрывоопасных условиях, применяют электродвигатели серий МА, КО, ВАО мощностью до 160 кВт. В зависимости от подачи водоотливные установки оборудуются трубопроводами диаметром от 100 до 400 мм при откачке воды под давлением 1-10 МПа. Один из главных параметров, определяющих устройство водоотливной установки, выбор насоса, продолжительность и цикличность его работы, – значение водопритока в горные выработки и его динамика в процессе эксплуатации предприятия. Вода в горные выработки поступает непрерывно, ее количество зависит от площади горных работ, водообильности вмещающих пород, поверхностных источников и т.п.

Из таблицы 4.1 видно, что при использовании автоматизированного комплекса КАВ максимальное число использования в год уменьшилось, за счёт автоматического обеспечения последовательных пусков и остановки параллельно работающих насосных агрегатов [12].

Таблица 4.1 - Технические характеристики

Данные водоотливных установок	вариант I	вариант II
Водоотливные установки		
Мощность эл.двигателя; $P_d$ , кВт	45	45
Общая мощность; $P$ , кВт	225	225
Напряжение; $U$ ,кВ	0,38	0,38
Максимальное число использования в год, $T_m$ , час	1260	612
Стоимость эл.энергии; $C$ , руб/кВт	2,7	2,7
Стоимость ремонтов в год; $I_p$ , тыс.р.	35	35
Длина кабельной линии; $L$ , км	0,124	0,124
Удельное активное сопротивление; $\Gamma_{уд}$ , Ом/км	0,84	0,84
Стоимость с монтажом комплекса КАВ; $K$ , тыс.р.	-	560
Мощность комплекса КАВ; $P$ , кВт	-	3,3
Коэффициент мощности; $\cos\varphi$	0,9	0,9
Стоимость горючесмазочных материалов(ГСМ); $I_{гсм}$ , тыс.р.	69,5	-

Для технико-экономического сравнения вариантов необходимо рассчитать капитальные затраты на внедрение автоматизированного комплекса КАВ и затраты на ее эксплуатацию.

Данные для расчётов для варианта I(без автоматизации), вариант II(с автоматизацией) представлена в таблице № 4.1.

Для технико-экономического сравнения вариантов необходимо провести расчёты методом приведённых затрат.

Рассчитаем два варианта:

I вариант, без автоматизации;

II вариант, с автоматизацией (установка КАВ).

Экономическим критерием эффективности варианта является минимум приведенных затрат:

$$Z = E_H \cdot K + I + \Delta I_{II}, \quad (4.1)$$

где  $E_H = 0,12$  – нормативный коэффициент;

$K$  – единовременные капитальные затраты;

$I$  – ежегодные эксплуатационные издержки, ремонт и обслуживание.

Капитальные затраты на проектирование II варианта, складываются из затрат на установку КАВ.

Определение издержек:

$$\Delta I_{II} = \Delta P \cdot \tau \cdot C, \quad (4.2)$$

где  $\tau$  – время максимальных потерь, ч/год;

$C$  – стоимость электроэнергии кВт/часа, по предприятию:  $C=2,7$  кВт/час.

$$\tau = (0,124 + T_M / 10000)^2 \cdot 8760, \quad (4.3)$$

где  $T_M$  - время использования max нагрузки, ч/год.

Потери мощности определяются:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot (r_{уд} \cdot L), \quad \text{где} \quad (4.4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad \text{где} \quad Q = \sqrt{\frac{P^2}{\cos^2 \phi} - P^2} \quad (4.5)$$

Расхождение по затратам, I и II вариантов:

$$z = \frac{z_I - z_{II}}{z_I} \cdot 100\% \quad (4.6)$$

Срок окупаемости установки КАВ:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K}{\text{Эгод}} \quad (4.7)$$

Годовая экономия:

$$\text{Э}_{\text{год}} = (I_{\text{II}} - I_{\text{I}}) + (\Delta I_{\text{II}} - \Delta I_{\text{I}}) \quad (4.8)$$

Проведём расчёт затрат для I варианта:

Потери электроэнергии определяются исходя из следующих условий работы: водоотливная установка работает 12 часов в смену, по 3 недели в месяц, с мая по сентябрь, следовательно, для данного объекта:  $T_{\text{м}} = 1260$  ч/год;

$$\tau = (0,124 + 1260 / 10000)^2 \cdot 8760 = 547,5 \text{ час/год}$$

Потери мощности:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} * (r_{\text{уд}} \cdot L) = \frac{225^2 + 108,97^2}{0,38^2} * (0,84 \cdot 0,142) = 15849,97 = 15,85 \text{ кВт}$$

$$Q = \sqrt{\frac{P^2}{\cos^2 \phi} - P^2} = \sqrt{\frac{225^2}{0,9^2} - 225^2} = 108,97 \text{ кВар}$$

Издержки включают в себя:

$\Delta P = 15,85$  кВт – потери мощности;

$\tau = 547,5$  ч/год – потери электроэнергии;

$C = 2,7$  кВт/час – стоимость электроэнергии кВт/часа.

$$\Delta I_{\text{II}} = \Delta P \cdot \tau \cdot C = 15,85 \cdot 547,5 \cdot 2,7 = 23430,26 \text{ руб} = 23,43 \text{ тыс.р.}$$

Так как издержки по ремонту и ГСМ равны:  $I_{\text{р}} = 35$  тыс.р. и  $I_{\text{ГСМ}} = 69,5$  тыс.р., найдём ежегодные эксплуатационные издержки:

$$I = I_{\text{р}} + I_{\text{ГСМ}} = 35 + 69,5 = 104,5 \text{ тыс.р.}$$

Найдём приведенные затраты для I варианта:

$$Z_{\text{I}} = I + \Delta I_{\text{II}} = 104,5 + 23,43 = 127,93 \text{ тыс.руб.}$$

Проведём расчёт затрат для II варианта:

В отличие от I варианта, для установки КАВ нет потерь по ГСМ, но есть потери на потребление электроэнергии, дополнительные потери и сокращённое время работы установки. Потери энергии определяются исходя из следующих условий работы: водоотливная установка КАВ работает 8 часов в смену по 2 недели в месяц, с мая по сентябрь, следовательно, для установки КАВ:  $T_{\text{м}} = 560$  ч/год;

$$\tau = (0,124 + 560 / 10000)^2 \cdot 8760 = 283,82 \text{ час/год}$$

Потери мощности:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot (r_{уд} \cdot L) = \frac{228,3^2 + 117,14^2}{0,38^2} \cdot (0,84 \cdot 0,142) = 17554,63 = 17,55 \text{ кВт}$$

$$Q = \sqrt{\frac{P^2}{\cos^2 \varphi} - P^2} = \sqrt{\frac{228,3^2}{0,9^2} - 225^2} = 117,14 \text{ кВар}$$

Издержки включают в себя:

$\Delta P = 17,55 \text{ кВт}$  – потери мощности;

$\tau = 283,82 \text{ ч/год}$  – потери электроэнергии;

$C = 2,7 \text{ кВт/час}$  – стоимость электроэнергии кВт/часа.

$$\Delta I_{II} = \Delta P \cdot \tau \cdot C = 17,55 \cdot 283,82 \cdot 2,7 = 13448,81 \text{ руб} = 13,45 \text{ тыс.руб.}$$

Так как ежегодные эксплуатационные издержки равны :  $I = 35 \text{ тыс.руб.}$ , а стоимость установки с монтажом:  $K = 560 \text{ тыс.руб.}$ , найдём приведенные затраты для II варианта:

$$Z_{II} = E_H \cdot K + I + \Delta I_{II} = 0,12 \cdot 560 + 35 + 13,45 = 115,65 \text{ тыс.р.}$$

Так как, приведённые затраты по I и II варианту составляют:

$$Z_I = 127,93 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{II} = 115,65 \text{ тыс.руб.}$$

Расхождение по затратам составит:

$$z = \frac{Z_I - Z_{II}}{Z_I} \cdot 100\% = \frac{127,93 - 115,65}{127,93} \cdot 100\% = 9,6\% > 5\%$$

Расхождение между затратами составляет  $9,6\% > 5\%$ , следовательно, варианты неравноценны, применение установки КАВ целесообразно.

Годовая экономия составит:

$$\mathcal{E}_{год} = (I_{II} - I_I) + (\Delta I_{II} - \Delta I_I) = 69,5 + 9,98 = 79,48 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости установки:

$$T_{окуп.} = \frac{K}{\mathcal{E}_{год}} = \frac{560}{79,48} = 7 \text{ год}$$

Использование разработанного устройства управления насосной установкой в зоне промышленного использования насоса дросселированием потока в составе аппаратуры КАВ позволит осуществлять контроль параметров

изменения местоположения рабочей точки на напорной характеристики насоса, а следовательно, снизить непроизводительные затраты электроэнергии на водоотливе, уменьшить количество аварийных ситуаций, снизить трудоемкость обслуживания.

В настоящее время существует ряд систем автоматизации водоотливных установок. К ним относятся такие системы как АВО-3, УАВ, ВАВ-1М, КАВ. Анализ эксплуатации показал, что одной из лучших является система КАВ. Система КАВ выполнена на современной элементной базе с использованием микропроцессорной техники и работа системы КАВ удовлетворяет всем требованиям предъявляемым к системам водоотлива.

#### **4.2 Автоматизация управления компенсации реактивной мощности главного корпуса обогатительной фабрики**

Большая часть промышленных электропотребителей в процессе работы потребляет из сети помимо активной мощности и реактивную мощность.

Основными потребителями реактивной мощности являются: асинхронные электродвигатели – до 60 % от общего потребления реактивной нагрузки, силовые трансформаторы – до 25 %, электросети и другое вспомогательное оборудование до 15%. В зависимости от характера электрооборудования предприятия, его реактивная нагрузка может составлять до 130% по отношению к активной нагрузке. Компенсация реактивной мощности – это повышение коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) [13].

Загрузка реактивной мощности систему электроснабжения может привести:

- к увеличению потерь активной мощности в электрических сетях;
- к увеличению потерь напряжения, особенно характерно для районных линий;
- к уменьшению пропускной способности линии.

Согласно ГОСТов определен желаемый коэффициент мощности  $\cos\varphi_{жс} = 0,95$ .

Реактивной мощностью нагружаются питающие и распределяющие сети предприятия что соответственно увеличивает общее потребление электроэнергии. Меры по снижению потерь реактивной мощности делятся: на естественную компенсацию без применения специальных компенсирующих устройств, и искусственную компенсацию, чаще называемую просто компенсацией реактивной мощности с применением компенсирующих устройств.

Естественная компенсация реактивной мощности не требует больших материальных затрат и должны проводится на предприятии в первую очередь.

К естественной компенсации относится:

- автоматизация технологического процесса;
- создание рациональной схемы электроснабжения;

- замена трансформаторов и другого электрооборудования старых конструкции на новые;
- замена малонагруженных трансформаторов и двигателями меньшей мощности.

Улучшение качества ремонта электродвигателей, уменьшение переходных сопротивлений контактных соединений. Компенсация реактивной мощности подразумевает выбор установку различных компенсирующих устройств на подстанцию питающую электропотребителей предприятия. Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности применяются для снижения потребления электроэнергии и повышения пропускной способности ЛЭП за счет оптимизации режимов работы электросетей в местах расположения нагрузок, а также для повышения коэффициента мощности электроустановок промышленных предприятий и распределительных сетей с автоматическим или ручным регулированием реактивной мощности силовых цепей с частотой 50 Гц. Коррекция коэффициента мощности основана на применении конденсаторных установок с автоматическим переключением ступеней, включаемых параллельно с источником питания для исключения нежелательного влияния индуктивных нагрузок и доведения коэффициента мощности до величин, приближающихся к 100%. Среднесуточный  $\cos\varphi$  должен быть не ниже 0,95.

Основная масса коммерческих и промышленных нагрузок имеют индуктивный характер, что делает передачу электроэнергии к ним изначально неэффективной. К таким нагрузкам относятся все типы электродвигателей, применяемых в системах вентиляции и кондиционирования, компрессорах, конвейерах, насосах. Индуктивные нагрузки при отсутствии коррекции коэффициента мощности с помощью конденсаторных установок являются неэффективными потребителями и потребляют больше электроэнергии, чем реально требуется для совершения той же самой работы. Основным технологическим оборудованием предприятия являются экскаваторы типа ЭШ и ЭКГ, выполненные по системе «генератор-двигатель», в связи с чем дополнительная компенсация реактивной мощности на подстанциях предприятием не проводится. Рассмотрим вопрос о необходимости установки компенсирующих устройств на подстанции главного корпуса обогатительной фабрики. В помещении подстанции обогатительной фабрики установлены две конденсаторные установки КРМ (УК) – 0,4 – 300, с ручным регулированием, предназначенные для компенсации реактивной мощности.

По результатам испытаний прибором для измерений электроэнергетических величин и показателей качества электрической энергии «Энергомонитор-3.3т1», которое проводилось с 28 сентября по 26 октября 2012г., на низкой стороне 0,4кВ ввода 1,2 и РП-4, яч.421 трансформаторной подстанции главного корпуса обогатительной фабрики были получены графики нагрузки и графики коэффициента мощности, которые предоставлены на рисунках 4.9-4.22.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 28.9.2012, кВт; кВАр

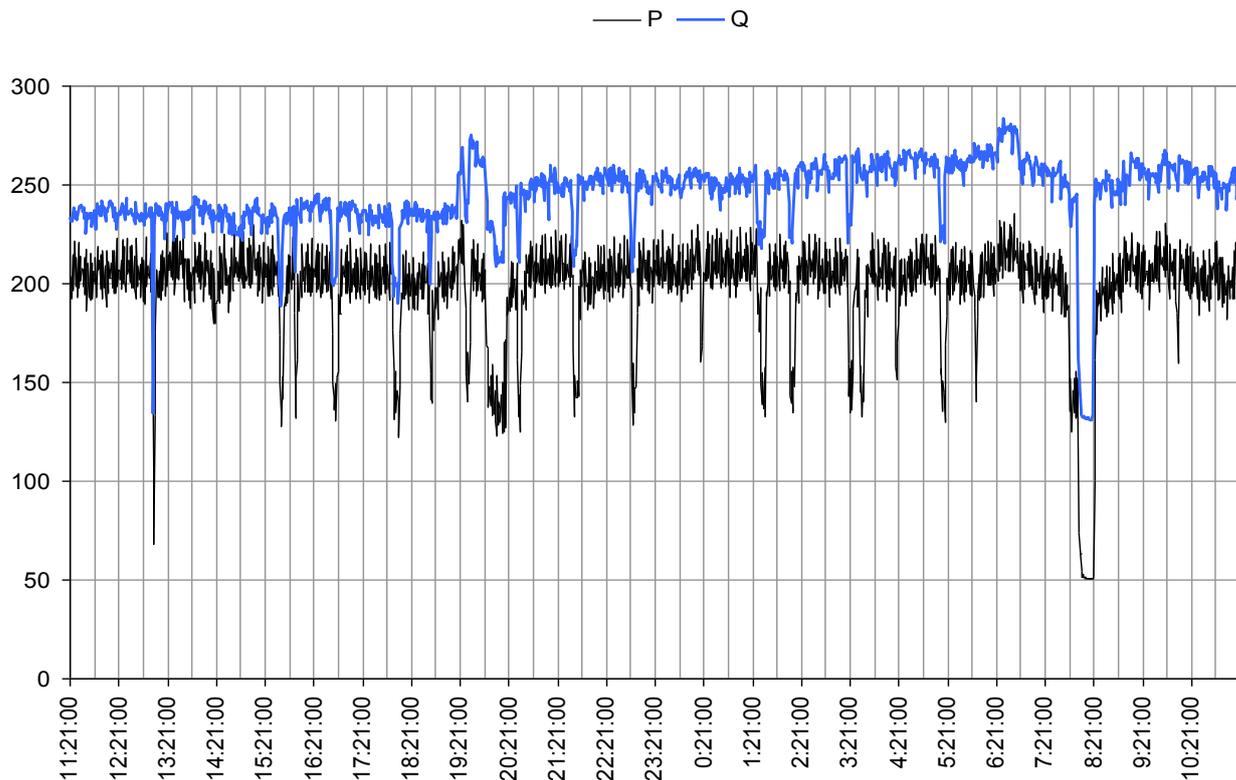


Рисунок 4.9 - Графики активной и реактивной мощности на 28.09.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 29.9.2012, кВт; кВАр

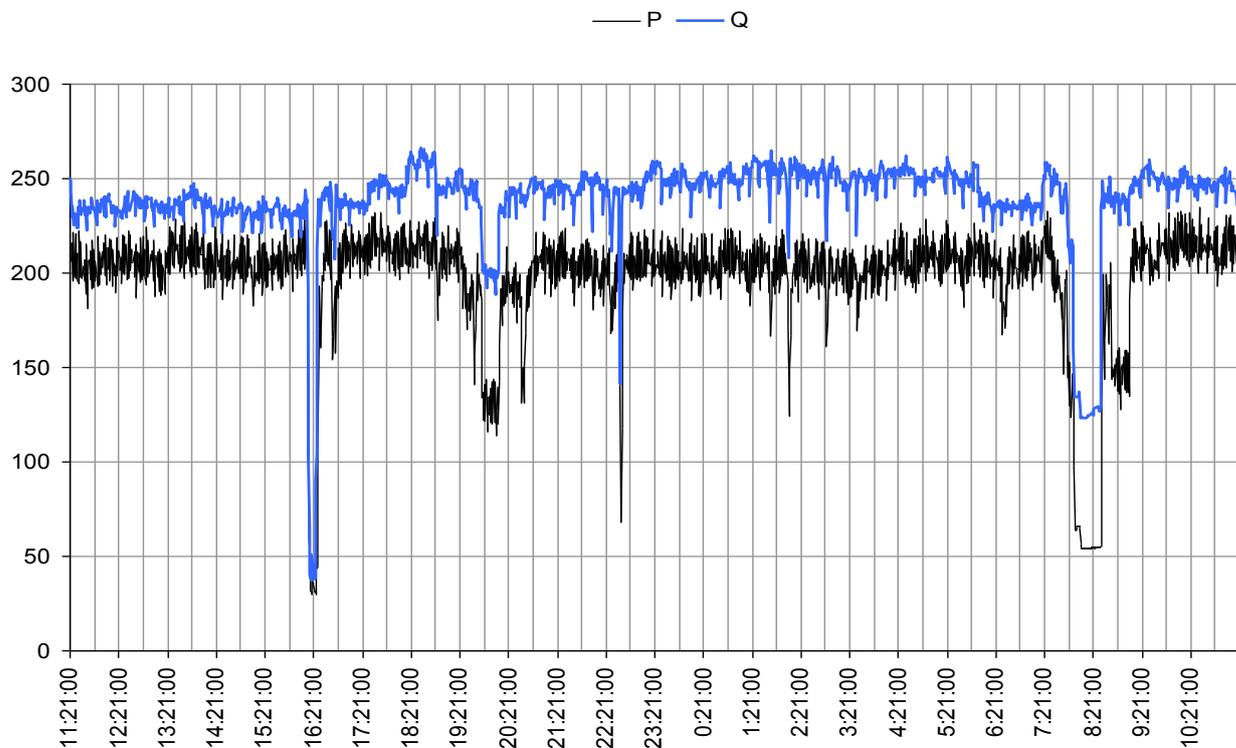


Рисунок 4.10 - Графики активной и реактивной мощности на 29.09.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 30.9.2012, кВт; кВАр

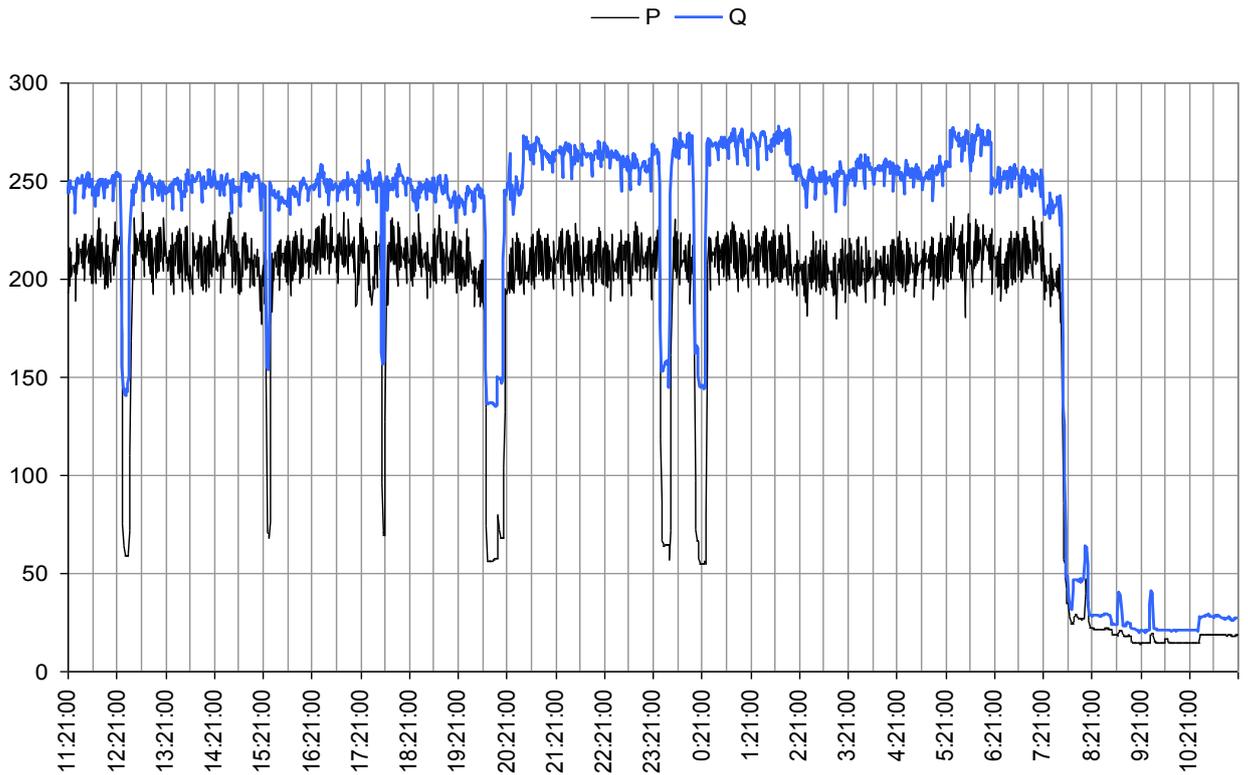


Рисунок 4.11 - Графики активной и реактивной мощности на 30.09.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 1.10.2012, кВт; кВАр

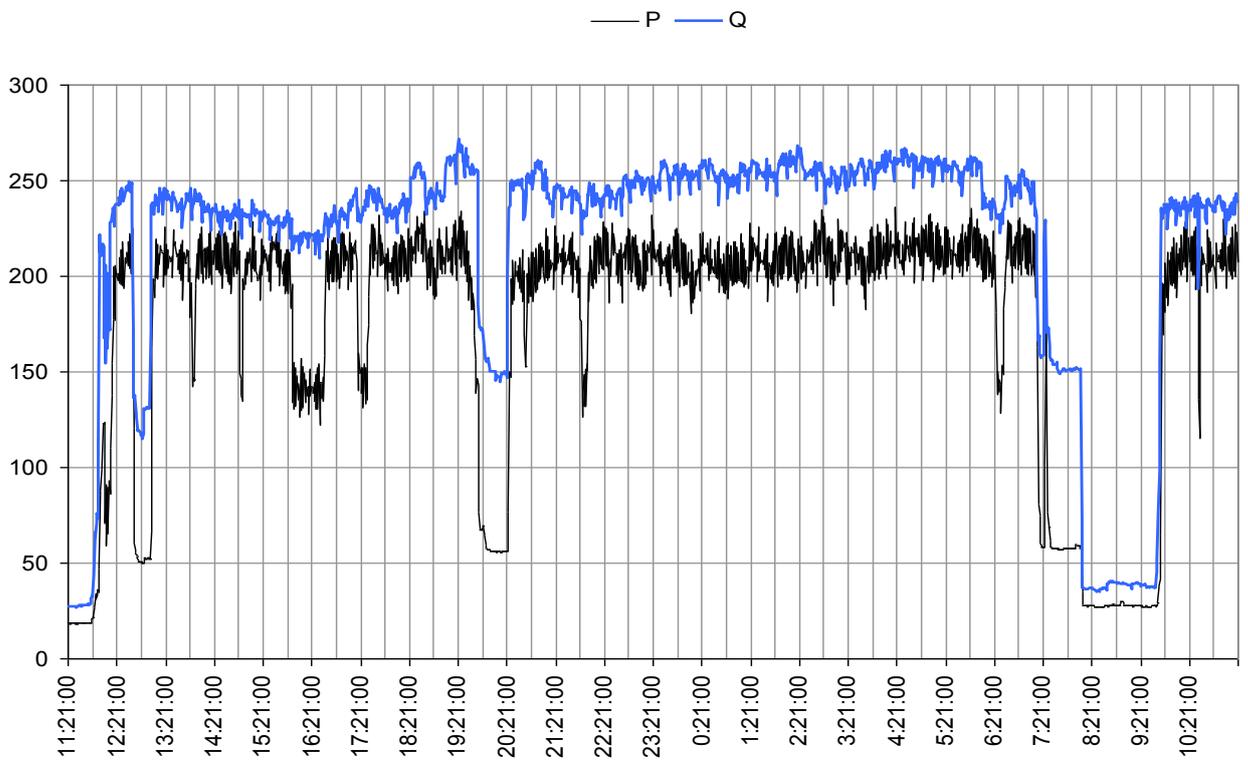


Рисунок 4.12 - Графики активной и реактивной мощности на 1.10.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 2.10.2012, кВт; кВАр

— P — Q

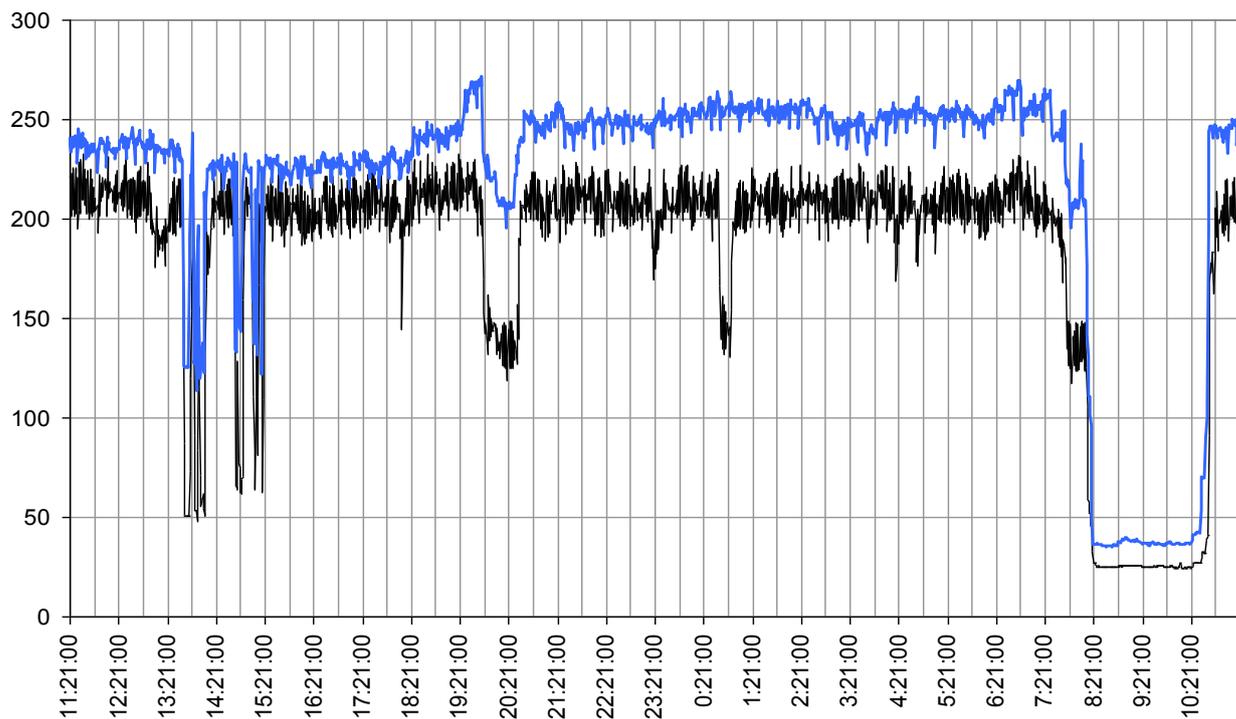


Рисунок 4.13 - Графики активной и реактивной мощности на 2.10.2012г.

График трехфазного коэффициента мощности на 30.9.2012

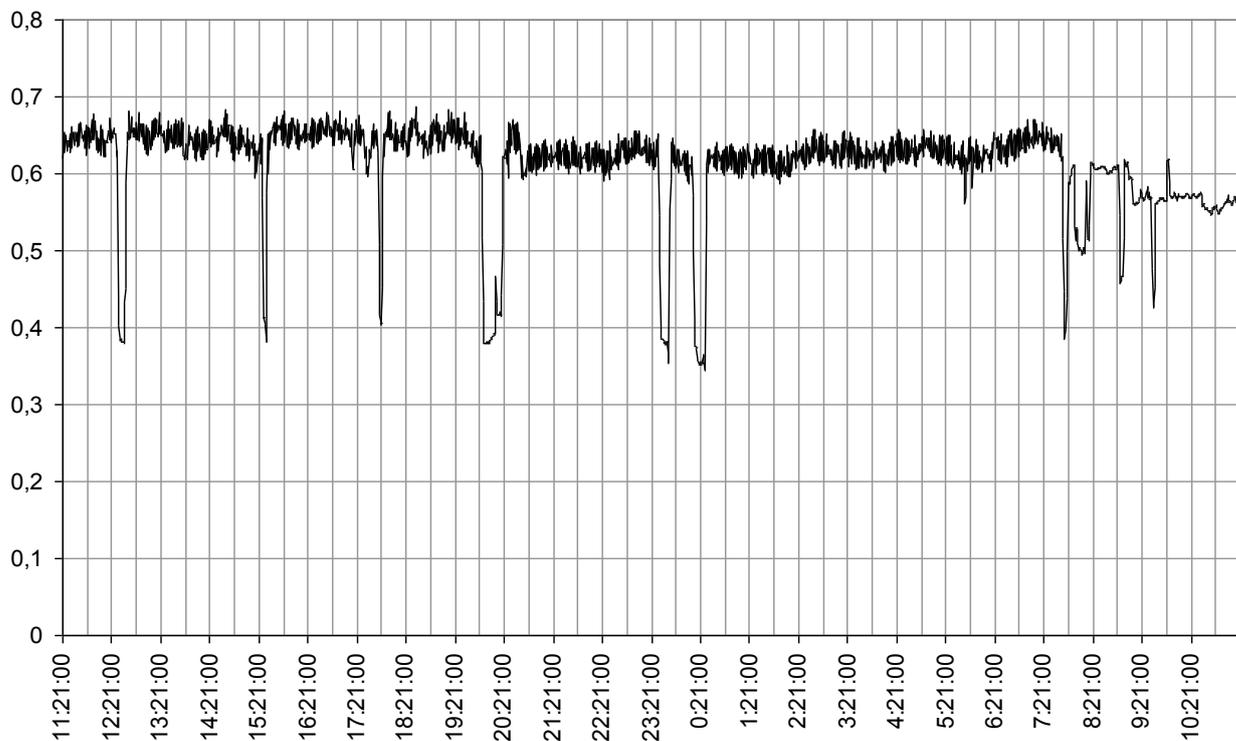


Рисунок 4.14 - График трёхфазного коэффициента мощности на 30.09.2012г.

График трёхфазного коэффициента мощности на 1.10.2012

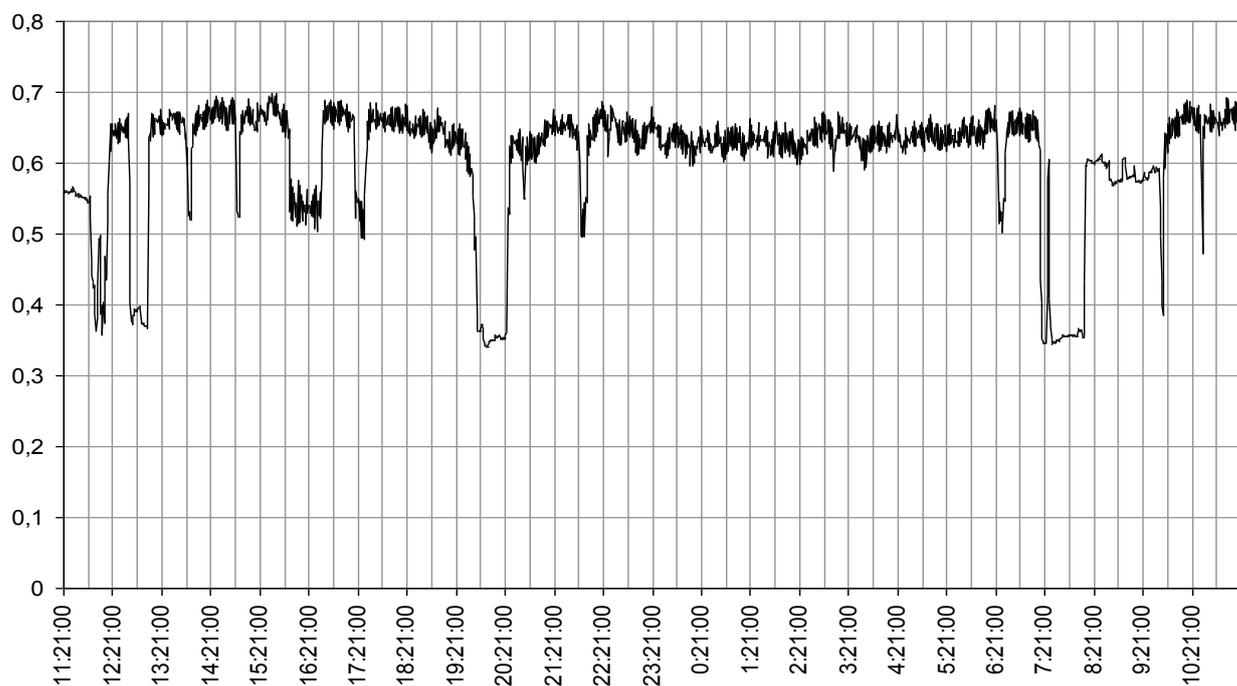


Рисунок 4.15 - График трёхфазного коэффициента мощности на 1.10.2012г.

График трёхфазного коэффициента мощности на 2.10.2012

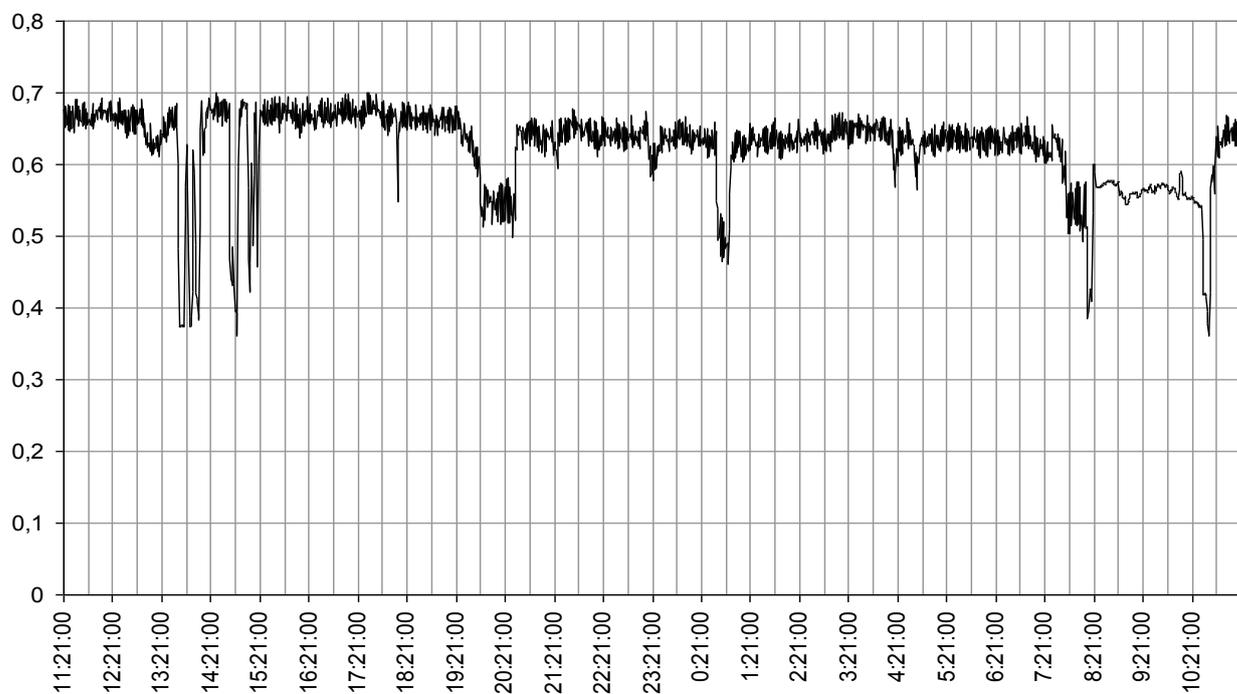


Рисунок 4.16 - График трёхфазного коэффициента мощности на 2.10.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 22.10.2012, кВт; кВАр

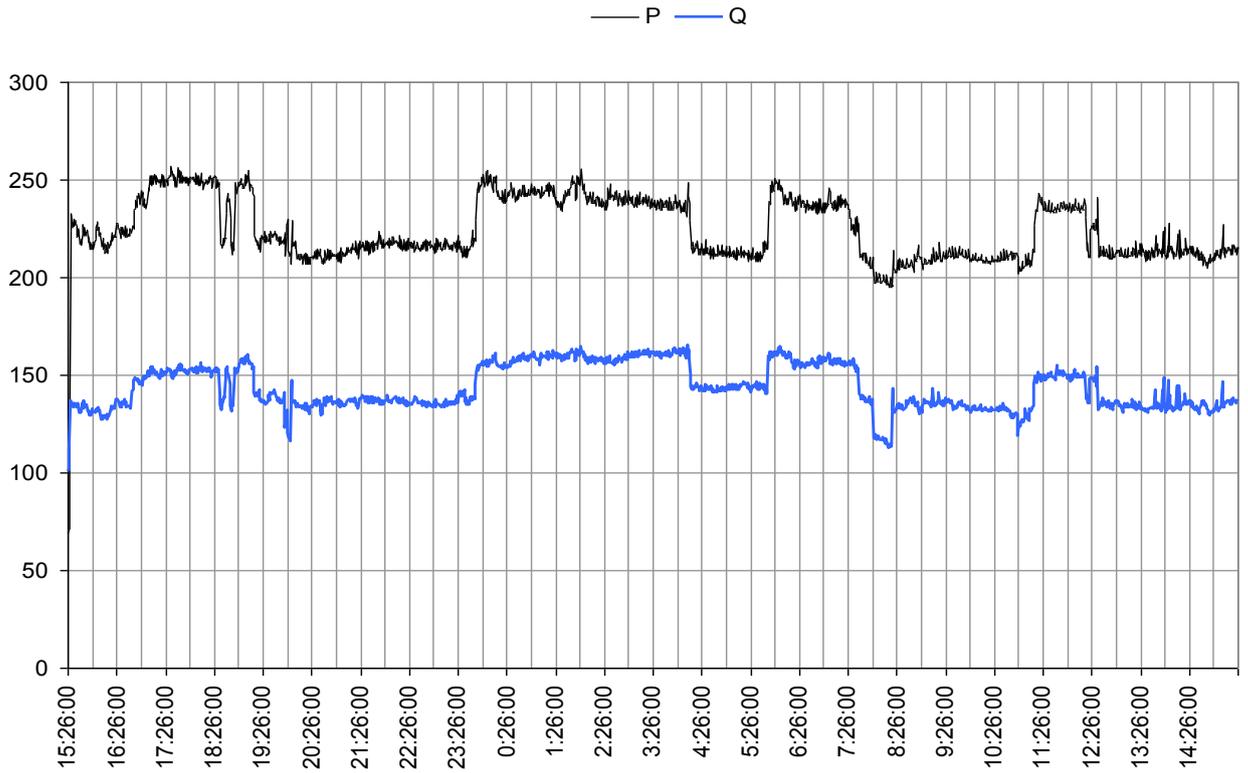


Рисунок 4.17 - Графики активной и реактивной мощности на 22.10.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 23.10.2012, кВт; кВАр

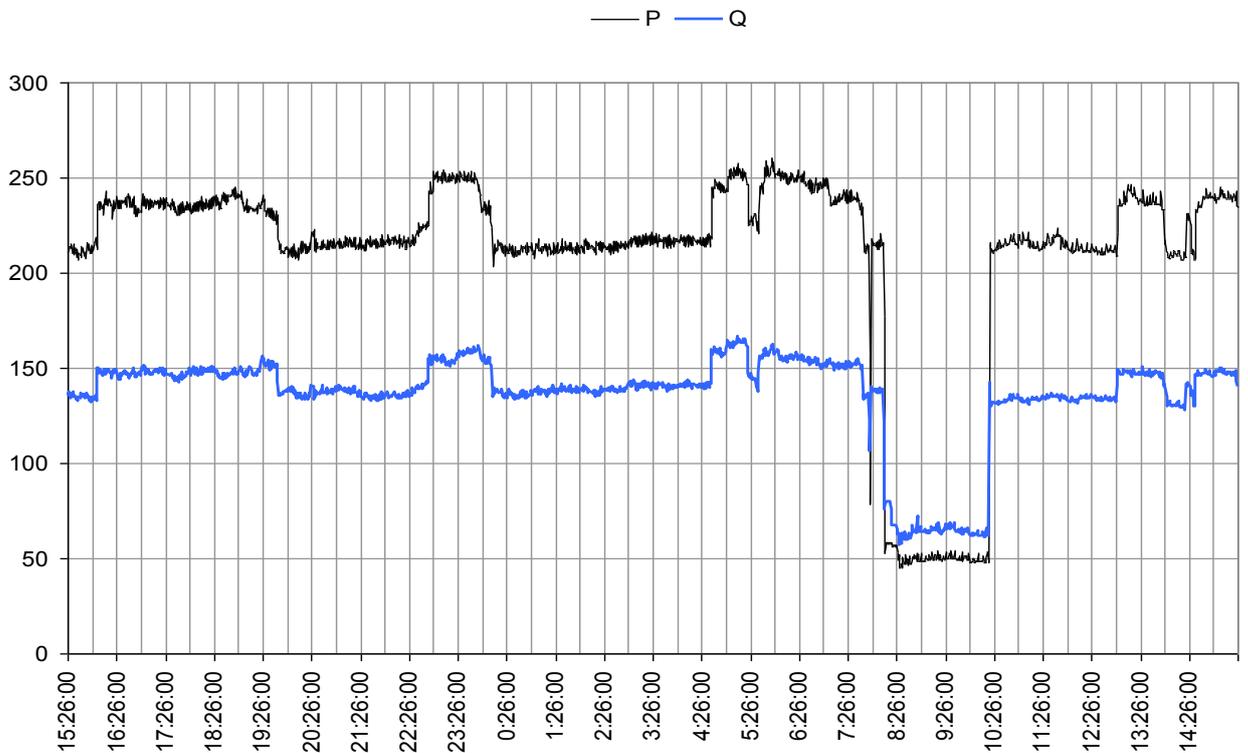


Рисунок 4.18 - Графики активной и реактивной мощности на 23.10.2012г.

Графики активной и реактивной трехфазной мощности на 24.10.2012, кВт; кВАр

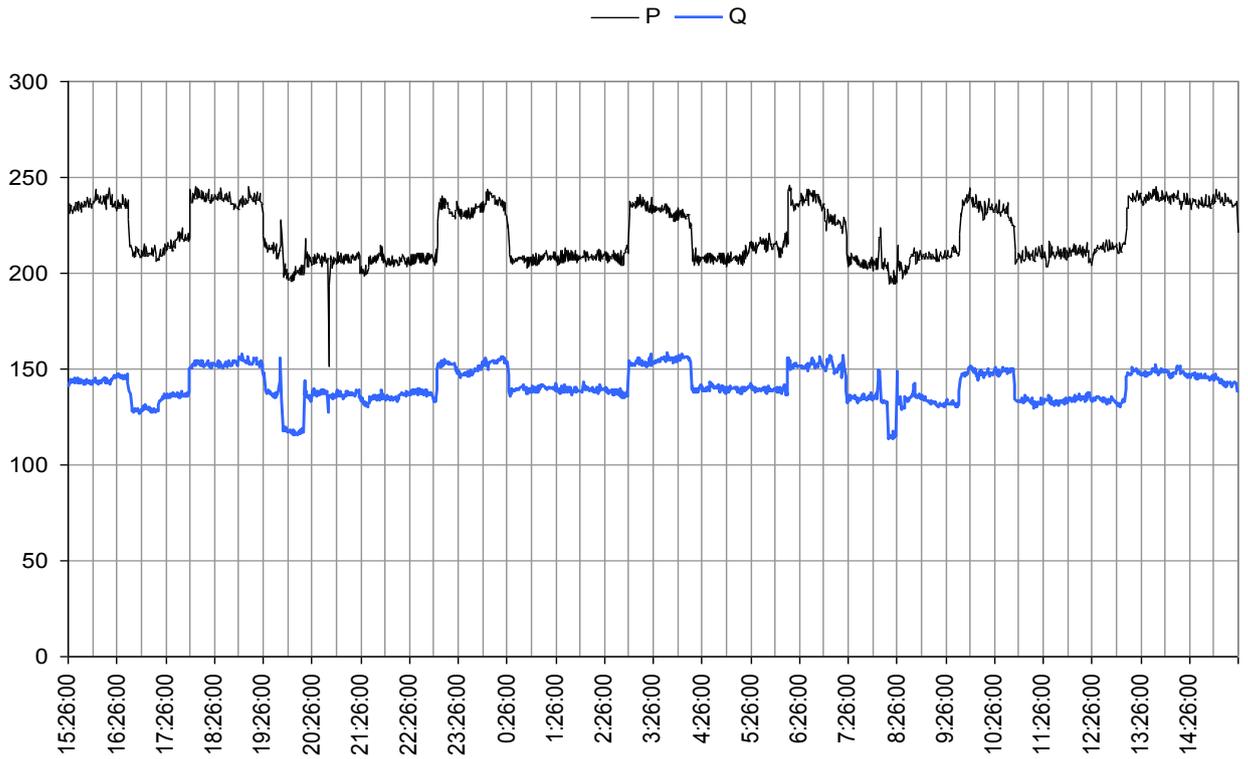


Рисунок 4.19 - Графики активной и реактивной мощности на 24.10.2012г.

График трехфазного коэффициента мощности на 22.10.2012

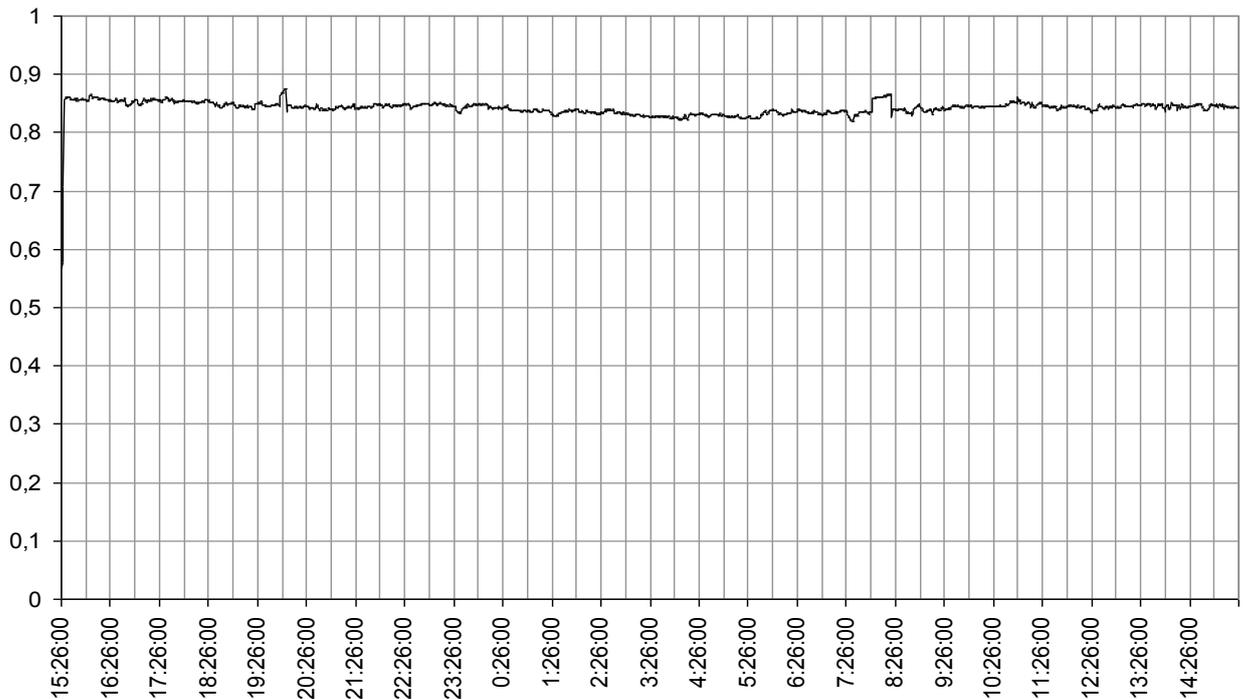


Рисунок 4.20 - График трёхфазного коэффициента мощности на 22.10.2012г.

График трехфазного коэффициента мощности на 23.10.2012

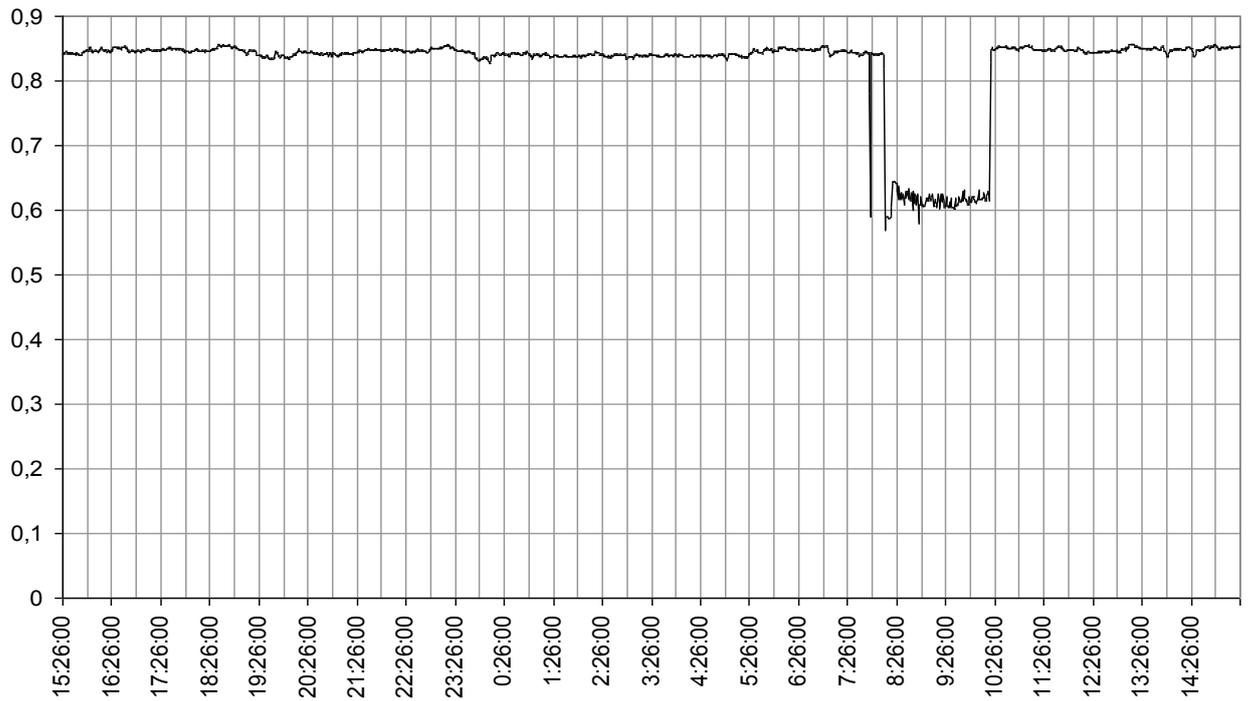


Рисунок 4.21 - График трёхфазного коэффициента мощности на 23.10.2012г.

График трехфазного коэффициента мощности на 24.10.2012

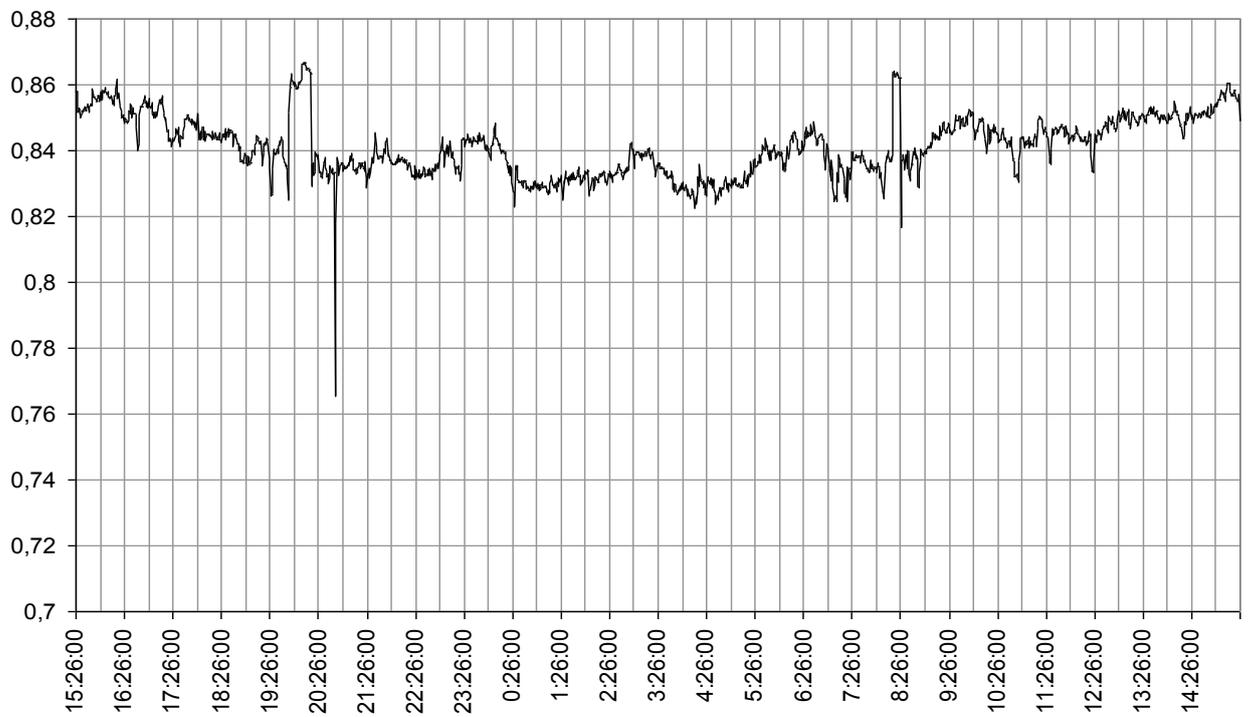


Рисунок 4.22 - График трёхфазного коэффициента мощности на 24.10.2012г.

В таблицах 4.2-4.3 и рисунках 4.23-4.24 представлены летние и зимние графики потребления электроэнергии обогатительной фабрики АО «Угольная компания «Разрез Степной» на 15 июня 2016 г. и 21 декабря 2016 г.

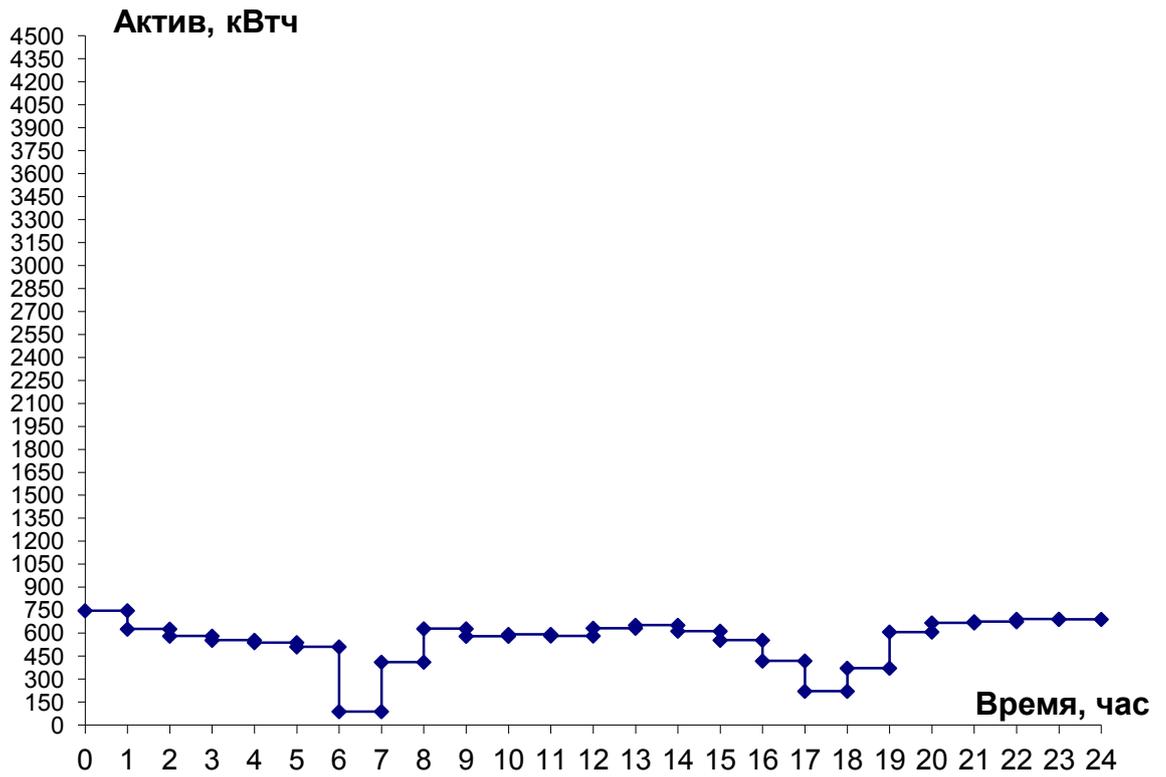
Таблица 4.2 - Летний суточный график на 15 июня 2016г.

Время	Показание активного счётчика	Показание реактивного счётчика	Потребление активное РП4 ячейка 421	Потребление реактивное РП4 ячейка 421
0:00	3629,626	793,177	0	0
1:00	3629,782	793,357	746,88	864
2:00	3629,912	793,518	626,88	774,72
3:00	3630,033	793,676	580,8	758,4
4:00	3630,149	793,836	553,92	764,16
5:00	3630,261	793,990	538,56	739,2
6:00	3630,367	794,133	510,72	686,4
7:00	3630,386	794,170	88,32	177,6
8:00	3630,471	794,280	410,88	531,84
9:00	3630,602	794,446	628,8	792,96
10:00	3630,723	794,602	579,84	750,72
11:00	3630,846	794,752	592,32	719,04
12:00	3630,968	794,898	581,76	702,72
13:00	3631,099	795,055	632,64	754,56
14:00	3631,235	795,218	651,84	781,44
15:00	3631,363	795,375	613,44	751,68
16:00	3631,478	795,532	553,92	753,6
17:00	3631,566	795,668	418,56	652,8
18:00	3631,612	795,747	220,8	381,12
19:00	3631,689	795,859	371,52	535,68
20:00	3631,816	796,023	607,68	786,24
21:00	3631,955	796,190	667,2	804,48
22:00	3632,095	796,363	674,88	831,36
23:00	3632,239	796,540	691,2	846,72
0:00	3632,383	796,715	690,24	840

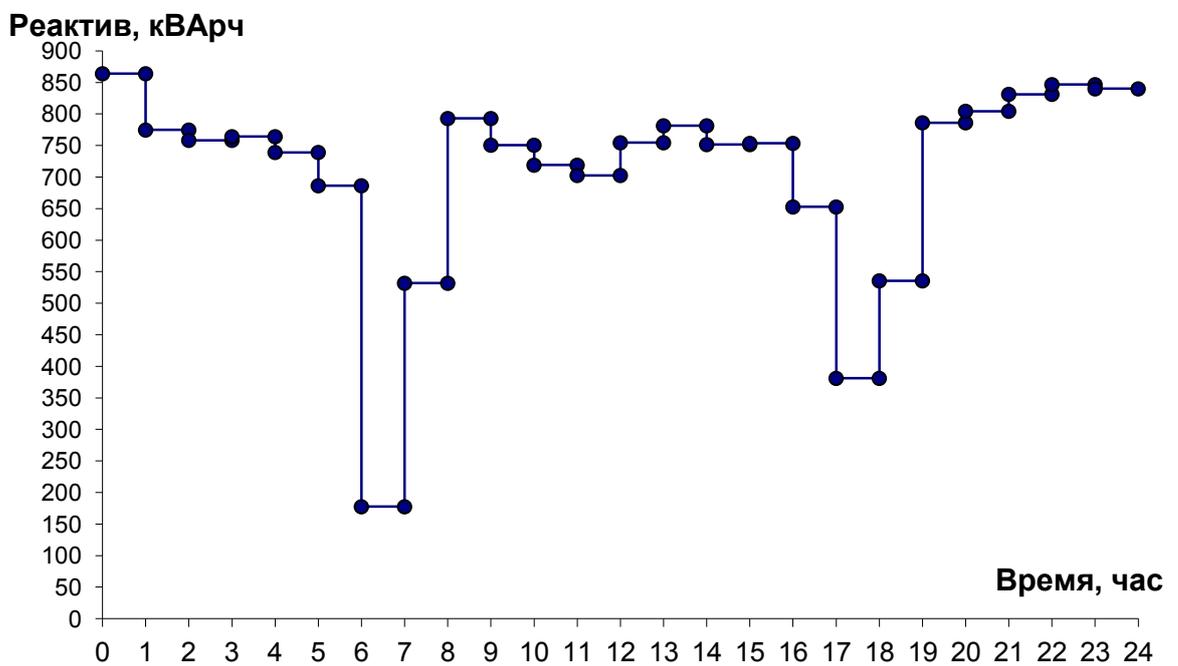
Построим суточные графики обогатительной фабрики по АО «Угольная компания «Разрез Степной», по показаниям активного и реактивного электросчётчиков на 15 июня 2016г. и 21 декабря 2016г., и сделаем анализ суточного электропотребления по компенсации реактивной мощности.

Таблица 4.3 - Зимний суточный график на 21 декабря 2016 г.

Время	Показание активного счётчика	Показание реактивного счётчика	Потребление активное РП4 ячейка 421	Потребление реактивное РП4 ячейка 421
0:00	4310,3282	1528,2818	0	0
1:00	4310,5674	1528,4748	1148,16	926,4
2:00	4310,8026	1528,6588	1128,96	883,2
3:00	4311,0418	1528,8508	1148,16	921,6
4:00	4311,2810	1529,0414	1148,16	914,88
5:00	4311,5242	1529,2348	1167,36	928,32
6:00	4311,7696	1529,4294	1177,92	934,08
7:00	4312,0072	1529,6184	1140,48	907,2
8:00	4312,2454	1529,8150	1143,36	943,68
9:00	4312,4574	1530,0012	1017,6	893,76
10:00	4312,6976	1530,1980	1152,96	944,64
11:00	4312,9290	1530,3944	1110,72	942,72
12:00	4313,1500	1530,5838	1060,8	909,12
13:00	4313,3558	1530,7612	987,84	851,52
14:00	4313,5272	1530,9112	822,72	720
15:00	4313,6786	1531,0396	726,72	616,32
16:00	4313,7896	1531,1360	532,8	462,72
17:00	4314,0066	1531,3234	1041,6	899,52
18:00	4314,2274	1531,5030	1059,84	862,08
19:00	4314,4436	1531,6766	1037,76	833,28
20:00	4314,6520	1531,8552	1000,32	857,28
21:00	4314,8546	1532,0368	972,48	871,68
22:00	4315,0818	1532,2246	1090,56	901,44
23:00	4315,3092	1532,4098	1091,52	888,96
0:00	4315,5398	1532,6004	1106,88	914,88



а)



б)

Рисунок 4.23 - Летний график суточного потребления электроэнергии по активной (а) и реактивной (б) мощности на 15.06.2016г.

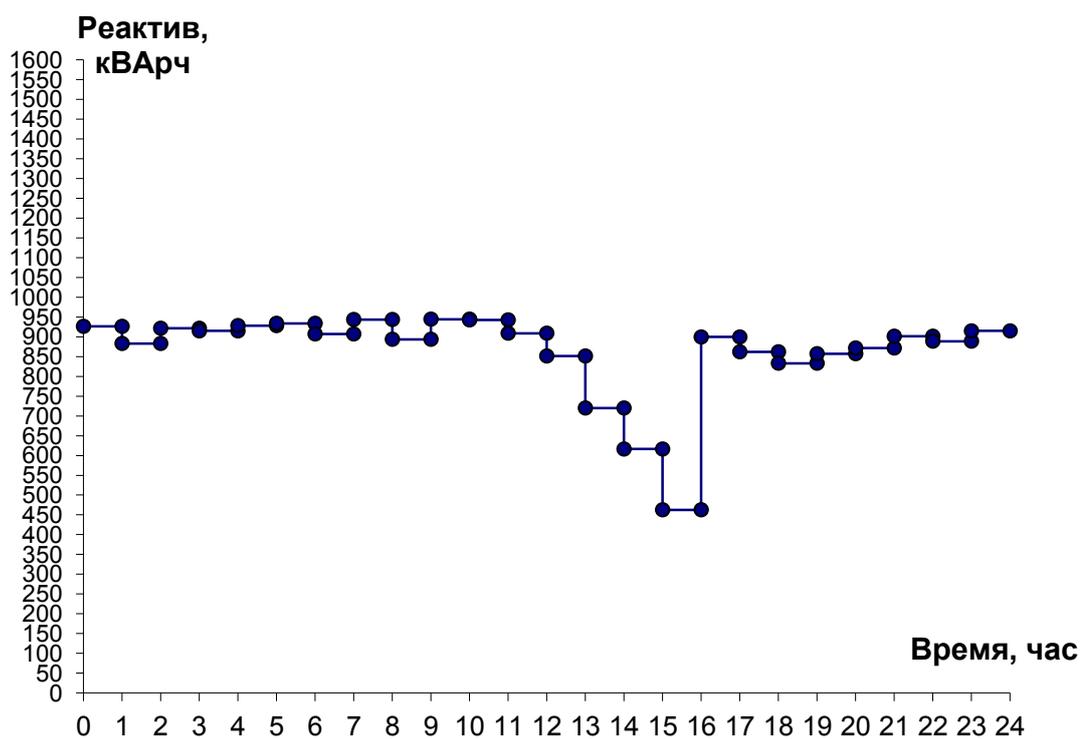
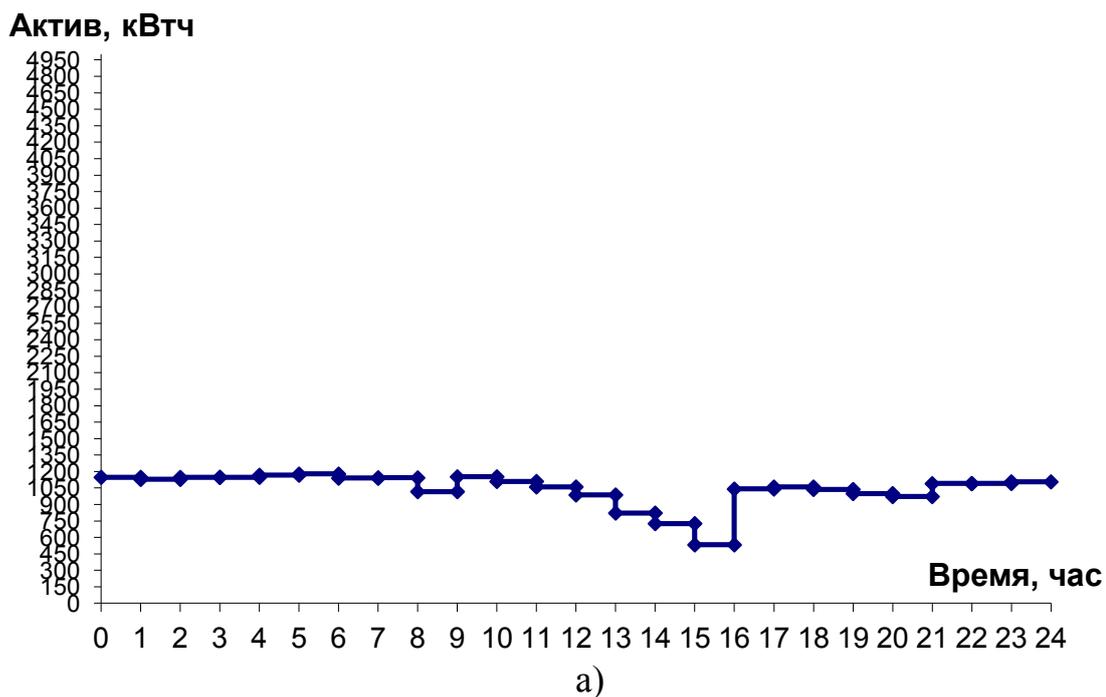


Рисунок 4.24 - Зимний график суточного потребления электроэнергии по активной (а) и реактивной (б) мощности на 21.12.2016г.

Проведём анализ приведённых графиков.

По графикам предоставленных на рисунках 4.9-4.13, видим, что активная мощность находится в пределах 245кВт, а реактивная 210кВар. На протяжении суток происходят от 3 до 16 провалов в интервалах от 0,5 до 6 часов,- до диапазона по активной мощности 30кВт и реактивной 50кВар.

По графикам предоставленных на рисунках 4.14-4.16, видим, что коэффициент мощности находится в пределах 0,66. На протяжении суток происходят от 9 до 13 провалов в интервалах от 0,5 до 1 часа,- до диапазона коэффициента мощности 0,35.

По графикам предоставленных на рисунках 4.17 и 4.19, видим, что активная мощность находится в пределах 260кВт, а реактивная 145кВар. На протяжении суток происходят незначительные провалы,- до диапазона по активной мощности 200кВт и реактивной 122кВар, на графике предоставленного на рисунке 5.10, видим, что на протяжении суток произошёл существенный провал, в интервале от 4 до 5 часов, - до диапазона по активной мощности 50кВт и реактивной 60кВар.

По графикам предоставленных на рисунке 4.20-4.21, видим, что коэффициент мощности находится в пределах 0,85. На протяжении суток происходят по одному провалу в интервале от 5 минут до 6 часов,- до диапазона коэффициента мощности 0,6, на графике предоставленного на рисунке 4.22, видим, что на протяжении суток происходят резкое возрастание и убывание диапазона коэффициента мощности, в интервале от 1 до 12 часов, - от диапазона коэффициента мощности 0,765 до 0,865.

По графикам предоставленных на рисунках 4.23, видим, что активная мощность находится в пределах 600кВт, а реактивная 750кВар. На протяжении суток происходят два существенных провала в интервалах от 1 до 1,5 часа,- первый и второй по активной мощности до диапазона 50кВт и 170кВт, и реактивной мощности 170кВар и 170кВар.

По графикам предоставленных на рисунках 4.24, видим, что активная мощность находится в пределах 900кВт, и реактивная 900кВар. На протяжении суток происходит существенный провал в интервале от 1 до 1,5 часа,- до диапазона по активной мощности 600кВт и реактивной 500кВар.

Анализ всех предоставленных графиков позволяет сделать ряд выводов:

- обогатительная фабрика имеет трехсменный режим работы и имеет явно выраженный циклический характер, обусловленный технологическим процессом предприятия;
- постоянная составляющая зимнего графика превышает постоянную составляющую летнего графика на 60%;
- предлагается компенсировать реактивную мощность в автоматическом режиме, чтобы исключить возможность резкое возрастание и убывание диапазона коэффициента мощности.

Для ввода 1,2, по графикам нагрузки, приведенным на рисунках 4.9 - 4.22, РП-4; яч.421 таблицах 4.2- 4.3 и рисунках 4.23-4.24 определим [14]:

для ввода 1 коэффициент мощности -  $\cos\varphi_1 = 0,63$

для ввода 2 коэффициент мощности -  $\cos\varphi_2 = 0,84$

РП-4, яч.421 коэффициент мощности -  $\cos\varphi_{421} = 0,77$

Определим коэффициент мощности обогатительной фабрики:

$$\cos\varphi = (\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2 + \cos\varphi_{421})/3 = 0,64+0,84+0,77/3= 0,74$$

Следовательно,  $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0,91$

Система электроснабжения обогатительной фабрики предусмотрена установка комплектных конденсаторных установок общей мощностью:

$Q = 800$  кВАр. Реактивная мощность электроустановки определяется по выражению:

$$Q = P_p \operatorname{tg}\varphi_1, \quad (4.9)$$

Следовательно, активная мощность находится по выражению:

$$P_p = Q/\operatorname{tg}\varphi_1 = 800/0,91 = 879,12 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

Для определения числа и мощности компенсирующих устройств необходимо рассчитать потребленную реактивную мощность компенсации.

$$Q_{к.у.} = \alpha \cdot P_p (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \text{ кВар} \quad (4.11)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, который учитывает повышение  $\cos\varphi$  только естественными мерами. ГОСТами определяется естественная компенсация до 90%, т.е.  $\alpha = 0,9$ ;

$\operatorname{tg}\varphi_1 = 0,91$ , средневзвешенное значение  $\cos\varphi$  до компенсации  $Q$  нагрузки.

$\operatorname{tg}\varphi_2$  – средневзвешенное значение коэффициента мощности с учётом работы компенсирующих устройств, который применяется по значению желаемого коэффициента мощности.

$$\operatorname{tg}\varphi_2 \rightarrow \cos\varphi_{ж} = 0,95 \rightarrow \operatorname{tg}\varphi_2 = 0,33 \quad (4.12)$$

Зная расчётную потребную реактивную нагрузку по таблицам справочной литературы выбираем число и мощность компенсирующих устройств.

$$Q_{к.у.} \approx \sum Q_k, \text{ кВар} \quad (4.13)$$

Определим мощность и число компенсирующих устройств по формуле(4.11):

$$Q_{к.у.} = 0,9 * 879,12 * (0,91 - 0,33) = 558,9 \text{ кВар}$$

Выбираем две установки 2 конденсаторные установки КРМ (УКМ58) – 0,4 – 300 – 25У3, номинальной мощностью 300 кВар каждая с автоматическим регулированием, для установки на каждую секцию 0,4 кВ трансформаторной подстанции обогатительной фабрики. Таким образом, фактическая мощность комплектной конденсаторной установки:

$$Q_{\text{КУЕ}} = 2 * 300 = 600 \text{ кВар}$$

В помещении подстанции обогатительной фабрики установлены две конденсаторные установки КРМ (УК) – 0,4 – 300, с ручным регулированием, предназначенные для компенсации реактивной мощности. В настоящее время установки отключены. Во время ввода фабрики в эксплуатацию от ВЛ-104, через которую запитана фабрика, получал так же питание шагающий экскаватор. По яч.421 (РП-4), от которой запитана ВЛ-104, фиксировались обратные перетоки реактивной мощности. Таким образом, необходимость компенсации реактивной мощности на фабрике отсутствовала. Конденсаторные установки в работу не включались.

После ввода фабрики в эксплуатацию наличие шагающего экскаватора в узле нагрузки обуславливало большие провалы питающего напряжения, что приводило к частым сбоям в работе оборудования фабрики. После перевода шагающего экскаватора на питание от другой линии сбой прекратился, однако установки УКМ 58 так и не были введены в работу, так как была необходимость постоянно включать и выключать установки. Предлагаем применить 2 конденсаторные установки КРМ (УКМ58) – 0,4 – 300 – 25У3, с автоматическим регулированием. Технические характеристики конденсаторных установок КРМ-0,4 кВ (УКМ 58) приведены в таблице 4.4 [15].

Автоматические конденсаторные установки УКМ58 (УКМ58-0,4) предназначены для повышения коэффициента мощности  $\cos\varphi$  путем компенсации реактивной мощности, а также для автоматического поддержания его на заданном уровне. Установки УКМ58 представляют собой металлический шкаф порошковой окраски, степенью защиты не ниже IP31, в котором располагаются специализированные комплектующие для компенсации реактивной мощности (косинусные конденсаторы, конденсаторные контакторы и автоматический регулятор реактивной мощности), а также аппаратура защиты. Конденсаторные установки УКМ58 (УКМ58-0,4) имеют модульную («легкоразборную») конструкцию, что значительно упрощает ее монтаж и техническое обслуживание (протяжку резьбовых соединений, визуальный осмотр токоведущих частей). Установка УКМ 58 оснащена микропроцессорным регулятором DCRK 7, под управлением которого выполняется включение/отключение необходимого количества конденсаторов, что обеспечивает соблюдение заданного коэффициента мощности с большой точностью и в широком диапазоне компенсируемой реактивной мощности.

Автоматизированная конденсаторная установка 0,4 кВ, состоит из шкафа одностороннего обслуживания, укомплектованных цилиндрическими

металлопленочными конденсаторами, аппаратурой для коммутации, управления и сигнализации.

Таблица 4.4 - Технические характеристики конденсаторных установок

Типы конденсаторных установок	Установленная КРМ(УК)	Рекомендуемая КРМ(УКМ 58)
конденсаторные установки		
Номинальное напряжение, кВ	0,4	
Номинальное мощность, кВар	300	
Шаг регулирования, кВар	-	1...50
Разновидность регулирования	ручное	автоматическое
Регулятор реактивной мощности	-	DCRK "LOVATO Electric
Быстродействие	-	контакторное
Контакторы/тиристоры	-	контакторы BF, BF К "LOVATO Electric
Конденсатор для компенсации реактивной мощности	трехфазные сухие косинусные конденсаторы "RTREnergia"	
Защита конденсаторов от токов высших гармоник	программная защита с помощью регулятора	
Климатическое исполнение	У3, У1	
Степень защиты	IP 20, IP 54	
Температурный рабочий режим	+5 °С...+ 45 °С / - 45 °С...+ 45 °С	

Включение и отключение ступеней автоматизированной конденсаторной установкой осуществляется специальными пускателями (конденсаторными контакторами). С помощью опережающих контактов и гасящих резисторов пусковые токи (до 200 от  $I_{ном}$ ) снижаются до величины не более 70 от  $I_{ном}$ , что значительно повышает надежность и срок службы конденсаторов, пускателей и конденсаторной установки в целом. Регулятор реактивной мощности производит точный (дискретный) автоматический подбор реактивной мощности автоматизированной конденсаторной установкой, необходимой для компенсации реактивной мощности внешней сети в режиме реального времени.

Микропроцессорные регуляторы реактивной мощности обеспечивают интеллектуальный контроль параметров сети:

- автоматически отслеживается изменение реактивной мощности нагрузки в компенсируемой сети и, в соответствии с заданным, корректируется значение коэффициента мощности –  $\cos\phi$ ;
- исключается генерация реактивной мощности в сеть;
- исключается появление в сети перенапряжения, т.к. нет перекомпенсации, возможной при использовании нерегулируемых конденсаторных установок;

- отслеживаются все основные параметры компенсируемой сети;
- контролируется режим эксплуатации и работа всех элементов конденсаторной установки.

Управление конденсаторными контакторами оптимизировано так, что заданный коэффициент мощности достигается минимальным числом команд на переключение конденсаторных контакторов. Кроме того, регуляторы реактивной мощности отображают на символьноцифровом жидкокристаллическом индикаторе следующие параметры сети и автоматизированной конденсаторной установкой:

- ток, I;
- напряжение, U;
- частоту, f;
- реактивную мощность, Q;
- активную мощность, P;
- полную мощность, S;
- коэффициент мощности  $\cos\varphi$  (текущее и заданное значения);
- переключение на второй коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ).

Для защиты от коротких замыканий в автоматизированной конденсаторной установке на вводе может устанавливаться блок рубильник-предохранитель или автоматический выключатель. Для защиты конденсаторов в каждом модуле устанавливаются блоки рубильник-предохранитель.

Эффективность установки с автоматическим управлением состоит в постоянном повышении коэффициента мощности, путем компенсации реактивной мощности, а также для автоматического поддержания его на заданном уровне.

Произведём оценку потерь эффективности с помощью метода среднеквадратичной мощности[16]. Достоинство этого метода в том, что среднеквадратичная мощность вычисляется только один раз для серии расчетов при различных измерениях. Среднеквадратичное значение активной мощности за рассматриваемый промежуток времени:

$$P_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.14)$$

где  $P_{\text{сркв}}$  – среднеквадратичное значение активной мощности, кВт;

$P_i$  – активная мощность, потребляемая за рассматриваемый промежуток времени  $t_i$  (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт;

$t_i$  – интервал времени, час.

При наличии графиков потребления реактивной мощности среднеквадратичное значение реактивной мощности определяется аналогично. Среднеквадратичное значение реактивной мощности за рассматриваемый промежуток времени:

$$Q_{\text{сркв}} = \sqrt{\frac{\sum Q_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}}, \quad (4.15)$$

где  $Q_{\text{сркв}}$  – среднеквадратичное значение реактивной мощности, кВар;

$Q_i$  – активная мощность, потребляемая за рассматриваемый промежуток времени (определяется из графика нагрузки по реактивной мощности), кВар;

$t_i$  – интервал времени, час.

По известным среднеквадратичным значениям активной и реактивной мощностей определяются среднеквадратичные значения полной мощности.

Среднеквадратичное значение полной мощности за рассматриваемый промежуток времени:

$$S_{\text{сркв}} = \sqrt{P_{\text{сркв}}^2 + Q_{\text{сркв}}^2}, \quad (4.16)$$

где  $S_{\text{сркв}}$  – среднеквадратичное значение полной мощности, кВА. Произведём оценку потерь эффективности активной мощности будем выполнять по расчетной схеме представленной на рисунке 4.25. С помощью метода среднеквадратичного тока (среднеквадратичной мощности). Рассчитаем потери активной мощности с помощью метода среднеквадратичного тока (среднеквадратичной мощности) [17]:

$$\Delta W = 8760 \frac{S_{\text{СРКВ}}^2}{U_{\text{ном}}^2} r, \quad (4.17)$$

где  $S_{\text{СРКВ}}$  - среднеквадратичная мощность;

$r$  – активное сопротивление элементов сети.

Таблица 4.5 - Технические характеристики трансформатора ТМЗ-1000

Номинальная мощность ТСЗ, кВА	Напряжение ВН, кВ	Напряжение КЗ, %	Потери, Вт ХХ	Потери, Вт КЗ	Масса кг
1000	6	7	1900	8500	2870

Определим активное сопротивление каждого из трансформаторов ,  
таблица 4.5:

$$R_{tr} = \frac{\Delta P_k}{S_{\text{ном}}} \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = 0,306 \text{ Ом}, \quad (4.18)$$

где  $\Delta P_k = 8500$  Вт - потери короткого замыкания для трансформатора ТС3-1000.  
 Активное сопротивление кабельной линии ВВГ-6 3x50, длиной 0,2 км.:

$$R_{\text{квл}} = r_0 * L = 0,387 * 0,2 = 0,0774 \text{ Ом} \quad (4.19)$$

Суммарное активное сопротивление от места установки каждого из УКМ58 до шин ТП-111:

$$R_{12} = R_{\text{тр}} + R_{\text{квл}} = 0,3834 \text{ Ом}, \quad (4.20)$$

Активное сопротивление ВЛ-104 3x95, длиной 1,5 км.:

$$R_{\text{вл}} = r_0 * L = 0,308 * 1,5 = 0,462 \text{ Ом}, \quad (4.21)$$

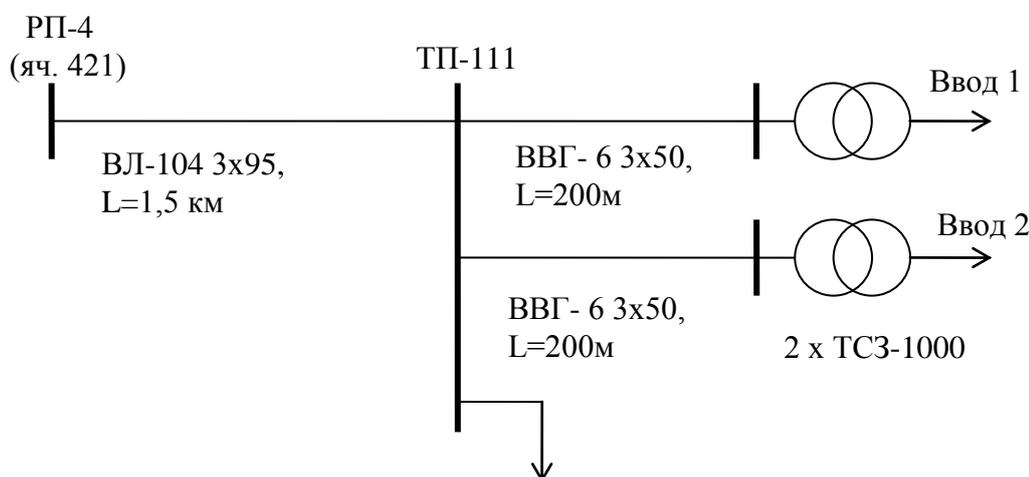


Рисунок 4.25 - Расчетная схема

Оценим потери активной энергии в элементах сети до включения УКМ58.  
 Для Ввода 1, по графикам нагрузки, приведенным на рисунках 4.9-4.22, определим:

- среднеквадратичную мощность за пять дней наблюдения -  $S_{\text{срквл1}} = 303,18 \text{ кВА}$ ;
- трехфазный коэффициент мощности -  $\cos \varphi_1 = 0,63$ ;

Для Ввода 2, по графикам нагрузки, приведенным на рисунках 4.9-4.22, определим:

- среднеквадратичную мощность за три дня наблюдения -  $S_{\text{срквл2}} = 262,18 \text{ кВА}$ ;
- трехфазный коэффициент мощности -  $\cos \varphi_2 = 0,84$ .

Для РП-4, яч.421, по летнему и зимнему суточному графику, приведенными в таблицах 5.10- 5.11 и рисунках 4.23-4.24, определим:

- среднеквадратичную мощность за три дня наблюдения -  $S_{\text{срквл421}} = 1366,43 \text{ кВА}$ ;

– трехфазный коэффициент мощности -  $\cos\varphi_{421}=0,77$ .

Тогда, потери на участке ТП-111 – Ввод1 до подключения УKM58:

$$\Delta W_1=8760* S_{\text{сркв1}}^2/6000^2*R_{12}=8,57\text{тыс.кВт.ч.} \quad (4.22)$$

Потери на участке ТП-111 – Ввод2 до подключения УKM58:

$$\Delta W_2=8760* S_{\text{сркв2}}^2/6000^2*R_{12}=6,41\text{тыс.кВт.ч.} \quad (4.23)$$

Потери на участке РП-4 - ТП-111 до подключения УKM58:

$$\Delta W_{421}=8760* S_{\text{сркв421}}^2/6000^2* R_{\text{вл}}=209,9\text{тыс.кВт.ч.} \quad (4.24)$$

Примем трехфазный коэффициент мощности на каждом из вводов фабрики, после подключения УKM58, равным 0,98, что приведет к снижению передаваемой реактивной мощности на величину:

$$\Delta Q_1=196,66 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_2=97,53 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{421}=294,2 \text{ кВАр}.$$

Рассчитаем новые среднеквадратичные мощности:

$$S_{\text{сркв1}}=194,9 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{сркв2}}=224,73 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{сркв421}}=1200,3 \text{ кВА}.$$

Потери после подключения УKM58:

$$\Delta W_1=3,54 \text{ тыс.кВт.ч}$$

$$\Delta W_2=4,71 \text{ тыс.кВт.ч}$$

$$\Delta W_{421}=161,96 \text{ тыс.кВт.ч}$$

Суммарное снижение годовых потерь электроэнергии в сети в результате ввода двух установок УKM58 на обогатительной фабрике:

$$\Delta W=(\Delta W_1+\Delta W_2+\Delta W_{421})-(\Delta W_1+\Delta W_2+\Delta W_{421}')=54,67\text{тыс.кВт.час} \quad (4.25)$$

Так как,  $C = 2,7\text{руб.кВт.ч}$  стоимость электроэнергии одного кВт/часа, найдём годовой экономический эффект применение ввода двух установок УKM58 на обогатительной фабрике:

$$\mathcal{E} = C * \Delta W = 2,7*54,64=147,53\text{тыс.руб} \quad (4.26)$$

### 4.3 Использование тиристорных преобразователей электроприводов экскаваторов

На АО «Угольная Компания «Разрез Степной» используются одноковшовые карьерные № № 522, 499, 560, 77 (ЭКГ-5А), № № 2103, 195 (ЭКГ-8И), № 39 (ЭКГ-5У), № 175 (ЭКГ-10), № 15 (ЭКГ-15), и шагающие экскаваторы: № 500 (ЭШ 10/70), № 2 (ЭШ 11/75), № 44 (ЭШ 11/70), № 40 (ЭШ 20/90).

Главные электропривода (подъема, напора, поворота - для карьерных и подъема, тяги ковша, поворота – для драглайнов) данных экскаваторов выполнены по системе генератор-двигатель. Генераторы, питающие основные двигатели приводятся во вращение одним сетевым двигателем, поэтому основная установленная мощность – это мощность сетевого двигателя.

Номинальные мощности сетевых двигателей:

ЭКГ-5А  $P_{с.д.} = 250$  кВт; ЭКГ-5У  $P_{с.д.} = 750$  кВт; ЭКГ-8И  $P_{с.д.} = 630$  кВт; ЭКГ-10  $P_{с.д.} = 630$  кВт; ЭКГ-15  $P_{с.д.} = 1250$  кВт; ЭШ 10/70, ЭШ 11/70 и ЭШ 11/75  $P_{с.д.} = 1250$  кВт; ЭШ 20/90  $P_{с.д.} = 1250$  кВт.

Использование силовых магнитных усилителей в качестве возбуждателей генераторов имеет ряд недостатков [18]:

- значительная инерционность, обусловленная индуктивностью обмоток управления;
- введение в цепи обмоток управления больших добавочных сопротивлений приводит к увеличению мощности управления усилителем, его габаритов и снижению КПД таких систем до 70-75%, а также способствует существенной зависимости системы от температурных условий;
- взаимное влияние обратных связей, среди которых наибольшее значение на формирование статических и динамических характеристик экскаваторного электропривода имеют жесткие обратные связи по току и напряжению;
- из-за сложности и нелинейности магнитного усилителя весьма затруднительным является определение его передаточной функции и построение адекватной модели, необходимой для исследования системы управления.

Поэтому предлагается - заменить блоки магнитных усилителей реверсивными тиристорными преобразователями. Схемы цепей возбуждения генераторов главных электроприводов построены по одинаковым принципам. На рисунке 4.26 в качестве примера приведена упрощенная принципиальная схема тиристорного возбуждателя генератора с силовыми цепями электропривода.

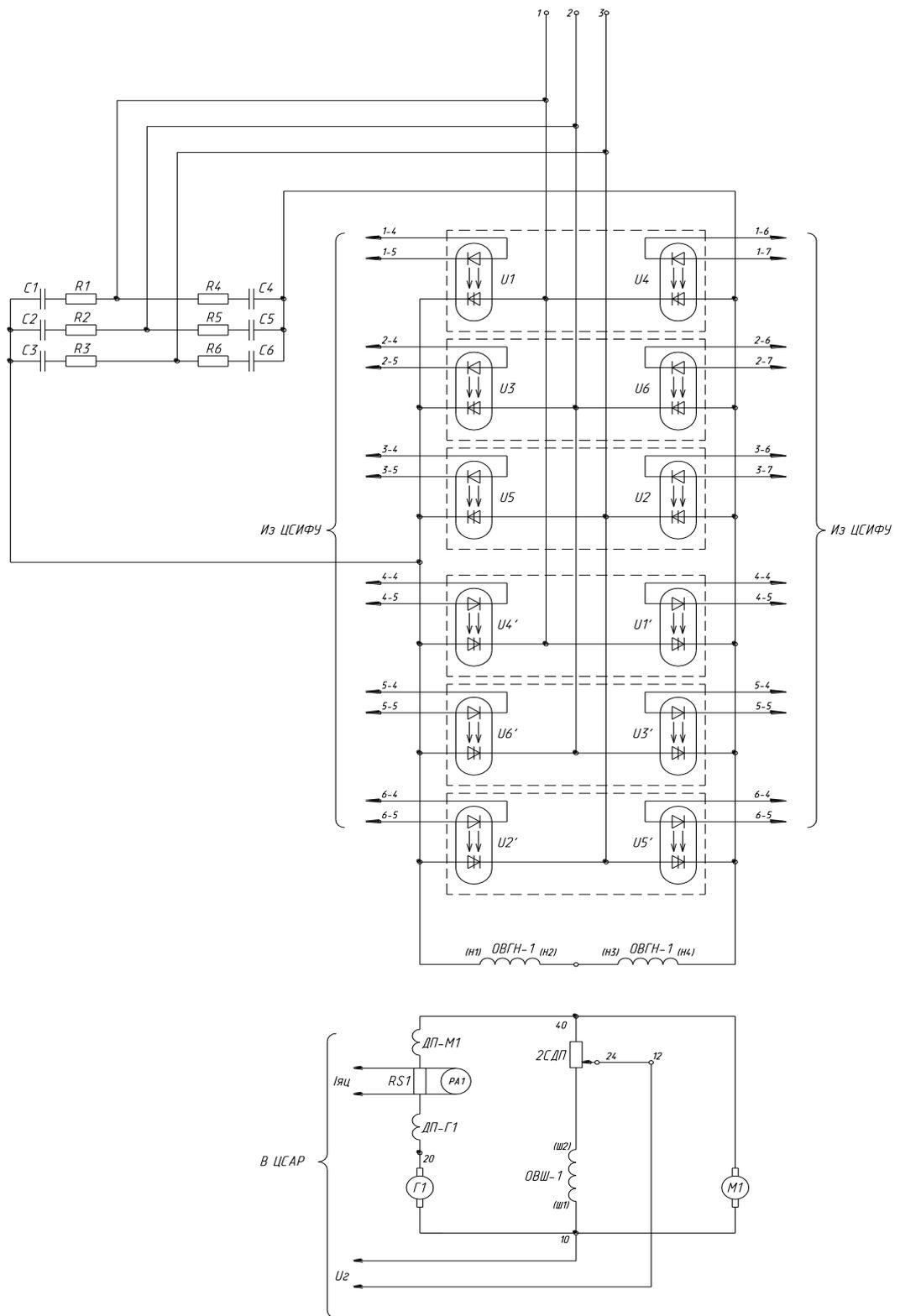
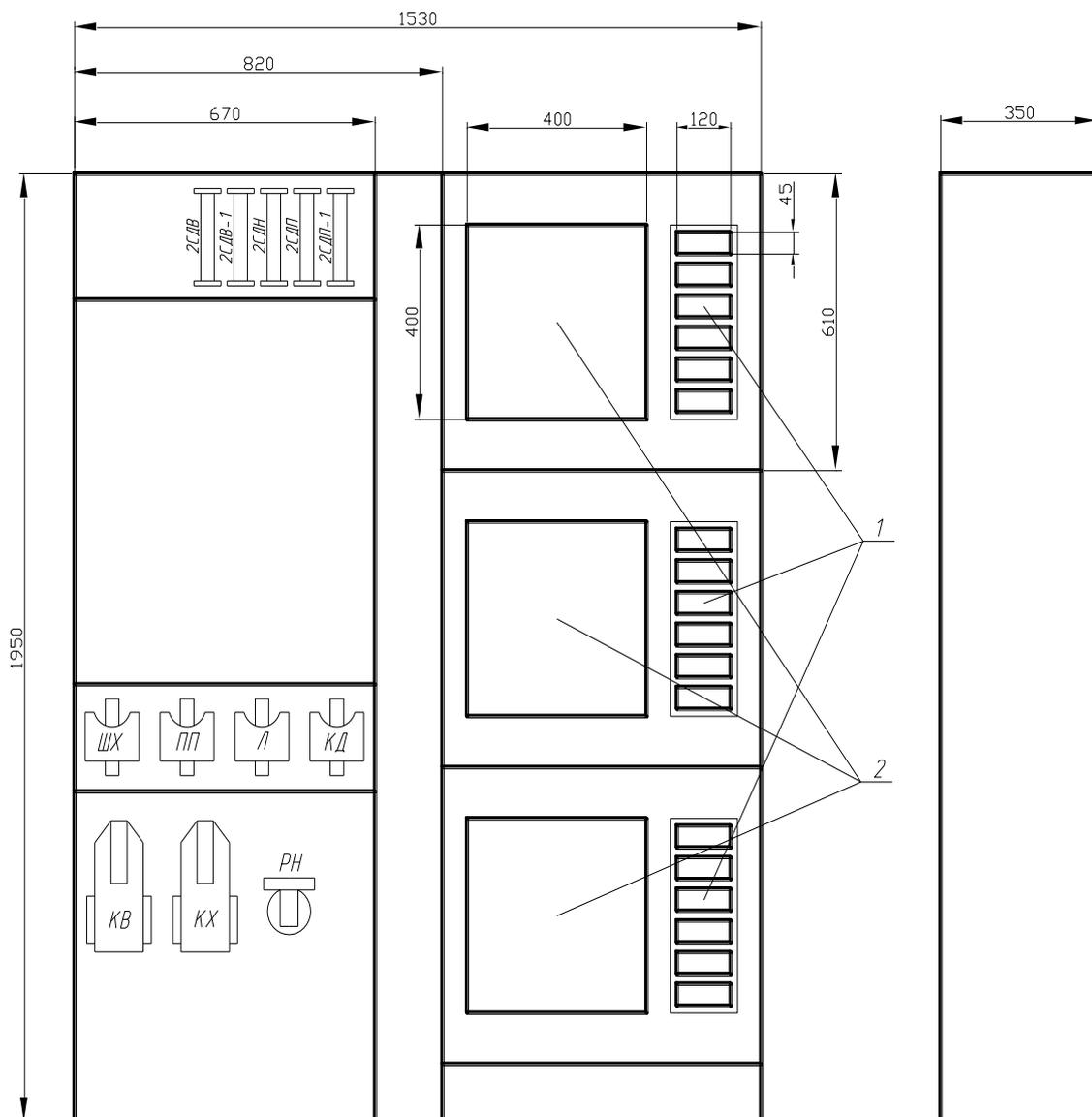


Рисунок 4.26 - Принципиальная схема тиристорного возбудителя генератора привода напора с силовыми цепями

На рисунке 4.27 приведена конструктивная схема расположения блоков проектируемой системы.



1 – Шкаф контроллера, 2 – Оптотиристорные модули с охладителями

Рисунок 4.27 - Конструктивная схема расположения элементов проектируемой системы

Напряжение питающей сети от трансформатора поступает на реверсивный выпрямитель, выполненный в виде трехфазной мостовой схемы на оптотиристорных модулях. Выбор оптотиристорных модулей вызван тем, что в таком случае упрощается и удешевляется схема управления тиристорами.

По сравнению с преобразователями, выполненными на магнитных усилителях, тиристорные преобразователи обладают рядом преимуществ:

- значительно меньшая инерционность (порядка 0,01 с);
- компактность и более высокий КПД;

- точность и плавность регулирования;
- неприхотливость в обслуживании и легкость замены;
- снижение энергопотребления на 3%.

Управление тиристорным преобразователем осуществляется программируемым контроллером фирмы Fastwel общепромышленного исполнения, формата MicroPC, на входы которого поступают сигналы, пропорциональные фазным токам и напряжениям и значениям выпрямленного тока и напряжения. На выходе контроллера формируются напряжения, определяющие необходимые диаграммы коммутации силовых тиристоров.

Схема питания обмотки возбуждения главных электродвигателей остается прежней.

В наличии имеется семь экскаваторов, оборудованных магнитными усилителями. Общие затраты на модернизацию этой экскаваторной группы составят 12 миллионов рублей. Рассчитаем экономический эффект мероприятия следующим образом [19]:

$$W_{\text{эк}} = P_3 \times n \quad (4.27)$$

где  $P_3$  – мощность, потребляемая модернизируемой экскаваторной группой в течении 2016 года, МВт;

$n$  – процент снижения энергопотребления.

$$W_{\text{эк}} = 10106,54 \times (0,03) = 303,19 \text{ МВт} \times \text{час}$$

В денежном выражении, с учётом изменений тарифа на электроэнергию в течение 2016 года, это составляет:

$$\sum_{i=1}^{12} W_{\text{эки}} \times t_i = W_{\text{эк руб.}} \quad (4.28)$$

где  $W_{\text{эки}}$  – сэкономленная электроэнергия в  $i$ -ый месяц;

$t_i$  – тариф на электроэнергию в  $i$ -ый месяц.

Экономический эффект за 2016 год:

$$W_{\text{эк руб.}} = 1325087 \text{ руб.}$$

Соответственно срок окупаемости по упрощённому расчету составит:

$$T_{\text{ок}} = 12000000 \div 1325087 \approx 9,05 \text{ года}$$

Мероприятие обладает достаточно высоким сроком окупаемости, поэтому рекомендуется проводить его по мере выхода из строя оборудования. Заметим, что этот срок будет существенно меньше, если учесть прогнозируемый рост тарифов (5% в год от текущей цены) на электроэнергию в последующие годы. Что, в свою очередь, повысит эффективность мероприятия вместе с затратами на электроэнергию. Рассчитаем прогнозируемый эффект следующим образом:

$$\sum_{j=1}^k W_{\text{эк руб}} \times 1.05^j = W'_{\text{эк руб}}. \quad (4.29)$$

где  $W'_{\text{эк руб}}$  – общая экономия средств за период  $k$  лет.

Для  $k = 8$ , общая экономия:

$$W'_{\text{эк руб}} = 13286070,03 \text{ рублей} = 13286 \text{ тыс. руб.}$$

С учётом того, что затраты на модернизацию составляют 12 млн. рублей, то расчётный период окупаемости с учётом прогнозируемых изменений тарифов на электроэнергию составит примерно 7,5 лет.

#### **4.4 Повышение энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения**

##### **4.4.1 Замена источников освещения на энергоэффективные**

Система освещения на горнодобывающем предприятии является одним из крупных потребителей электроэнергии. Для АО «Угольная компания «Разрез Степной» суммарная установленная мощность осветительных приборов превышает 796 кВт [20].

Расчётный годовой расход энергии на цели освещения – 3042,259 тыс. кВтч, что составляет более 10 % от всей потребляемой предприятием электроэнергии. Значительная доля потребления электроэнергии на освещение обусловлена не только круглосуточным режимом работы предприятия и необходимостью освещать большие открытые пространства, но и использованием для освещения неэкономичных на сегодняшний день источников света.

Данные по числу и типу ламп установленных в подразделениях АО «Угольная компания «Разрез Степной» представлены в таблице 4.6. Управление внутренними и наружными осветительными приборами осуществляется вручную, управляется включением/отключением светильников. Существующая на предприятии система искусственного освещения обладает

очень низкой энергоэффективностью, что обусловлено использованием морально устаревших источников света и низким уровнем автоматизации управления осветительными приборами. В осветительных установках как на основном производстве, так и на вспомогательных участках наиболее широко применяются лампы ДРЛ. На светильники с лампами этого типа приходится 43% установленной мощности систем освещения. Для освещения открытых горных выработок и отвалов применяются линейные кварцево-галогенные лампы типа КГ. Освещение бытовых и вспомогательных помещений выполнено с использованием ламп накаливания и трубчатых люминесцентных ламп.

Таблица 4.6 - Перечень используемых источников света

Марка установленных ламп	Количество установленных ламп, шт	Количество часов работы в год
<b>Горный участок</b>		
КГ-1000	15	4320
КГ-1500	13	4320
КГ-5000	25	4320
типа В-220х100Вт (кузов, помещение)	80	8640
типа В-220 х100Вт (кабина машиниста)	22	864
типа В-220х100 Вт (панели управления)	30	288
ДРЛ-250	7	8640
ДРЛ-400 (наружное освещение)	33	4320
ДРЛ-400 (кузов, помещение)	13	8640
ДРЛ-700	10	8640
ЛБ-40	6	8640
<b>Участок горного электроснабжения (освещение АБК разреза, ТЗП, котельной, промплощадка, опоры ВЛ)</b>		
ЛОН-100	50	4320
РН-215-225-500	10	4320
КГ-5000	25	4320
ДРЛ-250	15	4320
ДРЛ-400	50	4320
ЛБ 18-20	124	4320
ЛБ-40	208	4320
<b>ДСК № 1,3, ПДУ</b>		
ДРЛ-125	5	3000
ДРЛ-250	50	3000
ЛБ-40	32	4000
<b>Установка по обогащению угля (ДСК-2)</b>		
В-220-250Вт	158	2000
ДРЛ-250	246	3000
ДРЛ-125	121	
ДРЛ-700	42	
ЛБ-18	80	4000
ЛБ-40	68	4000
ЛБ-80	9	4000

Окончание таблицы 4.6

Марка установленных ламп	Количество установленных ламп, шт	Количество часов работы в год
Материальный склад		
ДРЛ-400	13	2000
ЛБ-18	40	4200
ЛБ-40	40	4200
Технологическая автоколонна		
ДРЛ-400 (внутри помещений)	139	4320
ДРЛ-400 (уличное освещение)	12	2190
ЛД-40 (помещения)	56	4320
Тракторно-бульдозерный парк		
ДРЛ-400	20	4320
ЛБ-40	16	4320
Административно-бытовой комбинат		
типа В-220х100Вт	230	2880
ЛД-20	756	2440
ЛД-40	114	2440
ДРЛ-250 (уличное освещение)	27	4380
Грузовая автоколонна		
типа В-220х100Вт	101	2880
ДРЛ-250	12	4380
ДРЛ-400	27	4380
ЛБ-20	120	2880
ЛБ-40	168	2880
ЛБ-80	12	2880
Цех РМГО (по ремонту и монтажу горного оборудования)		
типа В-220х150Вт	30	2440
ДРЛ-400	15	2440
ДРЛ-700	30	2440

В настоящее время наилучшие показатели по энергоэффективности имеют светодиодные источники света, однако мероприятия по внедрению светодиодного освещения имеют очень большие сроки окупаемости из-за высокой стоимости таких светильников. Решение о применении светодиодных источников света должно приниматься после анализа условий работы светильника, в случае, когда применение других эффективных источников света по какой либо причине не желательно.

На текущий момент наиболее экономичным вариантом замены для ламп типа КГ и ДРЛ можно считать натриевые лампы высокого давления (ДНаТ). Однако, влияние монохроматического желтого излучения ламп ДНаТ на зрительную работоспособность и физическое состояние людей в настоящее время изучено еще не достаточно. Поэтому в системах промышленного освещения рекомендуется применять лампы ДНаТ в наружном освещении, в запыленных цехах, в помещениях с интенсивным парообразованием, где выполняются работы малой и очень малой точности. При более высоких

требованиях к источнику света могут использоваться лампы ДРИ (Дуговая Ртутная с Излучающими добавками). Они конструктивно схожи с лампой ДРЛ, однако в горелку ламп ДРИ дополнительно вводятся строго дозированные порции специальных добавок - галогенидов некоторых металлов (натрия, таллия, индия и др.), за счёт чего значительно увеличивается световая отдача (до 70 — 95 лм/Вт и выше) при достаточно хорошей цветности излучения.

Распределение установленной мощности осветительной установки по типам источников света представлено на рисунке 4.28.

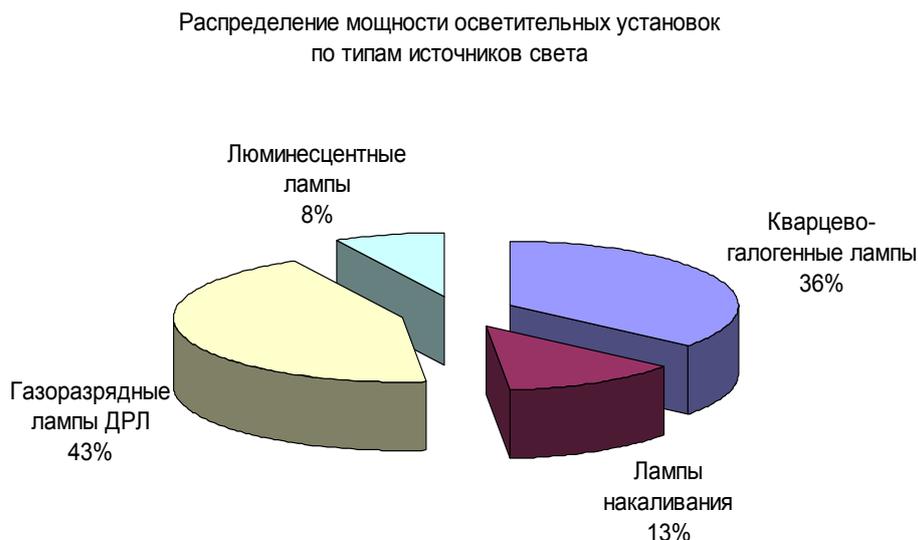


Рисунок 4.28 - Распределение установленной мощности осветительной установки основных производств

Прямая замена ламп ДРЛ и КГ на лампы ДНаТ невозможна. При замене светильников требуется проведение углубленного светотехнического и экономического расчета [21].

Установка светильников под лампы типа ДНаТ-1000.

Для освещения открытых горных выработок и отвалов применяются линейные кварцево-галогенные лампы типа КГ-5000 с номинальным световым потоком 110000 лм, (светоотдачу 22 лм/Вт). Предлагается произвести замену имеющегося осветительного оборудования на прожектора под лампы ДНаТ-1000, номинальный световой поток которой достигает 130000 лм (светоотдача до 130 лм/Вт).

Промышленностью выпускается несколько типов прожекторов под лампу ДНаТ-1000: ЖКУ12-1000-150; ЖО 50-1000; ЖДУ 01-1000-001 и др.

К установке предлагаются светильники ЖКУ12-1000-150, представлены рисунке 4.29, производства ООО "Кемеровский завод "Луч".

Светильник ЖКУ12-1000-150 предназначен для освещения площадей, открытых пространств производственного назначения (карьеров, железнодорожных станций, заводских территорий, электрических станций, строительных площадок и т.п.). Корпус светильника пылевлагозащищенный, выполнен из тонкого стального листа. Для перераспределения светового потока лампы применён высокоэффективный (интегральный коэффициент отражения 95%) зеркальный параболоцилиндрический отражатель, изготовленный из анодированных алюминиевых листов производства немецкой компании Alanod. Защитный светопропускающий элемент выполнен из закаленного термостойкого силикатного стекла. Двухточечное шарнирное крепление лампы с амортизирующим элементом, разгружает цоколь и колбу от опасных напряжений, сводит к минимуму риск разрушения лампы и придает светильнику виброустойчивость (патент РФ № 2242670). Запатентованный узел поворота светильника в вертикальной плоскости с повышенным тормозным моментом обеспечивает поворот на 360° и надежную фиксацию светильника при больших ветровых нагрузках в любом положении, не требует растормаживания при перенацеливании светильника, а также исключает ослабление установленного тормозного момента при повороте.

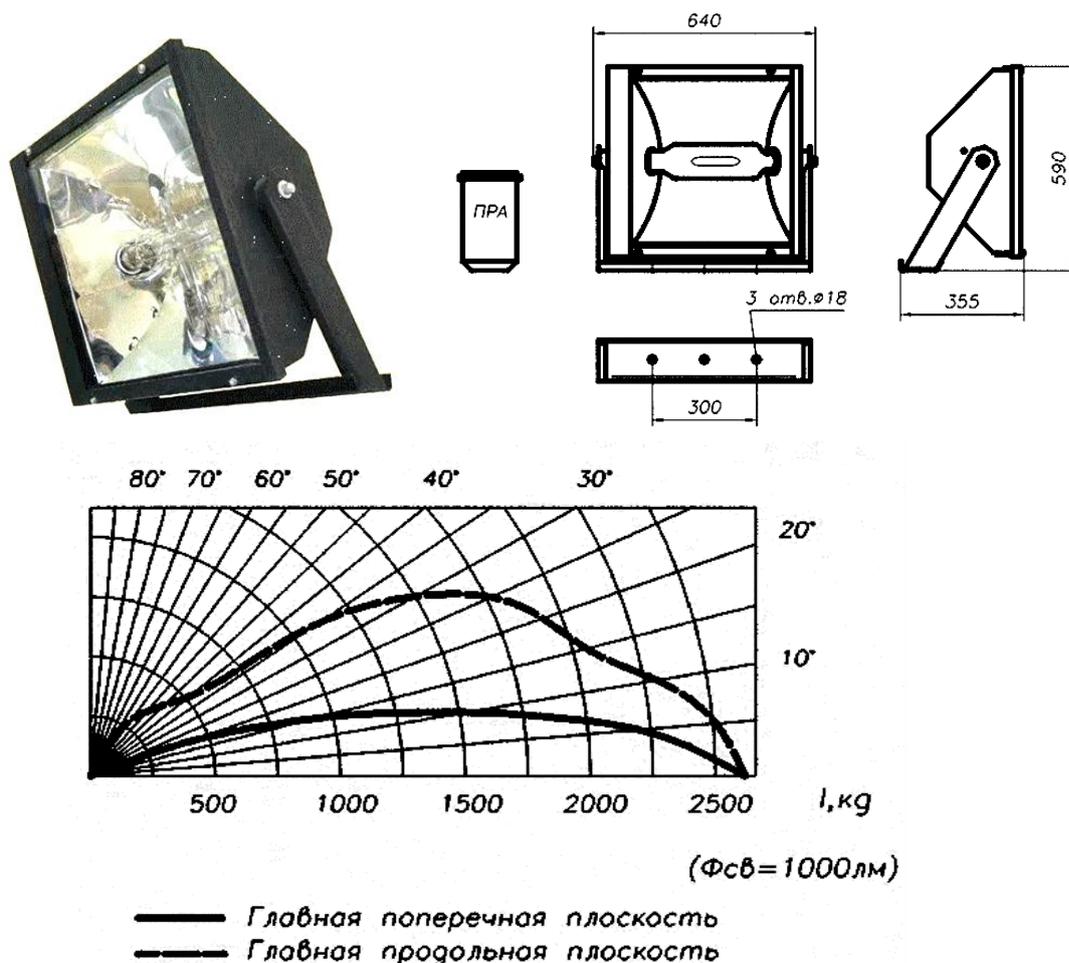


Рисунок 4.29 - Светильник ЖКУ12-1000-150

Технические характеристики:

Тип лампы	ДНаТ-1000
Мощность лампы, Вт	1000
Номинальное напряжение сети, В	220
Номинальная частота тока, Гц	50
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP55
Климатическое исполнение	УХЛ
Категория размещения	1
Защитный угол, град, не менее:	
в продольной плоскости	30
в поперечной плоскости	34
К.п.д., %, не менее	72
Тип кривой силы света в поперечной плоскости	К
Тип кривой силы света в продольной плоскости	Г
Тип кривой силы света в горизонтальной плоскости по ГОСТ 8045-82	осевой
Максимальная сила света, ккд	340
Тип отражателя	Зеркальный параболоцилиндрический
Масса (без ПРА), кг, не более	20
Пускорегулирующий аппарат (ПРА): Тип	1И 1000ДНаТ 46-001. УХЛ 1
Максимальная площадь проецируемой поверхности светильника, подвергаемой ветровой нагрузке, м <sup>2</sup>	0,3

Расчет [22]:

Стоимость электроэнергии с НДС: 2,7 руб/кВт.ч

Среднее число часов использования ламп в году:  $T_r = 4320$  час.

Исходные лампы КГ-5000:

Число светильников:  $N_{КГ} = 50$  шт.

Мощность:  $P_{КГ} = 5$  кВт.

Световой поток –  $\Phi_{КГ} = 110$  клм;

Срок службы –  $T_{КГ} = 2000$  час.

Цена –  $C_{КГ} = 520$  руб.

Часовые затраты на эксплуатацию установки:

$$Z_{чКГ} = N_{КГ} * (C_{эз} * P_{КГ} + C_{КГ} / T_{КГ}) = 688 \text{ руб.} \quad (4.30)$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_{гКГ} = Z_{чКГ} * T_r = 2972160 \text{ руб.} \quad (4.31)$$

Предлагаемые лампы:

Число светильников оставим неизменным:  $N_{ДНАТ} = 50$  шт.

Мощность:  $P_{\text{ДНАТ}}=1$  кВт.

Световой поток –  $\Phi_{\text{ДНАТ}}=130$  клм;

Срок службы –  $T_{\text{ДНАТ}}=12\ 000$  час.

Цена –  $C_{\text{ДНАТ}}=2180$  руб.

Часовые затраты на эксплуатацию установки:

$$Z_{\text{чДНАТ}}= N_{\text{ДНАТ}} * (C_{\text{ээ}} * P_{\text{ДНАТ}} + C_{\text{ДНАТ}} / T_{\text{ДНАТ}}) = 144,083 \text{ руб.} \quad (4.32)$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_{\text{гДНАТ}} = Z_{\text{чДНАТ}} * T_{\text{г}} = 622440 \text{ руб.} \quad (4.33)$$

Годовая экономия затрат:

$$\Delta_{\text{гДНАТ}} = Z_{\text{гКГ}} - Z_{\text{гДНАТ}} = 2349720 \text{ руб.} \quad (4.34)$$

Годовая экономия электроэнергии:

$$W_{\text{гДНАТ}} = T_{\text{г}} * (N_{\text{КГ}} * P_{\text{КГ}} - N_{\text{ДНАТ}} * P_{\text{ДНАТ}}) = 864 \text{ тыс кВт.ч.} \quad (4.35)$$

Цена светильников ЖКУ12-1000-150:  $C_{\text{св}}=9682$  руб.  
(предполагается замена светильников своими силами)

Стоимость новых светильников:

$$I_{\text{св}} = N_{\text{ДНАТ}} * C_{\text{св}} = 484100 \text{ руб.} \quad (4.36)$$

Стоимость нового комплекта ламп:

$$I_{\text{ДНАТ}} = N_{\text{ДНАТ}} * C_{\text{ДНАТ}} = 109000 \text{ руб.} \quad (4.37)$$

Требуемые единовременные затраты:

$$I_{\text{ДНАТ СВ}} = I_{\text{ДНАТ}} + I_{\text{св}} = 593\ 100 \text{ руб.} \quad (4.38)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$T_{\text{ок}} = I_{\text{ДНАТ СВ}} / \Delta_{\text{гДНАТ}} = 0,25 \text{ года.} \quad (4.39)$$

Стоимость заменяемых ламп учтена в эксплуатационных затратах.

Установка светильников под лампы типа ДРИ.

Проведем оценочный расчет экономической эффективности мероприятия по замене 30 светильников с лампами ДРЛ-700, используемых на участке по ремонту горного оборудования, на светильники под лампы ДРИ -400.

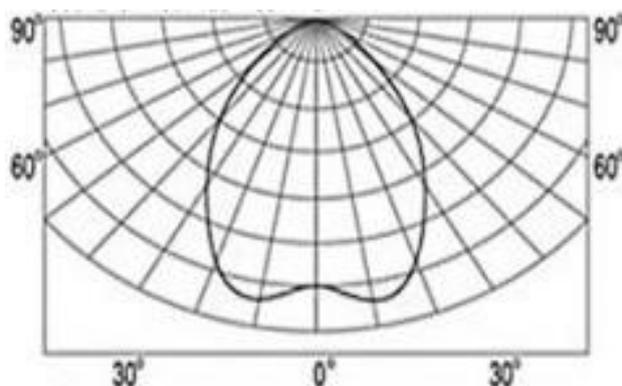


Рисунок 4.30 - Светильник ГСП 51-400-022 "МЕРКУРИЙ"

К установке предлагаются светильники представленные рисунке 7.3, серии ГСП 51. Например, светильник ГСП 51-400-022 "МЕРКУРИЙ" представленные на рисунке 4.30, с металлогалогенной лампой ДРИ 400-5 (ЛИСМА).

Технические характеристики светильника ГСП 51-400-022 "МЕРКУРИЙ":

- светильники предназначены для освещения производственных помещений с нормальными условиями труда, для освещения спортивных объектов, для освещения элементов транспортной инфраструктуры, для освещения торговых и выставочных центров и т.п.;
- светильники соответствуют классу защиты 1 от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0-75;
- в части воздействия механических факторов внешней среды - группа условий эксплуатации М2 по ГОСТ 17516.1-90;
- светильник соответствует климатическому соответствию «У» категории размещения 2 по ГОСТ 15150-69;
- степень защиты IP65;
- $\cos \phi$ , не менее 0,85 (компенсированный);
- КПД, не менее 60% (с защитным стеклом);
- способ крепления - на крюк;
- светораспределение по ГОСТ 17677 – П (прямого света);
- тип кривой силы света по ГОСТ 17677 – Г (глубокая);
- срок службы -10 лет.

Технические характеристики лампы ДРИ 400-5 (ЛИСМА):

Лампы разрядные металлогалогенные типа ДРИ в эллипсоидной колбе, предназначены для освещения открытых пространств, промышленных помещений, обеспечивая высокое качество цветопередачи ( $T_{цв}=4200\text{ К}$ ,  $R_a=65$ ). Лампы включаются в сеть переменного тока частотой 50 Гц

напряжением 220 или 380 В с соответствующей пускорегулирующей аппаратурой (ПРА) и импульсным зажигающим устройством (ИЗУ):

- мощность, Вт: 400;
- световой поток, лм: 36000;
- средняя продолжительность горения, ч: 10000;
- габариты, мм: L = 290.0, D = 122.0 H = 185.0;
- тип цоколя: E40;

Таким образом, лампа ДРИ-400-5 имеет несколько меньший световой поток и срок службы чем лампы ДРЛ-700. Для учета снижения светового потока необходимо установить дополнительные светильники, что, как уже отмечалось, должно быть подтверждено светотехническим расчетом.

Оценочный расчет экономической эффективности будем проводить для светотехнической установки с равным световым потоком.

При расчетах затрат на эксплуатацию не будем учитывать затраты на обслуживание осветительной установки (чистка светильников, замена ламп, текущие ремонты), т.к. эти затраты соизмеримы.

Расчет:

Стоимость электроэнергии с НДС: 2,7 руб/кВт.ч

Среднее число часов использования ламп в году:  $T_r = 2440$  ч.

Исходные лампы ДРЛ-700:

Число светильников:  $N_{дрл} = 30$  шт.

Мощность:  $P_{дрл} = 0,7$  кВт.

Световой поток –  $\Phi_{дрл} = 40,8$  клм;

Срок службы –  $T_{дрл} = 20\ 000$  ч.

Цена –  $C_{дрл} = 390$  руб.

Часовые затраты на эксплуатацию установки:

$$Z_{чдрл} = N_{дрл} * (C_{эз} * P_{дрл} + C_{дрл} / T_{дрл}) = 74,085 \text{ руб.} \quad (4.40)$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_{гдрл} = Z_{чдрл} * T_r = 180767,4 \text{ руб.} \quad (4.41)$$

Предлагаемые лампы:

Число светильников (приведенное по световому потоку):

$$N_{дри} = N_{дрл} * \Phi_{дрл} / \Phi_{дри} = 34 \text{ шт.} \quad (4.42)$$

Мощность:  $P_{дри} = 0,4$  кВт.

Световой поток –  $\Phi_{дри} = 36$  клм;

Срок службы –  $T_{дри} = 10\ 000$  ч.

Цена –  $C_{дри} = 454$  руб.

Часовые затраты на эксплуатацию установки:

$$Z_{\text{дри}} = N_{\text{дри}} * (\text{Ц}_{\text{ээ}} * P_{\text{дри}} + \text{Ц}_{\text{дри}} / T_{\text{дри}}) = 49,1436 \text{ руб.} \quad (4.43)$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_{\text{гдри}} = Z_{\text{дри}} * T_{\text{г}} = 119910,4 \text{ руб.} \quad (4.44)$$

Годовая экономия затрат:

$$\text{Э}_{\text{гдри}} = Z_{\text{гдрл}} - Z_{\text{гдри}} = 60857,02 \text{ руб.} \quad (4.45)$$

Годовая экономия электроэнергии:

$$W_{\text{гдри}} = T_{\text{г}} * (N_{\text{дрл}} * P_{\text{дрл}} - N_{\text{дри}} * P_{\text{дри}}) = 18,056 \text{ тыс. кВт.ч.} \quad (4.46)$$

Цена светильников ГСП 51-400-022 "МЕРКУРИЙ":  $\text{Ц}_{\text{гсп}} = 1975 \text{ руб.}$   
(предполагается замена светильников своими силами)

Стоимость новых светильников:

$$I_{\text{гсп}} = N_{\text{дри}} * \text{Ц}_{\text{гсп}} = 67150 \text{ руб.} \quad (4.47)$$

Стоимость нового комплекта ламп:

$$I_{\text{дри}} = N_{\text{дри}} * \text{Ц}_{\text{дри}} = 15436 \text{ руб.} \quad (4.48)$$

Требуемые единовременные затраты:

$$I_{\text{дри ГСП}} = I_{\text{дри}} + I_{\text{гсп}} = 82586 \text{ руб.} \quad (4.49)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$\text{Ток} = I_{\text{дри ГСП}} / \text{Э}_{\text{гдри}} = 1,35 \text{ года.} \quad (4.50)$$

Стоимость заменяемых ламп учтена в эксплуатационных затратах.

Замена ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

В осветительной установке административно-бытового комбината имеется значительное количество светильников с лампами накаливания. Рекомендуется проводить замену светильников рассчитанных под лампы накаливания на светильники с трубчатыми люминесцентными лампами. Особое внимание в этом случае необходимо уделять типу пускорегулирующей аппаратуры. Традиционная электромагнитная ПРА расходует до 20 % электроэнергии и обуславливает низкий коэффициент мощности осветительной установки ( $\cos\phi = 0,5$ ). Современная электронная ПРА (ЭПРА) имеет предельно низкое собственное потребление и обеспечивает  $\cos\phi > 0,95$ . Существует так же возможность повысить эффективность системы освещения заменив лампы накаливания на компактные люминесцентные лампы. Имея цоколь E-27 такая

лампа может непосредственно заменить лампу накаливания. Дополнительные затраты на монтаж отсутствуют.

Рассмотрим мероприятие по замене ламп накаливания используемых в осветительных установках АБК и грузовой автоколонны (230 и 101 лампа соответственно). Таким образом, всего к замене предлагается 331 лампа накаливания.

Затраты на демеркуризацию использованных КЛЛ включим в цену КЛЛ.

При покупке КЛЛ необходимо обращать внимание на цветовую температуру излучения лампы, что влияет на условия зрительного комфорта в помещениях. При выборе цветовой температуры ламп необходимо руководствоваться СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

Расчет:

Число заменяемых ламп:  $N_{\text{КЛЛ}} = 331$  шт.

Стоимость электроэнергии с НДС:  $C_{\text{ээ}} = 2,7$  руб/кВт.ч

Средне время работы ламп в году принимаем:  $T_{\text{г}} = 2880$  ч.

Цена КЛЛ:  $C_{\text{КЛЛ}} = 157$  руб.

Мощность КЛЛ:  $P_{\text{КЛЛ}} = 0,02$  кВт.

Срок службы КЛЛ:  $T_{\text{КЛЛ}} = 8000$  ч

Цена лампы накаливания (ЛН):  $C_{\text{ЛН}} = 9,2$  руб.

Мощность лампы накаливания (ЛН):  $P_{\text{ЛН}} = 0,095$  кВт.

Срок службы ламп накаливания:  $T_{\text{ЛН}} = 1000$  ч.

Часовые затраты на эксплуатацию установки с ЛН:

$$Z_{\text{чЛН}} = N_{\text{КЛЛ}} * (C_{\text{ээ}} * P_{\text{ЛН}} + C_{\text{ЛН}} / T_{\text{ЛН}}) = 113,1027 \text{ руб.} \quad (4.51)$$

Годовые затраты на эксплуатацию установки с ЛН:

$$Z_{\text{гЛН}} = Z_{\text{чЛН}} * T_{\text{г}} = 325735,78 \text{ руб.} \quad (4.52)$$

Часовые затраты на эксплуатацию установки с КЛЛ:

$$Z_{\text{чКЛЛ}} = N_{\text{КЛЛ}} * (C_{\text{ээ}} * P_{\text{КЛЛ}} + C_{\text{КЛЛ}} / T_{\text{КЛЛ}}) = 29,66588 \text{ руб.} \quad (4.53)$$

Годовые затраты на эксплуатацию установки с КЛЛ:

$$Z_{\text{гКЛЛ}} = Z_{\text{чКЛЛ}} * T_{\text{г}} = 85437,72 \text{ руб.} \quad (4.54)$$

Годовая экономия затрат:

$$\Delta_{\text{гКЛЛ}} = Z_{\text{гЛН}} - Z_{\text{гКЛЛ}} = 240298,1 \text{ руб.} \quad (4.55)$$

Годовая экономия электроэнергии:

$$W_{\text{гКЛЛ}} = N_{\text{КЛЛ}} * T_{\text{г}} * (P_{\text{КЛЛ}} - P_{\text{ЛН}}) = 71,496 \text{ тыс кВт.ч.} \quad (4.56)$$

Инвестиции на закупку новых ламп КЛЛ:

$$I_{\text{клл}} = N_{\text{клл}} * C_{\text{клл}} = 51967 \text{ руб.} \quad (4.57)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$\text{Ток} = I_{\text{клл}} / \Delta_{\text{клл}} = 0,22 \text{ года.} \quad (4.58)$$

Замена ламп ДРЛ на лампы ДНаТ с заменой ПРА.

При замене ламп ДРЛ на лампы ДНаТ далеко не всегда требуется менять светильник, часто бывает достаточно заменить пускорегулирующую аппаратуру. Однако, мероприятие по модернизации существующих светильников своими силами потребует отвлечь от производственных задач несколько квалифицированных электромонтеров, что сложно выполнить. Решение о модернизации существующих или о покупке новых светильников должно приниматься с учетом информации о состоянии существующих светильников и возможности проведения модернизации.

Проведем оценочный расчет мероприятия по модернизации существующих светильников с лампами ДРЛ-250, установленных на участке "Установка по обогащению угля".

Замене подлежат 296 ламп ДРЛ 250 Вт.

Вместо существующих ламп будем устанавливать лампы ДНаТ-150 Вт, обеспечивающие несколько больший световой поток.

Поскольку на участке "Установка по обогащению угля" нет избытка реактивной мощности существующую ПРА заменим на ЭПРА для светильников с лампами ДНаТ. Это позволит не только дополнительно сэкономить до 20% электроэнергии за счет снижения потерь активной мощности в ПРА, но и обеспечит высокий коэффициент мощности ( $\cos\phi > 0.98$ ) осветительной установки.

В конструкции ЭПРА так же предусматриваются защиты от аномальных режимов – обрыв в цепи лампы и пониженного напряжения сети, стабилизация мощности при изменении напряжения сети в широких пределах (от 160 до 264В). Рабочий диапазон температур от -45°C до +55°C.

Расчет:

Число заменяемых ламп:  $N = 296$  шт.

Среднее время работы ламп в году:  $T_{\text{г}} = 3000$  ч.

Стоимость электроэнергии с НДС:  $C_{\text{ээ}} = 2,7$  руб/кВт.ч

Цена лампы ДРЛ-250:  $C_{\text{дрл}} = 99$  руб.

Мощность ламп ДРЛ:  $P_{\text{дрл}} = 0,25$  кВт.

Срок службы ламп ДРЛ-250:  $T_{\text{дрл}} = 12000$  ч.

Цена лампы ДНаТ-150:  $C_{\text{днат}} = 224,05$  руб.

Мощность ламп ДНаТ:  $P_{\text{днат}} = 0,15$  кВт.

Срок службы ламп ДНаТ-150:  $T_{\text{днат}} = 16000$  ч.

Цена ЭПРА:  $C_{\text{эпра}} = 1850$  руб.

Требуемые инвестиции на замену 296 ламп с электронной пускорегулирующей аппаратурой:

$$И_{днат} = N * (C_{днат} + C_{эпра}) = 613918,8 \text{ руб.} \quad (4.59)$$

Часовые затраты на эксплуатацию установки с лампами ДРЛ:

$$Z_{чдрл} = N * (C_{ээ} * P_{дрл} + C_{дрл} / T_{дрл}) = 202,224 \text{ руб.} \quad (4.60)$$

Годовые затраты на эксплуатацию установки с лампами ДРЛ:

$$Z_{гдрл} = Z_{чдрл} * T_{г} = 606726 \text{ руб.} \quad (4.61)$$

Часовые затраты на эксплуатацию установки с лампами ДНаТ:

$$Z_{чднат} = N * (C_{ээ} * P_{днат} + C_{днат} / T_{днат}) = 124,0249 \text{ руб.} \quad (4.62)$$

Годовые затраты на эксплуатацию установки с лампами ДНаТ:

$$Z_{гднат} = Z_{чднат} * T_{г} = 372074,8 \text{ руб.} \quad (4.63)$$

Годовая экономия затрат:

$$\Delta_{гднат} = Z_{гдрл} - Z_{гднат} = 234651,2 \text{ руб.} \quad (4.64)$$

Годовая экономия электроэнергии:

$$W_{гднат} = N * T_{г} * (P_{дрл} - P_{днат}) = 88,8 \text{ тыс. кВтч/год.} \quad (4.65)$$

Срок окупаемости мероприятия:

$$T_{ок} = И_{днат} / \Delta_{гднат} = 2,62 \text{ года.} \quad (4.66)$$

В предложенных мероприятиях необходимо дополнительно учесть все возможные риски. Например, низкое качество электроламп и пускорегулирующей аппаратуры, а так же кражи.

В дальнейшем рекомендуется поэтапная замена всех ламп ДРЛ на лампы ДНаТ и ДРИ.

Итого, по рассмотренным мероприятиям, экономия электроэнергии в системе освещения составит:

$$W_{осв} = 864 + 18,056 + 71,496 + 88,8 = 1042,352 \text{ тыс. кВтч/год.}$$

Так как, С – стоимость электроэнергии одного кВт/часа, т.е.: С=2,7 руб.кВт.ч.

Найдём годовой экономический эффект по рассмотренным мероприятиям:

$$\mathcal{E} = C * W_{\text{осв}} = 2,7 * 1042,352 = 2814,35 \text{ тыс.руб.} \quad (4.67)$$

#### **4.4.2 Автоматизация системы управления освещения на открытых горных выработках и отвалах с помощью применения фотодатчиков**

Управление внутренними и наружными осветительными приборами на разрезе осуществляется вручную. Предлагаем, автоматизировать систему управления освещения включением/отключением светильников посредством фотодатчиков (фотореле), использовать для системы освещения открытых горных выработок и отвалов. Существующая на предприятии система искусственного освещения обладает очень низкой энергоэффективностью, что обусловлено использованием морально устаревших источников света и низким уровнем автоматизации управления осветительными приборами.

Основные преимущества использования фотореле:

1. Повышается уровень безопасности. Автоматика гарантирует своевременное включение освещения в темное время суток.
2. Значительная экономия электроэнергии. Фотореле вовремя выключает освещение и уменьшает перерасход электроэнергии.
3. Увеличивает комфортность, так как включение и выключение света происходит без вмешательства человека.
4. Автоматическое включение света на загородном участке отпугивает злоумышленников.

Недостатком применения фотореле является то, что его установка требует дополнительных расходов. Для повышения безопасности, комфортности и экономии электроэнергии используются системы управления освещением с помощью фотореле. В продаже имеется много различных фотореле разной сложности и стоимости.

При выборе фотореле для управления освещением необходимо оценить мощность светильников и необходимость регулировки различных параметров системы освещения. Важным вопросом является выбор компании – производителя и стоимости фотореле.

Одна из причин перерасхода электроэнергии - бесцельное горение светильников в утреннее и дневное время, когда естественного света достаточно. Причина этого в том, что при медленном нарастании освещённости человек не может своевременно определить момент, когда пришла пора выключить искусственный свет. Особенно часто такая ситуация встречается на предприятиях и учреждениях. Перерасход электроэнергии трудно оценить количественно. Если предположить, что искусственный свет выключают на 30 мин позже момента наступления достаточной естественной освещённости, а система освещения состоит из 20 ламп ЛБ-40, что примерно соответствует обычному рабочему или учебному помещению, то за год будет

перерасходовано около 144 кВт ч электроэнергии. На самом деле свет зачастую не выключают до самого вечера, поэтому такую оценку можно считать оптимистичной, перерасход, гораздо больше. Чтобы предотвратить перерасход, обычно применяют автоматические системы управления освещением. Сложные централизованные системы такого рода часто оказываются недоступными из-за их высокой цены и трудоёмкости установки. Фотореле, которые включают и выключают освещение в заданное время суток независимо от реальной освещённости, требуют, как правило, систематического обслуживания - корректировки моментов срабатывания. Устройства на базе датчиков присутствия чувствительны к помехам, кроме того, они работают только при условии постоянного перемещения людей по помещению или создания ими достаточно громкого акустического шума. Традиционные фотореле с наступлением сумерек включают освещение повторно, когда в нём в большинстве случаев уже нет необходимости.

Предлагаемое фотореле автоматически выключает электрический свет, когда естественного света стало достаточно, и не включает вечером, даже если выключатель оставлен во включённом состоянии. При всём этом устройство позволяет включить свет вручную, если в этом есть необходимость. Фотореле не требует установки дополнительных органов управления, довольно легко встраивается в существующую электропроводку и может управлять лампами любой мощности. Пороговый уровень освещённости, на которую оно реагирует, регулируют при его установке. К основным характеристикам фотореле относятся следующие параметры:

- напряжение питания;
- мощность нагрузки;
- порог срабатывания;
- задержка включения и выключения реле;
- потребляемые мощности реле при срабатывании и в дежурном режиме;
- степень защиты;
- диапазон рабочих температур;
- габариты и вес реле.

По характеристикам для автоматической системы управления освещением выбираем фотореле российской компании ФР-10Т, представлено на рисунке 4.31 [23].



Рисунок 4.31 - Фотореле ФР-10Т

Фотореле типа ФР-10Т предназначено для автоматического включения и отключения уличного освещения, мест общего пользования, индивидуальных рабочих мест и т.п. посредством контроля уровня освещенности фотодатчика, а также для применения в качестве комплектующего изделия в устройствах промышленной автоматики.

По условиям эксплуатации, фотодатчик ФР-10Т подходит для нашего предприятия: диапазон рабочих температур от  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Воздействие по сети питания импульсных помех, не превышающих двойную величину напряжения питания и длительностью не более 10 мкс. Относительная влажность окружающего воздуха до 93% при температуре  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая агрессивных паров и электропроводящей пыли в количестве, влияющем на параметры реле. Степень защиты реле IP45, могут устанавливаться под открытым небом. Реле предназначено для монтажа на столб или на плоскость.

Фотореле ФР-10Т представляет собой электронный прибор, собранный в пластмассовом корпусе. Фотодатчик, индикатор срабатывания и схема изделия собрана на печатной плате. Внешние цепи присоединяются к контактным ламелям. При включении питания, если освещенность датчика ниже установленного порога срабатывания, зажигается светодиод в верхней части реле под матовым колпаком. По истечении 60с срабатывает исполнительное реле. При повышении освещенности выше порога срабатывания гаснет светодиод, и спустя 60с, выходное реле отключается.

Для освещения открытых горных выработок и отвалов предлагаемые к применению 50 светильников ЖКУ12-1000-150 с мощностью 1000Вт, предлагается автоматизировать фотодатчиками освещенности типа ФР-10Т. Но, на каждый светильник монтировать фотореле затратное мероприятие, так как стоимость одного датчика 3386 рублей. Если фотореле ограничено по току, то не следует использовать светильники, общая потребляемая мощность которых составляет 1000Вт. Такая нагрузка может существенно сократить срок службы сумеречного выключателя. Подключение фотореле, схема которого предусматривает использование магнитного пускателя, осуществляется в тех случаях, когда нагрузка на прибор намного превышает его мощность. В данном случае, управление катушкой контактора или пускателя выполняется с помощью силовых контактов. Ограничение нагрузки на прибор происходит за счет наибольшего допустимого тока на силовых контактах магнитного пускателя.

Однако нередко суммарная мощность осветительных приборов может превышать номинальную мощность этого реле. В таких случаях электропитание светильников можно подать через главные контакты магнитного пускателя с номиналом по току, соответствующем (превышающим) токи потребления нагрузки. Рабочее напряжение его катушки должно быть 220 В. Как видно из схемы представлена на рисунке 4.32, “отходящие” провода фотореле подключаются не к мощным приборам освещения, а питают катушку пускателя КМ. При срабатывании (включении) реле на катушку магнитного пускателя подается питающее напряжение, что вызывает втягивание якоря с

силовыми контактами пускателя. Замыкание главных контактов последнего включит светильники. При наступлении светлого времени суток размыкание контактов сумеречного выключателя обеспечит разрыв питающей цепи катушки пускателя, размыкание его главных контактов и отключение нагрузки.

Такой способ подключения окажется востребованным для реализации системы автоматического управления большим количеством мощных светильников. Например, для освещения протяженных по длине улиц, больших площадей, крупных автостоянок и т.д.

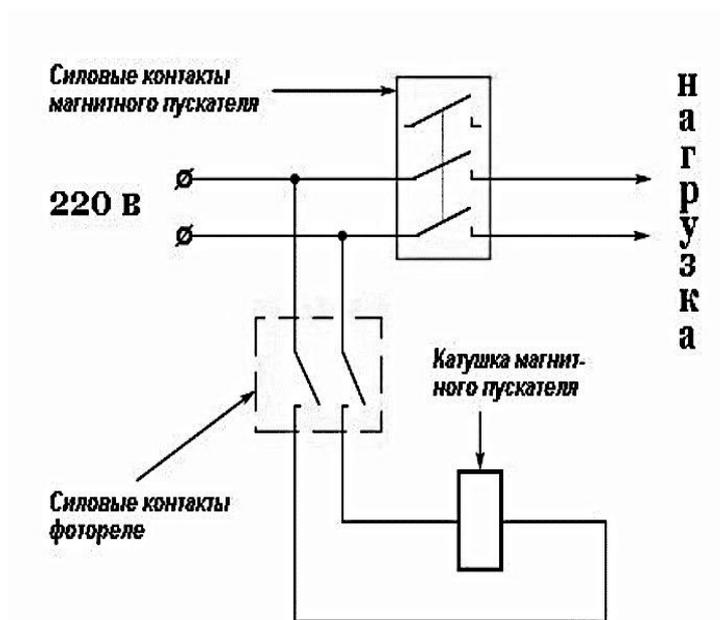


Рисунок 4.32 - Схема подключения фотореле

Для нашего варианта подходит аналоговое фото реле ФБ-6 (контактное 3x60А/ІР56), производитель НТК Электроника (Россия), стоимостью с монтажом 4500 руб., представленное на рисунке 4.33, герметичное фотореле на три фазы (трехфазная система освещения) [24].



Рисунок 4.33 - Аналоговое фотореле ФБ-6

Общие сведения:

1. Светочувствительное реле предназначено для автоматического включения освещения в сумеречное время и отключения утром по настроенной освещенности.

2. Область применения - управление силовыми цепями переменного тока, рассчитанными на питание от промышленной сети.

3. Прибор коммутирует нагрузку магнитным пускателем (контактором).

4. Плавная регулировка порога срабатывания и независимая от включенной нагрузки.

5. Индикатор нагрузки и настройки.

6. Защита от кратковременного изменения интенсивности освещения.

7. Прибор используется для наружной установки.

Технические характеристики:

1. Номинальное напряжение сети - 220 (380) В.

2. Номинальная частота - Гц 50.

3. Максимальный коммутируемый ток - 3 x 60 А.

4. Мощность, потребляемая от сети - 5 Вт.

5. Диапазон срабатывания - от захода солнца до окончания сумерек.

6. Задержка выключения/включения - 30/5 сек.

7. Механическая износостойкость, циклов в/о не менее 100 000 раз.

8. Габаритные размеры - 208x117x75 мм.

9. Степень защиты реле - IP 56.

10. Климатическое исполнение - УХЛ - 1.

11. Масса - 1745 г.

12. Условия эксплуатации:

– колебания электросети + – 15% от номинала;

– температура окружающей среды от - 40 до + 30 С.

Для технико-экономического сравнения вариантов необходимо рассчитать методом приведённых затрат. Экономическим критерием эффективности варианта является минимум приведенных затрат. Выполним расчёт двух вариантов:

– I вариант, без применения фотореле;

– II вариант, с применением фотореле.

Расчет:

Стоимость электроэнергии с НДС:  $C_{э3} = 2,7$  руб/кВт.ч

Среднее число часов использования ламп в году, без фотореле:  $T_r = 4320$  ч.

Исходные лампы ДНаТ-1000 :

Число светильников:  $N_c = 50$  шт.

Мощность светильника:  $P_c = 1$  кВт.

Предлагаемые фотореле аналоговое ФБ-6 (контактное 3x60А/IP56) :

На практике, искусственный свет выключают на 30 мин позже момента наступления достаточной естественной освещённости, то среднее число часов использования ламп в году, с применением фотореле:  $T_{гфр} = 4197$  ч.

Число светильников оставим неизменным:  $N_c = 50$  шт.

Мощность фотореле:  $P_{\text{фр}} = 0,005$  кВт.

Стоимость и монтаж фотореле:  $C_{\text{фр}} = 4500$  руб = 4,5 тыс.руб.

Рассчитаем I вариант, без применением фотореле.

Часовые затраты на эксплуатацию установки без применением фотореле:

$$Z_c = N_c * C_{\text{ээ}} * P_c = 50 * 2,7 * 1 = 135 \text{ руб.} \quad (4.68)$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_I = Z_c * T_r = 135 * 4320 = 583200 \text{ руб} = 583,2 \text{ тыс.руб} \quad (4.69)$$

Рассчитаем II вариант, с применением фотореле.

Издержки на эксплуатацию установки с применением фотореле:

$$Z_{\text{фр}} = (N_c * C_{\text{ээ}} * P_c) + (P_{\text{фр}} * C_{\text{ээ}}) \quad (4.70)$$

$$Z_{\text{фр}} = (50 * 2,7 * 1) + (0,005 * 2,7) = 135,013 \text{ руб}$$

Годовые затраты на эксплуатацию:

$$Z_{\text{гфр}} = Z_{\text{фр}} * T_{\text{фр}} = 135,013 * 4197 = 566649,56 \text{ руб} = 566,6 \text{ тыс.руб} \quad (4.71)$$

Экономическим критерием эффективности варианта является минимум приведенных затрат:

$$Z_{II} = E_H * C_{\text{фр}} + Z_{\text{гфр}} \quad (4.72)$$

$$Z_{II} = 0,12 * 4500 + 566649,56 = 567189,56 \text{ руб} = 567,19 \text{ тыс.руб}$$

где  $E_H = 0,12$  – нормативный коэффициент;

$C_{\text{фр}}$  – единовременные капитальные затраты;

$Z_{\text{гфр}}$  – ежегодные эксплуатационные издержки;

Расхождение по затратам составит:

$$z = \frac{Z_I - Z_{II}}{Z_I} * 100\% = \frac{583,2 - 567,19}{583,2} * 100\% = 2,7\% > 2,5\% \quad (4.73)$$

Расхождение между затратами составляет  $2,7\% > 2,5\%$ , следовательно, варианты неравноценны, применение установки аналогового фотореле ФБ-6, целесообразно. Годовая экономия составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = Z_I - Z_{\text{гфр}} = 583,2 - 566,6 = 16,6 \text{ тыс.руб.} \quad (4.74)$$

Срок окупаемости мероприятия по установке аналогового фотореле ФБ-6:

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{K}{\text{Эгод}} = \frac{4,5}{16,6} = 0,27 \text{ год} \quad (4.75)$$

где  $K = 4500 \text{ руб} = 4,5 \text{ тыс.руб}$  – капитальные затраты, т.е. стоимость и монтаж фотореле;

Использование разработанного мероприятия по установке аналогового фотореле ФБ-6(контактное 3х60А/Р56), позволит снизить непроизводительные затраты электроэнергии на открытых горных выработок и отвалов, уменьшить количество аварийных ситуаций, снизить трудоемкость обслуживания.

#### 4.4.3 Автоматизация освещения в местах общего пользования с помощью использование датчиков движения административно-бытового комбината

Освещение в туалетных комнатах, гардеробе и подсобных помещениях административно-бытового комбината управляется обычными механическими выключателями. Человеческий фактор (забывчивость персонала) – причина постоянной работы осветительных приборов в этих помещениях в течение рабочего дня, несмотря на потребность в освещении в течение кратковременного периода времени.

Предлагается оснастить осветительные приборы устройствами на базе датчиков присутствия. Это усовершенствование позволит включать освещение только в случае присутствия человека в помещении.

В настоящее время на рынке электротехнических устройств существует ряд недорогих изделий, позволяющих автоматизировать управление освещением. Устройство предназначено для монтажа на стене или потолке для использования совместно с ранее установленными светильниками. Встроенное реле позволит постепенно снижать электрическую нагрузку на люминесцентные лампы накаливания, что позволит увеличить срок их службы.



Рисунок 4.34 - Схема подключения датчика движения

Датчик движения - это прибор со встроенным сенсором, представленный на рисунке 4.34., который отслеживает уровень ИК излучения. При появлении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) в поле зрения датчика цепь освещения замыкается при условии соответствия уровня освещённости.

Главное преимущество датчиков движения для монтажников – это простая установка и их настройка для последующей работы: не требуется прокладка специальных сетей управления или применение дополнительного дорогостоящего оборудования. Датчики устанавливаются в разрыв электрической цепи и сразу готовы к эксплуатации.

Главная цель данного оборудования – обеспечить пользователю комфорт и экономию энергии. Успешный опыт эксплуатации датчиков движения показывает, что они позволяют сэкономить 70–80 % электрической энергии, затрачиваемой на освещение в здании.

Несмотря на почти трехкратное различие в стоимости энергии, сроки окупаемости установки датчиков движения для России составляют 1–2 года, в зависимости от темпов роста цен на электроэнергию и мощности применяемого осветительного оборудования. Учитывая общий срок эксплуатации зданий (40–50 лет), срок окупаемости данного оборудования мал, а применение данного решения позволяет владельцу здания или управляющей компании экономить значительные средства при эксплуатации объекта.

Датчики движения устанавливаются в административных и производственных зданиях. Целесообразна их установка в тех помещениях, где человек находится непродолжительное время (коридоры, лестницы, кладовые комнаты и т.д.).

Методика расчёта эффективности использования датчиков движения административно-бытового комбината (АБК):

Оценим годовую экономию электрической энергии в натуральном и денежном выражении.

Минимальная освещённость принимается по норме:  $E = 300$  Лк.

Коэффициент запаса лампы принимаем  $k = 1.2$  для люминесцентных ламп.

Площадь помещения:  $S_p = 16 \cdot 20 = 320$  м<sup>2</sup>.

$Z$  - коэффициент минимальной освещённости принимается 1.1.

Выбираем лампы ЛБ-18.

$P_l = 18$  Вт

$g = 0.45$  лм/Вт

Расчет:

Для расчёта количества ламп применим формулу:

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S_p \cdot Z}{F \cdot h} = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 320}{810 \cdot 0,58} = 337 \text{ шт.}, \quad (4.76)$$

где  $E$  [Лк] - норма освещённости;

$k$  - коэффициент запаса лампы, необходимый для компенсации потерь освещения вследствие её запылённости. Принимается 1.2 для люминесцентных и ламп накаливания, для газоразрядных 1.4.;

$S_p$  [м<sup>2</sup>] - площадь помещения.;

$Z$  - коэффициент минимальной освещённости, принимаемый для ламп накаливания и газоразрядных ламп высокого давления 1.15, для люминесцентных ламп 1.1.;

$F$  - световой поток 1 лампы.

Определим световой поток 1 лампы по формуле:

$$F = g \cdot P_{\text{л}} = 18 \cdot 0,45 = 810 \text{ лм.}, \quad (4.77)$$

где  $P_{\text{л}}$  - электрическая мощность лампы, Вт

$g$  - светоотдача от лампы (для люминесцентных равна 0.45лм/Вт).

$h$  - коэффициент использования светового потока, представленный в таблице 4.7., зависит от индекса помещения, высоты подвеса светильников, типа ламп.

Индекс помещения  $i$  определяется по формуле:

$$i = \frac{AB}{H_p(A + B)} = \frac{16 \cdot 20}{(16 + 20) \cdot 3} = \frac{320}{36 \cdot 3} = 2,96, \quad (4.78)$$

где  $A$  [м] и  $B$  [м] - длина и ширина помещения, м;

$H_p$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Таблица 4.7 - Значение коэффициента использования светового потока  $h$

$i$	Светлые административно-конторские помещения	Производственные помещения с незначительными пылевыделениями	Пыльные производственные помещения
0,5	28	21	18
1	49	40	36
3	73	61	58
5	80	67	65

Зная количество светильников и единичную мощность, можем определить суммарную осветительную мощность:

$$P_{\Sigma} = P_1 \cdot N = 337 \cdot 18 = 6066 \text{ Вт.}, \quad (4.79)$$

Пусть до установки датчика освещение работало в течение 8 ч в день. После установки датчика движения освещение включается только в случае присутствия человека в зоне действия датчика. На основании

экспериментальных данных время работы освещения при наличии датчика снижается на 40-50 %. Годовая экономия электроэнергии составит:

$$\Delta W = \frac{P_{\Sigma} \cdot n_1 \cdot k_3}{1000} \cdot 12$$

$$\Delta W = \frac{6066}{1000} \cdot (8 \cdot 30) \cdot 0,4 \cdot 12 = 6987,96 \text{ кВт/ч}$$
(4.80)

где  $n_1$  - соответственно число часов работы системы освещения в месяц до установки датчика;

$k_3$  - коэффициент экономии (на основе практических данных).

Годовая экономия в денежном выражении при тарифе  $T_{\text{э.э.}} = 2,7$  руб./кВт.:

$$\text{Э} = \Delta W \cdot T_{\text{э.э.}} = 6987,96 \cdot 2,7 = 18867,49 \text{ руб}$$
(4.81)

#### 4.5 Снижение тока возбуждения сетевого двигателя на ЭШ 11/70

Специфической особенностью угольного разреза, в отличие от промышленного предприятия, является избыток реактивной мощности, генерируемой синхронными сетевыми двигателями экскаваторов. При отсутствии достаточно мощных потребителей реактивной мощности поблизости возникают значительные перетоки реактивной энергии в систему. Это приводит к значительному перерасходу активной мощности, затрачиваемой на генерацию и передачу реактивной энергии [25].

Работа синхронных двигателей одноковшовых экскаваторов характеризуется довольно значительными изменениями генерируемой реактивной мощности. Экскаваторы не имеют автоматических регуляторов возбуждения синхронных двигателей. Наладчиками устанавливаются значения токов возбуждения для номинального режима. Попытки снизить ток возбуждения «вслепую» могут привести к выпадению двигателя из синхронизма. Для выбора рационального режима возбуждения необходимо иметь U-образные и рабочие характеристики синхронного двигателя и располагать данными о реальных нагрузках экскаватора. U-образная характеристика представляет собой зависимость тока статора от тока возбуждения при постоянной частоте, напряжении на выводах и полезной мощности на валу двигателя, представлена на рисунке 4.35.

Для надежного удержания двигателя в синхронизме, необходимо выставлять ток возбуждения не менее тока, при котором обеспечивается  $\cos\varphi=1$  на максимальной нагрузке. Таким образом, определение фактических значений параметров электропотребления экскаватора дает возможность выбора режима возбуждения синхронного двигателя экскаватора.

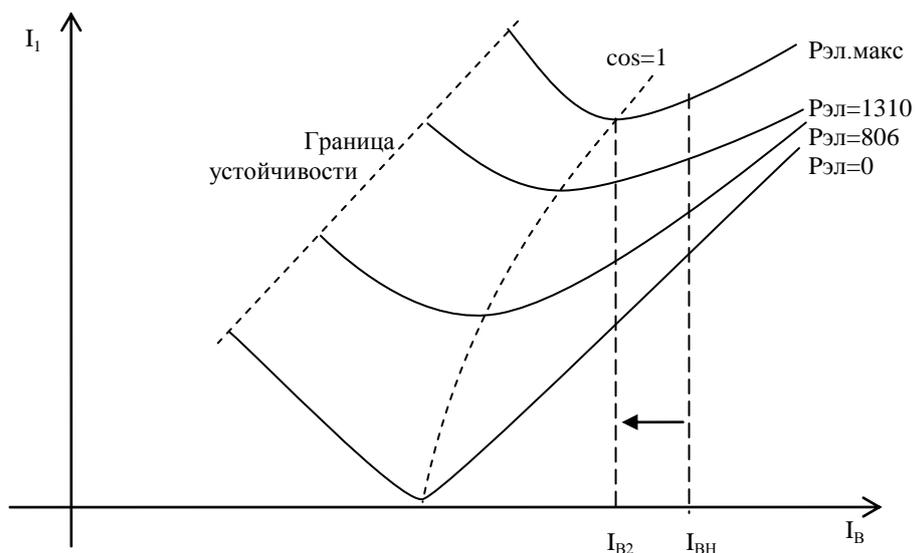


Рисунок 4.35 - U-образные характеристики синхронного двигателя

На рисунках 4.36-4.38 представлены графики активной и реактивной мощности, потребляемой сетевыми двигателями экскаваторов ЭШ 20/90 №40 (номинальная мощность 2500 кВт), ЭКГ-15 №15 (номинальная мощность 1250 кВт) и ЭШ 11/70 №44 (номинальная мощность 1250 кВт).

Графики трехфазной мощности, 25.10.2012

— P, кВт — Q, кВАр

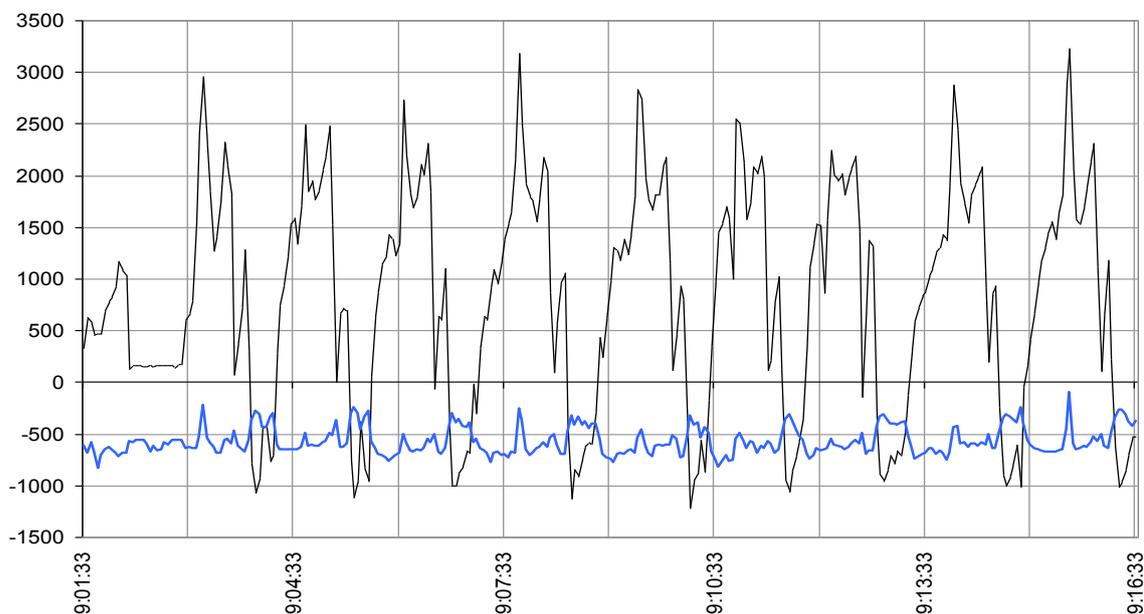


Рисунок 4.36 - Графики активной и реактивной мощности экскаватора ЭШ 20/90 №40



Рисунок 4.37 - Графики активной и реактивной мощности экскаватора ЭКГ-15 №15



Рисунок 4.38 - Графики активной и реактивной мощности экскаватора ЭШ 11/70 №44

Данные о генерируемой реактивной мощности экскаваторов представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Генерируемая реактивная мощность по графикам

Экскаватор	Минимальная генерируемая реактивная мощность, кВАр	Средняя генерируемая реактивная мощность, кВАр
ЭШ 20/90 №40	96,9876	570,125
ЭКГ-15 №15	26,8327	391,581
ЭШ 11/70 №44	576,284	741,551

Из представленных данных видно, что на синхронном двигателе экскаватора ЭШ 11/70 №44 возможно снизить ток возбуждения, что обеспечит значительное снижение генерируемой им реактивной мощности. Поскольку на экскаваторе ЭКГ-15 №15 установлен аналогичный двигатель, а максимальная нагрузка на нем незначительно превышает максимальную нагрузку двигателя ЭШ 11/70 №44 можно предположить, возможность снижения средней генерируемой реактивной мощности двигателем экскаватора ЭШ 11/70 №44 как минимум на 350 кВАр.

Оценим экономический эффект мероприятия.

Снижение уровня генерируемой реактивной мощности приведет к снижению потерь активной мощности в двигателе и в сети.

Уровень потерь на генерацию реактивной мощности в двигателе будем оценивать по формуле:

$$\Delta P_Q = D_1 \frac{Q}{Q_n} + D_2 \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2, \quad (4.82)$$

где  $Q_n$ ,  $Q$  – соответственно номинальная и генерируемая реактивные мощности двигателя;

$D_1$ ,  $D_2$  – постоянные для данного двигателя коэффициенты, зависящие от типа двигателя, его мощности и скорости вращения.

Поскольку для двигателя СДЭ2-16-46-6У2 не удалось найти коэффициенты  $D_1$  и  $D_2$  будем использовать коэффициенты для аналогичного по параметрам двигателя серии СДН:

$$D_1 = 4,74 ; D_2 = 4,42.$$

Тогда, потери на генерацию реактивной мощности в двигателе для средней генерируемой мощности 741 кВАр:

$$\Delta P_{741} = 11,6 \text{ кВт.}$$

Потери на генерацию реактивной мощности в двигателе для средней генерируемой мощности 391 кВАр:

$$\Delta P_{391} = 4,61 \text{ кВт.}$$

Снижение потерь на генерацию реактивной мощности:

$$\Delta P_{741} = \Delta P_{741} - \Delta P_{391} = 6,99 \text{ кВт.} \quad (4.83)$$

Экономия потерь активной энергии за год, из расчета 8030 рабочих часов:

$$\Delta W_{дв} = 56,14 \text{ тыс.кВт.час.} \quad (4.84)$$

К сожалению, рассчитать полные потери в распределительной сети не представляется возможным из-за постоянной смены ее конфигурации и отсутствия данных о работающих рядом потребителях реактивной энергии.

Рассчитаем потери в питающем гибком кабеле  $3 \times 70 \text{ мм}^2$ , длиной 330 м.

Активное сопротивление кабеля:

$$r = r_0 * L = 0,256 * 0,33 = 0,08448 \text{ Ом.} \quad (4.85)$$

Для расчета потерь в гибком кабеле в режиме до и после снижения тока возбуждения воспользуемся методом среднеквадратичного тока (среднеквадратичной мощности):

$$\Delta W_{кл1} = 8760 \frac{S_{СРКВ1}^2}{U_{ном}^2} r = 11,946 \text{ тыс.кВт.час,} \quad (4.86)$$

$$\Delta W_{кл2} = 8760 \frac{S_{СРКВ2}^2}{U_{ном}^2} r = 4,09 \text{ тыс.кВт.час,} \quad (4.87)$$

где  $S_{СРКВ1} = 762 \text{ кВА}$  - среднеквадратичная мощность, вычисленная по графику нагрузки за 3 суток наблюдения;

$S_{СРКВ2} = 446 \text{ кВА}$  - среднеквадратичная мощность, при снижении генерируемой реактивной мощности на 350 кВАр.

Тогда экономия потерь активной энергии в гибком кабеле за год:

$$\Delta W_{кл} = \Delta W_{кл1} - \Delta W_{кл2} = 7,856 \text{ тыс.кВт.час} \quad (4.88)$$

Суммарная экономия потерь активной энергии в двигателе и кабеле:

$$\Delta W = \Delta W_{кл} + \Delta W_{дв} = 63,996 \text{ тыс.кВт.час} \quad (4.89)$$

Суммарная экономия затрат на активную энергию с учетом среднегодового в базовом 2016 году тарифа на электроэнергию, Цээ =2,7 руб/кВт.час:

$$\text{Э} = \Delta W * \text{Цээ} = 63,996 * 2,7 = 127,48 \text{ тыс.руб.} \quad (4.90)$$

#### **4.6 Система управления горнотранспортным комплексом «Карьер»**

В последнее десятилетие XX века информационные технологии стали широко применяться в горнодобывающей промышленности. Падение цен на металлы в этот период и, как следствие этого, экономический спад в горнодобывающих отраслях промышленности стали своеобразным стимулом к развитию и внедрению на горных предприятиях информационных технологий для решения задачи планирования и управления производством. Основная цель внедрения заключалась в повышении эффективности работы горного предприятия за счет улучшения организации производства, оптимизации ведения горных работ, минимизации затрат и потерь на всех этапах добычного цикла и, как следствие, снижении себестоимости конечной продукции [26].

Эффективная работа современных горнодобывающих предприятий невозможна без развитого горнотранспортного комплекса (ГТК), включающего в свой состав большое количество машин и оборудования различного назначения. Поэтому сегодня на предприятиях значительное внимание уделяется увеличению производительности оборудования, организации планомерного его ремонта и обслуживания, обеспечению экономии всех видов материальных ресурсов, снижению расхода топлива, шин, оптимизации загрузки транспортных средств и т.д. Решение этих задач и обеспечение эффективности эксплуатации ГТК в настоящее время невозможно без использования инженерными и управленческими службами горнодобывающих предприятий современных технологий и, в частности, систем автоматизации ГТК. Среди всех видов технологических процессов при добыче полезных ископаемых (буровзрывные работы, погрузка, отвалообразование) в себестоимости добычи 1 т горной массы наибольший удельный вес (до 50-60%) и наибольшие энергозатраты приходятся на транспортировку.

Карьерный транспорт – это сложно-структурная и наиболее динамичная технологическая система карьера и управление этой системой нельзя назвать простым. Необходимо учитывать, что за последние 10 лет существенно усложнились горнотехнические условия карьеров, глубина которых составляет сейчас в среднем 300...350, а иногда и 400...500 м. Кроме того, значительно изменился типаж транспортных средств, их конструктивная сложность, что в наибольшей степени относится к карьерному автотранспорту. Это привело к росту стоимости транспортных средств. Чтобы окупить расходы на закупку дорогостоящего оборудования в условиях современного рынка необходимо увеличивать эффективность его эксплуатации. И в первую очередь нужно решить одну из самых актуальных на современном этапе задачу – задачу

разработки и внедрения на добывающих предприятиях современной эффективной системы управления горнотранспортным комплексом или, иначе говоря, системы диспетчеризации.

Подобные системы разрабатывались и успешно применялись в России еще в конце 70-х годов прошлого века (АСУ ТП с разным уровнем иерархии и сложности решаемых задач). Но сегодня они уже не соответствуют требованиям, предъявляемым к ним современными условиями рынка. Необходима разработка новых продуктов, учитывающих новые масштабы, технические особенности добычи и т.п.

Последние несколько лет во всем мире наблюдается переход на системы управления горнотранспортным комплексом предприятия, разработанные на качественно новом уровне с использованием спутниковых средств связи, новой элементной базы и компьютерных технологий.

Одна из таких систем — широко применяемая на добывающих предприятиях России диспетчеризации «Карьер», разработанная специалистами ООО «ВИСТ Групп» (Москва).

Автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом «Карьер» разработана с целью повышения качества оперативного управления работой большегрузных самосвалов. Это достигалось благодаря непрерывному обеспечению диспетчерского и управленческого персонала полной информацией о текущем положении и техническом состоянии находящихся в рабочей зоне самосвалов (для этого последние оснащены бортовыми комплектами контролирующего оборудования): количество сделанных рейсов, масса перевезенных грузов, расход топлива и другие характеристики работы транспортных средств. Для определения в реальном времени положения (а значит, направления движения, скорости и вида работы) мобильного объекта в системе «Карьер» использовалось спутниковое определение координат с применением приемников глобальной системы позиционирования GPS.

Система «Карьер» обеспечивает:

- непрерывную работу диспетчерского и инженерно-технического персонала, осуществляющего автоматизированный мониторинг в режиме реального времени местоположения, выполнения операций и сменных заданий мобильными объектами, занятыми на производстве;
- централизацию и оперативность управления работой большегрузных автосамосвалов и других мобильных объектов, автоматизированную оптимизацию маршрутов в зависимости от заданий и изменяющейся обстановки;
- ведение статистической информации и обеспечение оперативной отчетности с предоставлением пользователям инструментария для генерации собственных отчетов;
- доступ пользователей только к тем данным, которые необходимы им для выполнения своих служебных обязанностей;

- возможность сохранения и при необходимости восстановления всех введенных в систему данных, в том числе и при аварийном отключении питания.

Внедрение системы позволяло повысить эффективность использования техники: резко сократились простои, как самосвалов, так и экскаваторов, снизились недогрузки и перегрузы, за счет оптимизации скоростного режима уменьшился износ двигателей, шин и других узлов. Принципы построения системы АСУ ГТК «Карьер» позволяют расширять ее функциональность, добавляя новые модули, алгоритмы обработки, формы ввода и отчеты без перекомпиляции уже работающих модулей. Программное обеспечение системы позволяет создавать множество рабочих мест пользователей, назначая им определенные права по использованию данных (разграничение доступа). Архивирование информации производится автоматически или по команде администратора.

Программно-аппаратный комплекс диспетчеризации АСУ ГТК «Карьер» состоит:

- диспетчерского центра (ДЦ), включающего радио оборудование, серверы и программное обеспечение;
- бортового оборудования, устанавливаемого на транспортные средства.

Диспетчерский центр системы состоит в свою очередь из радионавигационного (РНК) и информационно-вычислительного (ИВК) комплексов. Предусматриваются технические исполнения с размещением обоих комплексов в одном и в разных корпусах (стойках), позволяющие применять территориальное разнесение комплексов со связью по оптоволоконным каналам связи. В первом случае весь ДЦ устанавливается на борту карьера, в условиях наилучшей радио видимости мобильных объектов, включенных в систему. Во втором, на борту карьера/разреза, например, в пункте горного диспетчера, устанавливается только радионавигационная часть ДЦ, а стойка информационно-вычислительного комплекса, содержащая рабочую базу данных и программное обеспечение системы, располагается в «серверной», т.е. в условиях, наиболее благоприятных для обслуживания специалистами подразделения АСУ. Но при этом необходимым условием является связь между серверами этих двух комплексов по высокоскоростному оптоволоконному каналу. Если сегменты корпоративной сети предприятия построены с использованием современных высокоскоростных технологий передачи данных и соответствующей сетевой аппаратуры, то двухсторонняя связь РНК и ИВК может быть осуществлена через корпоративную сеть предприятия. Данные о местоположении и состоянии машины собираются и накапливаются в ее бортовом контроллере. На основе этой информации он определяет первичные события, происходящие с мобильным объектом (для самосвала это погрузка, разгрузка, заправка, остановка и т.д.). Информация о событиях вместе с оперативной информацией автоматически передается в ДЦ (непосредственно принимается радионавигационным комплексом и передается в информационно-вычислительный комплекс). Обмен данными

между ДЦ и мобильными объектами осуществляется с помощью радиосвязи на УКВ частотах 400–470 МГц, но может быть организован на основе систем связи TETRA, MESH и др.

В ДЦ информация бортовых контроллеров обрабатывается, архивируется и визуализируется на экранах диспетчера и др. специалистов в виде условных значков, наложенных на актуальный план горных работ предприятия. Данные бортовых контроллеров дополняются новой информацией (например, для рейса самосвала определяются экскаватор, пункт разгрузки, вид груза и другие характеристики), а также фиксируются вторичные события (например, длительный простой без уважительной причины). В результате обработки и анализа накопленных данных производится автоматическое составление отчетных документов о работе предприятия, его участков, отдельных машин, персонала. Из ДЦ на транспортные средства передаются текстовые сообщения от диспетчера (появляются на индикаторной панели в кабине водителя) и служебные данные.

Типичный для системы «Карьер» состав бортового оборудования состоит из следующих компонентов:

1. Программируемый бортовой контроллер СКЗ (система контроля загрузки). Выполняется в нескольких исполнениях. В комплектацию контроллера СКЗ исполнения 02.01 включена панель визуализации V&R Panel Ware, позволяющая обмениваться с диспетчерской службой стандартными сообщениями (имеет дисплей в 2 строки по 20 символов);
2. GPS приемник и GPS антенна.
3. УКВ радиостанция с УКВ антенной (как и все компоненты оборудования, радиостанция должна находиться в закрытом отсеке).
4. Комплект датчиков (опционально: датчики веса, уровня топлива, инклинометр и т.д. в зависимости от типа объекта).

Бортовой контроллер периодически опрашивает датчики давления в подвесках самосвала, датчик уровня топлива и инклинометр, обрабатывает сигналы «подъем платформы», «ход вперед», «ход назад», «сборка схемы», сигнал с датчика вращения колеса и информацию с GPS приемника. Кроме этого, контроллер принимает и обрабатывает информацию, поступающую по радиоканалу с диспетчерского центра, и обрабатывает информацию, вводимую водителем на функциональной клавиатуре панели, установленной в кабине.

На панели визуализации водитель в любое время может увидеть и проконтролировать:

- вес груза;
- количество рейсов с начала смены;
- скорость движения;
- пробег груженого и порожнего самосвала за последний рейс;
- информацию об исправности системы;
- текстовое сообщение, посланное диспетчером или автоматически;

Вес груза определяется с точностью до 5% от максимальной загрузки самосвала.

В системе применяется наружная световая индикация степени загрузки автосамосвала, и машинист экскаватора может учитывать степень загрузки по сигнальным фонарям самосвала для избежание перегруза. Кроме того, имеется возможность контролировать угол наклона площадки при погрузке при помощи одной из разновидностей датчиков – инклинометров, что увеличивает точность определения веса груза.

Точность определения уровня топлива в баке составляет 1–3% от объема бака в зависимости от типа датчика. Эта точность достаточна для минимизации несанкционированного слива топлива и определения расхода топлива за смену. Для определения удельного расхода топлива по определенному маршруту используются усредненные данные по нескольким рейсам. Водитель (машинист) имеет возможность как принимать на панель визуализации сообщения диспетчера, так и передавать в диспетчерский центр сообщения: начало, окончание смены, тип простоя и т.п. Список стандартных сообщений не является жестко запрограммированным, он согласовывается на этапе технического проектирования и вводится в систему во время пусконаладочных работ.

Для экскаваторов предусматривается несколько вариантов бортового оснащения:

1. Базовый вариант, не предусматривающий высокоточного позиционирования. В этом случае координаты ковша экскаватора во время черпания определяются с точностью до 3 метров, а большинство определений обладает точностью около 1,5 метра. Высотная отметка не определяется. Данный вариант решения подходит для большинства заказчиков.
2. Вариант с высокоточным позиционированием ковша экскаватора с учетом дирекционного угла направления стрелы экскаватора. Вариант предусматривает контроль высотной отметки. Реализуется с помощью двух антенной технологии GPS.
3. Вариант с высокоточным позиционированием при помощи одной GPS антенны без определения дирекционного угла направления стрелы экскаватора. По всей видимости, это оптимальный вариант оснащения, если есть потребность высокоточных определений координат только самого экскаватора. При этом есть возможность определения фактического направления отработки забоя.

Система «Карьер» представляет собой информационную систему, которая с помощью каналов передачи информации связывает между собой источники (датчики местоположения, скорости и технического и эксплуатационного состояния мобильного объекта и его отдельных узлов и агрегатов) и потребителей информации (диспетчерский центр предприятия). Рисунок 4.39., показывает структуру системы диспетчеризации «Карьер»: состав оборудования, типы мобильных объектов, включаемых в систему, состав бортового комплекса этих мобильных объектов, а также принципы

взаимодействия элементов системы между собой. Данная схема является общей и может видоизменяться в зависимости от конкретных задач предприятия, внедряющего систему.

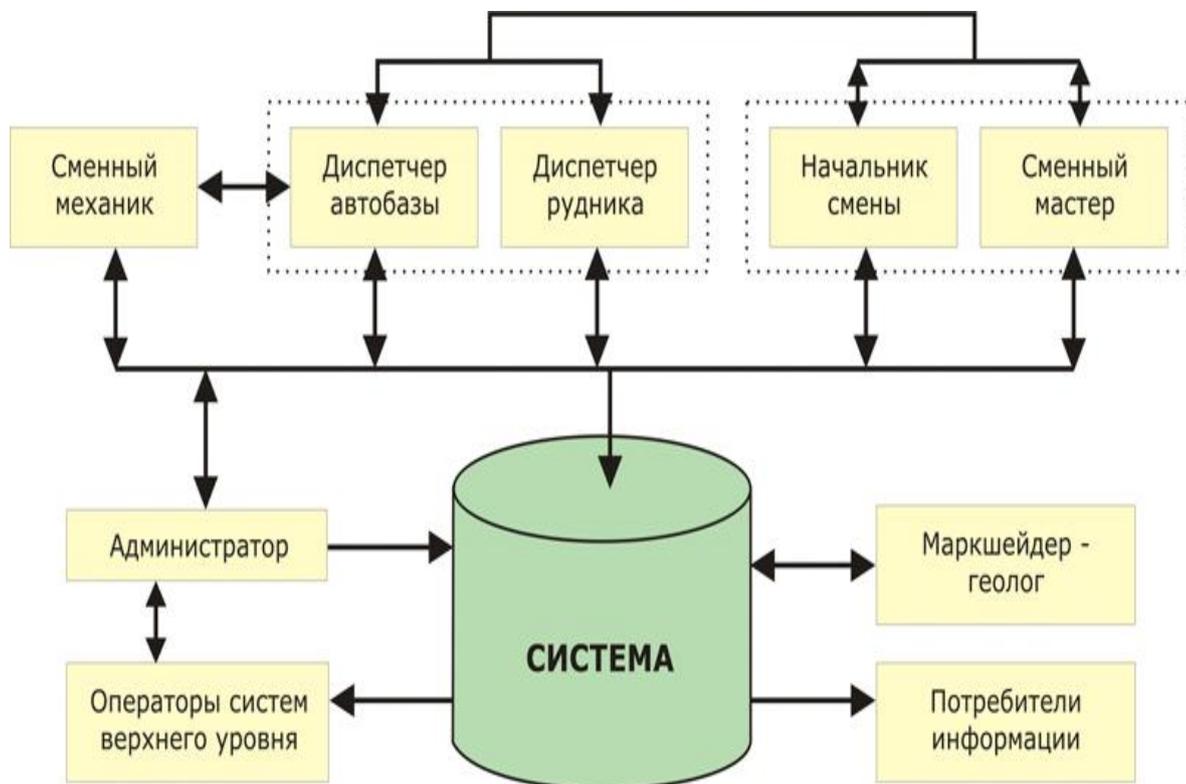


Рисунок 4.39 - Схема взаимодействия персонала предприятия с системой

На первых объектах внедрения система «Карьер» решала задачи мониторинга большегрузных автосамосвалов, т.е. слежения в режиме реального времени за состоянием самосвала (загрузкой, расходом топлива, скоростью, местоположением), учета соответствующих параметров, а также простоев и нарушений технологических режимов эксплуатации самосвала. На сегодняшний день эта система действует на рудных карьерах и угольных разрезах России. Один из компонентов системы «Карьер» (бортового оборудования) — система контроля загрузки и топлива (СКЗиТ), устанавливаемая на автосамосвалы непосредственно на заводе «БелАЗ». Основные ее задачи – измерение веса перевозимого автосамосвалом груза, оповещение машиниста экскаватора о загрузке автосамосвала (с помощью фонарей шкалы загрузки), автоматический сбор и хранение в журнале регистрации данных о каждом рейсе (дата, время загрузки, вес, пробег, объем грузоперевозки и т.п.), а также вывод информации на панель индикации. СКЗиТ интегрируется с другими бортовыми электронными системами управления и контроля состояния автосамосвала. В первую очередь это

относится к Системе управления тяговым электроприводом (СУТЭП), а также системами диагностики основных узлов и агрегатов самосвала (контроль давления в шинах и т.п.).

Такая интеграция позволяет качественно усовершенствовать алгоритмы работы систем, по сравнению с их автономным функционированием. Например, для более точного управления работой тяговым электроприводом необходима информация о загрузке автосамосвала и уклоне дороги при его движении, которая передается от СКЗиТ непосредственно в СУТЭП. Передача данных осуществляется по CAN-интерфейсу, которым оснащены бортовые контроллеры.

Большое значение для пользователей системы имеет расширение функциональных возможностей программного обеспечения диспетчерского центра, которое осуществляется за счет постоянного наращивания числа специализированных автоматизированных рабочих мест, происходящее при расширении круга пользователей Системы (функциональных служб горного предприятия) при переходе к полномасштабному управлению горнотранспортным комплексом

Вовлечение в систему новых пользователей, охватывающих практически все организационно-технические службы предприятия, невозможно без постоянного развития гибкости системы, повышения ее функциональности и удобства работы, что реализуется благодаря специальной многокомпонентной структуре программного обеспечения и применению новых технологий программирования.

На сегодняшний день программное обеспечение позволяет решать следующие задачи:

- работа с базой данных системы;
- оперативное управление карьером (мониторинг, выдача и изменение сменного задания, связь с мобильными объектами);
- автоматическая и/или автоматизированная оптимизация грузопотоков в карьере, решение задачи усреднения качества;
- анализ обработанной информации (результатирующих данных, рейсов, простоев, превышений скорости);
- создание и печать рапортов за различные отчетные периоды.

Система диспетчеризации «Карьер» позволяет не только выполнять полный мониторинг показателей работы карьерных автосамосвалов за смену/сутки/месяц/год, но и управлять грузопотоками в карьере. С заданной дискретностью измеряется перевозимая горная масса (с погрешностью  $\pm 3\%$ ), скорость движения самосвала в груженом и порожняковом направлении, расход топлива по изменению его уровня в баке (с погрешностью  $\pm 3\%$ ). Итоги работы за смену отражаются в диспетчерском рапорте, содержащем следующие данные:

- номер самосвала;
- время прибытия под погрузку;
- время начала погрузки;

- экскаватор;
- время прибытия к пункту разгрузки;
- время начала разгрузки;
- время окончания разгрузки;
- пункт разгрузки;
- перевезенная масса;
- пройденное расстояние;
- средняя скорость.

Наличие в системе датчиков контроля загрузки позволяет решать очень важную задачу – задачу нормализации процесса экскаваторной загрузки, предупреждая, таким образом, как недогруз, так и перегруз самосвалов.

Благодаря используемым технологиям система диспетчеризации позволяет перейти от мониторинга работы карьерных автосамосвалов к оперативному управлению горными работами путем оптимизации грузопотоков в карьере в целях:

- усреднения качества руды;
- увеличения массы вывезенного груза за определенный временной период;
- уменьшения общего пробега самосвалов;
- нормализации экскаваторной загрузки самосвалов;
- уменьшения времени простоев экскаваторов и автосамосвалов.

Положительный эффект от внедрения системы достигается за счет ряда факторов, среди которых в частности:

- усиление личной заинтересованности и ответственности водителей;
- возможность оперативного контроля и управления работой карьера;
- получение достоверной информации по итогам отчетных периодов;
- повышение общей эффективности производства за счет создания мощной информационной базы.

На сегодняшний день Система диспетчеризации горнотранспортного комплекса «Карьер» используется на предприятиях России, Украины, Казахстана и Монголии. Число пользователей системы постоянно растет. Такое быстрое проникновение системы на рынок стало возможным благодаря ее высокой эффективности, сравнительно короткому периоду окупаемости, а также технической готовности к ее внедрению всех горных предприятий, использующих в своей работе автосамосвалы Белорусского автомобильного завода.

Дальнейшее развитие Системы направлено на создание на горном предприятии полнофункциональной системы управления горнотранспортным комплексом. Модернизация Системы осуществляется по трем основным направлениям:

- развитие бортового оборудования горнотранспортного комплекса;
- развитие программного обеспечения диспетчерского центра;
- развитие средств организации передачи данных в диспетчерский центр.

Направление развития бортового оборудования связано, в первую очередь, с желанием пользователей и потенциальных заказчиков расширить номенклатуру транспортных средств, включенных в состав системы. По автосамосвалам это подразумевает дальнейшее развитие СКЗиТ для 30-45-тонных БелАЗов и переход к оснащению данного класса машин непосредственно на заводе, а также отработку взаимодействия систем СКЗиТ с бортовыми комплексами автосамосвалов Komatsu и Caterpillar. Кроме этого развитие бортовых электронных систем автосамосвала БелАЗ идет в настоящее время по пути интеграции автономных систем контроля, управления и диагностики автосамосвала и компания «ВИСТ Групп» как разработчик СКЗиТ и СУТЭП также вовлечена в процесс модернизации этих систем. В настоящее время отработано также взаимодействие системы с диагностической системой двигателя Cummins, и теперь информация о состоянии двигателя может быть передана в диспетчерский центр наряду с информацией о загрузке, уровне топлива, давлении в шинах.

В свою очередь, совершенствование систем контроля, управления и диагностики подразумевает постоянное развитие средств измерения. В настоящее время проводятся испытания новых датчиков расхода топлива, нагрузки, оборотов двигателя и целого ряда других датчиков, которые могут быть применены в том числе и для установки на бульдозеры, экскаваторы, локомотивы, погрузчики и другие транспортные средства. В программном обеспечении диспетчерского центра сделан переход к модульной системе организации программного обеспечения. Выделяется несколько групп программных модулей, таких как:

- модули для управления работой карьера в реальном режиме времени в течение смены (выдача сменного задания, картографический модуль, сообщения системы, обмен текстовыми сообщениями, оперативная статистика работы карьера, управления и учет ремонтов);
- модули для анализа работы карьера; модули настройки системы и выдачи справочной информации;
- дополнительные модули, состав которых постоянно расширяется: модуль оптимизации и автоматической диспетчеризации, модуль управления железнодорожным транспортом, модуль управления заправками, модуль мониторинга и учета работы шин, модуль учета узлов, агрегатов и запасных частей, модуль управления, модуль управления и диагностики технического состояния транспортных средств.

Вовлечение в систему новых транспортных средств и новых пользователей – служб предприятия подразумевает постоянное развитие программного обеспечения специализированных автоматизированных рабочих мест системы (АРМ): АРМ начальника смены рудоуправления, АРМ начальника смены бурового участка рудоуправления, АРМ директора по производству, АРМ технического директора и др. Эта работа проводится в тесном взаимодействии с заказчиками, начиная от совместного написания

технического задания и до отладки и ввода АРМ в эксплуатацию. По мере усложнения и наращивания программного обеспечения Системы ужесточаются требования к надежности и бесперебойности его функционирования, а также требования к защите информации и регламентации прав доступа к Системе. Эти вопросы также в центре внимания нашего отдела программного обеспечения.

Основные проблемы передачи информации от мобильных объектов в диспетчерский центр заключаются в ограниченной скорости и пропускной способности канала передачи данных, а также качестве радио-покрытия рабочей зоны карьера. С вовлечением в систему новых видов транспортных средств частота опроса каждой единицы техники уменьшается при организации связи традиционным способом «циклического» опроса. В свою очередь, с уменьшением частоты опроса «пропадание» объектов из зоны радио-видимости становится весьма критичным, так как приводит к потере информации о рейсах. Выделение же новых частот для увеличения частоты опроса, как правило, требует дополнительных ресурсов и не всегда возможно. Адаптация системы диспетчеризации «Карьер», развернутой в ОАО «Южный Кузбасс», под стандарт цифровой связи TETRA решила отчасти две эти общие проблемы и ограничения, присущие организации связи и передачи телеметрической информации на горных предприятиях. Здесь был использован «событийный» подход к организации передачи информации в диспетчерский центр. При таком подходе информация о работе автосамосвала, экскаватора, локомотива передается в диспетчерский центр по мере наступления определенных, присущих данному виду техники, событий. Такими событиями могут быть, например, изменение координат объекта относительно заданного, начало и окончание погрузочного цикла, резкое уменьшение расхода топлива и т.п. Такой подход к передаче данных позволяет сохранять всю значимую информацию о состоянии транспортного средства даже в случаях его попадания в теневую зону. С выходом из теневой зоны информация передается в диспетчерский центр.

Таким образом, в настоящее время для организации передачи данных в системе диспетчеризации «Карьер» могут быть использованы как запросный метод много станционного доступа с частотно-временным разделением каналов связи, как правило, с использованием нескольких УКВ радиоканалов в 400 МГц диапазоне и скоростью передачи в канале до 9600 бод, так и организация передачи телеметрической информации в транкинговой системе TETRA. Отработана также передача данных с помощью технологии BlueTooth, которая может быть использована для «снятия» информации с бортовых контроллеров системы в пределах ограниченной области, например, автобазы.

Дальнейшее развитие средств передачи данных видится в использовании стандарта GSM там, где использование этой технологии в наибольшей степени отвечает требованиям Заказчика, а также в применении технологий RadioEthernet и MESH, работающих на частотах 2,4 ГГц. Это позволит значительно увеличить количество информации, которое может быть передано по радиоканалу. С использованием этих систем может быть достигнута

скорость передачи данных до 10 Мб в секунду, то есть, производительность существенно увеличится — в десятки раз по сравнению с системами со скоростью передачи данных в 1200...9600 бод и с системами с частотой в 900 МГц.

Такое увеличение пропускной способности уменьшит перегрузку телеметрического оборудования на карьерах с большими парками автотранспорта и позволит интенсивно использовать радиоканалы для передачи графической информации, диагностики состояния оборудования, видео наблюдений. Однако этим системам присущи недостатки, которые могут стать решающими для наших условий. Так, например, для функционирования этих систем требуется большое количество репитеров. Организация охраны для таких узлов связи может стать реальной проблемой для предприятия. Кроме того, не совсем ясен на сегодняшний день вопрос с лицензированием частот диапазона 2,4 ГГц.

Поэтому при развитии системы в указанных направлениях в большинстве случаев достаточными являются уже апробированные средства. В наибольшей степени это относится к стандарту передачи данных ТЕТРА и организация передачи данных «событийным» способом.

Для повышения эффективности использования системы компания-разработчик должна обучить персонал предприятия основным принципам грамотной ее эксплуатации. Только в этом случае возможно с помощью данного продукта добиться усовершенствования погрузочно-транспортного комплекса Предприятия и повышения эффективности его использования. Для решения этой задачи специалистами «ВИСТ Групп» разработана специальная программа обучения для каждой группы пользователей. Помимо того, что все пользователи должны знать основы работы с системой и основные окна, каждая группа пользователей должна также обладать определенными навыками. Так, например, администратор должен знать логическую структуру системы и принципы работы с программным обеспечением Oracle в рамках данной системы. Он должен уметь создавать базы данных и формировать их структуру, устанавливать и настраивать специальное программное обеспечение, создавать оконные формы и отчеты. Горный диспетчер, работающий с системой, должен знать основы ее эксплуатации, уметь назначать основные окна, работать с ними, выполнять операции, необходимые для нормального функционирования системы диспетчеризации. От маркшейдеров требуется знание принципов и рекомендаций по подготовке карты, умение выполнять ее преобразование и обновление. Обязательными условиями сертификации специалистов-пользователей системы являются успешная сдача тестирования и наличие у претендентов необходимых навыков работы с системой.

Опыт внедрения системы диспетчеризации «Карьер» на ряде угольных разрезов и рудных карьеров подтвердил эффективность разработанной системы организации технической поддержки, в основе которой лежит тесное взаимодействие работников производства и фирмы-разработчика.

В отношении технической поддержки программного обеспечения Системы можно отметить, что сейчас уже почти завершена организация поддержки в режиме «горячей линии». Для этого на специально выделенном сервере создается образ, представляющий собой точные копии систем со всеми настройками, которые эксплуатируются пользователями. Благодаря этому становится возможным как выполнение оперативного тестирования новых программных компонентов, разработанных самими пользователями, так и быстрое выявление причин сбоев в работе ПО. В техническом плане так же, как и в случае поддержки ПО диспетчерского центра, будут развиваться методы удаленной диагностики бортовых программно-аппаратных комплексов. Еще большее внимание будет уделено обучению и сертификации специалистов в части программного обеспечения и технического обслуживания системы.

Все это позволит пользователям превратить систему диспетчеризации «Карьер» из средства мониторинга работы мобильных объектов в эффективный инструмент управления горнотранспортным комплексом предприятия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной бакалаврской работы были разработаны мероприятия для повышения энергоэффективности производственных процессов АО «УК «Разрез Степной». Система автоматизации производственных процессов проектировалась с учетом современным требованиям к системам, таким как надежность, энергоэффективность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.

В теоретической части приведена характеристика объекта проектирования, осуществлен обзор мероприятий по энергосбережению.

В аналитической части произведен анализ существующего состояния в области автоматизации угледобывающих предприятий и выполнена разработка технических мероприятий, повышающих энергоэффективность предприятия.

В выпускной квалификационной работе, предложен ряд мероприятий:

1. Разработанная система автоматизации водоотлива разреза.
2. Предложена автоматизация системы компенсации реактивной мощности главного корпуса обогатительной фабрики.
3. Предложена использование тиристорных преобразователей электроприводов экскаваторов.
4. Для повышения энергоэффективности систем внутреннего и наружного освещения предлагается применения фотореле и датчиков движения.
5. Предложена снижение тока возбуждения сетевого двигателя на ЭШ 11/70 № 44.
6. Рассмотрена возможность применение автоматизированной системы управления горнотранспортным комплексом «Карьер».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности реализации политики энергосбережения в регионах: аналитический сб. / Авт. – сост. Е. Г. Гапо, В. С. Пузаков, М. В. Степанова. – М. : Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2012. – 36 с.
2. Козярук, А. Е. Методы и средства повышения энергоэффективности машин и технологий с электроприводами / А.Е. Козярук, Б.Ю. Васильев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 47–53. DOI: 10.14529/power150106
3. Козярук, А. Е. Направления повышения эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах / А.Е. Козярук, С.И. Таранов, А.В. Самолазов // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 1. – С. 6–11.
4. Меркер, Э. Э. Энергосбережение в промышленности и энергетический анализ технологических процессов: учебное пособие / Э. Э. Меркер. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 316 с.
5. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий - Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.
6. Энергосберегающие технологии в промышленности: учебное пособие / А. М. Афонин [и др.]. – 2-е изд. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2015. – 272 с.
7. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учеб. пособие рекомендовано Учебно-методич. советом Учебно-метод. центра по проф. Образован. г. Москвы / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. – М.: Форум, 2012. – 496 с.
8. Инструменты энергетического планирования: новые возможности после энергоаудита: аналитический сб. – Екатеринбург.: СРО НП «Союз «Энергоэффективность», 2013. – 79 с.
9. Сибикин, М. Ю. Технология энергосбережения: учебник; допущено МО РФ / М. Ю. Сибикин, Ю. Д. Сибикин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Форум, 2010. – 352 с.
10. Автоматизация водоотливных установок с помощью комплекса автоматизированного водоотлива (КАВ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.netmechanics.ru>
11. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учеб. пособие рекомендовано Учебно-методич. советом Учебно-метод. центра по проф. Образован. г. Москвы / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. – М.: Форум, 2012. – 496 с.
12. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для студентов высших учебных заведений.– 2-е изд. – М. : Интернет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
13. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 214 с.

14.Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

15.Автоматизированные конденсаторные установки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://khomovelectro.ru>

16.Методы определения потерь электроэнергии в электрических сетях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vunivere.ru/work9760>

17.Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 696 с.

18.Москаленко, В. В. Электрический привод: учебник / В. В. Москаленко. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 364 с.

19.Электротехнический справочник: в 4 т. Т. 2. Электротехнические устройства и изделия / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 10-е изд. – М.: Издательство МЭИ, 2012. – 988 с.

20.Семенов, Б. Ю. Экономичное освещение для всех / Б. Ю. Семенов. - М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2010. – 224 с.

21.Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер.– М. : Издательство МЭИ, 2004. – 696 с.

22. Коробов, Г. В. Электроснабжение. Курсовое проектирование : учебное пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова ; под общ. ред. Г. В. Коробова. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб. : Издательство "Лань", 2014. – 192 с.

23.Фотореле для автоматической системы управления освещением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.etk-oniks.ru>

24.Аналоговые герметичные фотореле на три фазы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.svetorele.ru>

25.Москаленко, В. В. Электрический привод: учебник / В. В. Москаленко. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 364 с.

26.Автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом «Карьер». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru>