

Карагандинский технический университет

УДК 621.311:622

На правах рукописи

КОТОВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**Разработка принципов удаленного мониторинга режимов работы
электрооборудования горного производства**

6D071800 – Электроэнергетика

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант
доктор технических наук,
профессор
И.В. Брейдо

Зарубежный научный консультант
доктор технических наук, PhD,
профессор
В. Вяткин
(ААЛТО, г. Хельсинки, Финляндия.
Университет Лулео, г. Лулео, Швеция)

Республика Казахстан
Караганда, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕТОДАМ И СИСТЕМАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	11
1.1 Классификации методов и анализ технических решений по мониторингу режимов работы промышленного электрооборудования.....	11
1.2 Анализ исследований, режимов работы и технических решений по мониторингу электрооборудования горного производства при добыче открытым способом.....	13
1.2.1 Анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства при добыче открытым способом.....	13
1.2.2 Анализ технологических и аварийных режимов работы электрооборудования горного производства при добыче открытым способом.....	17
1.3 Анализ исследований, режимов работы и технических решений по мониторингу электрооборудования горного производства при добыче подземным способом.....	23
1.3.1 Анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства при добыче подземным способом.....	23
1.3.2 Анализ аварийных режимов работы электрооборудования угольных шахт.....	26
1.4 Сравнительная характеристика режимов работы электрооборудования при подземном и открытом способах добычи полезных ископаемых.....	27
1.5 Задачи исследований.....	28
1.6 Выводы.....	28
2 АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ПОМЕХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ.....	30
2.1 Общие сведения о влиянии погодных условий на системы мониторинга электрооборудования.....	30
2.2 Общие сведения о влиянии коммутационных помех на системы мониторинга электрооборудования.....	31
2.3 Моделирование коммутационных помех на примере подстанции «Южная» АО «Шубарколь комир».....	32
2.3.1 Подбор оборудования необходимого для проведения имитационного эксперимента.....	32
2.3.2 Имитационное моделирование коммутационных помех при различных режимах работы электрооборудования.....	37
2.4 Определение закона распределения коммутаций для построения помехозащищенных алгоритмов передачи информации.....	44

2.5 Выводы.....	48
3 РАЗРАБОТКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ АЛГОРИТМОВ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	49
3.1 Разработка алгоритма защиты данных от несанкционированного сброса и повреждения в результате электромагнитных помех на этапе сбора информации.....	49
3.2 Разработка алгоритма защиты данных от повреждения в результате электромагнитных помех на этапе передачи информации.....	51
3.3 Восстановление потерянной информации на основе корреляционного анализа.....	53
3.4 Разработка структурной схемы системы мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства.....	57
3.5 Выводы.....	59
4 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ И ПОДСТАНЦИЙ.....	61
4.1 Основные задачи системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования экскаваторов различных типов и подстанций.....	61
4.2 Определение характеристик и объемов информации для мониторинга режимов работы электрооборудования при открытой добыче полезных ископаемых.....	61
4.3 Классификации объектов мониторинга на основе месторасположения в пространстве в условиях открытой добычи угля открытым способом на разрезе АО «Шубарколь комир».....	66
4.4 Выбор контрольно-измерительных приборов.....	68
4.5 Выбор устройств сбора, обработки и накопления информации.....	70
4.6 Разработка программного обеспечения для реализации сбора, хранения и обработки информации на объектах мониторинга.....	71
4.7 Выбор канала связи для передачи технологической информации о режимах работы электрооборудования от объекта мониторинга до диспетчерского пункта.....	73
4.7.1 Анализ способов передачи информации.....	73
4.7.2 Использование канала связи с частотой 433 МГц.....	74
4.7.3 Применение канала связи GSM.....	75
4.7.4 Использование комбинированных каналов связи.....	77
4.8 Разработка программного обеспечения ПЛК реализации сбора, хранения и обработки информации на диспетчерском пункте.....	77
4.9 Разработка подсистемы визуализации для диспетчерского пункта.....	78
4.10 Выводы.....	83
5 ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАК ИНСТРУМЕНТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ	

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ	И	УПРАВЛЕНИЯ	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ			84
5.1 Анализ эффективности использования электроэнергии на технологических объектах АО «Шубарколь комир»			84
5.2 Разработка модели прогнозирования по результатам эксплуатации системы мониторинга			91
5.2.1 Выбор параметров и постановка задачи анализа данных			91
5.2.2 Построение модели электропотребления экскаваторов, осуществляющих вскрышные и добычные работы			93
5.2.3 Построение модели электропотребления экскаваторов, осуществляющих выемочно-погрузочные работы			95
5.3 Применение системы мониторинга в условиях подземной добычи полезных ископаемых			100
5.4 Результаты эксплуатации системы удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования на разрезе АО «Шубарколь комир»			101
5.4 Выводы			102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ			103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ			105
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Листинг программы и список переменных специального функционального блока Memoгу			115
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Показатели потребления активной энергии экскаваторами			118
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаваторов			124
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Акты использования результатов диссертационных исследований в АО «Шубарколь Комир»			128
ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Акт внедрения диссертационной работы в учебный процесс			130
ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Патент 5132 Республики Казахстан			131
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Свидетельства о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом			133

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

МНК	– метод неразрушающего контроля
ЭВМ	– электронная вычислительная машина
БС	– базовая станция
БИП	– блок измерения положения
БИТ	– блок измерения тока
ПК	– персональный компьютер
ООО	– общество с ограниченной ответственностью
РЗА	– релейная защита и автоматика
АСУПВ	– автоматизированная система управления планированием производства
ЭКГ	– экскаватор карьерный гусеничный
ЭШ	– экскаватор шагающий
КРУ	– комплектное распределительное устройство
АСУ	– автоматизированная система управления
ТИ	– телеизмерение
ТС	– телесигнализация
ТУ	– телеуправление
АО	– акционерное общество
ВЧ	– высокочастотный
КЗ	– короткое замыкание
ВН	– высокое напряжение
НН	– низкое напряжение
CRC	– cyclic redundancy code, циклический избыточный код
ЯКНО	– ячейки комплектные наружной установки
ЭДС	– электродвижущая сила
П/С	– подстанция
SCADA	– Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерское управление и сбор данных
МТЗ	– максимальная токовая защита
УСПД	– устройство сбора и передачи данных
МЭК	– международная электротехническая комиссия
ПО ПЛК	– программное обеспечение программируемого логического контроллера
PLC	– power line communication, связь по линиям электропередачи
GPRS	– General Packet Radio Service, пакетная передача данных по радиоканалу
СПАК	– система предаварийного и поставарийного контроля
$S_{\text{ном}}$	– номинальная мощность трансформатора МВА
$U_{\text{ном}}$ обмоток	– номинальное напряжение обмоток, кВ
$U_{\text{к}}$	– напряжение короткого замыкания, %
$\Delta P_{\text{к}}$	– потери короткого замыкания, кВт
$P_{\text{х}}$	– потери холостого хода, кВт

I_x	– ток холостого хода, %
L_0	– индуктивность кабельных и воздушных линий, Гн/км
x_0	– удельное индуктивное сопротивление, Ом/км
F	– частота сети, Гц
C_0	– емкость кабельных и воздушных линий, Ф/км
b_0	– удельная емкостная проводимость, См/км
U	– ЭДС самоиндукции, В
L	– индуктивность, Гн
p_i	– вероятность попадания в i -й интервал случайной величины
Λ	– параметр распределения Пуассона
x_g	– выборочная средняя
x_i	– показатель соответствующего события
f_i	– число наблюдаемых событий
f_t	– теоретическая частота
n	– число суток с количеством коммутаций i
p	– вероятность наступления события
χ^2	– критерий согласия Пуассона
$A_{уд}$	– удельный расход электроэнергии, кВт*ч/м ³
A	– фактический расход электроэнергии, кВт*ч
M	– количество выпущенной продукции, м ³

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Особенности технологических процессов горного производства для открытой и подземной добычи полезных ископаемых заключаются в распределенном на местности технологическом оборудовании большой единичной мощности, его удаленности от источников электроснабжения. Существенное влияние на стабильность технологических процессов горного производства оказывают жесткие условия эксплуатации оборудования, включая сезонные колебания температуры в широком диапазоне, наличие различных осадков в течение года, вибрацию, запыленность и т.п. [1, 2]. В связи с этим в настоящее время активно ведутся исследования и разработки различных систем удаленного мониторинга параметров электропотребления и режимов работы электрооборудования для открытой и подземной добычи полезных ископаемых, в том числе пускорегулирующей аппаратуры, генераторов, электродвигателей, их защит и систем управления.

Исследованиям и разработке систем удаленного мониторинга посвящены труды многих ученых: Брейдо И.В., Авдеева Л.А., Костюкова В.Н., Бойченко С.Н., Костюкова А.В., Жуковского Ю.Л., Козярук А.Е., Коржева А.А., Кривенко А.В., Будко П.А., Литвиновым А.И., а также зарубежными предприятиями, такими как JANITZA GbmH и Rittal (Германия).

Анализ литературных источников показывает, что для горной промышленности существует необходимость в создании систем удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования в связи с определенными потребностями [3], такими как:

- необходимость постоянного удаленного контроля работы распределенного на местности горного оборудования, в том числе, экскаваторов, буровых станков, забойного оборудования и др.
- необходимость уменьшения электропотребления за счет постоянного мониторинга режимов работы экскаваторов и исключение режимов холостого хода. На основании опытной эксплуатации выявлено, что среднее значение электропотребления в режиме холостого хода составляет не менее 10-15% от общего электропотребления;
- необходимость уменьшения времени простоев за счет оперативного выявления отказов электрооборудования, распределенного на местности.

Цель работы – повышение оперативности управления, снижение потерь и простоев при отказах электрооборудования, повышение энергоэффективности удаленного электрооборудования горного производства.

Идея работы заключается в использовании систем мониторинга для повышения оперативности управления, снижения потерь и простоев при отказах электрооборудования, а также повышение энергоэффективности удаленного электрооборудования горного производства.

Научная новизна:

- разработка помехозащищенных алгоритмов сбора и передачи информации с учетом коммутационных помех;

- разработка технических решений, обеспечивающих автоматический выбор возможных каналов передачи информации в системах удаленного мониторинга в реальных изменяющихся условиях эксплуатации горного оборудования;

- разработка методов прогнозирования и планирования удельного электропотребления экскаваторов на основе анализа накопленной информации в системе удаленного мониторинга.

Задачи докторской диссертации:

- анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства;

- анализ режимов работы удаленного электрооборудования горного производства способом открытой добычи в условия помех;

- разработка имитационных моделей, описывающих влияние режимов работы многодвигательного горного электрооборудования (экскаваторы) на помехоустойчивость, достоверность и надежность функционирования систем мониторинга;

- разработка помехозащищенных алгоритмов сбора и передачи информации с учетом коммутационных помех;

- разработка технических решения, обеспечивающих автоматический выбор возможных каналов передачи информации в системах удаленного мониторинга в реальных изменяющихся условиях эксплуатации горного оборудования;

- испытания и опытная эксплуатация систем удаленного мониторинга высоковольтных подстанций и электрооборудования экскаваторов.

Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- принципы и методы обеспечения помехоустойчивой передачи технологической информации в системах удаленного мониторинга состояния распределенного на местности горного оборудования с учетом режимов работы его электрооборудования;

- методы прогнозирования и планирования удельного электропотребления экскаваторов на основе анализа накопленной информации в системе удаленного мониторинга;

- комплекс технических решений по созданию систем удаленного мониторинга передвижных машин и стационарного оборудования с автоматическим выбором каналов передачи телеметрической информации в зависимости от изменяющихся условий горного производства.

Методы исследования. Научные и практические результаты диссертационной работы получены с использованием методов теории передачи информации, электротехники, а также теории вероятностей. Математические модели прогнозирования электропотребления и электрических параметров созданы на базе известных законов распределения и методов регрессионного анализа с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA».

Имитационные исследования, а также результаты моделирования выполнены в пакетах прикладных программ MATLAB/SIMULINK и SimPowerSystems.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

- разработке комплекса технических решений по системам мониторинга режимов работы горного электрооборудования;
- проведении испытаний и опытной эксплуатации систем удаленного мониторинга высоковольтных подстанций и электрооборудования экскаваторов;
- внедрении системы удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования в промышленности.

Обоснование и достоверность результатов и выводов. Обоснованные и достоверные результаты и выводы диссертации основаны на использовании апробированных методов теоретических основ электротехники, имитационного моделирования, применением пакетов прикладных программ MATLAB/SIMULINK. Научные положения, результаты исследования и выводы подтверждены путем оценки адекватности материалов компьютерного моделирования и экспериментальных исследований системы удаленного мониторинга горных предприятий.

Апробация работы. Основные материалы и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

- на научно–техническом совете КарГТУ;
- на международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации», Сагиновские чтения, № 11 (Караганда, 2019);
- в работе 30th DAAAM International Symposium, (Vienna, 2019);
- на международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации», Сагиновские чтения, №12 (Караганда, 2020).

Реализация работы в промышленности. Разработанные принципы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства внедрены в промышленность на угольном разрезе АО «Шубарколь комир», в качестве технического решения виде системы удаленного мониторинга режимов работы подстанций и системы удаленного мониторинга режимов работы экскаваторов. В настоящее время эксплуатируется на пяти экскаваторах и двух подстанциях.

Основные научные результаты докторской диссертации опубликованы в 11 научных трудах, в том числе 2 публикации, входящие в информационную базу компаний Scopus (процентиль – 41 и 43) и Web of Science (Q4), 4 публикации в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, 4 публикаций в международных научно–практических конференциях, в том числе 1 в зарубежье. Получен 1 патент Республики Казахстан (Пат. 5132 № 2020/0423.2; заявл. 02.05.2020; опубл. 10.07.2020, Бюл. №27. – 5 с), 2

свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права Республики Казахстан (№ 8594. опубл. 05.03.2020.; №9489, опубл. 20.04.2020).

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части из пяти разделов, заключения. Объем диссертации составляет 114 страниц машинописного текста, содержит 55 рисунков, 25 таблиц, списка использованных источников, включающих 135 наименований, 7 приложений.

1 АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕТОДАМ И СИСТЕМАМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1.1 Классификации методов и анализ технических решений по мониторингу режимов работы промышленного электрооборудования

Одним из ключевых моментов развития промышленности является наличие качественного и работоспособного электрооборудования.

Для высокой производительности и качественного проведения технологического процесса на производстве необходимо обеспечить постоянный контроль состояния электрооборудования, в том числе для предотвращения аварийных ситуаций и травм на производстве.

На большинстве промышленных предприятий установлено старое оборудование времен Советского Союза, которое долго находилось в эксплуатации [4, 5]. В настоящее время существует острая необходимость замены производственного оборудования на предприятиях, что позволит не только улучшить работу, увеличить производительность, но и обезопасить труд работников. Электрооборудование является сложной технической системой, состоящей из различных элементов, каждый из которых выполняет свою функцию, а также требует постоянного контроля технического состояния. В связи с этим возникает потребность в оперативном контроле режимов работы и диагностики как старого, так и нового электрооборудования. Наличие большого количества разнообразного электрооборудования в различных отраслях промышленности требует использования различных современных методов диагностики и контроля режимов работы. В связи с развитием информационных технологий появилась возможность использования удаленного контроля и мониторинга режимов работы. При рассмотрении различных отраслей промышленности, можно выделить основные, где необходимость использования удаленного мониторинга, обусловлена различными факторами, привязанными к технологии. Так, например, в металлургии широко применяется вибродиагностика.

Системы мониторинга нового поколения, а также системы вибродиагностики вращающегося оборудования позволяют в короткие сроки производить переход на стадию ремонта и обслуживания, в зависимости от фактического состояния как основного так вспомогательного оборудования производства [6].

Ученые Российской Федерации В.Н. Костюков, С.Н. Бойченко, А.В. Костюков выделили классификацию систем мониторинга технического состояния оборудования по следующим факторам:

- числу и виду используемых МНК;
- по типу экспертной системы;
- по объему выявляемых неисправностей;
- по величине статической ошибки распознавания состояния оборудования;

- по величине динамической ошибки распознавания состояния оборудования;
- по величине риска пропуска внезапного отказа;
- по числу измерительных каналов системы;
- по способу опроса датчиков;
- по архитектуре;
- по типу используемого анализатора сигналов;
- по типу индикатора состояния;
- по наличию и уровню диагностической сети;
- по типу управления [7].

Предлагаемая классификация систем мониторинга основана на многолетнем опыте создания и внедрения систем мониторинга технического состояния машинного и технологического оборудования в реальном времени опасных производств химической, нефтехимической, нефтедобывающей, нефте- и газоперерабатывающей, горной и металлургической промышленности, железнодорожного транспорта, коммунального хозяйства [8].

По мнению ученых Ю.Л. Жуковского, А.Е. Козярук, А.А. Коржева, А.В. Кривенко, система мониторинга должна включать в себя:

- первичные преобразователи диагностируемых параметров;
- вторичные преобразователи и нормализаторы сигналов;
- устройства сбора данных;
- средства связи с ЭВМ верхнего уровня;
- специализированное программное обеспечение, выполняющее функции:
 - сбор и обработка диагностической информации;
 - создание базы данных реального времени для накопления статистики;
 - изменения технического состояния объектов диагностики;
 - формирование отчетов, включающих оценку текущего технического состояния объектов диагностики и прогноз остаточного ресурса (при условии достаточного объема статистических данных в базе данных) [9].

Также актуальны следующие методы диагностики технического состояния промышленного электрооборудования:

- на основе анализа вибраций отдельных видов оборудования [10, 11];
- на основе анализа акустических колебаний, создаваемых работающей машиной [12];
- на основе анализа и измерения магнитного потока в зазоре двигателя [13];
- на основе анализа вторичных электромагнитных полей машины [14];
- на основе анализа и измерения температуры отдельных элементов машины [15, 16];
- на основе анализа электрических параметров машины [17-21].

Метод бесконтактного мониторинга технического состояния электрооборудования систем электроснабжения промышленных комплексов, предложенный Будко П.А. и Литвиновым А.И., состоит в использовании

закономерностей изменения внешних магнитных полей, сопровождающих процесс его электропотребления. Датчики магнитного поля при этом размещаются непосредственно на электропитающих проводах (шинах) [22].

Получение информации о режимах работы и техническом состоянии электрооборудования осуществляется на основании анализа характера изменения формы тока, потребляемого электрооборудованием. Реализация высокочувствительного бесконтактного мониторинга технического состояния электрооборудования систем электроснабжения достигается за счет нестандартного подхода за счет регистрации датчиками внешнего магнитного поля, определяемого токами в токоподводящих проводах, питающих электрооборудование. Датчики магнитного поля могут быть размещены как у электрооборудования, так и в другом удобном месте [23].

1.2 Анализ исследований, режимов работы и технических решений по мониторингу электрооборудования горного производства при добыче открытым способом

1.2.1 Анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства при добыче открытым способом

Горные машины, применяемые на открытых горных работах, как правило, обладают свойством периодического действия. Одноковшовые экскаваторы, погрузчики, бульдозеры и другое оборудование характеризуются большой динамичностью. Рабочий цикл такой машины включает в себя около двадцати операций, а оператор вынужден производить около 70 действий. На бульдозерах оператор выполняет в течение часа до 800-1200 переключений. Напряженный характер и монотонность работы операторов на этих машинах ведет к снижению производительности на 30% к концу смены. В связи с этим появляется опасность возникновения аварийных ситуаций и выхода из строя оборудования [24].

Электрооборудование одноковшовых экскаваторов работает в сложных природно-климатических и эксплуатационных условиях [25, 26]. Основной особенностью рабочего режима механизмов экскаватора является постоянная работа на резкопеременную нагрузку, которая сокращает ресурс основных узлов электроприводов экскаватора. Для оценки остаточного ресурса элементов электроприводов экскаваторов целесообразно оснащать их системой диагностирования. Для построения такой системы нужно знать текущее состояние, как электрических, так и механических подсистем электроприводов. Такую систему мониторинга предложили М. Завьялов, А.П. Носков, В.С. Городнянский, А.Н. Гаргаев [27]. Принцип работы системы заключается в следующем: при подаче сигнала от базовой станции (БС) на измерительные блоки, расположенные на барабанах (БИП1 – БИП4), а также в якорных цепях двигателей (БИТ1, БИТ2), они начинают производить измерение соответствующих переменных. Каждый цикл измерения сопровождается обработкой данных на измерительных блоках независимыми

микроконтроллерами, а также одновременной записью данных в память. После подачи сигнала от базовой станции о начале передачи данных, измеряющие блоки начинают передачу данных на базовую станцию, та, в свою очередь, начинает обработку данных со всех измерительных блоков, а также запись всех данных в память. Таким образом, проходит несколько циклов передачи для получения ряда данных за определенный промежуток времени. В дальнейшем БС может быть подключена к ПК для дальнейшей передачи данных и обработки специальным программным обеспечением, которое на основе этих данных способно представить визуально процессы, протекающие в электроприводах. По мнению авторов, система мониторинга динамического состояния электроприводов экскаватора позволяет вести контроль механических и электрических параметров и на основании полученных данных определять усилия в канатах. Полученная таким образом информация может быть использована в системах управления электроприводов, для прогнозирования ресурса узлов экскаватора, выявления аварийных режимов работы и оценки квалификации машиниста [27, с. 60].

Устройство мониторинга экскаваторов УМЭ-02, разработанное компанией ЗАО "АйСиТи Автоматизация" [28] позволяет контролировать такие параметры как: количество нагруженных-выгруженных ковшей, оценка массы/объема материала, перегруженного экскаватором; машинное время работы экскаватора в режиме экскавации; машинное время работы экскаватора в режиме шагания; машинное время работы синхронного двигателя экскаватора; активная электроэнергия, потребленная синхронным двигателем; активная электроэнергия, потребленная в силовой сети ~380В на борту экскаватора. Также данная система осуществляет контроль электромашин главных приводов по нагреву подшипников и обмоток; контроль наклона платформы (крен и дифферент); контроль состояния силового трансформатора по температуре обмоток; контроль положения ковша по длинам канатов тяги и подъема; контроль изоляции в цепях главных и вспомогательных приводов и в цепях схемы освещения; контроль включения вентиляции главных приводов; контроль включения исполнительных устройств смазки редукторов главных приводов; контроль нагрева масла в редукторах главных приводов; сбор информации о готовности экскаватора к работе; контроль качества питающей электроэнергии; формирование аварийной сигнализации с описанием причины аварии [29].

Система удалённого мониторинга трансформаторно-распределительной подстанции, предложенная Жуковой Т.В., и Жуковой М.Д., обладает следующими функциями [30]:

- измерение напряжения;
- измерение тока;
- защита от несанкционированного проникновения;
- определение аварийных ситуаций;
- передача информации с датчиков через GSM-модуль на телефон бригады рабочих.

Система передачи информации работает в двух режимах. В ручном режиме оператору необходимо посылать запрос системе, и получить ответ о неисправности, который он направит соответствующей бригаде для исполнения. В автоматическом режиме при возникновении неисправности оператор и обслуживающая бригада получает оповещение в виде SMS-сообщение о наличии неисправности и кодом ошибки.

Также известна система мониторинга, контроля и управления электрическими подстанциями произведенная компанией ООО «Ниеншанц-Автоматика», (Санкт-Петербург) установленная на объектах ООО «Березовские электрические сети» [31].

Контрольно измерительная аппаратура включает в себя:

- счетчики электрической энергии КИПП-2 М со встроенными модулями дискретных входов и выходов. Счетчики электрической энергии обеспечивают измерения параметров электрической сети, такие как напряжение, ток, мощность, частоту сети, коэффициент мощности, потребляемую энергию и другие, а также фиксацию положения и управление коммутационными аппаратами;

- цифровой измерительный преобразователь SATEC PM130P-трехфазный прибор, предназначенный для измерения основных параметров электрической сети;

- терминалы РЗА серии MiCOM P12х, специально разработаны для управления, защиты и мониторинга состояния электроустановок промышленных предприятий, защиты оборудования подстанций распределительной сети среднего напряжения;

- датчики охранной сигнализации.

В связи с тем, что объекты мониторинга удалены от диспетчерского пункта на десятки километров, развернута технологическая сеть стандарта Ethernet. Магистральные каналы связи построены как на базе волоконно-оптических линий связи, так и на базе витой пары с применением DSL-модемов.

Известна автоматизированная система контроля и управления электропотреблением предприятия, запатентованная Комяковым А.А., и Пономаревым А.В. Данная система позволяет осуществлять мониторинг расхода электрической энергии, режимы работы электрооборудования. Данная система позволяет производить расчет плановых значений расхода электрической энергии, позволяет измерять температуру воздуха, продолжительность светового дня [32].

Известно также запатентованное изобретение Рассальской С.М., Сахно А.А., Конограй С.П., под названием «Система мониторинга высоковольтного электротехнического оборудования», которое может быть использовано для непрерывного контроля основных рабочих параметров высоковольтного электротехнического оборудования. Данная система позволяет осуществлять мониторинг разнообразных параметров электротехнического оборудования с возможностью передачи данных на в

автоматизированную систему диспетчерского управления и/или автоматизированную систему учета электроэнергии и/или автоматизированную систему управления технологическим процессом и/или автоматизированную систему управления планированием производства (АСУПВ) [33].

Другим известным изобретением является автоматизированное устройство мониторинга оборудования электрической подстанции, предложенное и запатентованное Балашовым А.В., Карпиковым С.Р., Есафовым А.В. Данное устройство содержит ЭВМ, соединенную линиями связи с датчиками технических параметров оборудования электрической подстанции, при этом ЭВМ выполнена в виде микропроцессорного блока сбора и обработки данных. Соединение датчиков возможно по двум каналам связи, с помощью электрических линий связи и с помощью волоконно-оптических линий связи, микропроцессорный блок сбора и обработки данных содержит микроконтроллер, соединенный по сети Profinet и/или Ethernet с рабочим местом оператора [34].

Зарубежная система мониторинга и контроля параметров электросети предприятия, разработанная компанией JANITZA GbmH (Германия), представляет собой комплексное решение для анализа эффективности энергопотребления предприятия на базе анализаторов мощности компании Janitza [35]. Основными функциями данной системы являются: считывание и запись параметров энергии и профиля нагрузки; контроль качества электросети; анализ стоимости электроэнергии в общей себестоимости продукта предприятия; прогнозирование потребления для улучшения контракта с поставщиком энергии.

Система интеллектуального мониторинга Rittal (Германия), включающая измерительный модуль, систему контроля и LCD-дисплей, представляет собой рациональное, компактное и надежное решение, обеспечивающее регистрацию, анализ и оценку расхода энергии в непрерывном режиме. Как и другие системы управления, она имеет своей целью непрерывную оптимизацию за счет постоянного выявления новых возможностей экономии энергии и регулярного внедрения мероприятий по их реализации [36].

Анализируемые системы с достаточной эффективностью выполняют контроль над состоянием электрооборудования горного производства с открытым способом добычи.

Однако, например, система мониторинга, предложенная учеными М. Завьяловым, А.П. Носковым, В.С. Городнянским и А.Н. Гаргаевым [27, с. 60] оснащена радиомодулями, способными работать только в прямой видимости между приемником и передатчиком. В условиях угольного разреза, где точки контроля находятся на распределенной территории с различной высотой над уровнем моря, система не будет функционировать должным образом.

Устройство мониторинга экскаваторов УМЭ-02, разработанное компанией ЗАО "АйСиТи Автоматизация" является многофункциональной системой мониторинга, однако является автономной и работает только в пределах

кабины машиниста и возможность передачи данных на диспетчерский пункт отсутствует.

Система удаленного мониторинга трансформаторно-распределительной подстанции, предложенная Жуковой Т.В. и Жуковой М.Д., осуществляет передачу текущей информации только по запросу и только посредством SMS сообщений. В условиях угольного разреза при отсутствии сигнала GSM, данная система будет функционировать не в полном объеме.

В системе, предложенной и запатентованной Комяковым А.А., и Пономаревым А.В. отсутствует возможность мониторинга рабочего времени, что существенно снижает качество анализа электропотребления с привязкой к технологии производства. Также отсутствует применение способа выбора канала связи в зависимости от текущих условий эксплуатации.

Недостатком изобретения Рассальской С.М., Сахно А.А., Конограй С.П., является отсутствие возможности выбора канала связи в зависимости от текущих условий передачи данных, а также отсутствие разделения объектов мониторинга на две группы.

Волоконно-оптические линии связи, а также сеть Ethernet, применяемые в запатентованном изобретении Балашова А.В., Карпикова С.Р., Есафова А.В., позволяют повысить скорость передачи информации, однако использование таких каналов связи в условиях открытой добычи полезных ископаемых не представляется возможным, в связи с возникновением нарушения целостности кабельной линии в тяжелых условиях.

Представленные в обзоре зарубежные системы выполняют огромное количество функций, однако в тяжелых условиях эксплуатации на горных предприятиях Республики Казахстан не будут работать должным образом. Отсутствие комбинированных каналов связи, позволяющих передавать непрерывную и достоверную информацию о режимах работы электрооборудования и состоянии защит, влечет за собой уменьшение энергоэффективности горного производства.

Все вышеприведенные системы мониторинга режимов электропотребления работают без привязки к технологическим и сезонным особенностям добычи или мониторинг производится усредненно за большие интервалы времени.

1.2.2 Анализ технологических и аварийных режимов работы электрооборудования горного производства при добыче открытым способом

Технологические процессы при открытом способе добычи полезных ископаемых на большинстве промышленных предприятий Республики Казахстан остаются вне контроля.

Особенности открытых горных работ, в том числе для добычи угля, заключаются в том, что горнодобывающее оборудование большой единичной мощности (экскаваторы, буровые станки) располагается на значительной площади. Выемка угля и погрузка породы на угольных разрезах осуществляется экскаваторами, оснащенными мощными электроприводами.

Так, мощность широко распространенных экскаваторов горного производства типа ЭКГ и ЭШ составляет от 250 до 1250 кВт [3, с. 919].

Электроприводы буровых станков также имеют мощности более 100 кВт. Экскаваторы распределены на местности на значительном удалении друг от друга. Широкое разнообразие условий эксплуатации экскаваторов приводит к значительному разбросу удельных норм потребления электрической энергии экскаваторами и к существенному отличию фактических норм от расчетных, что можно выявить с помощью систем удаленного мониторинга режимов работы горнодобывающего оборудования [3, с. 919].

Соответственно электроснабжение угольного разреза представляет собой разветвленную многокилометровую сеть воздушных линий, трансформаторных подстанций на напряжение 110/35/10 и 6 кВ, переключательных пунктов, электроприемников, содержащих экскаваторы, насосные станции, буровые станки, водоотливные установки и другое специализированное оборудование [37, 38].

Для систем электроснабжения горнодобывающих предприятий, в том числе подстанций угольных разрезов, характерными являются частые аварийные ситуации. С учетом того, что подстанции размещаются непосредственно на бортах разрезов, на значительном удалении от диспетчерских пунктов, контроль режимов их работы затруднен, отсутствуют системы технического учета электропотребления, а поиски и устранение отказов связаны со значительными трудностями и ведут к длительным простоям [3, с. 919].

Бесперебойная подача напряжения питания потребителям разрезов позволяет обеспечить не только их производительную работу, но и способствует поддержанию высокого уровня безопасности ведения горных работ. Высокий уровень надежности систем электроснабжения и их элементов – один из решающих факторов, обеспечивающих эффективность использования горной техники [39].

Одной из наиболее важных задач, требующих решения в условиях горной промышленности с открытым способом добычи является мониторинг электропотребления [40, 41]. Внедрение системы мониторинга электропотребления дает предприятию следующие преимущества:

- первый шаг в направлении энергосберегающей политики;
- наличие необходимых данных дает возможность перехода к управлению электропотреблением со стороны потребителя;
- появляется возможность эффективного управления коэффициентом мощности, что улучшает показатели; этот шаг можно рассматривать как следующий в автоматизации управления электропотреблением;
- повышение эффективности использования оборудования и раннее обнаружение проблем электроснабжения;
- анализ аварийных и послеаварийных режимов;
- анализ гармоник [40, с. 55].

Анализ исследований в области аварийных режимов работы электрооборудования горного производства показал, что основными причинами отказа электрооборудования являются несвоевременная диагностика технического состояния. Причиной отказа также могут служить механические повреждения оборудования, аппаратуры, недопустимые режимные параметры в элементах электрической сети, нарушение правил технической эксплуатации, а также естественные процессы изнашивания и старения. Помимо прочих классификаций отказов, можно выделить неожиданные и постепенные отказы электрооборудования [42].

Неожиданный отказ возникает в результате резкого скачкообразного изменения конфигурации одного, либо нескольких главных характеристик (обрыв фаз кабельных и воздушных линий, разрушение контактных соединений в аппаратах и др.). Постепенный отказ наступает в итоге долгого, постепенного изменения характеристик, обычно из-за старения либо изнашивания (ухудшение сопротивления изоляции кабелей, роста переходного сопротивления контактных соединений и др.). Чаще всего причиной неожиданного отказа являются не принятые своевременно меры по устранению неполадок, постепенно выходящего из строя оборудования. Аварии на подстанциях могут произойти в результате неожиданных повреждений электрооборудования, нарушений в работе электрооборудования от возможных перенапряжений и воздействий электрической дуги, отказов в работе устройств релейной защиты, автоматики, аппаратов вторичной коммутации, ошибочных действий персонала (оперативного, ремонтного, производственных служб). Причинами неожиданных повреждений электрооборудования [43], как правило, являются некачественный монтаж и ремонт электрооборудования (например, отказы выключателей из-за плохой регулировки передаточных механизмов и приводов), неудовлетворительная эксплуатация электрооборудования, неудовлетворительный уход, например, за контактными соединениями, что приводит к их перегреву с последующим разрывом цепи рабочего тока и возникновению короткого замыкания, дефекты конструкций и технологии изготовления электрооборудования (заводские дефекты), естественное старение и форсированные износы изоляции. Например, систематическое превышение температуры обмоток трансформатора сверх допустимой на 6 градусов сокращает срок возможного использования его изоляции вдвое. Причинами нарушений в работе электроустановок могут быть грозовые и коммутационные перенапряжения, при этом повреждается изоляция трансформаторов, выключателей, разъединителей и другого оборудования. Чрезмерное загрязнение и увлажнение изоляции способствуют ее перекрытию и пробоям. Однофазные замыкания на землю в сетях 6-35 кВ, сопровождающиеся горением заземляющих дуг (вследствие недостаточной компенсации емкостных токов), приводят к перенапряжениям, пробоям изоляции электрических машин и аппаратов, а непосредственное воздействие заземляющих дуг к разрушению изоляторов, расплавлению шин, выгоранию цепей вторичной коммутации в ячейках КРУ и др. Причины отказов в работе устройств релейной защиты,

автоматики и аппаратуры вторичной коммутации следующие: неисправности электрических и механических частей реле, нарушения контактных соединений, обрывы жил контрольных кабелей, цепей управления и т.д., неправильный выбор или несвоевременное изменение установок и характеристик реле, ошибки монтажа и дефекты в схемах релейной защиты и автоматики, неправильные действия персонала при обслуживании устройств релейной защиты и автоматики [44, 45]. Рассмотренные выше причины отказов электрооборудования систем электроснабжения могут оказывать различную степень влияния на надежность систем электроснабжения, т.к. кроме конструктивной надежности электроустановки на надежность систем электроснабжения влияют также эксплуатационные факторы, определяемые временем и стоимостью устранения отказов электрооборудования.

Электрическое оборудование экскаваторов ЭКГ содержит большое количество различных (по типуажу, конструктивному исполнению и режимам погружения) двигателей, генераторов, магнитных усилителей, силовых и осветительных трансформаторов дросселей, аппаратуры пуска, управления, контроля и защиты, полупроводниковых устройств и т. д. [46].

Анализ отказов каждого отдельно взятого элемента электрооборудования карьерных экскаваторов, а также связанных с ними потерь горной массы, согласно [47], приведены в таблице 1.1. На экскаваторах ЭКГ, наибольший процент отказа приходится на двигатель подъема – 24%, синхронный двигатель – 16%, двигатель поворота – 11%, генератор подъема – 8%, двигатель напора – 6 %. Наибольшие потери времени работы связаны с поломкой синхронных двигателей – 28% двигателей подъема – 23% и двигатели поворота – 13%.

Таблица 1.1 – Основные виды отказов электрооборудования экскаваторов ЭКГ

Основные виды отказов электрооборудования экскаватора ЭКГ	Отказы, %	
	по частоте	по продолжительности
1	2	3
<i>Двигатель подъема</i>		
<i>Полная замена</i>		
Сгорание обмотки якоря (перегрев, витковое замыкание, старение изоляции, размотка бандажа)	22	17
Щеточный аппарат (износ, зависание щеток)	17	14
Излом подшипников (плохая балансировка, смазка)	4	3
Прочие	57	66
Итого	100	100
<i>Ремонт</i>		
Щеточный аппарат (износ, зависание щеток)	8	7
Нагрев двигателя (плохая вентиляция кузова)	20	11
Крепеж двигателя и центровка (балансировка, центровка)	21	36
Сгорание перемычек	18	17
Повреждение муфты (плохая центровка)	7	6
Прочие	26	23
Итого	100	100

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
<i>Синхронный двигатель</i>		
<i>Полная замена</i>		
Излом подшипника (плохая балансировка, центровка, смазка)	24	22
Возгорание двигателя (беличье колесо, земля, перегрев)	10	8
Ротор (беличье колесо, переключки)	7	7
Статор (пробой изоляции на корпус)	16	14
Муфта (плохая центровка, балансировка)	2	1
Прочие	41	48
Итого	100	100
<i>Ремонт</i>		
Нагрев двигателя (плохая вентиляция)	27	22
Крепеж двигателя и центровка (балансировка, центровка)	14	24
Выход из строя подшипника (плохая балансировка, центровка)	5	5
Щеточный аппарат (износ, зависание щеток)	10	8
Прочие	44	41
Итого	100	100
<i>Двигатель поворота</i>		
<i>Полная замена</i>		
Излом вала (динамические нагрузки)	4	3
Сгорание обмотки якоря	21	17
Излом моторной шестерни	22	19
Выход из строя подшипника (плохая балансировка, смазка)	3	3
Прочие	50	58
Итого	100	100

Из проведенного анализа причин отказов вышеперечисленного электрооборудования следует, что основной причиной выхода из строя двигателя подъема является обрыв обмотки якоря вследствие перегрева – 22%, заклинивание или износ щеточного аппарата – 17%, выход из строя подшипников – 4%, перегрев двигателя системы охлаждения – 20%, неправильный крепеж и центровка – 21%.

Основной причиной выхода из строя синхронного двигателя является излом подшипников 24%, поломка статора – 16%, поломка ротора – 7%. Основной причиной остановки двигателя с возможностью его ремонта на месте, является перегрев – 27%. Основной причиной замены электродвигателя поворота является излом моторной шестерни – 22%, сгорание обмотки якоря – 21%.

На основании данного анализа в таблице 1.2 выделены основные причины остановки или выхода из строя электрооборудования экскаваторов типа ЭКГ.

Таблица 1.2 – Основные причины аварийных режимов работы электрооборудования

Основные причины отказов электрооборудования экскаваторов типа ЭКГ	Отказы, %	
	по частоте	по продолжительности
<i>Полная замена</i>		
Перегрев	28,2	22,6
Механический износ	12,2	10,2
Несвоевременное техническое обслуживание	16	20
Прочие	43,6	47,2
Итого	100	100

На основании полученных данных на рисунке 1.1 приведена диаграмма причин аварийных режимов работы электрооборудования экскаваторов по частоте появления, а на рисунке 1.2 приведена диаграмма причин аварийных режимов работы электрооборудования экскаваторов по продолжительности.

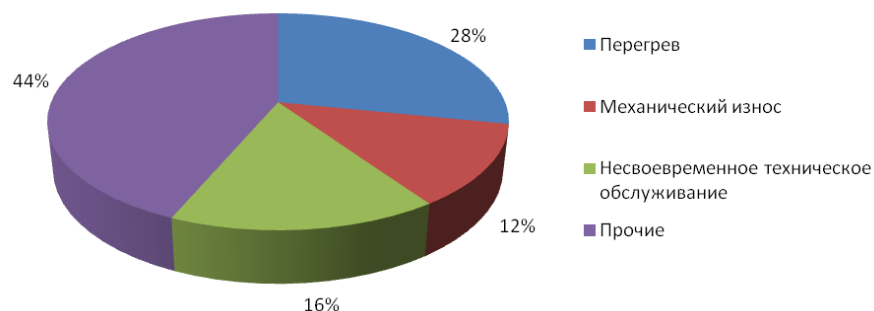


Рисунок 1.1 – Диаграмма причин аварийных режимов работы электрооборудования экскаваторов по частоте появления

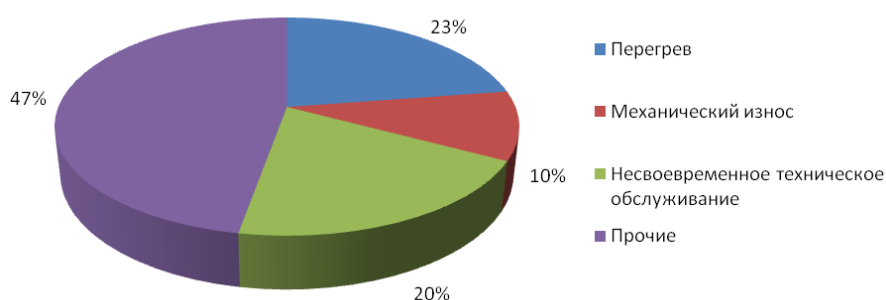


Рисунок 1.2 – Диаграмма причин аварийных режимов работы электрооборудования экскаваторов по продолжительности

Таким образом, к наиболее опасным причинам перехода машин в аварийный режим работы, а также выхода из строя, относится перегрев двигателя [39, с. 82; 48]. На основании вышеизложенного встает вопрос о

мониторинге электрооборудования с возможностью контроля времени работы, в том числе на холостом ходу.

Существуют отдельные фрагменты мониторинга электрооборудования. Возникает необходимость комплексного технологического мониторинга ключевых машин и электрооборудования при открытой добыче полезных ископаемых, а именно для высоковольтных подстанций, которые размещаются по бортам разреза, и для экскаваторов – рабочих машин, непосредственно участвующих в технологическом процессе.

В горной промышленности с открытым способом добычи наиболее острым вопросом является оперативный контроль параметров состояния электрооборудования, таких как включение и отключение, срабатывание защит, а также его электропотребление, напряжение, ток. В связи с возникновением аварийных ситуаций и переходом электрооборудования в аварийные режимы работы, существует необходимость оперативного принятия решения, для возвращения оборудования в нормальный режим работы. В условиях горных предприятий, где существует проблема распределения на местности оборудования, а также ограничено применение каналов связи одного типа, возникает необходимость внедрения систем удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования, с возможностью непрерывной работы в условиях помех.

1.3 Анализ исследований, режимов работы и технических решений по мониторингу электрооборудования горного производства при добыче подземным способом

1.3.1 Анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства при добыче подземным способом

В настоящее время в странах СНГ и дальнего зарубежья разрабатываются и выпускаются современные системы автоматизированного контроля безопасности на угольных шахтах. Эти системы с достаточной эффективностью выполняют контроль безопасности в штатных режимах работы [49, 50].

Предприятием "Аналитприбор" (Смоленск) осваивается выпуск комплекса АКМР-М, предназначенный для непрерывного измерения объемной доли метана, кислорода, оксида углерода в рудничном воздухе и для индикации скорости воздушного потока в шахте. АКМР-М обеспечивает также защитное отключение электропитания шахтного оборудования, сбор, обработку и передачу информации в диспетчерский пункт [51].

В г. Екатеринбурге выпускается шахтная многофункциональная система "Микон-1Р" [52].

Основные функции системы:

- автоматический газовый контроль;
- автоматическая газовая защита;
- автоматический контроль расхода воздуха;

- автоматическое управление проветриванием тупиковых выработок;
- телесигнализация и телеизмерение различных контролируемых параметров шахтной атмосферы и микроклимата и состояния технологического оборудования;
- телеуправление основным и вспомогательным технологическим оборудованием [53].

Выпускается также автоматизированная система мониторинга и управления технологическими процессами на базе контроллера Granch SBTC2 (Россия) [54]. Данная система позволяет производить измерение параметров рудничной атмосферы, сбор информации о состоянии шахтных объектов (оборудования), выдачу управляющих команд на шахтные объекты (оборудование). Вывод информации на автоматизированное рабочее место оператора о контролируемых параметрах, работе технологического оборудования, результатах тестирования и выявленных неисправностях технических средств оператора с возможностью формирования отчетов.

Автоматизированная система контроля и управления параметрами безопасности (АСУ «Безопасность»), разработанная Карагандинскими учеными Авдеевым Л.А и Баймухаметовым С.К. включает в себя ряд подсистем, основными из которых являются [55]:

- аэрогазовый контроль, включающий в себя контроль содержания метана и расхода воздуха в подземных выработках;
- раннее распознавание подземных пожаров;
- контроль пожарооросительного водоснабжения;
- контроль и управление вентиляторами главного проветривания.

При специализированной компоновке составных частей системы и наращивании программного обеспечения она может быть использована при решении следующих общешахтных задач:

- централизованный контроль и управление распределением количества воздуха, протекающего по горным выработкам;
- воздушно-депресссионная съемка;
- централизованный контроль состояния вентиляционных шлюзов;
- управление и контроль объектами с искробезопасными цепями;
- автоматизированное определение газовыделения и категоричности шахт и пластов.

В состав системы входят основные части, выполняющие следующие функции:

- телеизмерение текущих значений параметров (ТИ);
- телесигнализация состояния двухпозиционных объектов (ТС);
- телеуправление двухпозиционными объектами (ТУ);
- централизованное питание искробезопасным напряжением распределителей, преобразователей и объектов контроля и управления мощностью до 0,5 Вт;
- задание на устройстве структуры каналов ТИ, ТС;

- при совместной работе с ЭВМ аппаратура обеспечивает возможность программного изменения последовательности частоты и длительности опроса объектов;

- контроль, измерение и управление через ЭВМ [56].

Основные принципы существующих систем контроля безопасности угольных шахт сводятся к следующим:

- постоянный автоматический контроль состояния шахтной атмосферы, включая концентрацию метана, содержание различных газов, скорость воздушного потока (в системах Трансмиттон и Сименс дополнительно контролируются температура и давление);

- наличие наземной и подземной частей систем;

- распределенность систем контроля;

- трехуровневая иерархическая структура (датчики – подземные контроллеры – серверы);

- наличие различных телемеханических каналов связей.

Анализируемые системы с достаточной эффективностью выполняют контроль безопасности в штатных режимах работы. Однако, в случаях возникновения аварийных ситуаций, развитие которых заканчивается взрывами или внезапными выбросами, системы теряют работоспособность из-за обрыва линий связи, разрушения датчиков, отключения электропитания, что ведет к потере информации. Так, авария на шахте “Ульяновская” в Кузбассе, где погибло 110 человек, произошла, несмотря на наличие одной из лучших в мире систем технологического контроля “Трансмиттон” (выпускается в Великобритании), по причине нарушения правил эксплуатации оборудования [57, 58].

Аналогичные проблемы, связанные с отсутствием систем пред и поставарийного контроля, существуют и на других взрывоопасных производствах, к которым относятся предприятия металлургического комплекса, деревообрабатывающей, нефтегазовой, химической и мукомольной промышленности [59].

Кроме того, в этих системах не предусмотрен комплексный контроль режимов работы электрооборудования и состояния технологической среды в пред и поставарийных ситуациях. Отсутствуют датчики, позволяющие контролировать развитие аварий по различным физическим эффектам, отсутствуют технологии документирования процессов после аварии и съема информации с оборудования, подвергшегося воздействию взрывной волны, а также способы его поиска в случае попадания в завал.

Связь между системами мониторинга для отбитых и подземных горных работ очевидна. В системах предаварийного, аварийного и поставарийного контроля режимов работы электрооборудования горного производства при добыче подземным способом, также используются различные каналы связи в процессе нормальной работы и при авариях.

1.3.2 Анализ аварийных режимов работы электрооборудования угольных шахт

Из анализа основных тенденций развития подземной добычи угля на шахтах Республики Казахстан и стран СНГ следует, что в последние годы существенно возросла производительность за счет внедрения современной горнодобывающей техники и совершенствования технологии добычи. Современное горное оборудование характеризуется мощной энерговооруженностью и применением эффективных и надежных средств автоматизации.

Однако интенсификация производства создает дополнительные проблемы в сфере безопасности, так как рост добычи угля сопровождается увеличением выделения сопутствующего взрывоопасного газа метана.

Проведенный анализ аварий, произошедших за последние годы на опасных по газу и пыли сверхкатегорийных шахтах стран СНГ и Китая, показал, что в большинстве случаев причиной аварийных ситуаций является выделение метана в количествах, превышающих допустимые, а также наличие источника воспламенения газовой смеси. Согласно данным, приведенным в таблице 1.3, только в Казахстане в 2004 году на шахте «Шахтинская», в 2006 году на шахте им. Ленина, 2008 году на шахте «Абайская» произошли крупные аварии, в которых погибло более 80 человек. В России в 2007 году при авариях на шахтах «Ульяновская» и «Юбилейная» погибло более 140 человек, в Китае от взрывов метановоздушной смеси ежегодно гибнут тысячи шахтеров [58, с. 338].

Таблица 1.3 – Анализ аварий на шахтах Казахстана

Дата	Шахта	Город/Область	Вид аварии	Количество жертв
07.07.1994	Шахта «Казахстанская»	Шахтинск	взрыв метана	14
16.03.1994	Шахта «Актасская»	Сарань	пожар	11
24.11.1995	Шахта имени В. И. Ленина (Шахтинск)	Шахтинск	взрыв метана	13
05.12.2004	Шахта «Шахтинская»	Шахтинск	взрыв метана	23
20.09.2006	Шахта имени В. И. Ленина (Шахтинск)	Шахтинск	взрыв метана	41
11.01.2008	Шахта «Абайская»	Абай	взрыв метана	30
02.06.2008	Шахта «Тентекская»	Шахтинск	внезапный выброс угля и газа	5
12.10.2008	Шахта №65 Южно-Жезказганского рудника	Жезказган	падение из клетки	6
29.06.2009	Шахта «Тентекская»	Шахтинск	внезапный выброс угля и газа	3
23.06.2010	Шахта имени Тусупа Кузембаева	Сарань	внезапный выброс угля и газа	2
10.11.2016	Шахта «Саранская»	Сарань	обрыв подвесной дороги	8
31.08.2017	Шахта «Казахстанская»	Шахтинск	взрыв метана	3

При очевидном прогрессе горнодобывающей техники, большинство средств контроля технологических режимов работы угольных шахт не соответствуют современным требованиям, что существенно ухудшает безопасность на опасных производствах и приводит, в случае аварийных ситуаций, к тяжелым последствиям.

Следующая проблема, снижающая уровень безопасности на угольных шахтах, это отсутствие систем контроля режимов работы оборудования, включая электрооборудование, нарушения, в работе которого могут быть, и часто являются причинами аварий.

И, наконец, объективный анализ причин и процессов развития аварий с тяжелыми последствиями в угольных шахтах затруднен в связи с отсутствием систем поставочного контроля. В случае превышения допустимого уровня метана, возникновения утечек или повреждения линий электроснабжения отключается электроэнергия, и датчики метана остаются без электропитания. В результате процесс развития аварии документировать невозможно, что не позволяет использовать объективную информацию для анализа произошедших и предотвращения аналогичных аварий.

В горной промышленности с подземным способом добычи, в частности в угольных шахтах наиболее острым вопросом является применение системы мониторинга пред- и послеаварийных режимов работы электрооборудования, позволяющей контролировать развитие аварий по различным физическим эффектам, применение технологии документирования процессов после аварии и съема информации с оборудования, подвергшегося воздействию взрывной волны, а также способы его поиска в случае попадания в завал. В связи с нахождением объектов мониторинга глубоко под землей, возникает также необходимость использования систем удаленного мониторинга в условиях помех, возникающих в условиях шахты.

1.4 Сравнительная характеристика режимов работы электрооборудования при подземном и открытом способах добычи полезных ископаемых

Системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования при подземном и открытом способах добычи имеют различия. Однако проведенный анализ позволяет нам объединить принципы построения данных систем, на основании общих критериев, таких как:

- тяжелые условия эксплуатации, связанные с возникновением превышенных норм динамических нагрузок, увеличивающих износ электрооборудования за счет увеличения коэффициента трения сопрягаемых поверхностей, как следствие, перегрев улов и механизмов; присутствие в окружающем воздухе различной пыли, газов, постоянно изменяющейся влажности; работа электрооборудования в повторно-кратковременных режимах;

- распределение электрооборудования на огромной территории, как следствие, отсутствие возможности использования проводной линии связи,

отсутствие прямой видимости между объектами мониторинга и диспетчерским пунктом, что требует определенного подхода для выбора оптимального канала связи;

- влияние электромагнитных помех на микропроцессорное оборудование, возникающих при передаче электроэнергии, коммутации и работе высоковольтного электрооборудования;

- наличие индуктивного характера нагрузки, вырабатывающей реактивную мощность, которая оказывает пагубное влияние на качество электрической сети, и, как следствие, возникает уменьшение срока службы электрооборудования;

- более тяжелые условия труда рабочих, что отрицательно сказывается на качестве ухода за электрооборудованием.

1.5 Задачи исследований

Целью диссертационной работы является повышение оперативности управления, снижение потерь и простоев при отказах электрооборудования, повышение энергоэффективности удаленного электрооборудования горного производства.

В связи с этим в диссертационной работе решаются следующие основные задачи:

- анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства;

- анализ режимов работы удаленного электрооборудования горного производства способом открытой добычи в условия помех;

- разработка имитационных моделей, описывающие влияние режимов работы многодвигательного горного электрооборудования (экскаваторы) на помехоустойчивость, достоверность и надежность функционирования систем мониторинга;

- разработка помехозащищенных алгоритмов сбора и передачи информации с учетом коммутационных помех;

- разработка технических решения, обеспечивающих автоматический выбор возможных каналов передачи информации в системах удаленного мониторинга в реальных изменяющихся условиях эксплуатации горного оборудования;

- испытания и опытная эксплуатация систем удаленного мониторинга высоковольтных подстанций и электрооборудования экскаваторов.

1.6 Выводы по первому разделу

В главе приведён анализ исследований по методам и системам технологического контроля режимов работы электрооборудования горного производства.

Приведены классификации методов и анализ технических решений по мониторингу режимов работы промышленного электрооборудования.

Проведён анализ технологических и аварийных режимов работы электрооборудования горного производства при добыче открытым способом.

Проведен анализ аварийных ситуаций на горнодобывающих предприятиях с подземным способом добычи, а также анализ технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства при добыче подземным способом.

Приведены общие характеристики систем мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства при различных способах добычи.

2 АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ПОМЕХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

2.1 Общие сведения о влиянии погодных условий на системы мониторинга электрооборудования

Процесс передачи информации по радиоканалам связи сопровождается определенным уровнем помех, возникающих при работе силового электрооборудования, радиоаппаратуры предприятия, а также различных природных явлений.

Экспериментальные исследования, проведенные на угольном разрезе АО «Шубарколь комир», позволяют произвести оценку каждого из видов помех. Данные экспериментальные исследования проводились с целью увеличения помехоустойчивости системы, для более достоверной передачи информации в системе удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования при открытой добыче.

При распространении электромагнитного поля от радиовещательных излучателей линией передачи является естественная окружающая среда (земная и водная поверхности, атмосфера, в широком смысле этого слова), которая, как правило, не контролируется человеком. Естественная среда подвержена различного рода изменениям: под влиянием солнечной энергии меняются температура воздуха и поверхности Земли, давление, влажность, ионизация воздуха и другие параметры. Процессы, происходящие на самой земной поверхности (образование морского льда, промерзание грунтов, наличие растительного и снежного покровов) являются производными от них. При распространении электромагнитного поля по естественным волноводам из-за рассеяния и поглощения происходит постоянное уменьшение плотности энергии с расстоянием [60].

В таблицах 2.1 и 2.2 приведены различные природные явления, возникающие на угольном разрезе, а также их влияние на работоспособность системы удаленного мониторинга.

Таблица 2.1 – влияние метеоусловий на уровень достоверности передаваемой информации (без осадков)

Уровень достоверности передаваемой информации, %	Температура воздуха, °C				
Скорость ветра	-30	-15	0	+15	+30
0 м/с	81	83	84	80	65
1-5,4 м/с	80	85	94	95	90
5,5-10,7 м/с	77	80	84	85	83
10,8-17,1 м/с	61	68	72	74	-
17,2-24,4 м/с		50	67	71	-

Таблица 2.2 – Влияние метеоусловий на уровень достоверности передаваемой информации (при наличии осадков в виде дождя и снега)

Уровень достоверности передаваемой информации, %	Температура воздуха, С				
Скорость ветра	-30	-15	0	+15	+30
0 м/с	77	78	82	77	-
1-5,4 м/с	78	82	92	94	-
5,5-10,7 м/с	75	78	82	81	-
10,8-17,1 м/с	60	50	67	-	-
17,2-24,4 м/с	-	45	61	-	-

На основании проведенных экспериментальных исследований можно однозначно сказать, что процесс мониторинга режимов работы электрооборудования при открытой добыче полезных ископаемых напрямую зависит от метеоусловий. Температура воздуха, скорость ветра и осадки влияют на состояние атмосферного воздуха. При низкой скорости или отсутствии ветра возникает облако «угольной пыли», при высокой концентрации которой происходит ухудшение качества связи.

2.2 Общие сведения о влиянии коммутационных помех на системы мониторинга электрооборудования

При коммутационных операциях выключателями и разъединителями в сети высокого напряжения возникает высокочастотный переходный процесс. Параметры этого процесса индивидуальны для каждого объекта и, более того, даже для каждой конкретной коммутации. ВЧ-токи и перенапряжения через системы шин распространяются по территории объекта. Они создают электромагнитные поля, способные вызывать наводки во вторичных кабелях и даже во внутренних цепях аппаратуры. Кроме того, проникновение коммутационных помех во вторичные кабели происходит через трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, фильтры присоединения ВЧ-связи и т.п. [61].

Коммутационные помехи, возникающие в результате возникновения переходного процесса в электрической сети, оказывают пагубное влияние на работу системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования, как в целом, так и на различные ее части. Так процесс коммутации может влиять на работы микропроцессорных блоков, а также систему передачи информации.

Коммутационные помехи возникают в результате изменения характера нагрузки.

В электрических сетях, распределительных устройствах, а также цепях электрооборудования причинами электромагнитных воздействий, оказывающих пагубное влияние на автоматические и автоматизированные

системы технологического управления электротехническими объектами согласно [62] являются:

- переходные процессы в цепях высокого напряжения, возникающие при коммутациях силовыми выключателями и разъединителями, при коротких замыканиях, а также при срабатывании ограничителей перенапряжения;
- электрические и магнитные поля промышленной частоты, создаваемые силовым оборудованием станций и подстанций;
- переходные процессы в заземляющих устройствах подстанций, обусловленные токами КЗ промышленной частоты и токами молний;
- быстрые переходные процессы при коммутациях в индуктивных цепях низкого напряжения;
- переходные процессы в цепях различных классов напряжения при ударах молнии непосредственно в объект или вблизи него;
- разряды статического электричества;
- электромагнитные возмущения в цепях оперативного тока [62, с. 15].

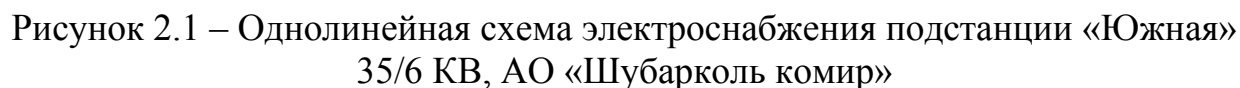
Исследования коммутационных помех реализуются экспериментальным путем, а также методами математического или имитационного моделирования.

2.3 Моделирование коммутационных помех на примере подстанции «Южная» АО «Шубарколь комир»

2.3.1 Подбор оборудования необходимого для проведения имитационного эксперимента

Применение различного электрооборудования на угольном разрезе АО «Шубарколь комир» сказывается на возникновении различных импульсных помехах, мешающих нормальной работе различным автоматизированным системам, в том числе системе мониторинга режимов работы электрооборудования.

Для проведения имитационного моделирования работы переходных процессов, возникающих на подстанции «Южная» АО «Шубарколь комир», на рисунке 2.1 представлена однолинейная схема электроснабжения подстанции.



33

Для создания имитационной модели работы электроснабжения подстанции используется пакет прикладного программирования MATLAB SIMULINK [63].

Для расчета параметров трансформатора ТМ-100000 кВА 35/6 была использована методика, описанная в [64]. На основании справочных данных [65], приведенных в таблице 2.3, был произведен расчет с помощью инженерного математического программного обеспечения MathCad [66] (рисунок 2.2). Результаты расчета приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета трансформатора ТМ-100000 КВА 35/6

Тип	S _{ном} , МВА	Каталожные данные					
		U _{ном} обмоток, кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %
		ВН	НН				
ТМН-100000/35	10	36,75	6,3	7,5	65	14,5	0,8

Таблица 2.4 – Расчетные данные трансформатора ТМ-100000 КВА 35/6

Параметр трансформатора	Расчетные данные для ТМ-100000 кВА 35/6
Активное сопротивление обмоток, Ом	0,398/0,012
Полное сопротивление обмоток, Ом	4,594
Индуктивное сопротивление обмоток, Ом	4,576
Индуктивность обмоток, Гн	0,015
Полные потери мощности в режиме холостого хода трансформатора, кВА	80
Намагничивающая мощность трансформатора, кВар	78,670
Активное сопротивление цепи намагничивания, Ом	84480
Индуктивное сопротивление цепи намагничивания, Ом	15570
Индуктивность цепи намагничивания, Гн	49,565

Mathcad - [Расчет трансформатора ТМ-10000 кВа]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 B I U

My Site Go

Dano: $U_1 := 35000$ $S_1 := 10000000$ $U_2 := 6000$ $U_k\% := 7.5$
 $f := 50$ $\Delta P_1 := 65000$ $\Delta P_x := 14500$ $I_x\% := 0.8$ +

1) Active resistance, SI

$$R_{1b} := \Delta P_1 \cdot \frac{U_1^2}{2 \cdot S_1^2} \quad R_{2b} := \Delta P_1 \cdot \frac{U_1^2}{2 \cdot S_1^2} \quad R_{2n} := R_{1b} \cdot \frac{U_2^2}{U_1^2} \quad R_{1b} = 0.398 \quad R_{2n} = 0.012$$

2) Z resistance, SI

$$Z_{1b} := U_k\% \cdot \frac{U_1^2}{100 \cdot 2 \cdot S_1} \quad Z_{2b} := U_k\% \cdot \frac{U_1^2}{100 \cdot 2 \cdot S_1} \quad Z_{1b} = 4.594 \quad Z_{2b} = 4.594$$

3) XL resistance, SI

$$X_{1b} := \sqrt{Z_{1b}^2 - R_{1b}^2} \quad X_{2b} := \sqrt{Z_{2b}^2 - R_{2b}^2} \quad X_{1b} = 4.576 \quad X_{2b} = 4.576$$

4) Inductance, SI

$$L_{1b} := \frac{X_{1b}}{2\pi f} \quad L_{2b} := \frac{X_{2b}}{2\pi f} \quad L_{1b} = 0.015 \quad L_{2b} = 0.015$$

5) Power loss SI

$$\Delta S_x := \left[\left(\frac{I_x\%}{100} \right) \cdot S_1 \right] \quad \Delta S_x = 8 \times 10^4$$

6) Magnetizing Power, SI

$$\Delta Q_x := \sqrt{\Delta S_x^2 - \Delta P_x^2} \quad \Delta Q_x = 7.867 \times 10^4$$

7) Magnetization resistance, SI

$$R_\mu := \frac{U_1^2}{\Delta P_x} \quad R_\mu = 8.448 \times 10^4$$

8) Magnetization Inductance, SI

$$X_\mu := \frac{U_1^2}{\Delta Q_x} \quad X_\mu = 1.557 \times 10^4$$

9) Magnetization circuit Inductance, SI

$$L_\mu := \frac{X_\mu}{2\pi f} \quad L_\mu = 49.562$$

Рисунок 2.2 – Расчет трансформатора ТМ-100000 КВА 35/6

В качестве воздушных линий электропередач используются кабели типов АаШВу-3*120, АС-120, АС-50, а в качестве кабельных линий КГЭЗ*35, КГЭЗ*50, КГЭЗ*70.

Для построения модели кабельных линий и воздушных линий электропередачи использованы готовые блоки, описанные в [64, с. 44].

Активное сопротивление и удельное индуктивное сопротивление, взято из справочников [67-69].

Для нахождения индуктивности кабельных линий и воздушных линий электропередачи применена формула (2.1) [64, с. 44]:

$$L_0 = \frac{x_0}{2\pi f}, \quad (2.1)$$

где x_0 – удельное индуктивное сопротивление, f – частота сети.

Для нахождения емкости воздушных линий применена формула (2.2) [70]:.

$$C_0 = \frac{b_0}{2\pi f}, \quad (2.2)$$

где b_0 – удельная емкостная проводимость, f – частота сети.

Емкостная проводимость воздушных кабельных линий лежит в пределах (2,6 – 2,8) 10^{-6} см/км [70, с. 61]. Соответственно емкость воздушных кабельных линий будет равна $8.28 \cdot 10^{-9}$ Ф/Км. Емкость кабельных линий выбрана в зависимости от напряжения и от площади сечения из [70, с. 59],

Параметры, необходимые для построения модели, представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Технические характеристики кабеля

Параметры линии	АаШВу-3*120	АС-120	АС-50	КГЭЗ*35	КГЭЗ*50	КГЭЗ*70
Сопротивление прямой и нулевой последовательностей линии, Ом/км	0,258	0,2440	0.5951	0,54	0,39	0,28
Индуктивность прямой и нулевой последовательностей линии, Гн/км	$0.191 \cdot 10^{-3}$	$1.162 \cdot 10^{-3}$	$1.216 \cdot 10^{-3}$	$0,277 \cdot 10^{-3}$	$0,264 \cdot 10^{-3}$	$0,255 \cdot 10^{-3}$
Емкость прямой и нулевой последовательностей линии, Ф/км	$8.28 \cdot 10^{-9}$	$8.28 \cdot 10^{-9}$	$8.28 \cdot 10^{-9}$	0,31	0,36	0,40

Наличие различного электрооборудования, подключенного к подстанции, позволяет провести моделирование с различными параметрами нагрузки. Так как сетевые электродвигатели экскаваторов подключены непосредственно к высокому напряжению, то в качестве нагрузки используются соответствующие электродвигатели.

Для расчетов параметров асинхронного двигателя по данным каталога использована методика, предложенная в [71]. Типы электродвигателей указаны в [72-75]. Расчеты произведены с помощью MathCad.

Для расчета параметров синхронных двигателей использована методика, представленная в [76].

Для расчета параметров схемы замещения электродвигателей использованы справочники и каталоги [77-79]. Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – исходные данные для построения моделей электродвигателей

Наименование электрооборудования	ЭКГ-5А, У	ЭКГ-8И	ЭКГ-4У	ЭШ-10/70
Тип электродвигателя	АЭ-400L-4У2	СДЭУ-14-29-6	АЭ-113-4М	СДЭ2-16-46-6У2
Номинальная мощность, кВт	250	560	250	1250
Номинальное линейное напряжение, В	6000	6000	6000	6000
Частота вращения магнитного поля, об/мин	1500	1000	1480	1000
КПД, %	94,5	93,8	92	96
Коэффициент мощности в номинальном режиме	0,89	0,9	0,905	0,9
Кратность максимального момента	2,7	2	2,7	2,1
Кратность пускового момента	1,2	0,7	1,2	0,8
Кратность пускового тока	6,5	6,5	6,5	6,2
Момент инерции	400	110	400	370
Активное сопротивление рас сеяния статорной обмотки, Ом	3,014	1,631	1,754	0,184

2.3.2 Имитационное моделирование коммутационных помех при различных режимах работы электрооборудования

Для определения влияния коммутационных процессов, возникающих при работе электрооборудования, подключенного к подстанции необходимо провести несколько экспериментов. Согласно правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей [80], перед плановым отключением фидера подстанции происходит отключение нагрузки, соответственно включение нагрузки происходит только после подключения фидера. При аварийных отключениях за счет срабатывания защиты от минимального напряжения порядок тот же.

Для исследования коммутационных помех, возникающих при включении и отключении высоковольтных выключателей, проведено имитационное моделирование. Виртуальную модель построена в пакете MatLab на основе однолинейной схемы электроснабжения угольного разреза.

Общая имитационная модель подстанции представлена на рисунке 2.3.

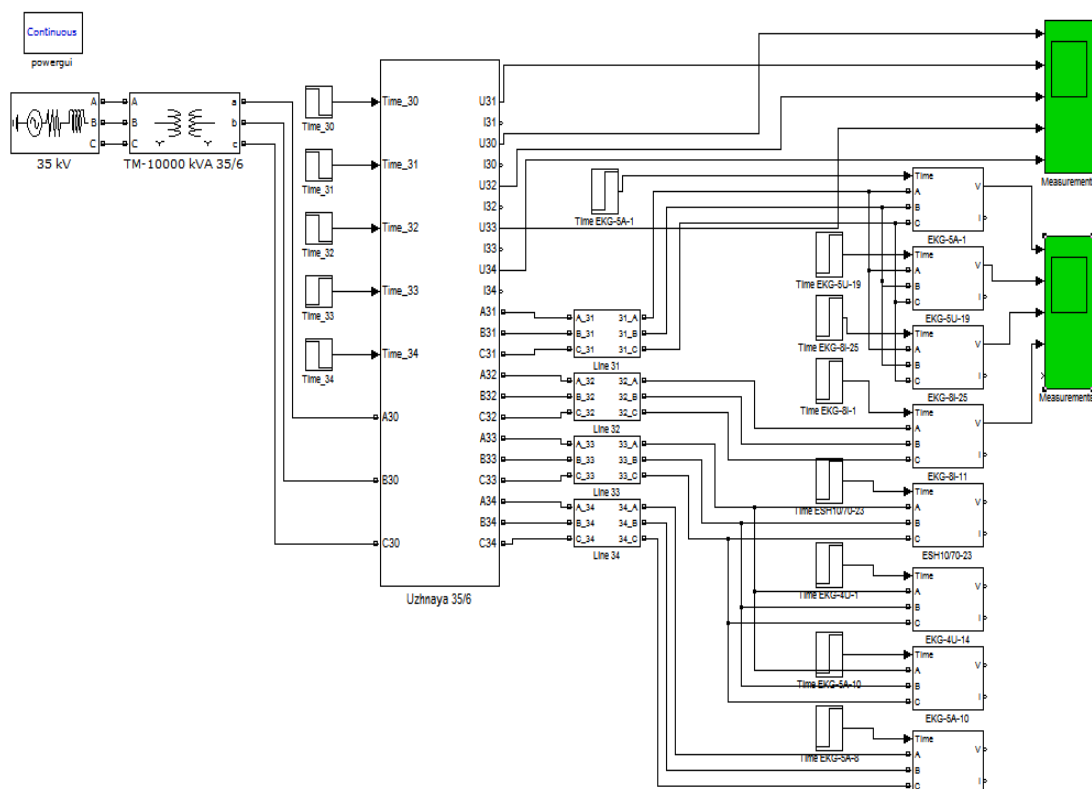


Рисунок 2.3 – Общая имитационная модель подстанции

Для удобного восприятия модели в целом, были разработаны отдельные блоки модели:

- блок подстанции (35/6), содержащий в себе вакуумные выключатели подстанции;
- блок высоковольтных линий (Line), содержащий в себе воздушные линии электропередач, с параметрами, подобранными по справочным данным;
- блок электрооборудования (EKG, ESH), содержащий в себе модели электродвигателей экскаваторов, выступающих в качестве основной нагрузки.

Напряжение на трансформатор поступает с источника трехфазного переменного напряжения. Далее на блок подстанции, управление выключателями которого происходит с помощью единичных ступенчатых воздействий (Time), запускаемых в определенное время. Напряжение передается по линиям электропередачи (Line), на соответствующие ЯКНО (ячейка карьерная наружной установки). Управление выключателями ячеек происходит также с помощью единичных ступенчатых воздействий (Time). Далее напряжение поступает на электрооборудование (EKG, ESH), основными электропотребителями которого являются асинхронные или синхронные электродвигатели [81].

Для сравнения показателей переходного процесса при коммутации мощной нагрузки в виде синхронного или асинхронного двигателя проведем несколько различных экспериментов. Сравним коммутационные процессы, возникающие при включении фидера, включении нагрузки (в том числе одновременное включение разной нагрузки, подключенной к одному фидеру),

аварийное отключение нагрузки, а также аварийное отключении фидера, находящегося под нагрузкой.

На рисунке 2.4 представлена осциллограмма сигналов, снятая в процессе виртуального эксперимента №1. Эксперимент показывает взаимное влияние фидеров друг на друга при включении.

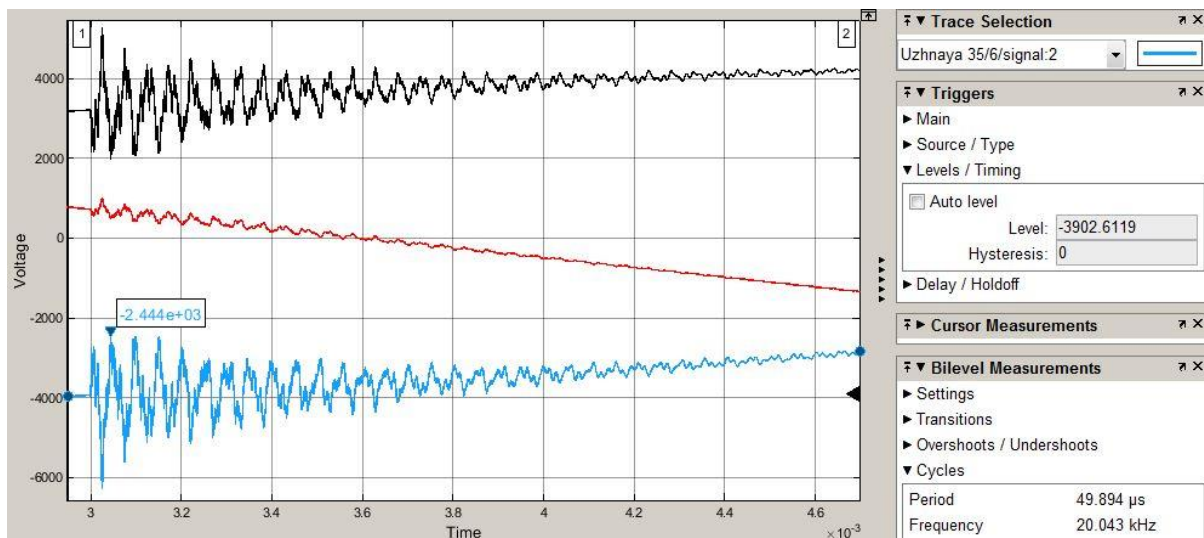


Рисунок 2.4 – Переходной процесс, возникающий на фидере в момент включения другого фидера, в пределах одной подстанции

Как видно из представленной осциллограммы и проведенных расчетов, изменение амплитуды сигнала на фидере подстанции составляет около 1458 вольт и представлено в виде затухающих колебаний с частотой около 20 кГц. Однако при увеличении масштабирования можно увидеть высокочастотную составляющую (рисунок 2.5).

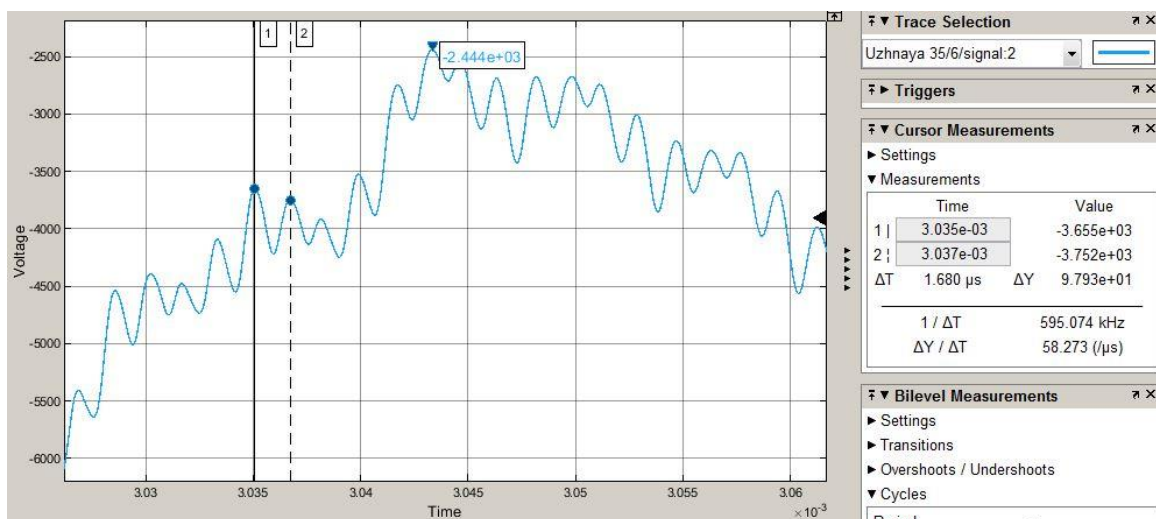


Рисунок 2.5 – Форма сигнала возникающего перенапряжения

Частота сигнала на фидере, находящемся под нагрузкой при включении другого фидера составляет 595 КГц.

Влияние на нагрузку данный процесс коммутации не оказывает (рисунок 2.6).

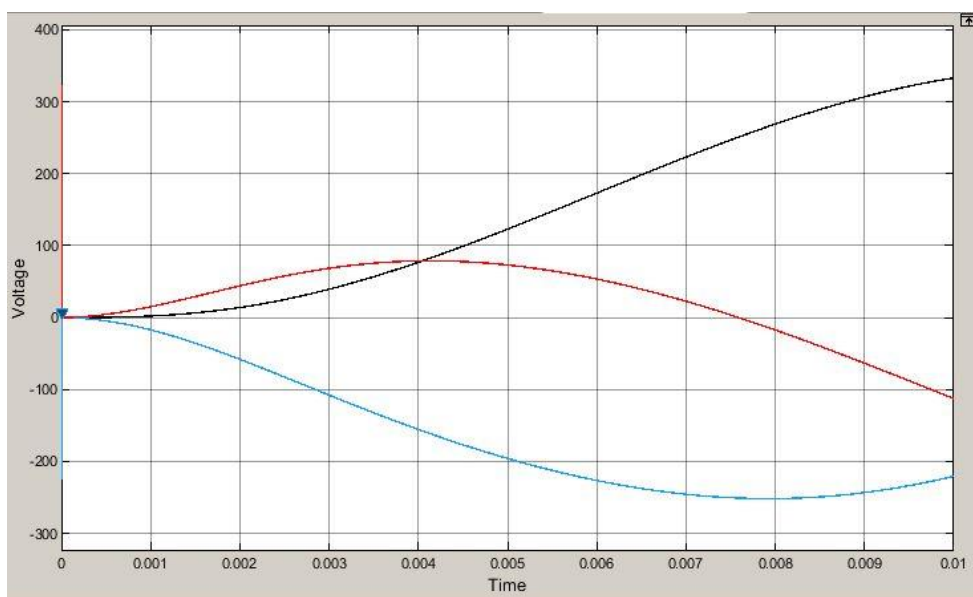


Рисунок 2.6 – Форма сигнала на нагрузке, при проведении эксперимента №1

На рисунке 2.7 представлена осциллограмма сигналов, снятая в процессе виртуального эксперимента №2. Эксперимент показывает влияние процесса подключения нагрузки на фидер.

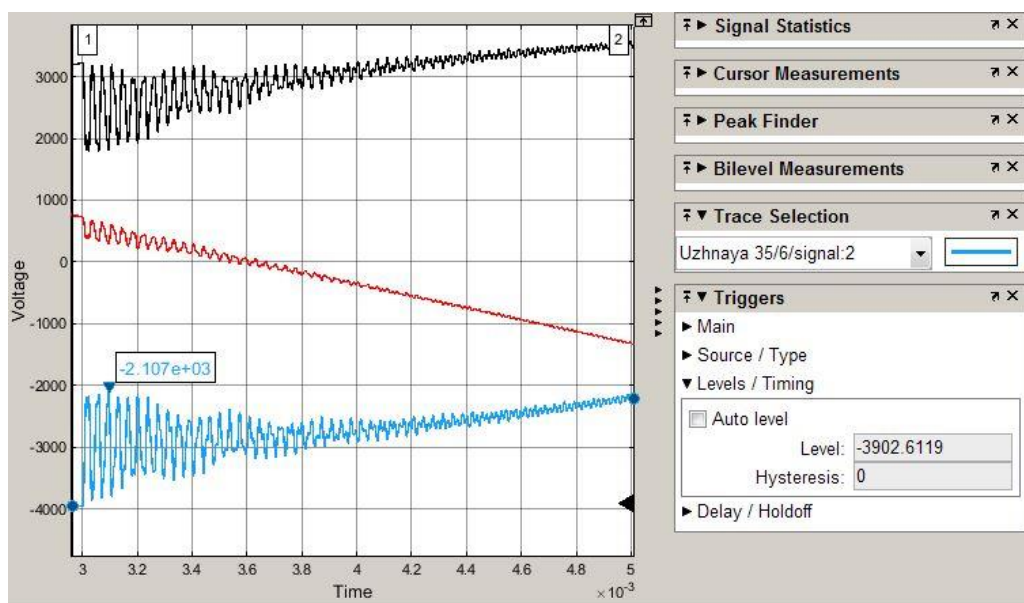


Рисунок 2.7 – Переходной процесс, возникающий на фидере в момент подключения нагрузки

Как видно из представленной осциллограммы и проведенных расчетов, изменение амплитуды сигнала на фидере подстанции составляет около 1795 вольт и представлено в виде затухающих колебаний с частотой около 20 кГц.

На рисунке 2.8 представлена осциллограмма сигналов, снятая в процессе виртуального эксперимента №3. Эксперимент показывает влияние процесса коммутации на фидер при одновременном включении разной нагрузки (разных экскаваторов).

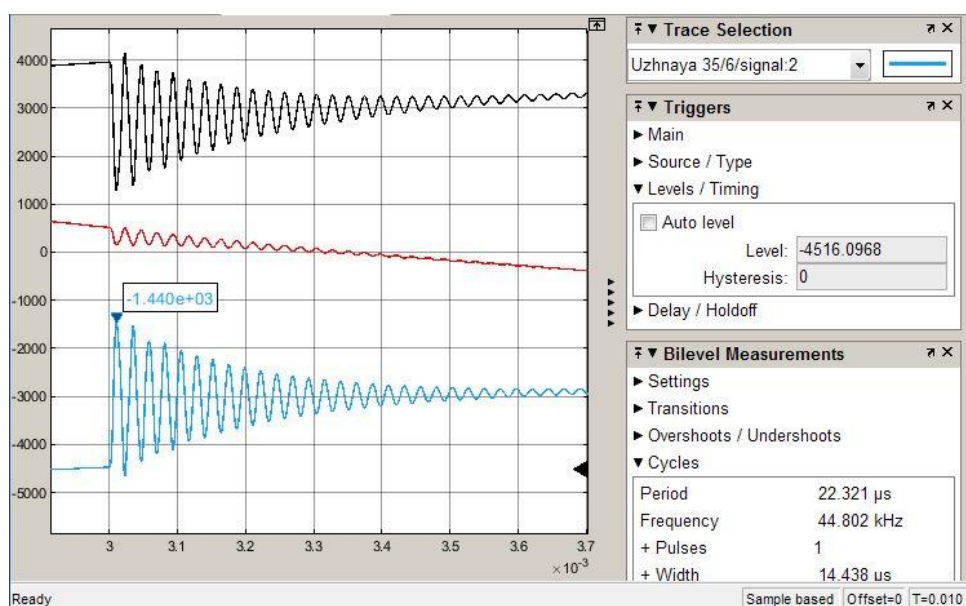


Рисунок 2.8 – Переходной процесс, возникающий на фидере в момент включения двух экскаваторов

Как видно из представленной осциллограммы и проведенных расчетов, изменение амплитуды сигнала на фидере подстанции составляет около 3000 вольт и представлено в виде затухающих колебаний с частотой около 45 кГц.

На рисунке 2.9 представлена осциллограмма сигналов, снятая в процессе виртуального эксперимента №4. Эксперимент показывает влияние процесса аварийного отключения одного из фидеров подстанции, находящегося под нагрузкой.

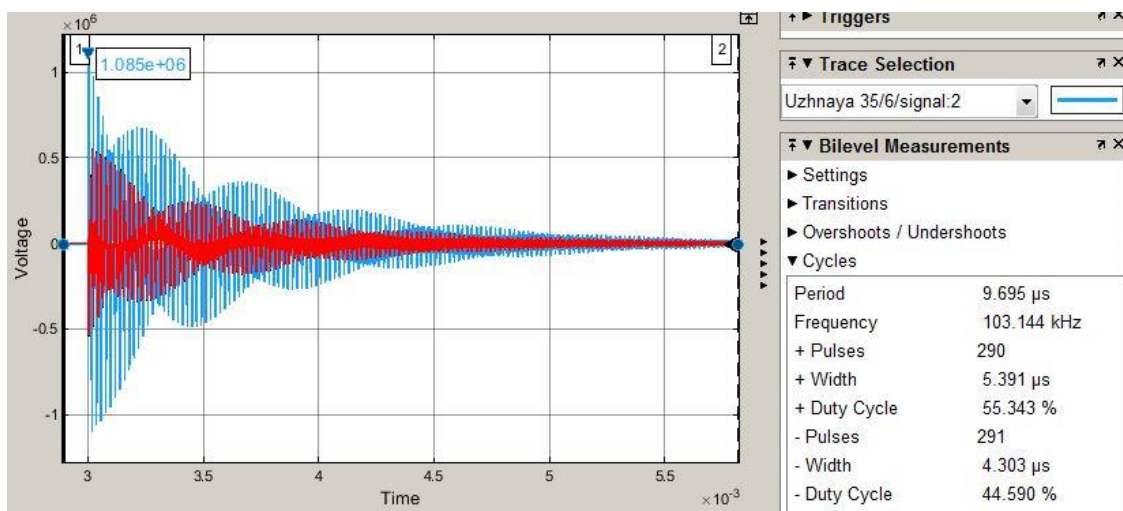


Рисунок 2.9 – Переходной процесс, возникающий на фидере в момент аварийного отключения

В связи с наличием активно-индуктивной составляющей в нагрузке, возникает коммутационное перенапряжение. Как видно из графиков, кратковременная амплитуда перенапряжения может достигать 1 МВ, в виде затухающих колебаний с частотой около 100 кГц. Однако при увеличении масштабирования можно увидеть высокочастотную составляющую (рисунок 2.10) [82].

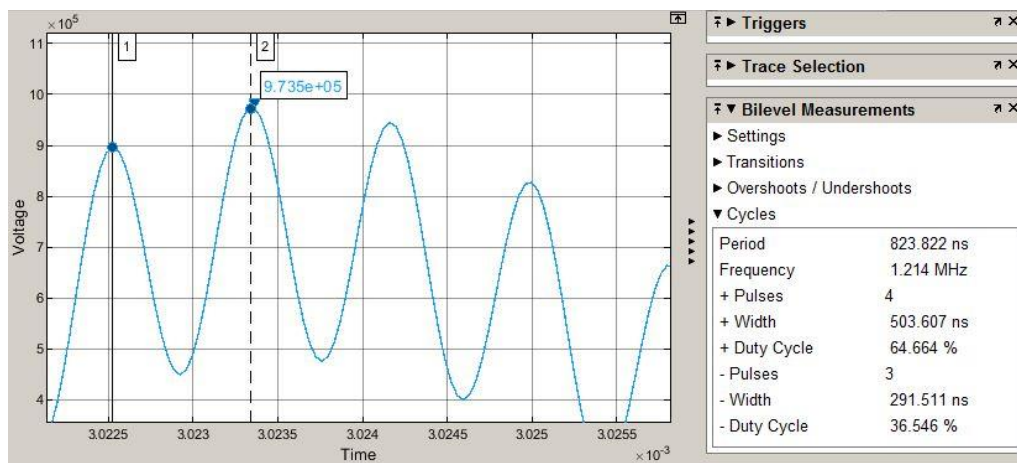


Рисунок 2.10 – Форма сигнала возникающего перенапряжения

При масштабировании сигнала видно, что частота составляет 1.2 МГц. Уровень таких частот негативно влияет на микропроцессорное и коммуникационное оборудование на подстанции.

На рисунке 2.11 представлена осциллограмма сигналов, снятая в процессе виртуального эксперимента №5. Эксперимент показывает влияние процесса коммутации, возникающей при аварийном отключении мощной нагрузки подключенной к фидеру.

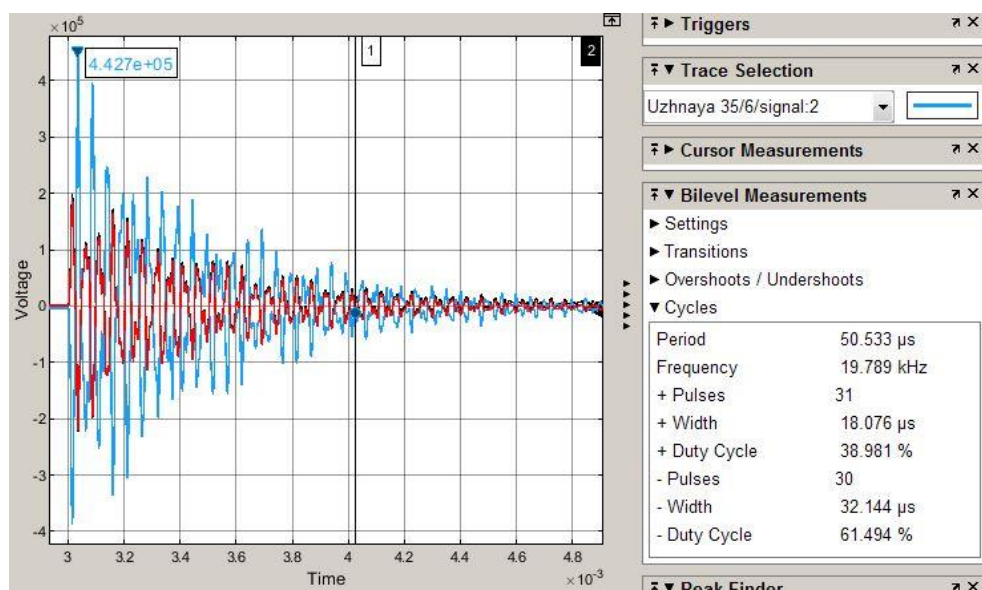


Рисунок 2.11 – Переходной процесс, возникающий на фидере в момент отключения нагрузки

При отключении нагрузки, как и в предыдущем опыте, возникает коммутационное перенапряжение за счет индуктивных токов. Перенапряжение проявляется в виде затухающих колебаний с частотой около 20 кГц. На основании первого закона коммутации [83] ток в цепи не может измениться скачкообразно, то есть ток до коммутации, равен току после коммутации. Также, согласно закону электромагнитной индукции [84], доля напряжения сети, уравнивающая ЭДС самоиндукции, находится по формуле 2.3:

$$U = L \frac{di}{dt}, \quad (2.3)$$

где L – индуктивность;

di/dt – скорость изменения тока.

Отсюда следует, что даже при малых токах могут возникать опасные перенапряжения, за счет очень короткого времени переходного процесса. Это подтверждается проведенным экспериментом. Как видно из рисунка 2.11 в начале переходного процесса амплитуда по одной из фаз достигает значения 442,7 киловольт, при времени переходного процесса около 2 миллисекунд [81, с. 125].

При увеличении формы сигнала можно увидеть некоторые особенности (рисунок 2.12). На разных фазах наблюдается различная амплитуда. На двух фазах отсутствует фазовый сдвиг, в связи с несимметричностью нагрузки, а также различным временем отключения отдельных фаз (данное свойство присуще вакуумным выключателям) [85].

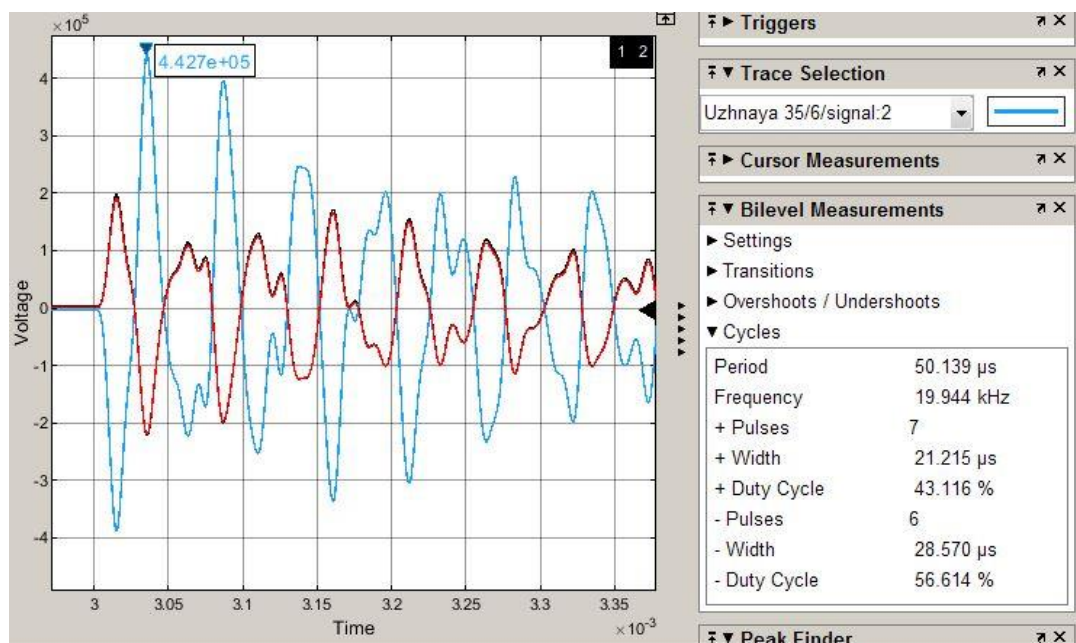


Рисунок 2.12 – Форма сигнала возникающего перенапряжения

На основании проведенных экспериментов в таблице 2.7 представим основные результаты.

Таблица 2.7 – Влияние коммутации на состояние фидера

Вид эксперимента	Изменение амплитуды, кВ	Частота, кГц
Включение фидера	1,458	595
Включение нагрузки	1,795	20
Включение нагрузки двух типов	3,000	45
Аварийное отключение фидера	1000	1200
Аварийное отключение нагрузки	442,7	20

На рисунке 2.13 представлена диаграмма результатов экспериментов. По диаграмме видно, что наибольшее негативное влияние оказывает аварийное отключение, как фидера, так и нагрузки.

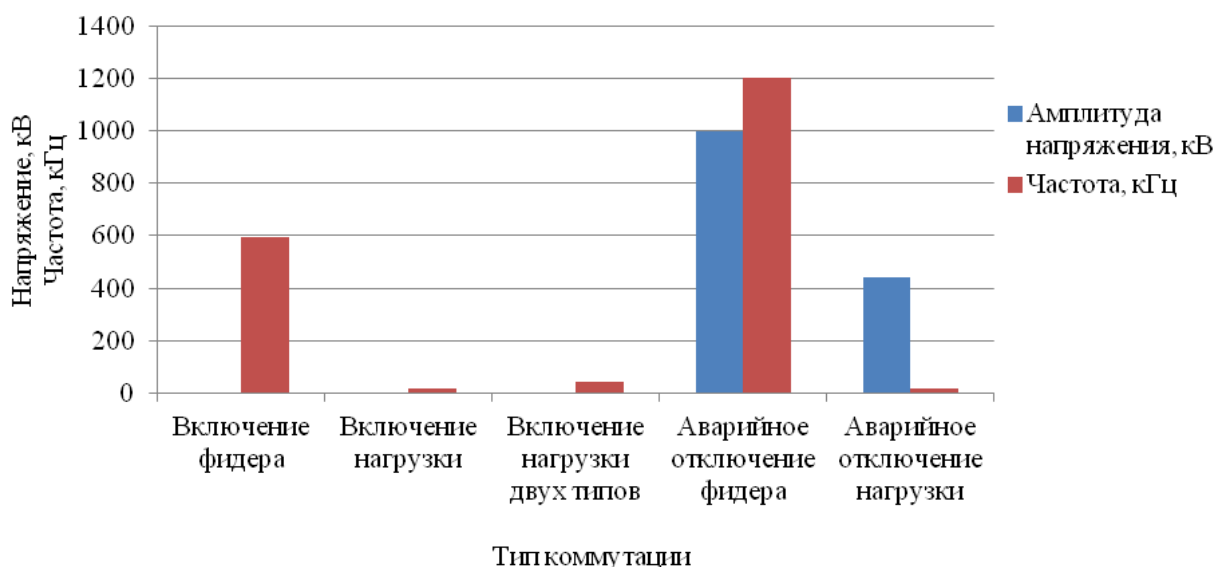


Рисунок 2.13 – Диаграмма влияния коммутационных процессов

На основании полученных данных оценено влияние работы высоковольтного электрооборудования на уровень помех, оказывающих негативное воздействие на каналы передачи технологической информации. Наибольшее влияние на процессы, протекающие в электрооборудовании, а также в системе удаленного мониторинга режимов его работы является аварийные отключения. Для снижения влияния коммутационных помех необходимо соответствующим образом обеспечивать передачу информации по различным каналам связи.

2.4 Определение закона распределения коммутаций для построения помехозащищенных алгоритмов передачи информации

Для разработки помехозащищенных алгоритмов передачи информации, необходимо определить закон распределения возмущающих воздействий, а именно коммутаций, возникающих как при плановых, так и при аварийных отключениях электрооборудования. При проведении экспериментальных исследований на угольном разрезе АО «Шубарколь комир, производилась

фиксация различных коммутаций, возникающих при различных режимах работы электрооборудования. Основными показателями являются ежесуточные коммутации при подключении и отключении нагрузки, а также при подключении и отключении фидеров, как под нагрузкой, так и без нагрузки.

В таблице 2.8 представлены данные по ежесуточному количеству коммутаций, полученных в результате экспериментов, проведенных на угольном разрезе АО «Шубарколь комир».

Таблица 2.8 – число коммутаций экскаваторов за сутки

Дата	Экскаватор Hitachi №4	Экскаватор ЭКГ-5А №1	Экскаватор ЭШ-10/70 №21	Экскаватор ЭКГ 8И №11
01.03	2	3	5	1
02.03	1	4	3	2
03.03	1	3	3	2
04.03	1	2	2	2
05.03	1	2	3	1
06.03	1	0	2	2
07.03	2	1	1	3
08.03	1	2	1	1
09.03	1	1	2	
10.03	3	1	1	
11.03	1	1	0	
12.03	1	0	1	
13.03	1	5	3	
14.03	2	2	2	
15.03	0	4	0	
16.03	0	1	0	
17.03	1	2	3	
18.03	2	3	3	
19.03	1	2	2	
20.03	1	1	4	
21.03	2	0	2	
22.03	2	0	4	
23.03	0	0	4	
24.03	5	0	3	
25.03	0	0	4	
26.03	0	0	3	
27.03	1	0	4	
28.03	1	0	3	
29.03	0	0	4	
30.03	1	0	2	
31.03	0	0	3	

Для определения закона распределения случайной величины, в нашем случае это число коммутаций за сутки, необходимо использовать критерий

согласия Пирсона для опровержения или подтверждения той или иной гипотезы.

Выдвинем нулевую гипотезу H_0 о том, что число суточных коммутаций на одном экскаваторе распределено по закону Пуассона (2.4) [86]:

$$p_i = \frac{\lambda^i}{i!} e^{-\lambda}, \quad (2.4)$$

где p_i – вероятность попадания в i -й интервал случайной величины, распределенной по гипотетическому закону;

λ – параметр распределения Пуассона.

Далее необходимо вычислить выборочную среднюю $x_{\text{с}}$ (2.5):

$$x_B = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{\sum f_i}, \quad (2.5)$$

где x_i – показатель соответствующего события;

f_i – число наблюдаемых событий.

В качестве оценки параметра λ распределения Пуассона принята выборочная средняя $x_{\text{с}} = 1.673$. Далее найдем по формуле Пуассона вероятности P_i , появления ровно i событий в n испытаниях. Теоретические частоты находим по формуле (2.6):

$$f_t = n_i \cdot p_i, \quad (2.6)$$

где n_i – число суток с количеством коммутаций i ;

p_i – вероятность наступления события.

Исходные и расчетные данные представлены в таблице 2.9, а гистограмма распределения представлена на рисунке 2.14.

Таблица 2.9 – исходные и расчетные показатели для нахождения критерия согласия Пирсона

i	n_i	p_i	Ожидаемая частота np_i	Отклонение
0	23	0.1877	20.0842	0.423
1	31	0.314	33.5987	0.201
2	26	0.2627	28.1036	0.157
3	15	0.1465	15.6715	0.0288
4	9	0.06125	6.5542	0.913
5	3	0.02049	2.1929	0.297
	107			2.02

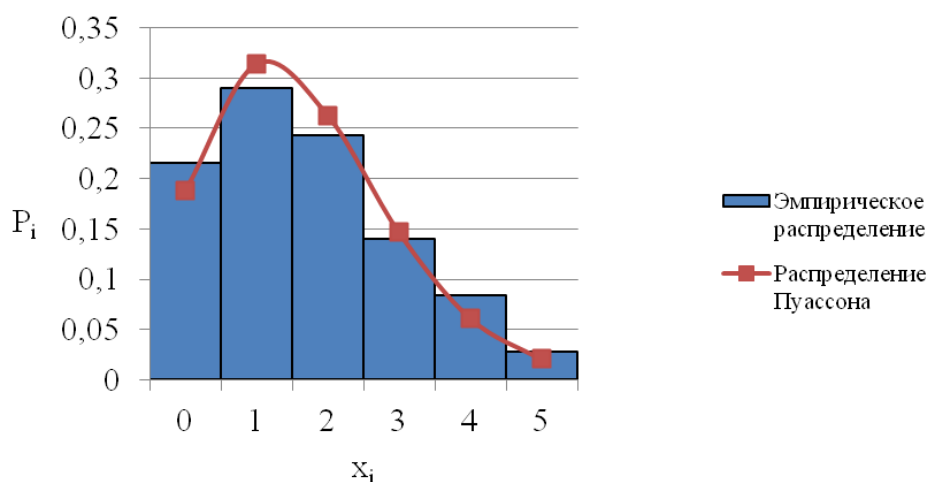


Рисунок 2.14 – Гистограмма распределения

Критерий χ^2 рассчитан по формуле (2.7).

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 2.02 \quad (2.7)$$

где n_i – число суток с количеством коммутаций i ;

p_i – вероятность наступления события;

n – число испытаний.

Определена граница критической области. Так как нас интересует согласие частот, то отклонение гипотезы произойдет, когда критерий окажется больше критического уровня. Т.е. критерий является односторонним. Обычно проверяют правостороннюю гипотезу. Границу критерия найдена по таблицам распределения [87]. Критическое значение критерия равно 9.48773. Значение наблюдаемого критерия (2.02) меньше критического, отсюда следует, что оснований для опровержения выдвинутой гипотезы нет. Выдвинутая гипотеза о том, что данные выборки имеют распределение Пуассона, принимается.

Многие из числовых дискретных величин являются реализациями пуассоновского процесса, обладающего следующими свойствами [87, с. 320]:

- нахождение частоты определенных событий в заданной области возможных исходов случайного эксперимента [87, с. 320];

- вероятность данного события одинакова для всех областей возможных исходов [87, с. 320];

- количество событий, происходящих в одной области возможных исходов, не зависит от количества событий, происходящих в других областях [87, с. 320];

- вероятность того, что в одной и той же области возможных исходов данное событие происходит больше одного раза, стремится к нулю по мере уменьшения области возможных исходов [87, с. 320].

2.5 Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- определены влияния коммутационных воздействий, возникающих при работе нагрузки различного рода, в связи с этим установлена необходимость учета коммутационных процессов при создании систем удаленного мониторинга

- определен закон распределения возмущающих воздействий, а именно коммутаций, возникающих как при плановых, так и при аварийных отключениях электрооборудования, что позволяет разработать необходимые требования для создания систем удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования, а также спрогнозировать аварийные отключения, для предотвращения выхода из строя электрооборудования и снижения потерь.

3 РАЗРАБОТКА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫХ АЛГОРИТМОВ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

3.1 Разработка алгоритма защиты данных от несанкционированного сброса и повреждения в результате электромагнитных помех на этапе сбора информации

На основании исследований описанных в [88-90] можно сделать вывод, что существует потребность в защите данных об электропотреблении, а также данных о технологических параметрах режимов работы электрооборудования. Несанкционированный доступ, а также повреждение первичных измерительных приборов в результате электромагнитных коммутационных помех, ранее описанных в разделе 2 данной работы, являются основными причинами сбоев в работе электрооборудования.

Для предотвращения несанкционированного сброса, предлагается специальный алгоритм принудительной записи текущих показаний в счетчик электроэнергии, ранее записанный в энергонезависимую память [91]. Алгоритм работы представлен на рисунке 3.1.

В блоке №2 происходит чтение текущих показаний, приходящих со счетчика электроэнергии в ячейку памяти АЕ1. В блоке №3 происходит запись предыдущих показаний из памяти контроллера во временную ячейку памяти АЕ0. В блоке №4 происходит сравнение текущих показаний и предыдущих показаний, если текущие показания превышают предыдущие, то в блоке №6 эти показания записываются в память АЕ2.

Если текущие показания меньше предыдущих (в случае несанкционированного сброса), то в блоке №5 происходит суммирование текущих показаний с предыдущими, для корректировки итогового значения. В блоке №7 происходит запись суммы, полученной в предыдущей строке в память контроллера и в массив для подготовки записи в счетчик. Блоки №5 и №7 выполняются только в случае сброса при несанкционированном доступе.

В блоке 8 происходит запись показаний в ячейку памяти для передачи на диспетчерский пункт. В случае переполнения памяти счетчика происходит сброс показаний, как счетчике, так и в памяти контроллера. В блоке №9 происходит подготовка полученной информации для отправки в устройство передачи.

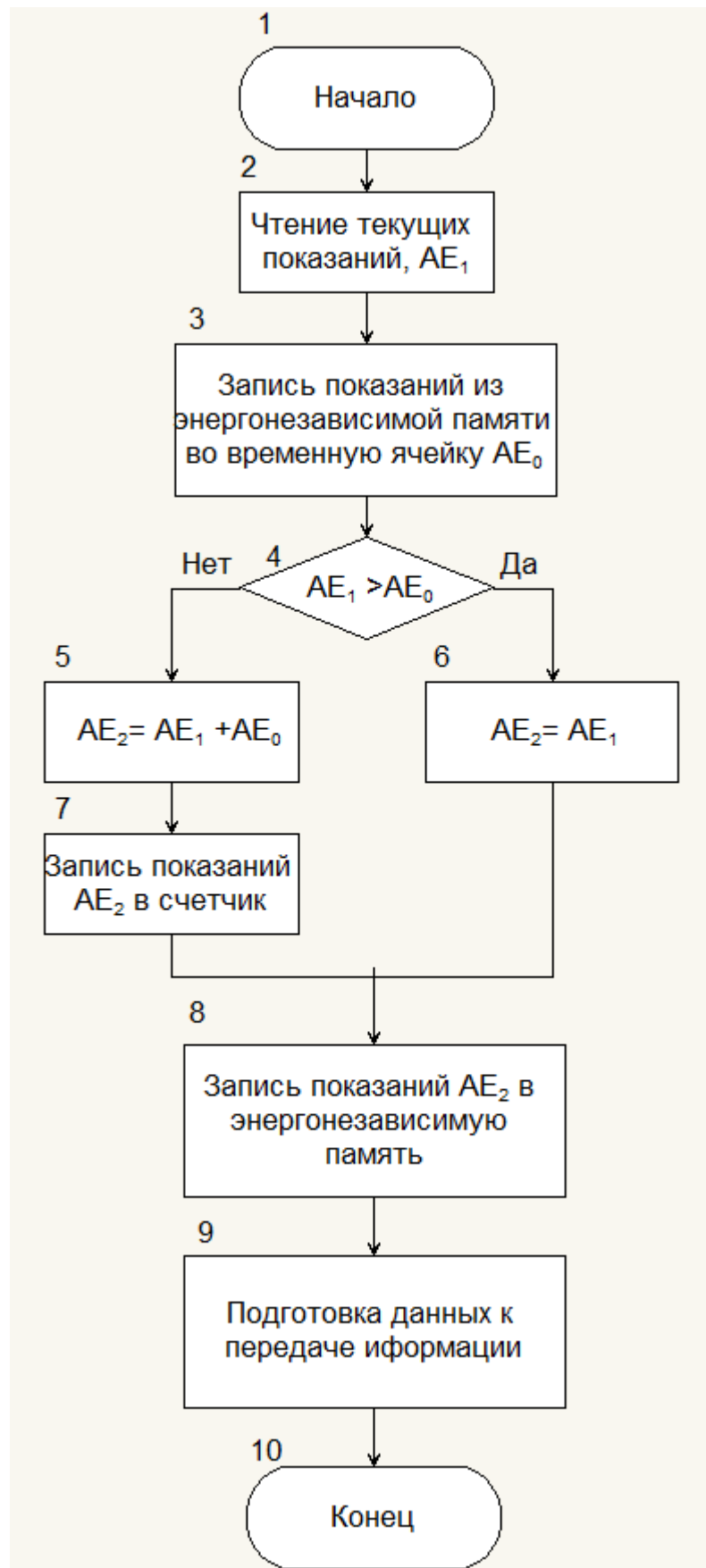


Рисунок 3.1 – Алгоритм защиты данных от несанкционированного сброса

3.2 Разработка алгоритма защиты данных от повреждения в результате электромагнитных помех на этапе передачи информации

В процессе передачи технологической информации в системах удаленного мониторинга режимов работы горного производства возникают различные помехи, которые оказывают негативное воздействие, как на качественные, так и на количественные показатели, исходя из исследований, проведенных в главе 2, данные воздействия носят случайный характер.

Помехозащищенное кодирование широко применяется в различных системах телеметрии [92]. Анализ, проведенный уфимскими учеными [93], показал, что различные способы кодирования по-разному влияют на уровень помехозащищенности. В таблице 3.1 представлена сравнительная характеристика различных способов кодирования.

Таблица 3.1 – Сравнительная характеристика помехозащищенных кодов

Способ кодирования	Обнаружение ошибок	Исправление ошибок
Кодирование с проверкой контрольной суммы CRC	до 99%	не исправляет
Циклическое кодирование Хемминга	только однократные	только однократные
Код Файра	до 70%	однократные ошибки до 5 бит
Код с проверкой на четность	только нечетное число ошибок	не исправляет

Самым оптимальным способом помехозащищенного кодирования является применение контрольной суммы CRC. Процент обнаружения ошибок достигает 99%. Алгоритм работы данного кодирования широко представлен в [94, 95].

Если для качественной оценки используется контрольная сумма CRC, то для количественной оценки передаваемых пакетов предлагается использование специального алгоритма проверки возвращаемых пакетов в структуре запрос-ответ, представленного на рисунке 3.2.

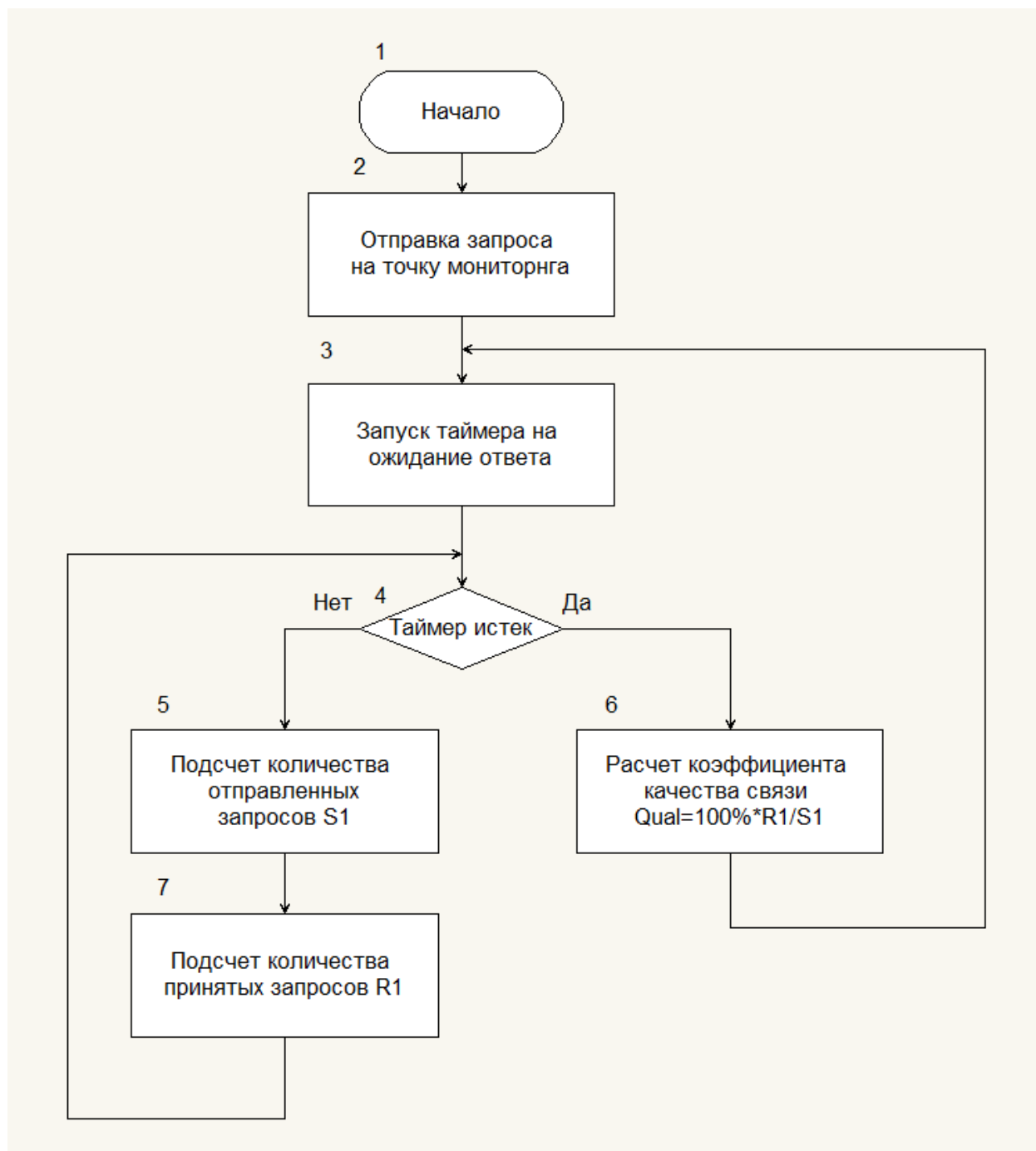


Рисунок 3.2 – Алгоритм проверки качества связи

Блок №2 отвечает за отправку запроса на объект мониторинга. Далее в блоке №3 запускается таймер, работающий в течение заданного времени проверки ответа. Время проверки задается аналитическим путем, в зависимости от количества точек опроса. Увеличение точек опроса сопровождается увеличением времени опроса. Во время работы таймера происходит подсчет количества отправленных запросов (блок №6) и подсчет количества принятых достоверных пакетов информации (блок №7). После истечения таймера в блоке №6 происходит подсчет коэффициента качества связи.

Работа данной подсистемы осуществляется циклически и запускается вместе с запуском программы мониторинга. Применение данного алгоритма

позволяет упростить процесс настройки приемопередающих устройств, а также производить корреляционный анализ передачи информации и различных возмущающих воздействий, таких как метеоусловия, электромагнитные помехи.

3.3 Восстановление потерянной информации на основе корреляционного анализа

Как было сказано выше, применение контрольной суммы CRC при помехозащищенном кодировании позволяет обнаруживать до 99 % ошибок. При использовании данного метода возникает необходимость восстановления потерянной информации.

Параметры, контролируемые в процессе мониторинга режимов работы горного электрооборудования, можно разделить на мгновенные и накопленные. К накопленным параметрам относятся активная и реактивная потребляемая энергия. Многократная передача данных позволяет восстановить потерянную информацию без ущерба.

Для восстановления мгновенных параметров, таких как ток, напряжение, температура трансформаторного масла, сигналы включения и отключения фидеров подстанций, сигнал включения/отключения экскаватора, сигнал срабатывания максимальной токовой защиты, сигнал срабатывания защиты от замыкания на землю, проведен множественный корреляционный анализ, позволяющий определить взаимосвязь между параметрами режимов работы электрооборудования и параметрами окружающей среды.

В результате экспериментов, проеденных на угольном разрезе АО «Шубарколь комир» были собраны статистические данные по часовым показателям тока и напряжения на подстанциях, которые представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Исходные данные для корреляционного анализа мгновенных значений

Время	П/С Юго-Западная		П/С Южная	
	ток	напряжение	ток	напряжение
1	2	3	4	5
0:00	205	6441	24	6304
1:00	131	6677	20	6551
2:00	233	6474	43	6369
3:00	195	6477	42	6371
4:00	183	6476	48	6368
5:00	178	6461	40	6372
6:00	43	6660	6	6567
7:00	167	6631	42	6528

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5
8:00	224	6471	50	6369
9:00	207	6412	48	6287
10:00	199	6398	44	6282
11:00	66	6428	40	6372
12:00	202	6574	37	6448
13:00	226	6410	53	6304
14:00	221	6362	48	6226
15:00	147	6306	53	6246
16:00	86	6277	14	6153
17:00	167	6452	40	6297
18:00	252	6334	35	6197
19:00	239	6132	50	5955
20:00	229	6175	65	6030
21:00	166	6263	31	6138
22:00	147	6263	22	6170
23:00	226	6533	49	6360

На основании представленных данных проведен корреляционный анализ. На рисунках 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6 представлены диаграммы рассеяния напряжения и тока по времени.

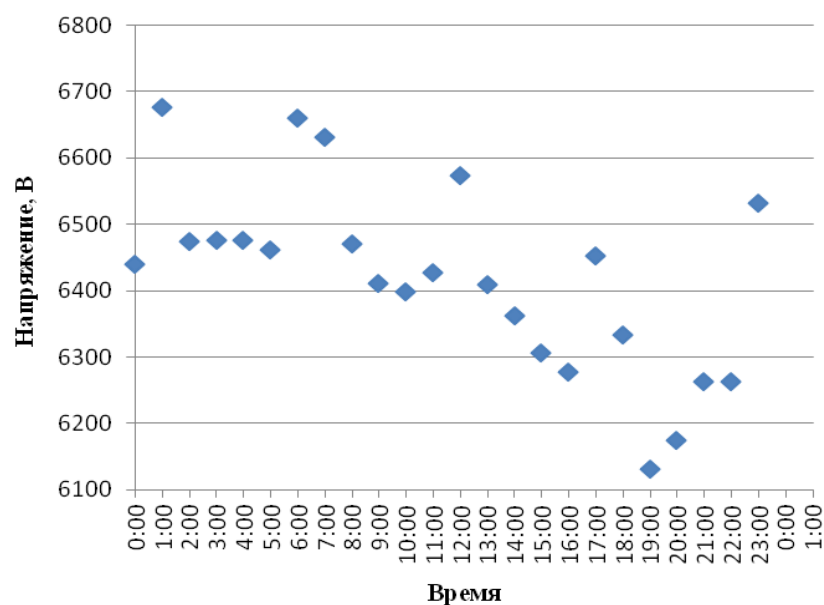


Рисунок 3.3 – Диаграмма рассеяния напряжения по времени с привязкой к подстанции «Юго-Западная»

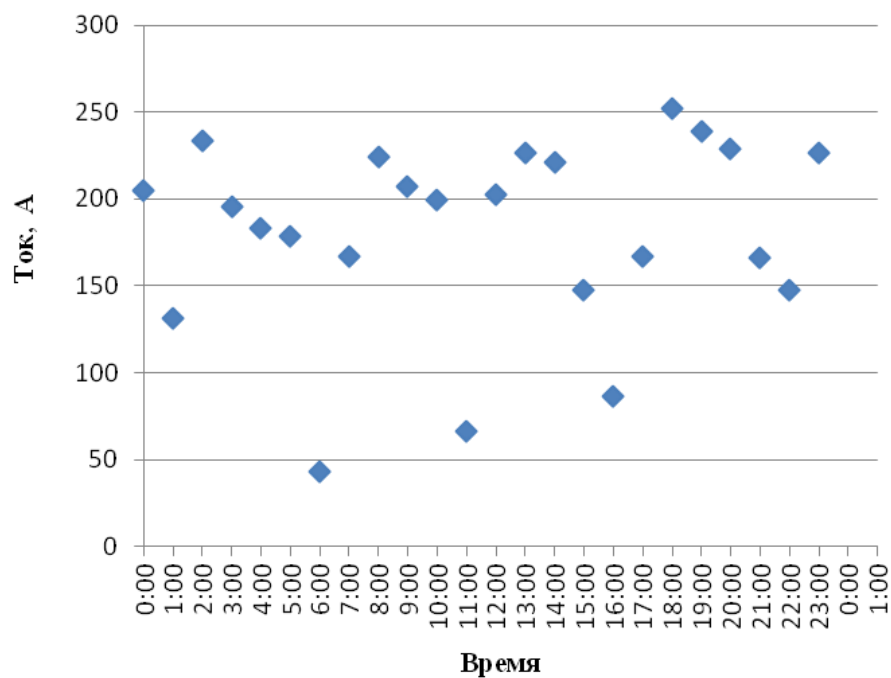


Рисунок 3.4 – Диаграмма рассеяния тока по времени с привязкой к подстанции «Юго-Западная»

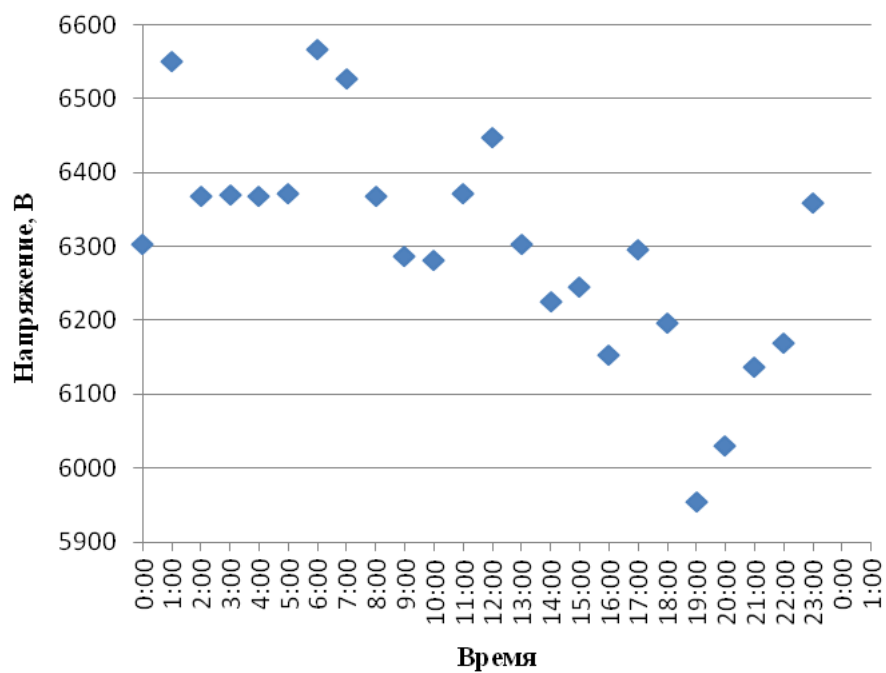


Рисунок 3.5 – Диаграмма рассеяния напряжения по времени с привязкой к подстанции «Южная»

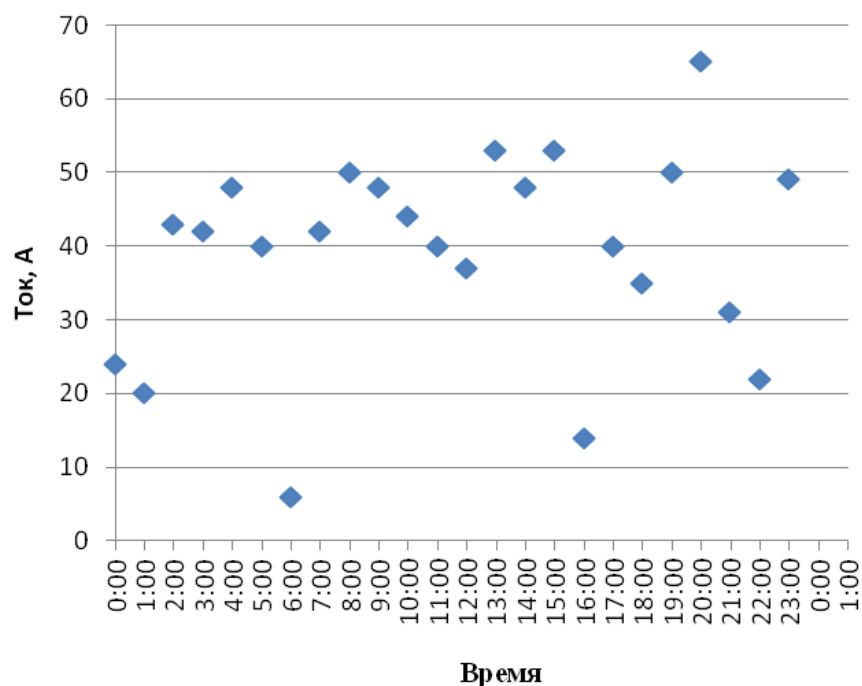


Рисунок 3.6 – Диаграмма рассеяния тока по времени с привязкой к подстанции «Южная»

Диаграммы рассеяния позволяют проводить визуальный анализ данных, а для определения количественного значения необходимо рассчитать коэффициент корреляции [96]. Воспользуемся пакетом «Анализ данных» приложения Microsoft Office Excel. В таблицах 3.3 и 3.4 представлены результаты корреляционного анализа.

Таблица 3.3 – Коэффициент корреляции по подстанции Юго-Западная

Признаки	Время	Ток	Напряжение
Время	1		
Ток	0,057788064	1	
Напряжение	-0,6015849	-0,114718	1

Таблица 3.4 – Коэффициент корреляции по подстанции Южная

Признаки	Время	Ток	Напряжение
Время	1		
Ток	0,203055	1	
Напряжение	-0,67107	-0,32472	1

Как видно из таблиц 3.3 и 3.4 напряжение и время имеют среднюю корреляционную зависимость.

На основании проведенных экспериментов, а также статистических расчетов выделена связь между определенными параметрами мониторинга электрооборудования, что позволяет производить частичное восстановление данных в случае потерь, возникающих в результате электромагнитных помех, а также потери связи между диспетчерским пунктом и объектами мониторинга. Также вышеуказанные данные можно использовать как инструмент прогнозирования электрических параметров.

Зависимость среднечасового напряжения в течение суток уменьшается. Количество отключений фидера или экскаватора напрямую зависит от срабатывания максимальной токовой защиты и защиты от замыкания на землю. Потребляемый ток находится в прямой зависимости от времени суток, в связи с наличием обеденных перерывов и перерывов в процессе смены рабочих.

3.4 Разработка структурной схемы системы мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства

На основании вышеприведенных алгоритмов построения системы мониторинга разработана структурная схема системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства. Структурная схема приведена на рисунке 3.7. На точках сбора информации устанавливаются контрольно-измерительные приборы. Выбор типа контрольно-измерительных приборов осуществляется на основании требований предприятия по контролю за теми или иными параметрами, а также в зависимости от типа объекта мониторинга.

Информация, поступающая с контрольно-измерительных приборов, проверяется с помощью блока контроля несанкционированного искажения информации. В случае несанкционированного искажения информации, поступающей с измерительных устройств, работающих по способу накопления информации, происходит принудительная запись ранее сохраненной информации в измерительные устройства. В случае обнаружения ошибочных данных других измерительных устройств, происходит запись информации в модуль хранения с указанием точного времени искажения. Текущая информация также поступает в модуль хранения.

В зависимости от требований к системе мониторинга со стороны предприятий, таких как время опроса, количество и тип параметров, существует возможность использования различных способов передачи информации:

- непрерывная передача информации на диспетчерский пункт;
- циклическая передача информации по способу запрос-ответ.

В случае непрерывной передачи информации, после обработки полученной информации, приемопередающее устройство с выбором оптимального канала связи передает собранную информацию на диспетчерский пункт.

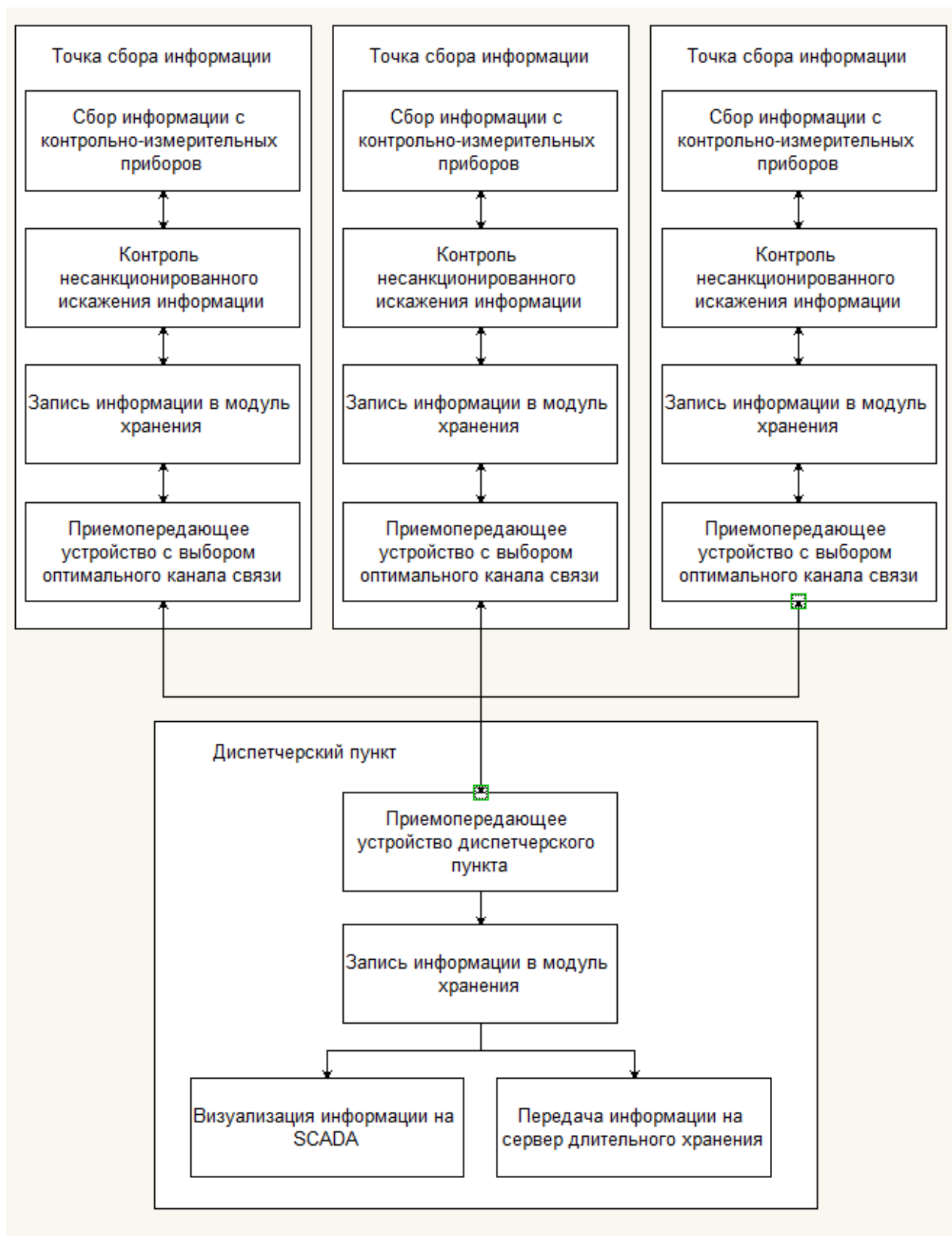


Рисунок 3.7 – Структурная сема системы мониторинга

В случае циклическая передача информации по способу запрос-ответ, диспетчерский пункт посылает поочередно запросы всем точкам сбора информации.

После обработки полученной информации, приемопередающее устройство с выбором оптимального канала связи передает собранную информацию на диспетчерский пункт по различным каналам связи в зависимости от следующих факторов: группа объектов мониторинга (стационарный, подвижный), выбор способа передачи (радиосвязь, GSM, с помощью карьерного транспорта) [97].

Деление на группы мониторинга осуществляется по следующему принципу. К группе мониторинга стационарных объектов относятся все неподвижные объекты предприятия, работающие в условиях открытой добычи полезных ископаемых, режимы работы электрооборудования которых, подлежат мониторингу. К таким объектам относятся: подстанции, котельные, водоотливные установки, различные цеха предприятия. Обязательным условием, позволяющим отнести данные объекты мониторинга к группе мониторинга стационарных объектов, является нахождение этих объектов либо в прямой видимости, либо в непосредственной близости от диспетчерского пункта [97, с. 4].

К группе мониторинга подвижных объектов относятся все остальные объекты предприятия, работающие в условиях открытой добычи полезных ископаемых, режимы работы электрооборудования которых, подлежат мониторингу. К таким объектам относятся: экскаваторы, буровые станки, и другие объекты, находящиеся на значительном расстоянии от диспетчерского пункта, а также имеющие особенность перемещаться на местности в зависимости от текущих задач, требуемых от них [97, с. 4].

Для обеих групп мониторинга применяются два способа передачи информации с использованием основного и резервного каналов связи.

В диспетчерском пункте, информация, полученная из точек сбора информации, поступает в модуль хранения информации через приемопередающее устройство диспетчерского пункта. Представление информации ответственному лицу, для надлежащего контроля, осуществляется с помощью системы визуализации SCADA. Для архивирования информации используется специальный сервер хранения информации

Использование предложенной структурной схемы способа позволяет осуществлять своевременный и достоверный контроль режимов работы электрооборудования, с целью недопущения перехода его в аварийные режимы, а также прогнозирования выхода из строя с возможностью экономического планирования затрат на ремонт текущего или приобретение нового электрооборудования. Также за счет анализа полученной информации об электропотреблении осуществляется повышение энергоэффективности добычи полезных ископаемых на основе непрерывного удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования в условиях открытой добычи полезных ископаемых [97, с. 4].

3.5 Выводы

1. Разработан специальный алгоритм принудительной записи текущих показаний в счетчик электроэнергии, ранее записанный в энергонезависимую

память предназначенный для предотвращения несанкционированного сброса показаний электроэнергии.

2. Разработан специальный алгоритм проверки возвращаемых пакетов в структуре запрос-ответ в подсистеме защиты данных от повреждения в результате электромагнитных помех на этапе передачи информации. Данный алгоритм используется для количественной оценки передаваемых пакетов.

3. Разработан способ восстановления потерянной информации на основе корреляционного анализа.

4. Разработан способ мониторинга устройств измерения, анализа и управления оборудованием электрических подстанций и электрооборудования горного производства в условиях открытой добычи полезных ископаемых.

5. Разработана структурная схема системы мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства. Использование предложенной структурной схемы способа позволяет осуществлять своевременный и достоверный контроль режимов работы электрооборудования, с целью недопущения перехода его в аварийные режимы, а также прогнозирования выхода из строя с возможностью экономического планирования затрат на ремонт текущего или приобретение нового электрооборудования. Также за счет анализа полученной информации об электропотреблении осуществляется повышение энергоэффективности добычи полезных ископаемых на основе непрерывного удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования в условиях открытой добычи полезных ископаемых.

4 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ И ПОДСТАНЦИЙ

4.1 Основные задачи системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования экскаваторов различных типов и подстанций

Разрабатываемая система должна решать следующие задачи:

- измерение параметров электропотребления и сигналов срабатывания защит;
- сбор информации с контрольно-измерительной аппаратуры о параметрах электропотребления и сигналов технологических защит;
- обработку и хранение информации в микропроцессорных блоках, установленных на объектах мониторинга;
- передачу информации в диспетчерский пункт с применением помехозащищенных алгоритмов;
- визуализацию информации на диспетчерском пункте;
- хранение информации на диспетчерском пункте с возможностью резервирования и быстрого доступа к ней.

Для выполнения вышеперечисленных поставленных задач система удаленного мониторинга должна обладать следующими характеристиками:

- достаточная вычислительная мощность применяемых технических средств для предотвращения задержки сигналов, а также своевременной доставки информации на диспетчерский пункт;
- достаточный объем памяти устройства обработки накопления информации и устройства хранения информации в диспетчерском пункте;
- наличие защиты от несанкционированного доступа, как в точках сбора информации, так и на диспетчерском пункте.

Реализация вышеуказанных задач достигается путем применения современных технических средств ведущих мировых производителей.

4.2 Определение характеристик и объемов информации для мониторинга режимов работы электрооборудования при открытой добыче полезных ископаемых

Современные требования к эффективному использованию горного оборудования производственных предприятий приводят к необходимости применения систем, обеспечивающих непрерывный контроль и диагностику основных параметров оборудования. Разработка эффективных систем мониторинга не только повышает эффективность и безопасность использования горного оборудования, но и обеспечивает значительную экономическую выгоду за счет сокращения внеплановых простоев. Для большинства предприятий в условиях возрастающей конкуренции повышение эффективности становится все более актуальной задачей [98].

На основании анализа технологических и аварийных режимов работы электрооборудования горного производства при открытой добыче, приведенного в первой главе, возникает необходимость мониторинга определенных параметров электрооборудования.

На подстанциях возникает необходимость контроля таких параметров состояния, как включение и отключение фидера подстанции, включение и отключение главного ввода подстанции, сигнал срабатывания максимальной токовой защиты и защиты от замыкания на землю. Ниже рассмотрен каждый из этих параметров состояния технологических и аварийных режимов работы более подробно.

Сигнал включения и отключения фидера подстанции позволяет в оперативном режиме осуществлять контроль над работой подстанции. На основании данных сигналов возникает возможность определения времени работы и времени простоя электрооборудования. Это в свою очередь позволяет контролировать срок службы электрооборудования.

Так, например, работоспособность высоковольтных выключателей, как коммутационных аппаратов в значительной степени определяется использованием его технического ресурса. Для выбора оптимального времени проведения ремонтных работ целесообразно постоянно иметь информацию о степени выработки технического ресурса выключателя, иными словами, контролировать «остаточный ресурс» аппарата [99].

Для предотвращения выхода из строя электрооборудования, а также возникновения чрезвычайных ситуаций применяют такие виды защит, как максимальная токовая защита и защита от замыкания на землю.

Максимальная токовая защита служит для предотвращения опасных перегрузок линий, широко применяется благодаря обеспечению селективности, то есть, обладанию способностью избирательно реагировать на различные ситуации. МТЗ используют с целью локализации и обезвреживания междуфазных КЗ; для защиты сетей от кратковременных перегрузок; для обесточивания трансформаторов тока в аварийных ситуациях; в качестве протектора при запуске мощного, энергозависимого оборудования. Задержка времени очень полезна при пуске двигателей. Дело в том, что на старте в цепях обмоток наблюдается значительное увеличение пусковых токов, которое системы защиты могут воспринимать как аварийную ситуацию. Благодаря небольшой задержке времени МТЗ игнорирует изменение параметров сети, возникающие при пуске или самозапуске электродвигателей. За короткое время показатели тока приближаются к норме, и причина для аварийного отключения устраняется. Таким образом, предотвращается ложное срабатывание [100].

Однофазные замыкания на землю являются преобладающим видом повреждений в электрических сетях среднего напряжения 6-10 кВ (75-90% общего числа электрических повреждений) и часто являются первопричиной аварий, сопровождающихся значительным экономическим ущербом [101].

Архивирование сигналов срабатывания максимальной токовой защиты и защиты от замыкания на землю позволяют не только производить анализ

произошедших аварийных ситуаций, но и осуществлять прогнозирование отказов электрооборудования, а также производить разделение на плановые отключения и аварийные.

Архивирование технологических параметров состояния подстанции позволяет дублировать ведение оперативного журнала с возможностью быстрого доступа к информации, а также получением отчета за определенный период.

Для диагностики и контроля параметров электрической сети и электрооборудования рекомендуется осуществлять мониторинг таких параметров, как температура и уровень трансформаторного масла, напряжение, ток, потребление активной и реактивной энергии на каждом фидере.

Мониторинг температуры и уровня трансформаторного масла позволяет контролировать технологические режимы работы с целью недопущения выхода из строя электрооборудования, а также предотвращения возникновения пожаров.

Основными конструктивными элементами трансформатора высокого напряжения с маслосодержащей изоляцией являются обмотки, изоляция, охлаждающее устройство, регулятор напряжения, выводы, магнитопровод, а также различные защитные и измерительные устройства. Комплектация каждого трансформатора защитными устройствами, а также устройствами контроля и охлаждения зависит от его исполнения [102-104]. Для контроля и технического состояния трансформаторов необходимо проводить мониторинг определенных параметров [105].

Мониторинг напряжения каждого из фидеров осуществляется для контроля питающего электрооборудования, контроля над состоянием вводного трансформатора с целью предотвращения перегрузки сети вследствие пониженного напряжения, а также предотвращения выхода из строя нагрузочного электрооборудования вследствие превышения допустимой нормы напряжения.

Мониторинг потребляемого тока позволяет оценить текущую нагрузку на каждый из фидеров с целью недопущения перегрузки по току, произвести анализ перерасхода согласно графикам потребления в течение времени.

Мониторинг электропотребления позволяет оценить расход электроэнергии в режимах простоя, тем самым, произвести корректировку норм электропотребления, а также внесения рекомендаций для персонала с целью недопущения перерасхода электроэнергии в режимах холостого хода или простоя без производственной необходимости.

На основании вышеизложенного выделены технологические параметры состояния и режимов работы электрооборудования при открытой добыче полезных ископаемых и представлены в таблице 4.1. Данные об объемах и характеристиках передаваемой информации позволяют разработать систему удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования с наиболее близкими характеристиками применяемых технических решений.

Таблица 4.1 – Характеристика контролируемой информации электрооборудования

Контролируемый параметр	Тип сигнала	Периодичность опроса	Объем передаваемой информации
Сигнал включения, отключения фидера подстанции	Дискретный	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд, при срабатывании - мгновенно	1 бит
Сигнал включения/отключения экскаватора	Дискретный	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд, при срабатывании - мгновенно	1 бит
Сигнал срабатывания максимальной токовой защиты	Дискретный	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд, при срабатывании - мгновенно	1 бит
Сигнал срабатывания защиты от замыкания на землю	Дискретный	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд, при срабатывании - мгновенно	1 бит
Напряжение фидера	Аналоговый	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд	16 бит
Ток потребления	Аналоговый	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд	16 бит
Активная энергия, потребляемая фидером	Аналоговый	60 минут	32 бита
Реактивная энергия, потребляемая фидером	Аналоговый	60 минут	32 бита
Активная энергия, потребляемая экскаватором	Аналоговый	60 минут	32 бита
Реактивная энергия, потребляемая экскаватором	Аналоговый	60 минут	32 бита
Температура трансформаторного масла	Аналоговый	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд	16 бит
Уровень трансформаторного масла	Аналоговый	Постоянный контроль с периодичностью не более 15 секунд	16 бит

На основании наблюдений, проводимых в ходе экспериментальных испытаний на угольном разрезе АО «Шубарколь комир» в таблице 4.2 приведено количество отключений и срабатывания защит.

Таблица 4.2 – Среднегодовое количество отключений и срабатываний защит с привязкой к одной подстанции

Контролируемый параметр	Количество срабатываний
Сигнал включения, отключения фидеров подстанции	10257
Сигнал включения/отключения экскаваторов	27810
Сигнал срабатывания максимальной токовой защиты	987
Сигнал срабатывания защиты от замыкания на землю	241

Учитывая количество срабатывания защит, периодичность опроса и объем передаваемой информации получен среднегодовой объем и представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Среднегодовой объем информации

Контролируемый параметр	Объем передаваемой информации, бит	Период опроса, сек	Средне-годовое количество отправок	Годовой объем полезной информации, МБайт
Сигнал включения/отключения фидера подстанции	1	15	2102400	0,25
Сигнал включения/отключения экскаватора	1	15	2102400	0,25
Сигнал срабатывания максимальной токовой защиты	1	15	2102400	0,25
Сигнал срабатывания защиты от замыкания на землю	1	15	2102400	0,25
Напряжение фидера	16	15	2102400	4,01
Ток потребления	16	15	2102400	4,01
Активная энергия, потребляемая фидером	32	3600	8760	34,21
Реактивная энергия, потребляемая фидером	32	3600	8760	34,21
Активная энергия, потребляемая экскаватором	32	3600	8760	34,21
Реактивная энергия, потребляемая экскаватором	32	3600	8760	34,21
Температура трансформаторного масла	16	15	2102400	4,01
Уровень трансформаторного масла	16	15	2102400	4,01

Таким образом, годовой объем полезной информации составляет примерно 17 Мбайт, при максимальном разовом объеме информации 25 байт.

4.3 Классификации объектов мониторинга на основе месторасположения в пространстве в условиях открытой добычи угля открытым способом на разрезе АО «Шубарколь комир»

Специфика систем удаленного мониторинга определяется разнообразием работ, выполняемых экскаваторами, особенностями их конструкций, удаленностью от источников электроснабжения, конфигурацией забоев и размещением оборудования на местности [106]. В связи с различным местоположением горного электрооборудования предлагается произвести классификацию согласно местоположению в пространстве. Угольный разрез АО «Шубарколь комир» занимает площадь около семидесяти квадратных километров. Электрооборудование находится на разных уровнях.

На основании геоданных, полученных со спутниковой системы Yandex, а также геоданных, полученных при исследовании месторасположения электрооборудования и подстанций АО «Шубарколь комир», воссоздана карта исследуемых объектов мониторинга и приведена на рисунке 4.1. Описание объектов и их координаты представлены в таблице 4.4.



1-7 объекты мониторинга, Д – диспетчерский пункт

Рисунок 4.1 – Карта расположения электрооборудования разреза АО «Шубарколь комир»

Таблица 4.4 – Объекты мониторинга угольного разреза АО «Шубарколь комир»

Метка на карте	Тип объекта	Координаты	Абсолютная высота, м	Относительная высота (диспетчерский пункт)	Наличие прямой видимости с объектами
1	Подстанция «Юго-Западная»	49 0' 7.92", 68 35' 52.44"	464	-26	2, Д
2	Подстанция «Южная»	48 59' 55.68", 68 37' 17.4"	467	-23	1, Д
3	Экскаватор ЭКГ-5А	49 0' 42.12", 68 35' 52.8"	441	-49	-
4	Экскаватор ЭКГ-8И	49 1' 16.32", 68 35' 51.36"	444	-46	-
5	Экскаватор ЭКГ-12,5	49 1' 3.72", 68 37' 9.48"	451	-39	-
6	Экскаватор ЭШ-10/70	49 0' 58.79", 68 37' 42.96"	439	-51	-
7	Экскаватор НГАСНІ	49 0' 24.48", 68 39' 3.6"	447	-43	-
Д	Диспетчерский пункт	49 0' 42.84", 68 39' 57.24"	490	-	1, 2

По данным таблицы 4.4 видно, что объекты мониторинга №1 и №2 находятся в прямой видимости с диспетчерским пунктом. Объекты №3-№7 располагаются намного ниже диспетчерского пункта относительно горизонта, а также отсутствует прямая видимость между ними.

В зависимости от месторасположения объектов мониторинга в пространстве, а также существующих технологий добычи полезных ископаемых открытым способом предложены два уровня мониторинга горного электрооборудования.

Первый уровень – уровень мониторинга подвижных объектов, находящихся внутри разреза (экскаваторы №3-№7). Использование систем удаленного мониторинга электрооборудования позволяет контролировать параметры электропотребления и аварийных защит непосредственно каждого экскаватора [3, с. 919].

Второй уровень – уровень мониторинга стационарных объектов, находящихся в прямой видимости с диспетчерским пунктом (подстанций).

Использование средств удаленного мониторинга режимов работы подстанций позволяет контролировать потребление электроэнергии каждого фидера подстанции в рамках технического учета, а также контролировать срабатывания аварийных защит с возможностью оперативного реагирования на аварийные ситуации.

Согласно представленной ранее структурной схемы системы мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства, данные с контрольно-измерительных приборов попадают в устройство обработки и

накопления информации, затем происходит выбор оптимального канала связи передачи информации. Данные поступают в диспетчерский пункт, где происходит визуализация и хранение.

4.4 Выбор контрольно-измерительных приборов

Для надежного измерения и фиксации параметров электропотребления и технологических защит, необходимо использовать современные контрольно-измерительные приборы, обладающие следующими признаками:

- доступность на рынке контрольно-измерительных приборов. В связи с возникающей необходимостью расширения количества объектов мониторинга, а также выходом из строя в связи с неправильной эксплуатацией, должна существовать возможность приобрести данные приборы без задержки поставки;

- измерение всех параметров, необходимых для осуществления мониторинга данного объекта. Применение различных средств измерения на одном объекте мониторинга может привести к искажению показателей за счет различной точности приборов, а также электромагнитной совместимости;

- использование распространенных протоколов передачи данных (ModBus, Ethernet, CAN) для связи с устройствами обработки и хранения информации (промышленные контроллеры, УСПД).

На основании вышеуказанных признаков предлагается использование контрольно-измерительных приборов двух различных производителей. Многофункциональный электронный измерительный инструмент ME96SS-MB японской компании Mitsubishi Electric [107], и счетчик электрической энергии Меркурий 234 российской компании INCOTEX Electronics Group [108].

Счетчики электрической энергии Меркурий 234 предлагается использовать для организации коммерческого или технического учета электроэнергии [109]. Согласно пункту 38 Приказа Министра энергетики Республики Казахстан от 25 февраля 2015 года № 143 "Об утверждении Правил пользования электрической энергией", электроустановки потребителей электрической энергии обеспечиваются необходимыми приборами коммерческого учета для расчетов за потребленную электроэнергию с энергоснабжающей организацией. Для учета электрической энергии используются приборы коммерческого учета электрической энергии, типы которых внесены в Реестр государственной системы обеспечения единства измерений [110].

Счетчики электрической энергии Меркурий 234 внесены в Реестр государственной системы обеспечения единства измерений под номером KZ.02.03.07677-2017/48266-11 [111]. Внешний вид счетчиков электрической энергии Меркурий 234 представлен на рисунке 4.2.

Счетчики электрической энергии меркурий 234 позволяют фиксировать следующие параметры:

- дата и время фиксации;
- активная и реактивная энергия по сумме тарифов;

- активная и реактивная энергия по каждому из четырех возможных тарифов;
- активная, реактивная и полная мощность по каждой фазе и сумме фаз;
- напряжение по каждой фазе;
- ток по каждой фазе;
- коэффициент мощности по каждой фазе и сумме фаз;
- частота;
- углы между основными гармониками фазных напряжений [108, с. 17].



Рисунок 4.2 – Внешний вид счетчика электрической энергии Меркурий 234

Также данные счетчики позволяют хранить в своей памяти профиль потребляемой энергии в размере до 8000 значений, при почасовом снятии это около 340 суток [108, с. 13]. Данные со счетчика могут быть переданы для дальнейшей обработки посредством интерфейса RS485.

В целях проведения технического учета электропотребления, а также фиксации срабатывания технологических защит предлагается использование многофункционального электронного измерительного инструмента ME96SS-MB японской компании Mitsubishi Electric. Внешний вид ME96SS-MB представлен на рисунке 4.3. Данное устройство имеет возможность подключения модулей расширения:

1. ME-4210-SS96. Имеющий в своем составе 4 аналоговых выхода, 2 импульсных выхода, 1-цифровой вход. Данный модуль расширения может быть использован для подключения аналоговых датчиков.

2. ME-0052-SS96 5 цифровых входов, 2 цифровых выхода. Данный модуль позволяет производить фиксацию аварийных сигналов, а также осуществлять управление двумя устройствами.

3. ME-0000BU-SS96 - модуль протоколирования на карте памяти (SD CARD). Данный модуль позволяет фиксировать в памяти измеренные данные [107, с. 1].



Рисунок 4.3 – Внешний вид многофункционального электронного измерительного инструмента ME96SS-MB

Многофункциональный электронный измерительный инструмент ME96SS-MB, позволяет производить измерения следующих основных параметров:

- ток по каждой фазе, а также среднее значение;
- напряжение фазное линейное;
- активная мощность по каждой фазе, а также сумму;
- реактивная мощность по каждой фазе, а также сумму;
- полная мощность по каждой фазе, а также сумму;
- коэффициент мощности;
- частота;
- активная энергия;
- реактивная энергия;
- полная энергия;
- коэффициент гармоник тока;
- коэффициент гармоник напряжения;
- часы работы [107, с. 2].

Данные с многофункционального электронного измерительного инструмента могут быть переданы для дальнейшей обработки посредством интерфейса RS485.

4.5 Выбор устройств сбора, обработки и накопления информации

Для создания сложных автоматизированных систем, а также отдельных устройств широко применяются программируемые логические контроллеры. Программируемые логические контроллеры, как правило, содержат аналоговые и дискретные входы и выходы, а также имеют возможность подключать дополнительные модули расширения, применяемые для увеличения количества входов и выходов, добавления дополнительных интерфейсов для сбора и передачи информации, а также подключения специальных датчиков.

Для реализации устройства сбора, обработки и накопления информации были подобраны базовый блок, модули расширения и модули коммуникации серии FX-3U 16MR/ES японской компании Mitsubishi Electric [112]. Внешний

вид представлен на рисунке 4.4. Производители данной серии предусмотрели разнообразную конфигурацию компонентов для решения поставленной задачи. Программируемый логический контроллер серии FX3U совместим такими промышленными сетями, как CC-Link, Profibus DP, ModBus, Ethernet. Данная серия усовершенствована таким образом, что скорость обработки данных составляет всего 0,065 микросекунд на одну команду.



Рисунок 4.4 – Внешний вид программируемого логического контроллера серии FX-3U 16MR/ES

4.6 Разработка программного обеспечения для реализации сбора, хранения и обработки информации на объектах мониторинга

Программируемый логический контроллер реализует функции сбора, обработки и хранения информации, также с помощью промышленного контроллера реализуются разработанные помехозащищенные алгоритмы для сбора и передачи информации. Программируемый логический контроллер работает согласно предварительно разработанной программе. Программа заносится в память программ контроллера, посредством поддерживаемого интерфейса. Для создания пользовательской программы, задающей алгоритм работы ПЛК, используются специальные языки программирования, регламентированные стандартом МЭК 61131 [113, 114].

Для разработки программы на программируемом логическом контроллере серии FX-3U применяется специальная среда программирования GC IES Developer 7.04.

Окно разработки ПО ПЛК для реализации сбора, хранения и обработки информации на объектах мониторинга представлено на рисунке 4.5. В левой части расположено дерево проекта, в котором отображены список задач, список переменных, структура программы.

Основным программным модулем разработанного программного обеспечения, применяемого на объектах мониторинга является модуль Main_PRG_LD. В него входят различные функциональные блоки, выполняющие определенные функции. Программа осуществляет сбор информации с помощью разработанного функционального блока

ME96NSR_MB, настройка связи для которого устанавливается в функциональном блоке ModbusMasterInit.

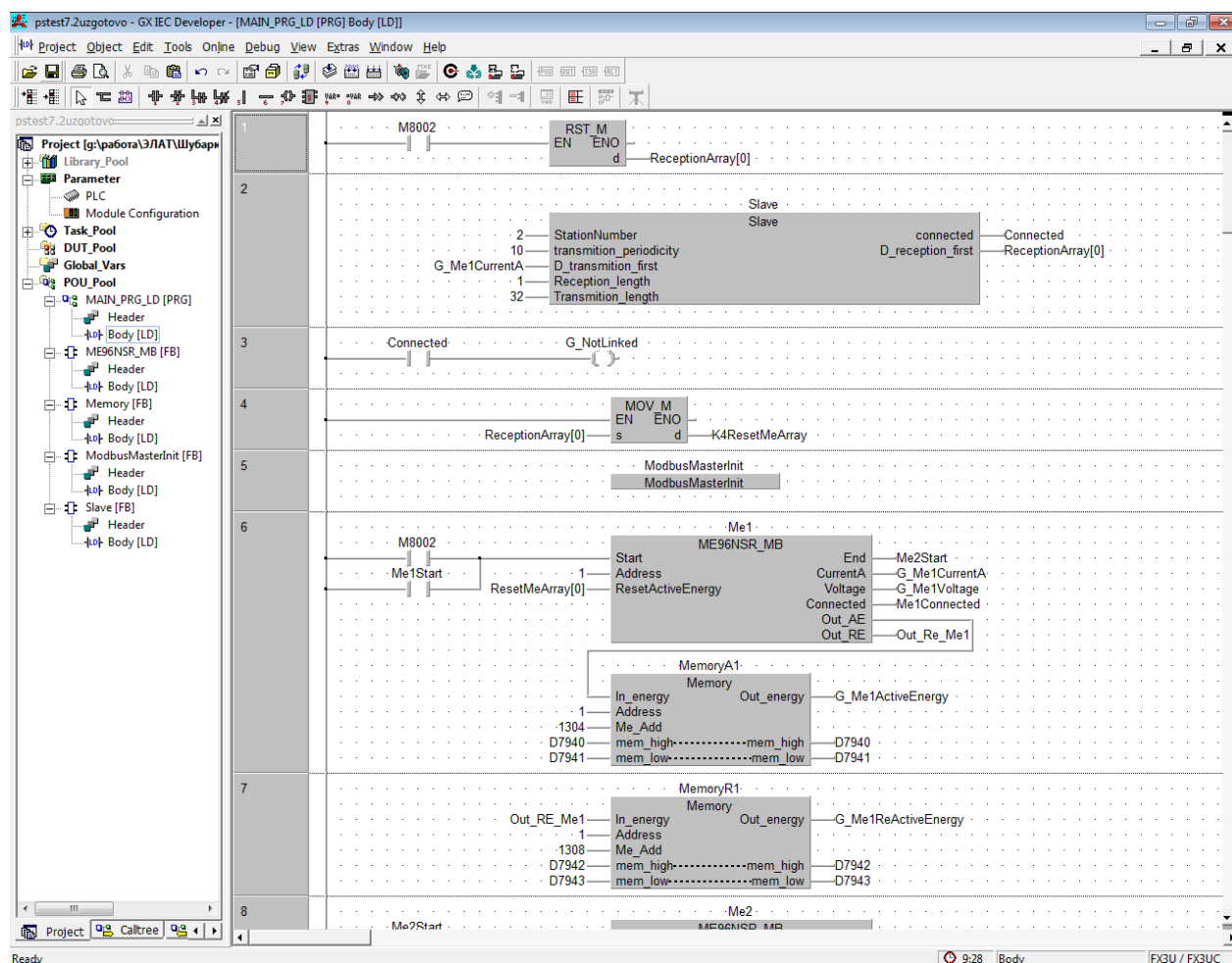


Рисунок 4.5 – Окно разработки ПО ПЛК для реализации сбора, хранения и обработки информации на объектах мониторинга

Специальный функциональный блок Memory, реализованный в соответствии с ранее предложенным алгоритмом, позволяет хранить в памяти промышленного контроллера текущие показания электроэнергии. В случае несанкционированного сброса показаний производит принудительную запись в счетчик показаний, хранящихся в памяти. Полный листинг программы и список переменных (Приложение А).

В строке №1 происходит чтение текущих показаний, приходящих счетчика электроэнергии. В строке №2 происходит запись предыдущих показаний из памяти контроллера во временную ячейку памяти. В строке №3 происходит сравнение текущих показаний и предыдущих показаний, если текущие показания превышают предыдущие, то эти показания записываются в память.

Если текущие показания меньше предыдущих (в случае несанкционированного сброса), то в строке 4 происходит суммирование текущих показаний с предыдущими, для корректировки итогового значения. В строке 5 происходит запись суммы, полученной в предыдущей строке в память

контроллера и в массив для подготовки записи в счетчик. В строке 6 происходит запись показаний в счетчик. Строки 4, 5 и 6 выполняются только в случае сброса при несанкционированном доступе.

В строке 7 происходит запись показаний в ячейку памяти для передачи на диспетчерский пункт. В случае переполнения памяти счетчика происходит сброс показаний, как счетчика, так и в памяти контроллера.

Применение функционального блока Мемогу, разработанного на основе ранее предложенного алгоритма позволяет осуществить защиту от несанкционированного сброса показаний электроэнергии, который может быть выполнен техническим персоналом для сокрытия нарушений, а также искажения или сброса показаний, возникающих вследствие действия электромагнитных помех, влияющих на электронную и микропроцессорную технику [115].

Процесс передачи информации осуществляется с помощью функционально блока Slave. Здесь происходит выбор оптимального канала связи, а также процесс передачи информации в диспетчерский пункт посредством установленных приемопередающих устройств.

4.7 Выбор канала связи для передачи технологической информации о режимах работы электрооборудования от объекта мониторинга до диспетчерского пункта

4.7.1 Анализ способов передачи информации

Актуальной проблемой на угольном разрезе является неустойчивая работа сети, в связи с тяжелыми полевыми и погодными условиями, а также нахождение самого оборудования в «мертвой зоне» [88, с.127].

Передача информации о параметрах потребления электроэнергии может осуществляться как проводным, так и беспроводным способом. Самыми востребованными технологическими решениями для проводных сетей являются интерфейс RS-485, токовая петля и интерфейс передачи по силовым линиям PLC [116].

Однако в условиях угольного разреза данный способ не приемлем по ряду причин. Во-первых, большая территориальная удаленность объектов технологического оборудования от мест сбора информации (до 10-15 километров) не позволяет протянуть провода, как с экономической точки зрения, так и с технологической. Во-вторых, существует большая вероятность повреждения линии связи различной тяжелой техникой (карьерные самосвалы, экскаваторы и другая техника).

Использование беспроводной передачи данных в условиях угольного разреза является наиболее приемлемым способом передачи технологической информации. Выбор частотного диапазона оказывает существенное влияние на характеристики проектируемой беспроводной системы [117], т.к. этот параметр неразрывно связан с дальностью связи, пропускной способностью, энергопотреблением и с финансовыми и инженерными затратами на проектирование.

4.7.2 Использование канала связи с частотой 433 МГц

Рассмотрено несколько способов беспроводной передачи данных, технически осуществимых в условиях угольного разреза: использование радиоканала с частотой 433 МГц, использование GSM сети с частотой 900 МГц. Структура технологий передачи данных, а также уровни мониторинга приведены на рисунке 4.6.

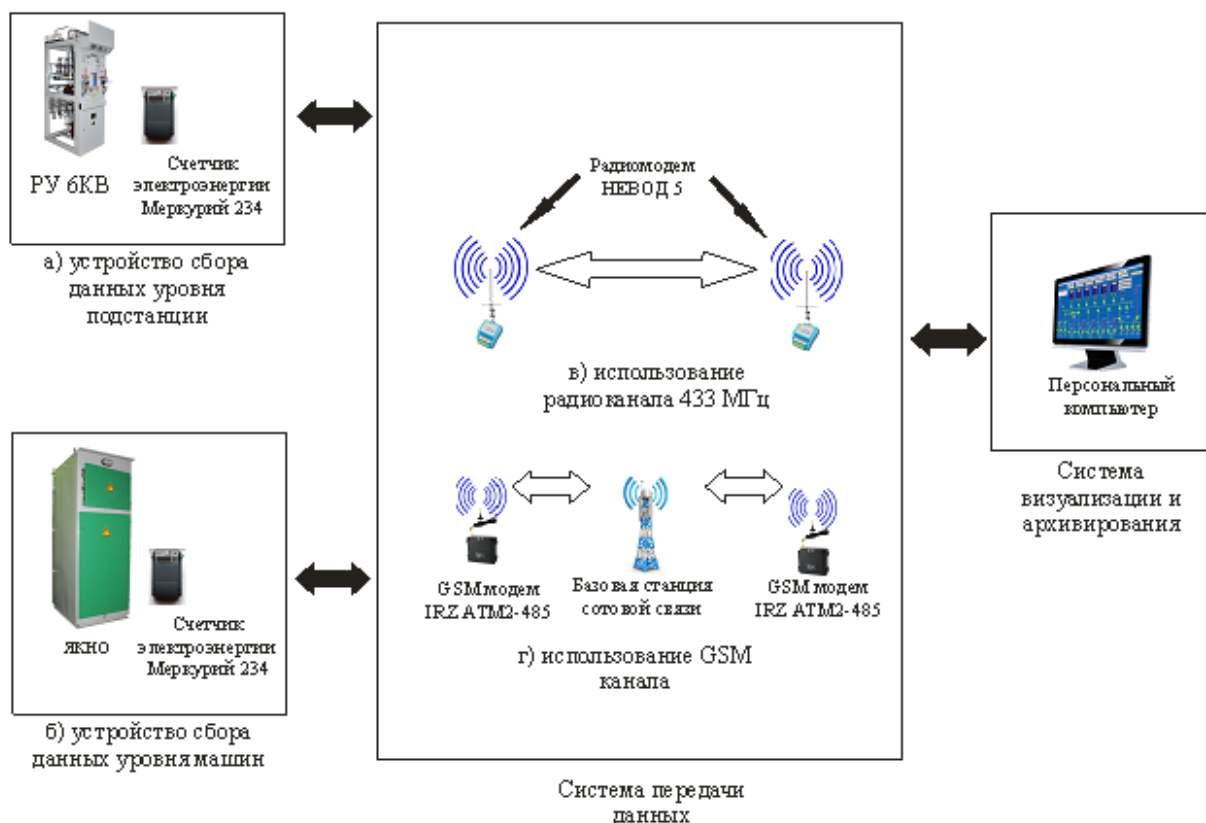


Рисунок 4.6 – Структура телеметрической системы удаленного мониторинга режимов электропотребления горного оборудования

Одним из наиболее подходящих способов беспроводной передачи технологической информации о режимах работы горного электрооборудования является использование радиоканала с частотой 433 МГц. Данная частота выбрана не случайно. Во-первых, частота 433 МГц является разрешенной частотой, согласно законодательству Республики Казахстан (при максимальной допустимой мощности передатчика не более 10 мВт) [118]. Во-вторых, большинство современного оборудования использует данную частоту.

Использование данного канала связи имеет ряд преимуществ: информация может передаваться на большие расстояния, используя только разрешенную мощность приемопередатчика; отсутствует необходимость GSM покрытия в данной местности; нет необходимости нести затраты за использование канала связи, как это требуется при использовании GSM канала, где оплата производится за объем переданной информации.

Однако есть и недостатки. Недостаточная мощность передающего канала в условиях больших расстояний приводит к частичной потере данных, особенно при сильных атмосферных осадках. Однако при циклическом опросе пропадание отдельных пакетов не столь критично для системы в целом [119]. Для передачи на большие расстояния необходимо чтобы объекты находились друг от друга в прямой видимости, но и этот недостаток в некоторых случаях исключается при использовании ретрансляционных модемов.

Для построения системы передачи технологической информации о состоянии горного электрооборудования необходимо использовать радиомодем с соответствующей антенной. Функциональная схема системы передачи информации с использованием радиоканала 433 МГц приведена на рисунке 4.7.

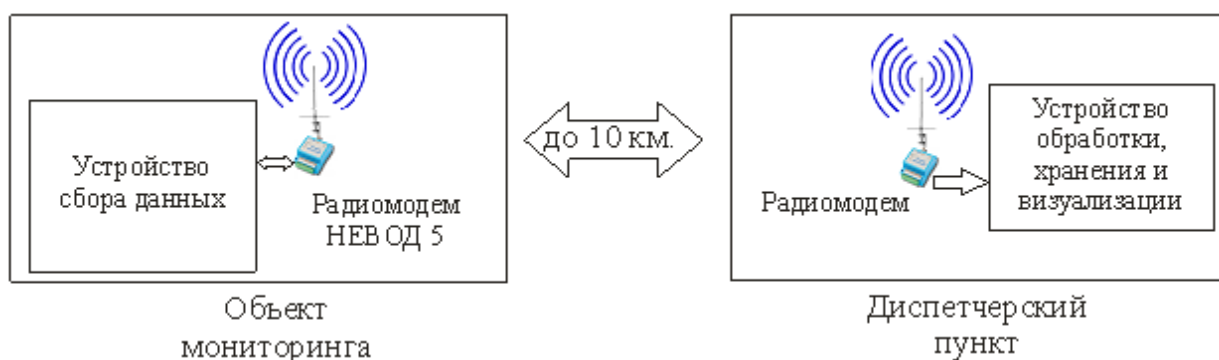


Рисунок 4.7 – Функциональная схема системы передачи информации с использованием радиоканала 433 МГц

4.7.3 Применение канала связи GSM

GSM канал в системах передачи технологической информации о состоянии параметров электропотребления горного электрооборудования наряду с радиоканалом с частотой 433 МГц также нашел свое применение. В связи с тем, что часть точек сбора информации находится в угольном разрезе на глубине до ста метров, использование радиоканала не всегда представляется возможным. Здесь альтернативным каналом связи может выступать GSM канал, при наличии GSM покрытия в данной местности.

Беспроводная технология GSM подразумевает три основных способа передачи данных: с помощью службы коротких сообщений SMS (Short Message Service), по голосовому каналу GSM и с использованием пакетной передачи данных GPRS (General Packet Radio Service) [116, с. 86].

При использовании технологии GPRS соединение с диспетчерским пунктом (сервером) происходит в момент включения модема и сохраняется до потери связи либо до его отключения. Тарификация происходит пообъемно, поэтому постоянно открытый канал без передачи данных не приводит к увеличению оплаты услуг GSM связи. Такая технология подходит при необходимости передавать информационные пакеты с частой периодичностью [120].

После проведения экспериментов, связанных с передачей данных с использованием GSM канала связи на угольном разрезе, было подобрано необходимое оборудование для наиболее стабильной передачи данных. Функциональная схема системы передачи информации с использованием GSM канала с частотой 900 МГц приведена на рисунке 4.8. Данный канал реализован в системе удаленного мониторинга режимов работы экскаваторов на том же угольном разрезе АО «Шубарколь комир». В местах, где устойчивое GSM покрытие, данный канал связи позволяет оперативно контролировать параметры электропотребления экскаваторов.

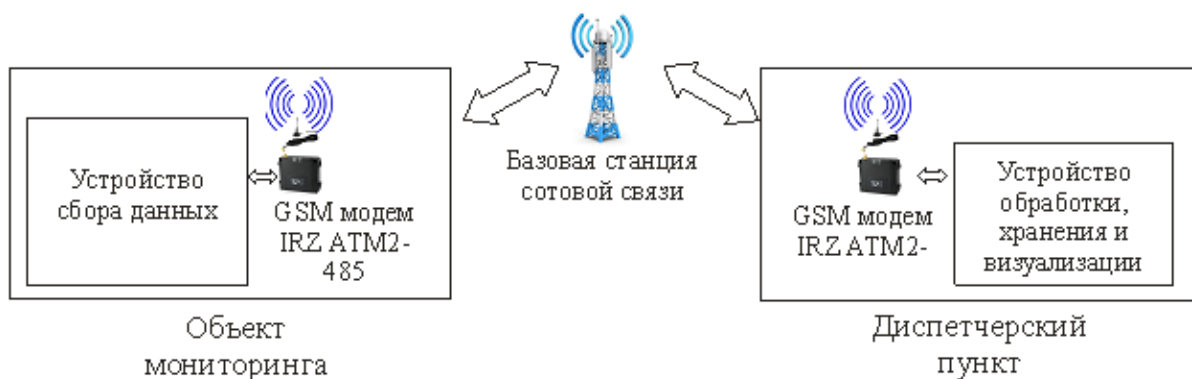


Рисунок 4.8 – Функциональная схема системы передачи информации с использованием GSM канала с частотой 900МГц

В качестве приемо-передающего устройства использованы GSM модемы IRZ ATM2-485. Беспроводной GSM/GPRS-модем iRZ ATM обеспечивает передачу данных в сети GPRS по стеку протоколов TCP/IP. Устройство предназначено для работы в телеметрических системах. Модемы работают в паре с двухдиапазонной GSM-антенной на магнитном основании.

После проведения ряда исследований по использованию различных каналов связи на территории угольного разреза АО «Шубарколь комир» были получены результаты, которые позволяют оценить целесообразность применения каждого канала. Для бесперебойной работы системы передачи информации о состоянии электропотребления горного электрооборудования предлагается использовать комбинированные каналы связи, включающие в себя радиоканал с частотой 433 МГц, GSM канал, а также канал Wi-Fi на частоте 2.4 МГц. Для построения такой системы необходимо предусмотреть возможность использования данных каналов как вместе, так и отдельно. Система автоматически будет определять, какой из каналов сейчас доступен.

Для разных участков угольного разреза основной канал связи будет отличаться. Для объектов, установленных на поверхности или в непосредственной близости, будет использоваться радиоканал с частотой 433 МГц. В случае отсутствия радиосвязи при плохих погодных условиях или других причин, связь будет установлена по GSM каналу с использованием технологии пакетной передачи данных GPRS.

Для объектов, расположенных на глубине, при условии наличия зоны покрытия GSM, основным каналом связи будет GSM.

4.7.4 Использование комбинированных каналов связи

Для бесперебойной работы системы, при невозможности или экономической нецелесообразности организации радиоканала, предлагается использование комбинированного канала связи. Функциональная схема системы передачи информации для угольного разреза с использованием комбинированных каналов связи приведена на рисунке 4.9.

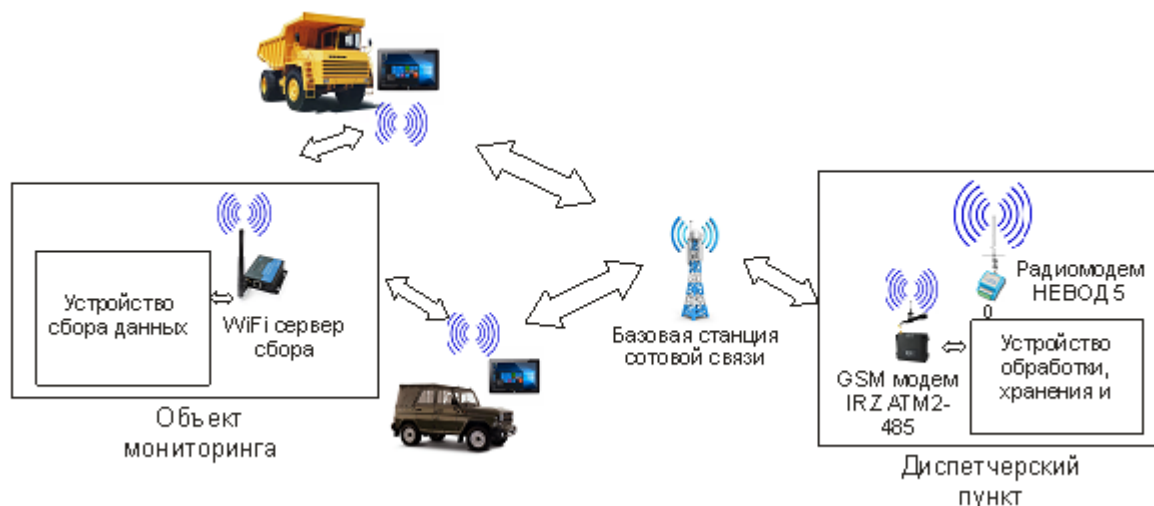


Рисунок 4.9 – Функциональная схема системы передачи информации с использованием комбинированных каналов связи

Система построена следующим образом: в кабине автомобилей, осуществляющих ежедневное передвижение по угольному разрезу, расположены планшетные компьютеры с соответствующим программным обеспечением. В момент приближения к точке сбора информации происходит установка соединения и автоматический съем необходимой информации. Данные передаются по сети Wi-Fi, с использованием встроенного в планшетный компьютер приемо-передатчика и специально установленного модема в точке сбора. Планшетный компьютер также отслеживает появление в зоне покрытия сети GSM для передачи накопленной информации в диспетчерский пункт. При отсутствии сети существует возможность передачи информации с планшетного компьютера непосредственно в диспетчерском пункте. Это позволяет эффективно использовать существующие каналы связи для бесперебойной работы системы.

4.8 Разработка программного обеспечения ПЛК реализации сбора, хранения и обработки информации на диспетчерском пункте

Окно разработки ПО ПЛК для реализации сбора, хранения и обработки информации на диспетчерском пункте представлено на рисунке 4.10. В левой

части расположено дерево проекта, в котором отображены список задач, список переменных, структура программы.

Основным программным модулем разработанного программного обеспечения, применяемого в диспетчерском пункте, является модуль Main_PRG_LD. В него входят различные функциональные блоки, выполняющие определенные функции. Программа осуществляет сбор информации с приемопередающих устройств с помощью разработанного функционального блока Master. С помощью специального функционального блока MeReset, можно осуществлять сброс показаний электроэнергии, посредством системы визуализации с применением определенных прав доступа к системе удаленного мониторинга.

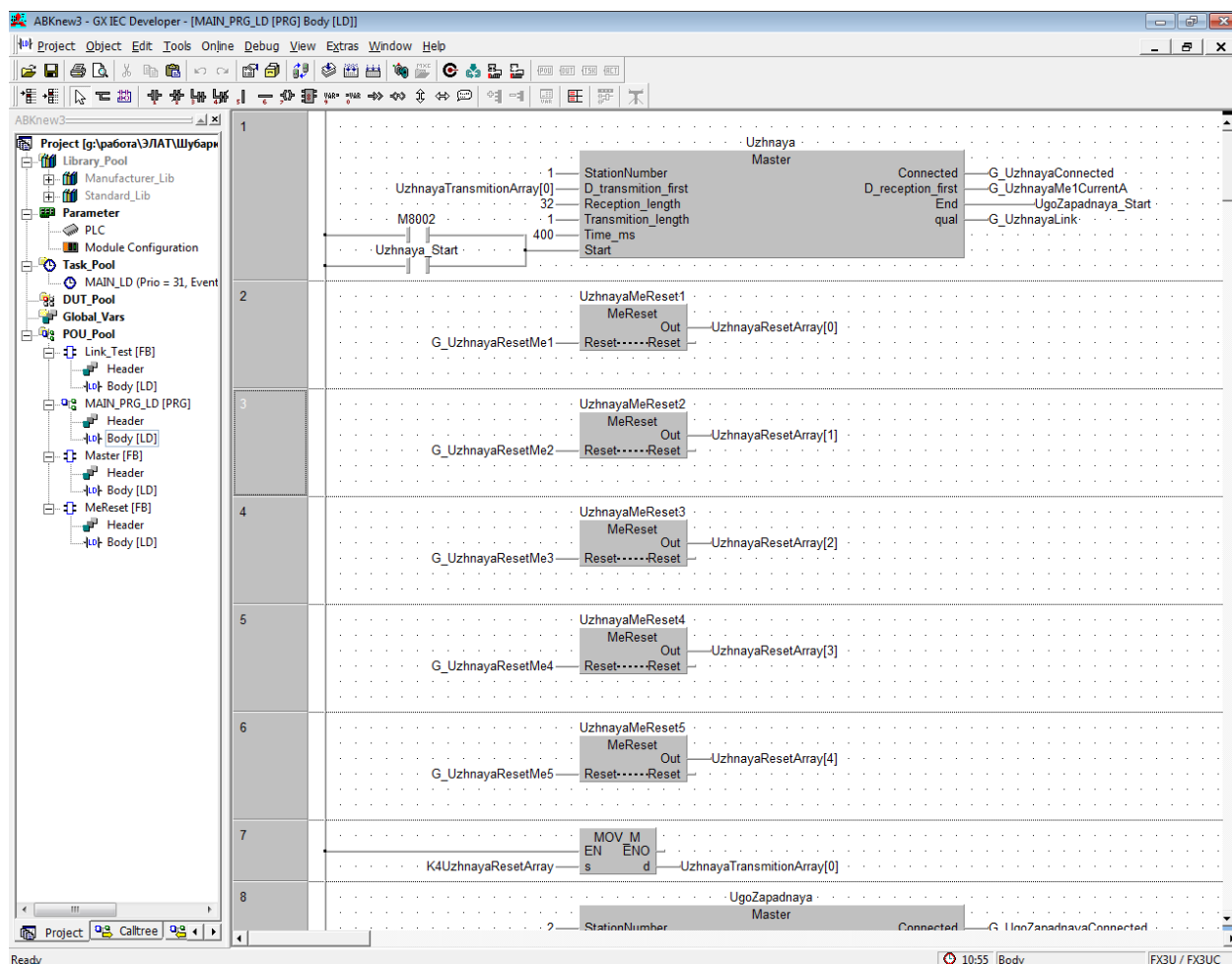


Рисунок 4.10 – Окно разработки ПО ПЛК для диспетчерского пункта

Также в данном программном обеспечении с помощью функционального блока Link_Test, на основании ранее предложенного алгоритма, организована функция проверки качества связи с объектами мониторинга.

4.9 Разработка подсистемы визуализации для диспетчерского пункта

Для процесса визуализации и управления на диспетчерском пункте разработано программное обеспечение для SCADA системы CitectSCADA.

CitectSCADA [121] (SCADA, supervisory control and data acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) – программный продукт, представляющий собой полнофункциональную систему мониторинга, управления и сбора данных, которая позволяет обеспечить [122]:

- визуализацию процесса в графическом режиме;
- фиксацию аварийных сигналов (алармов);
- отслеживание трендов в реальном времени и доступ к архивным трендам;
- реализация отчетов с детализацией;
- статический контроль процесса;
- многопоточное выполнение программ, разработанных на специальных языках программирования CitectVBA [123] и CiCode [124].

SCADA-система в режиме реального времени осуществляет: мониторинг параметров электроэнергии; мониторинг состояния коммутационной аппаратуры технологических защит; мониторинг состояния нагрузки фидеров подстанций; оповещение оператора об аварийных ситуациях, с последующим архивированием; представление измеряемых показаний в графической форме; генерацию отчетов по измеряемым параметрам [125].

Главное окно SCADA-системы появляется автоматически при включении персонального компьютера. На рисунке 4.11 представлен внешний вид главного окна диспетчерской SCADA-системы с поясняющими надписями. Окно состоит из поля отображения состояния фидеров, поля управления нагрузкой и поля отображения состояния нагрузки. В главном окне отображается текущее распределение добычного оборудования между подстанциями разреза и их отводящими фидерами, световая индикация подключенных фидеров и их характеристики, состояние коммутационной аппаратуры технологических защит, состояние датчиков, срабатывания защит, а также статус оборудования [3, с. 921].

Также существует возможность выводить на экран графики активной мощности с привязкой к каждому фидеру, таблицу аварийных сигналов и сигналов включения/отключения фидеров с указанием времени, а также параметры электропотребления и срабатывания защит каждого экскаватора или другого оборудования (опционально).

В поле отображения состояния фидеров показаны следующие параметры:

- текущее показание электроэнергии P (МВт*ч);
- напряжение на выходе U (В);
- потребляемый ток I (А);
- сигнал срабатывания максимальной токовой защиты;
- сигнал срабатывания земляной защиты;
- включение/отключение вводного фидера 35kV;
- включение/отключение вводного фидера 6kV;
- включение/отключение фидера.

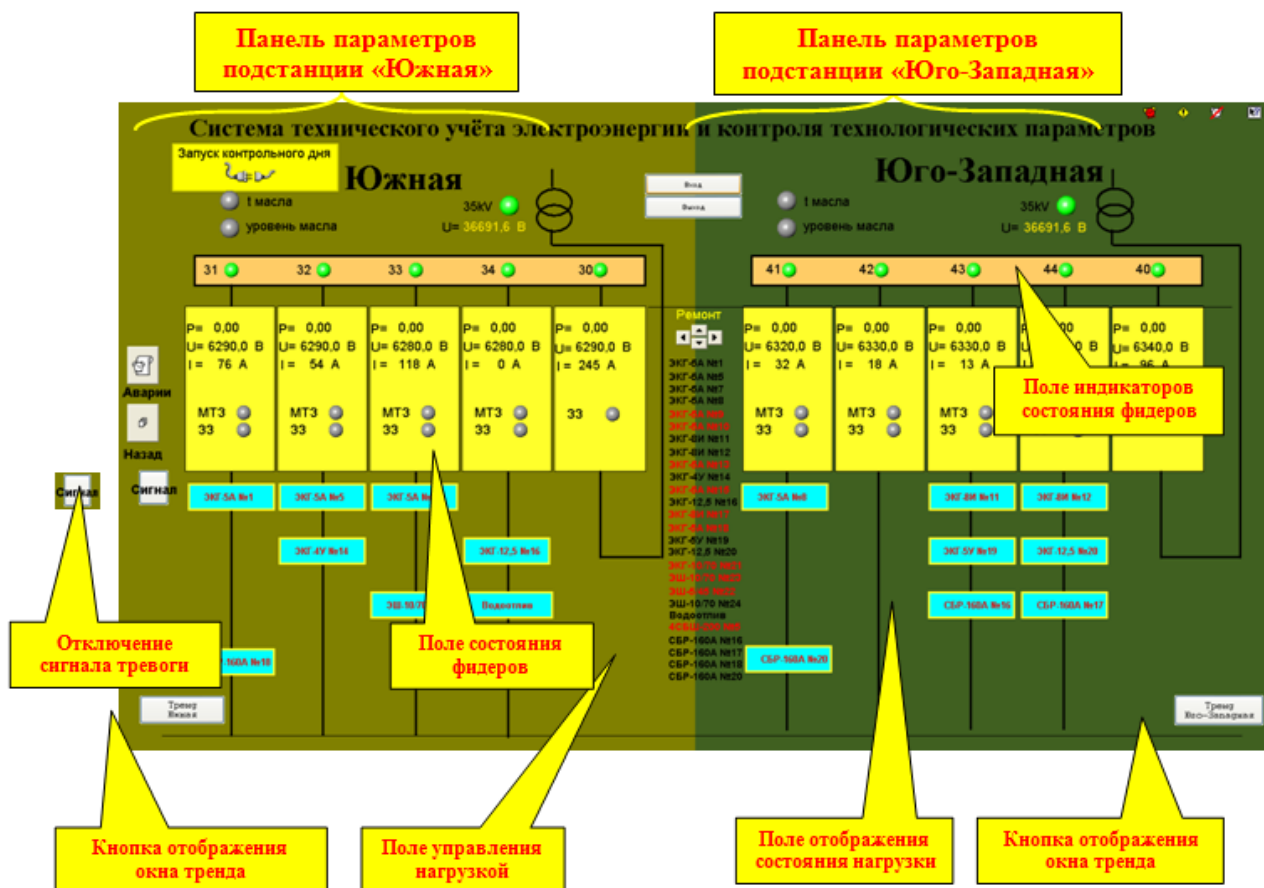


Рисунок 4.11 – Расположение полей главного окна диспетчерской SCADA-системы

На рисунке 4.12 показано поле управления нагрузкой и поле отображения состояния нагрузки. Данные функциональные поля позволяют расположить нагрузку на экране потребителей электроэнергии относительно фидеров в зависимости от их действительного расположения. В поле управления нагрузкой помещён полный список оборудования, запрашиваемый от подстанций «Южная» и «Юго-Западная» [126].

Для изменения местоположения нагрузки необходимо:

- выбрать из списка нужное оборудование;
- затем клавишами управления переместить нагрузку в требуемое место (рисунок 4.13а, 4.13б);

- для задания статуса оборудованию «РЕМОНТ» необходимо нажать на клавишу «РЕМОНТ» (изображение нагрузки примет вид, показанный на рисунке 4.13(в));

- для снятия нагрузки с подстанций достаточно переместить ее вниз в поле простоя, после чего она исчезнет с экрана и в поле управления нагрузкой название перекрасится в красный цвет. При выборе нагрузки, находящейся в простое, надпись начнет мигать. Для возвращения нагрузки в поле отображения состояния нагрузки, необходимо с помощью клавиши управления «ВВЕРХ» поднять нагрузку из поля простоя.

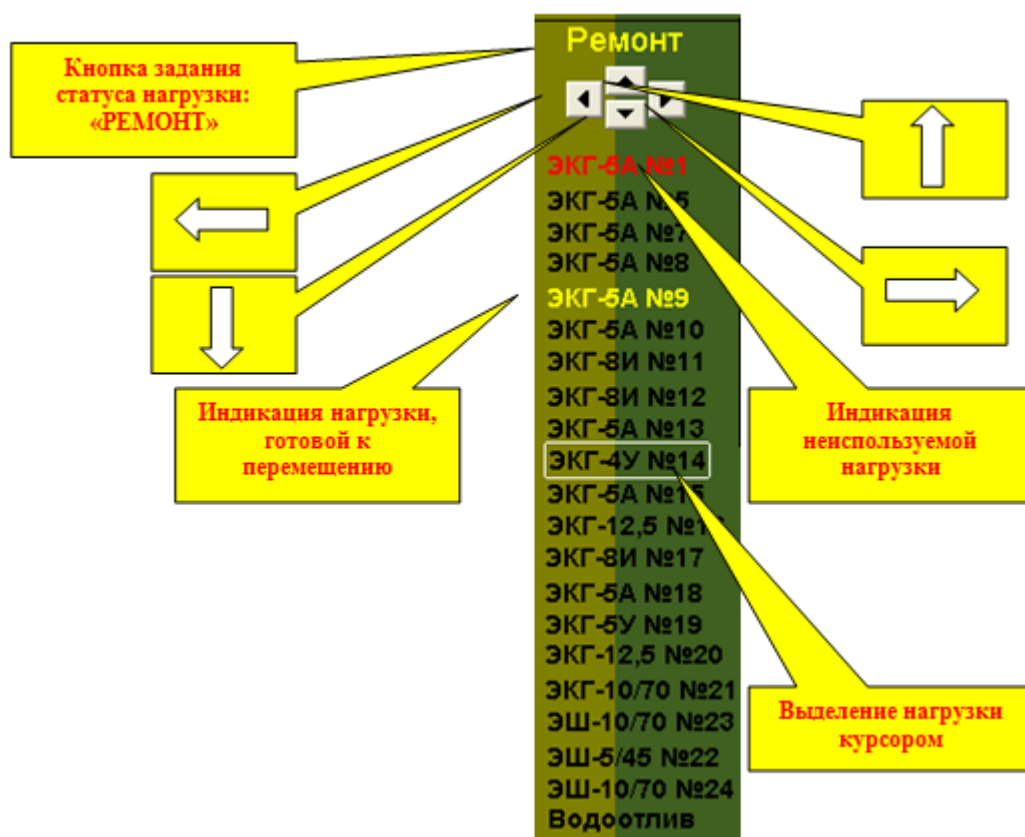


Рисунок 4.12 – Поле управления нагрузкой.

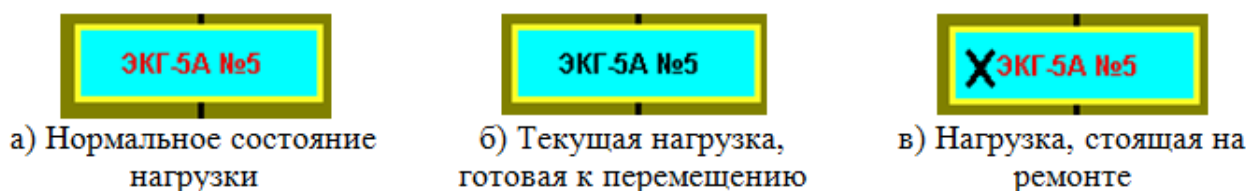


Рисунок 4.13 – Различные состояния нагрузки

Для визуализации параметров электропотребления и сигналов технологических защит электрооборудования, подключенного к тому или иному фидеру необходимо щелчок левой клавишей мыши по значку «+» иконки оборудования, находящегося в поле отображения состояния нагрузки.

После этого появится всплывающее окно с необходимыми параметрами (рисунок 4.14). Для закрытия окна параметров, необходимо нажать на кнопку «Закрыть»

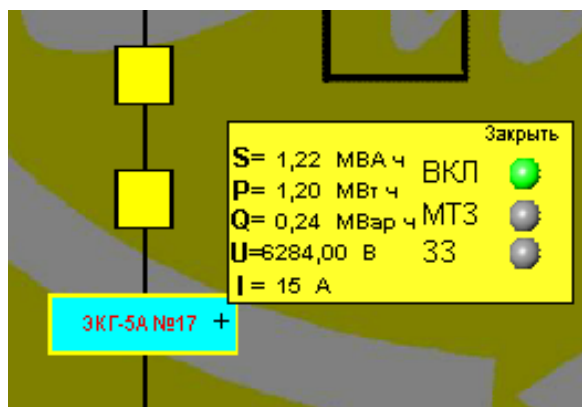


Рисунок 4.14 – Окно отображения параметров электропотребления и сигналов технологических защит электрооборудования

Окно отображения трендов потребляемой мощности, рисунок 4.15, осуществляет визуализацию текущего состояния нагрузки в виде графиков потребляемой мощности на данном фидере. Для отображения окна необходимо нажать на кнопку «ТРЕНД ЮЖНАЯ» или «ТРЕНД ЮГО-ЗАПАДНАЯ», расположенную на любом из окон. В окне приведены графики потребляемой мощности для пяти фидеров.

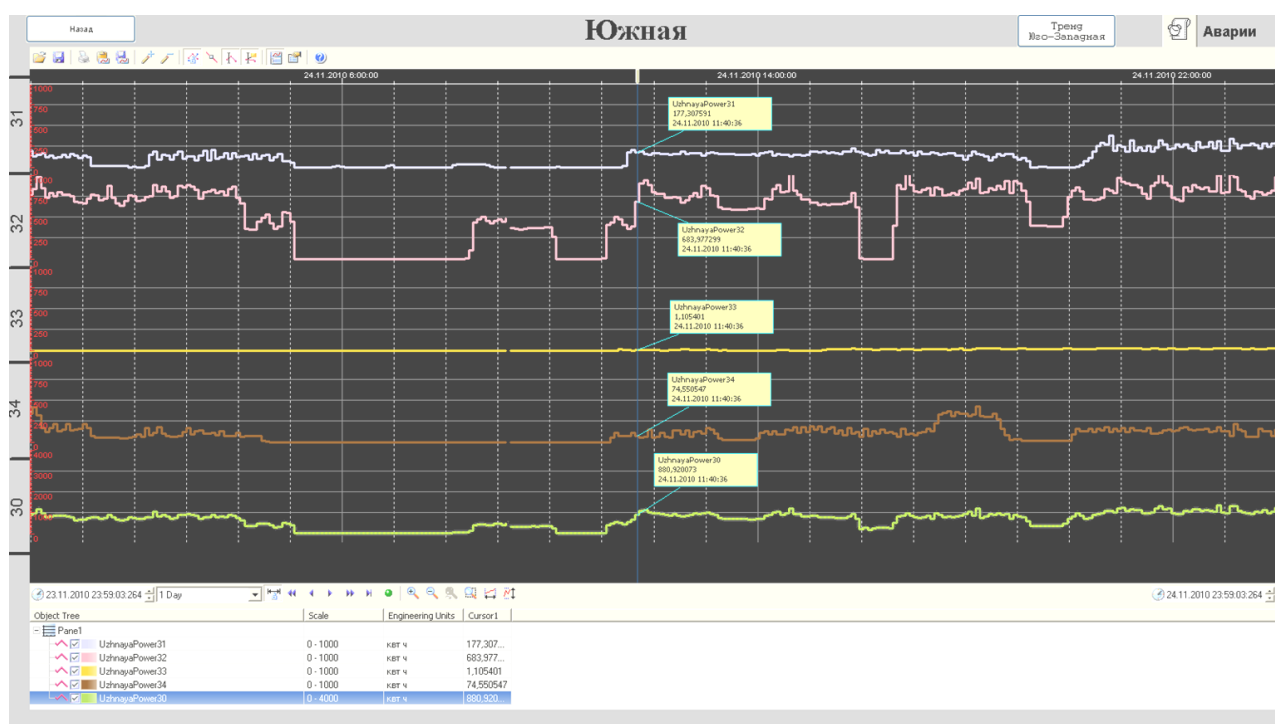


Рисунок 4.15 – Окно отображения трендов

Анализ графиков потребляемой мощности, позволяет отслеживать эффективность использования подключенного оборудования [3, с. 925].

4.10 Выводы

1. Определены задачи системы удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства.
2. Проведен анализ технологической информации, необходимо для мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства.
3. Проведена классификация объектов мониторинга на основе месторасположения в пространстве в условиях открытой добычи угля открытым способом на разрезе АО «Шубарколь комир». В зависимости от месторасположения объектов мониторинга в пространстве, а также существующих технологий добычи полезных ископаемых открытым способом предложены два уровня мониторинга горного электрооборудования. Уровень подвижных и уровень стационарных объектов.
4. Осуществлен выбор контрольно-измерительных приборов, а также устройств, необходимых для функционирования подсистемы обработки и накопления технологической информации.
5. Разработано программное обеспечение промышленного контроллера для реализации сбора, хранения и обработки информации на объектах мониторинга.
6. Осуществлен выбор оптимального канала связи для передачи технологической информации о режимах работы электрооборудования от объекта мониторинга до диспетчерского пункта.
7. Разработано программное обеспечение промышленного контроллера для диспетчерского пункта.
8. Разработана подсистема визуализации для диспетчерского пункта системы мониторинга режимов работы горного электрооборудования.

5 ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАК ИНСТРУМЕНТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОРРЕКТИРОВКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

5.1 Анализ эффективности использования электроэнергии на технологических объектах АО «Шубарколь комир»

Использование разработанной системы удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования позволило провести анализ эффективности энергопотребления экскаваторов угольного разреза АО «Шубарколь комир».

Анализ включает в себя данные о потреблённой активной энергии и подтверждённые данные об объёмах перегруженной горной массы [3, с. 923].

После получения данных о фактических объёмах перегруженной горной массы рассчитывается удельный расход электроэнергии по формуле (5.1):

$$A_{уд} = \frac{A}{M}, \quad (5.1)$$

где A – фактический расход электроэнергии на выпуск продукции в количестве M (в данном случае м^3) [127].

В качестве фактического расхода электроэнергии бралась активная энергия, потребляемая оборудованием [3, с. 923].

В приложении Б показаны результаты анализа удельного энергопотребления экскаваторов (Приложение Б).

В таблицах Б.1. и Б.2. приложения Б в колонках 1, 5 и 9 указаны календарные даты съёма информации. В колонках 2, 6 и 10 показаны значения потреблённой активной электроэнергии за каждый день. В колонках 3, 7 и 11 представлены данные о фактических объёмах перегруженной горной массы. В колонках 4, 8 и 12 приведены фактические значения удельного расхода электроэнергии, выраженные в кВтч/м^3 . В шапке таблицы указаны марка экскаватора и расчётные значения удельного расхода электроэнергии. Красным выделены ячейки, в которых фактические значения удельного расхода превышают расчётные.

Для анализа фактического значения удельного расхода составлена таблица, которая содержит поля даты: колонки 1, 5 и 9, поля фактического значения удельного расхода: колонки 2, 6 и 10, поля расчётного значения удельного расхода: колонки 3, 7 и 11 («Норма») и колонки вновь полученного расчётного значения удельного расхода: колонки 4, 8 и 12 («Среднее»).

В таблице Б.3. приложения Б приведены данные по расчёту фактического удельного расхода экскаватором ЭШ-10/70 №21 с февраля по апрель месяц (Приложение Б). На рисунке 5.1 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за февраль месяц. На рисунке 5.2 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за март

месяц. На рисунке 5.3 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за апрель месяц.

Вновь полученное расчётное значение удельного расхода определяется как среднее арифметическое от значений фактических удельных расходов за месяц.

На графике, изображённом на рисунке 5.1, показания удельного расхода значительно превышают среднее расчётное 02 февраля. и равны нулевому значению 01 февраля.

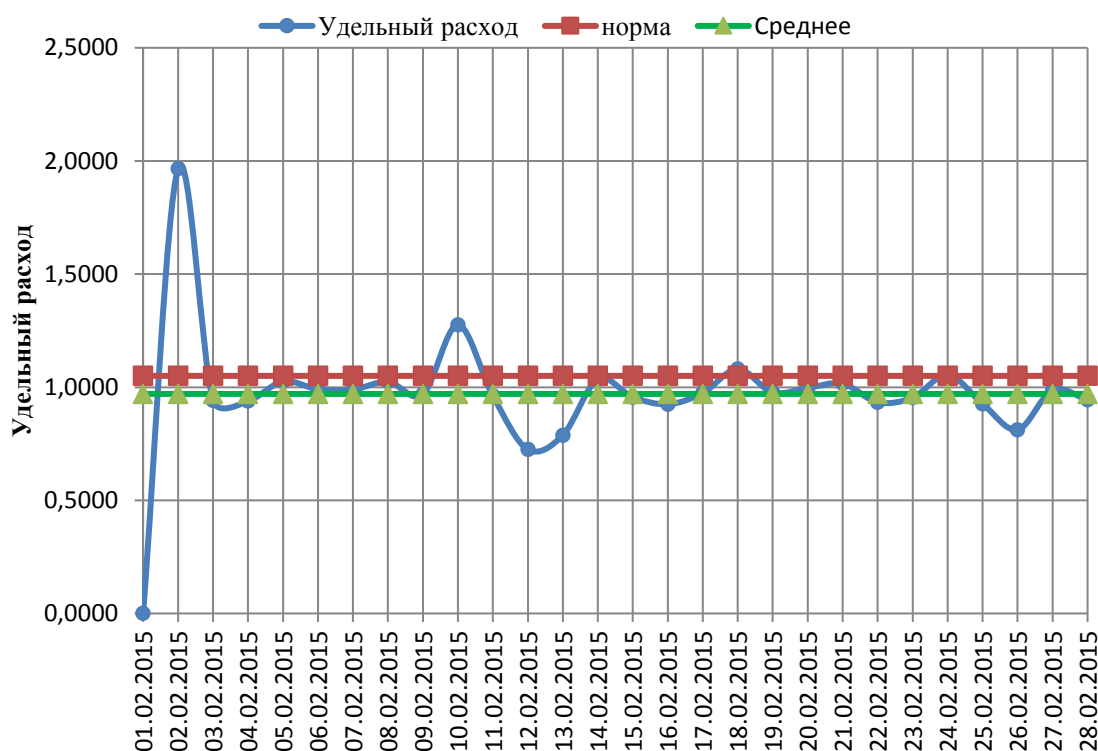


Рисунок 5.1 – График удельного расхода ЭШ-10/70№21 за февраль месяц

На графике, изображённом на рисунке 5.2, показания удельного расхода равны нулю 11, 12 и 16 марта.

На основании данных из графиков, представленных на рисунках 5.1, 5.2 и 5.3 можно определить расходы при различных режимах работы: простой, перегон экскаватора или перемещение горной массы [3, с. 923].

Для корректного определения нового расчётного значения удельного электропотребления необходимо исключить данные с нулевым объёмом перемещаемой горной массы и данные, значительно превышающие расчётную норму удельного потребления.

Ячейки с данными, с нулевым значением удельного потребления в таблице Б.3. приложения Б помечены синим цветом. Ячейки, значительно отличающиеся от нормы в сторону увеличения, помечены красным.

В таблице Б.4. приложения Б приведены данные о фактическим удельном потреблении и результаты расчёта среднего значения с учётом данных, соответствующих нормальному режиму работы.

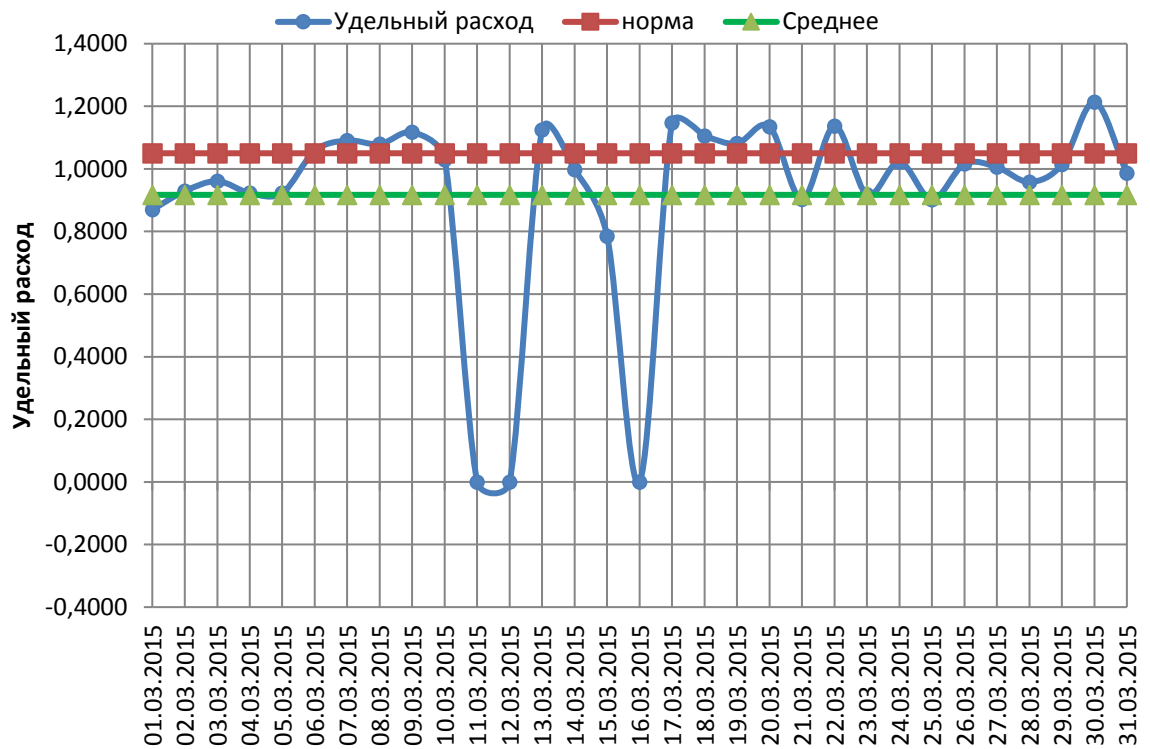


Рисунок 5.2 – График удельного расхода ЭШ-10/70 №21 за март месяц

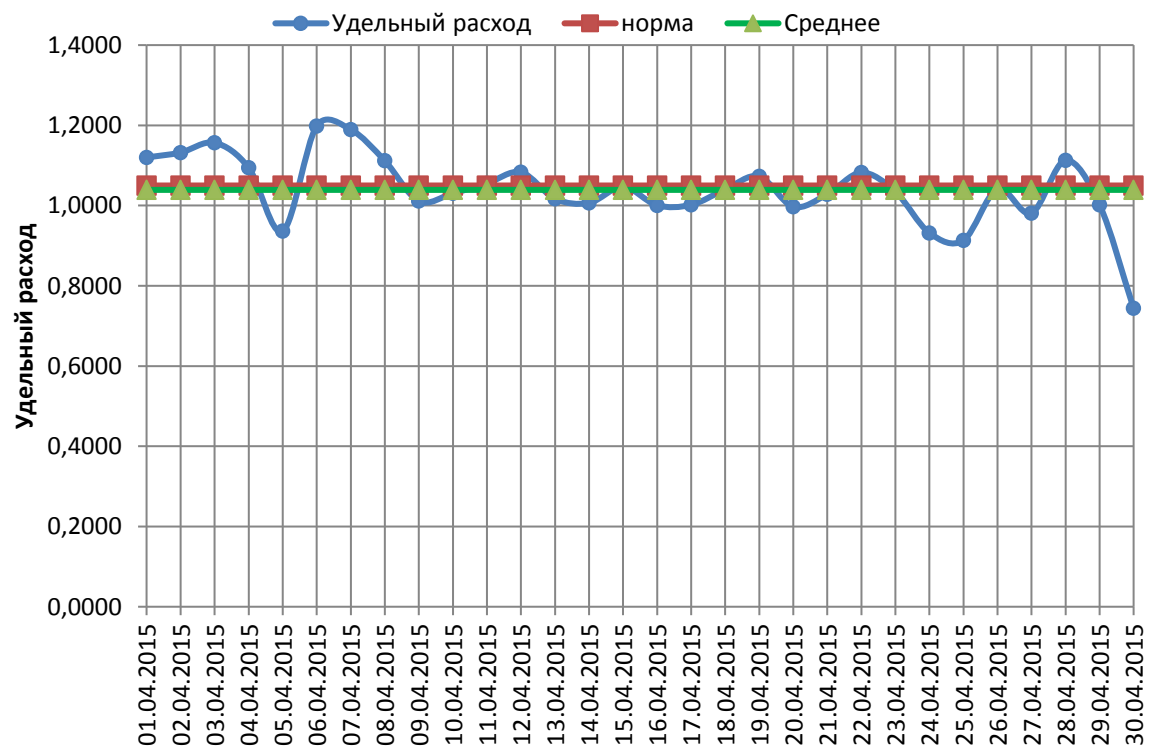


Рисунок 5.3 – График удельного расхода ЭШ-10/70 №21 за апрель месяц

Соответствующие графики приведены на рисунках 5.4 и 5.5. Новые расчётные данные показывают изменение среднего со значения удельного потребления с 0,9702 кВтч/м³ до 0,9692 кВтч/м³ за февраль месяц, с 0,9171 кВтч/м³ до 1,0154 кВтч/м³ за март месяц. Корректировки за апрель месяц не требовалось.

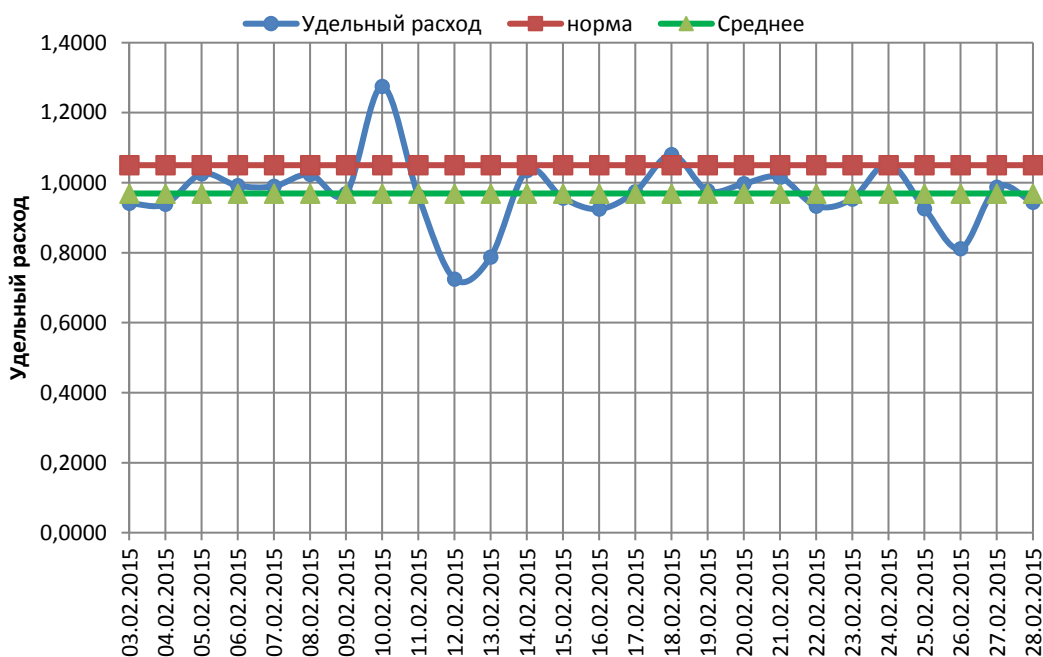


Рисунок 5.4 – Скорректированный график удельного расхода ЭШ-10/70 №21 за февраль месяц

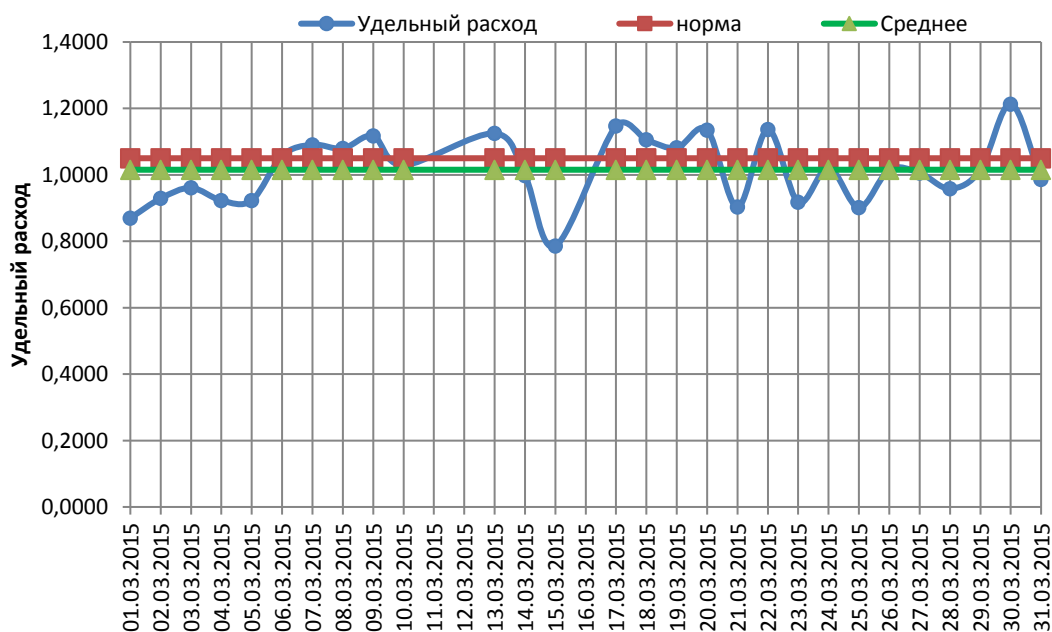


Рисунок 5.5 – Скорректированный график удельного расхода ЭШ-10/70 №21 за март месяц

В таблице Б.5. приложения Б приведены данные по расчёту фактического удельного расхода экскаватором НІТАСНІ №4 с февраля по апрель месяц (Приложение Б). На рисунке 5.6 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за февраль месяц. На рисунке 5.7 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за март месяц. На рисунке 5.8 показан график посуточного изменения удельного расхода электроэнергии за апрель месяц.

Вновь полученное расчётное значение удельного расхода определяется как среднее арифметическое от значений фактических удельных расходов за месяц.

На графике, изображённом на рисунке 5.7, показания удельного расхода значительно превышают среднее расчётное 24 марта.

На графике, изображённом на рисунке 5.8, показания удельного расхода значительно превышают среднее расчётное 12 апреля.

Для корректного определения нового расчётного значения удельного электропотребления необходимо также исключить данные с нулевым объёмом перемещаемой горной массы и данные, значительно превышающие расчётную норму удельного потребления.

Ячейки в таблице Б.5. приложения Б значительно отличающиеся значением удельного потребления от нормы в сторону увеличения помечены красным цветом.

В таблице Б.6. приложения Б приведены данные о фактическим удельном потреблении и результаты расчёта среднего значения только с учётом данных, соответствующих нормальному режиму работы.

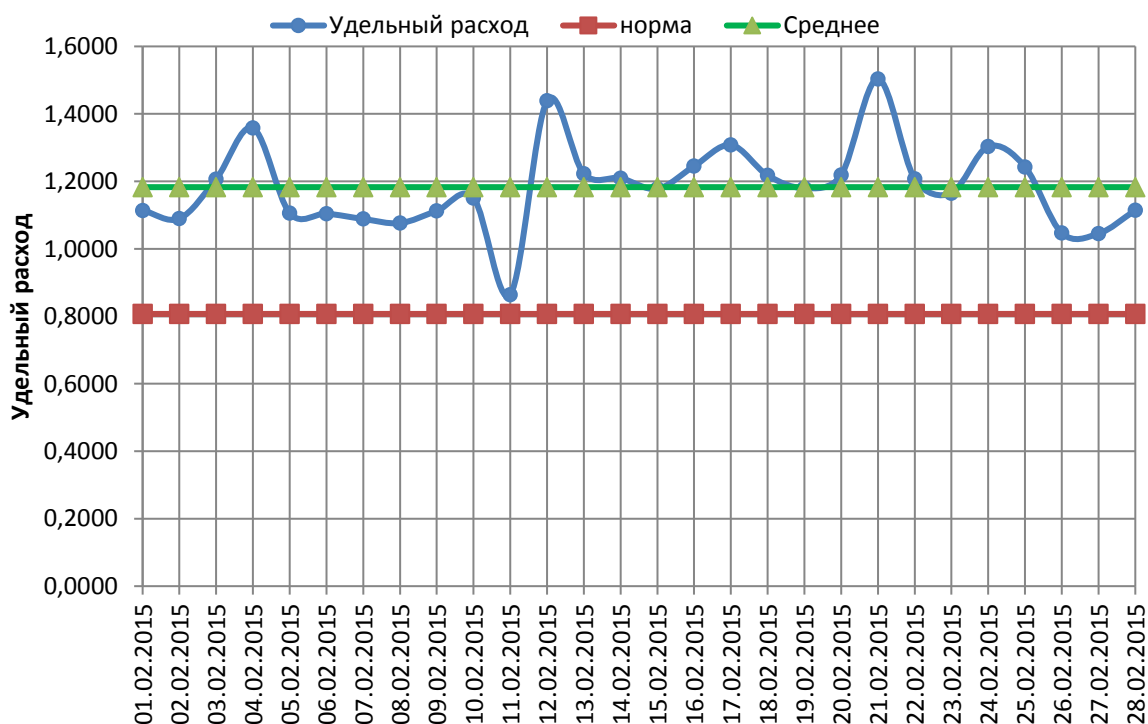


Рисунок 5.6 – График удельного расхода НІТАСНІ №4 за февраль месяц

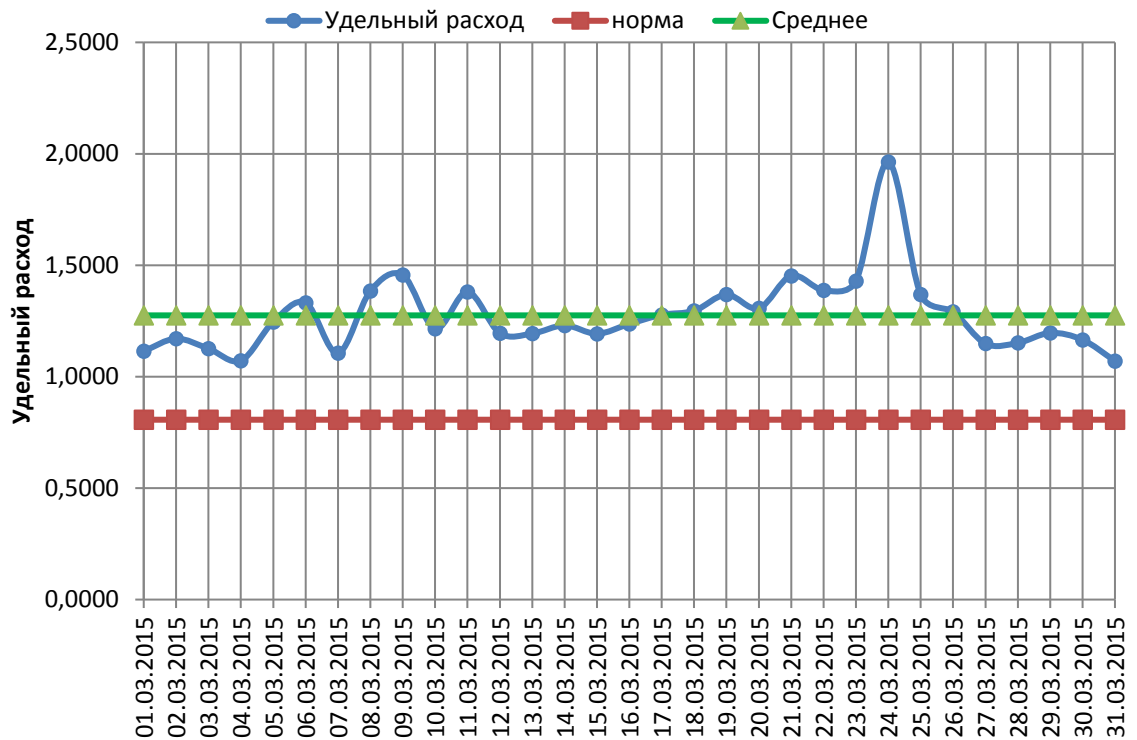


Рисунок 5.7 – График удельного расхода НІТАСНІ №4 за март месяц

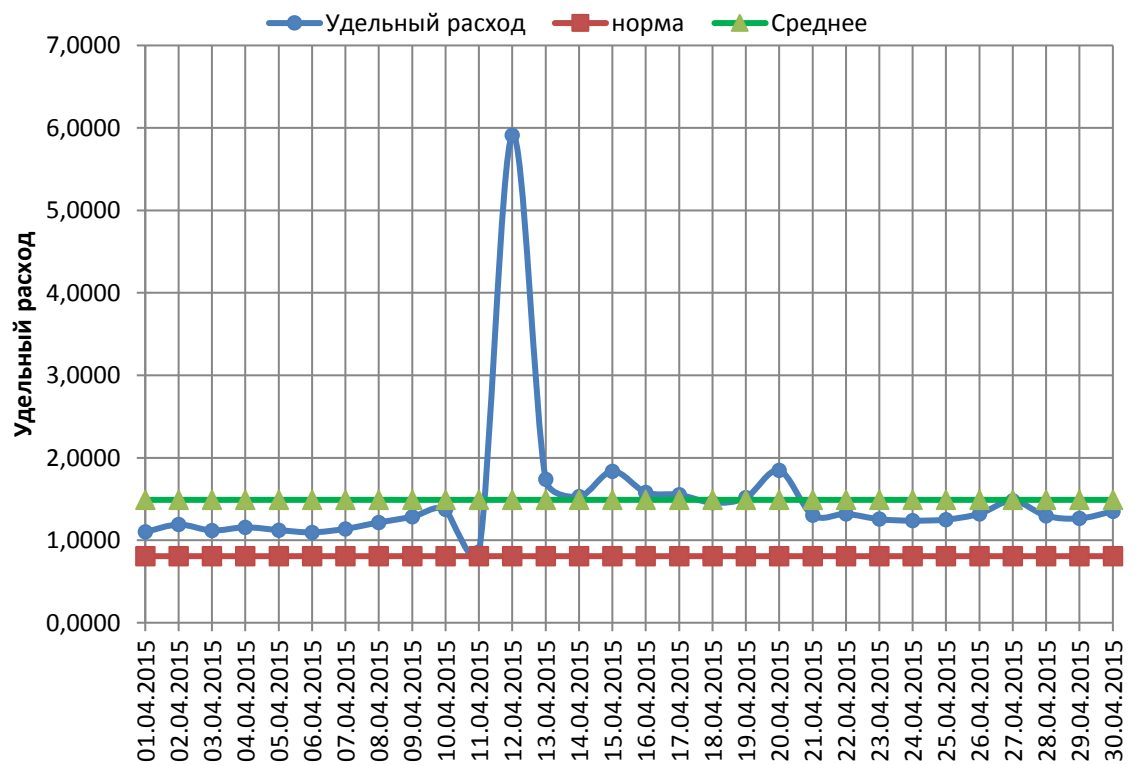


Рисунок 5.8 – График удельного расхода НІТАСНІ №4 за апрель месяц

Соответствующие графики приведены на рисунках 5.9 и 5.10. Новые расчётные данные показывают изменение среднего со значения удельного потребления с 1,2751 кВтч/м³ до 1,2521 кВтч/м³ за март месяц, с 1,4901 кВтч/м³ до 1,3376 кВтч/м³ за апрель месяц. Корректировки за февраль месяц не требовалось.

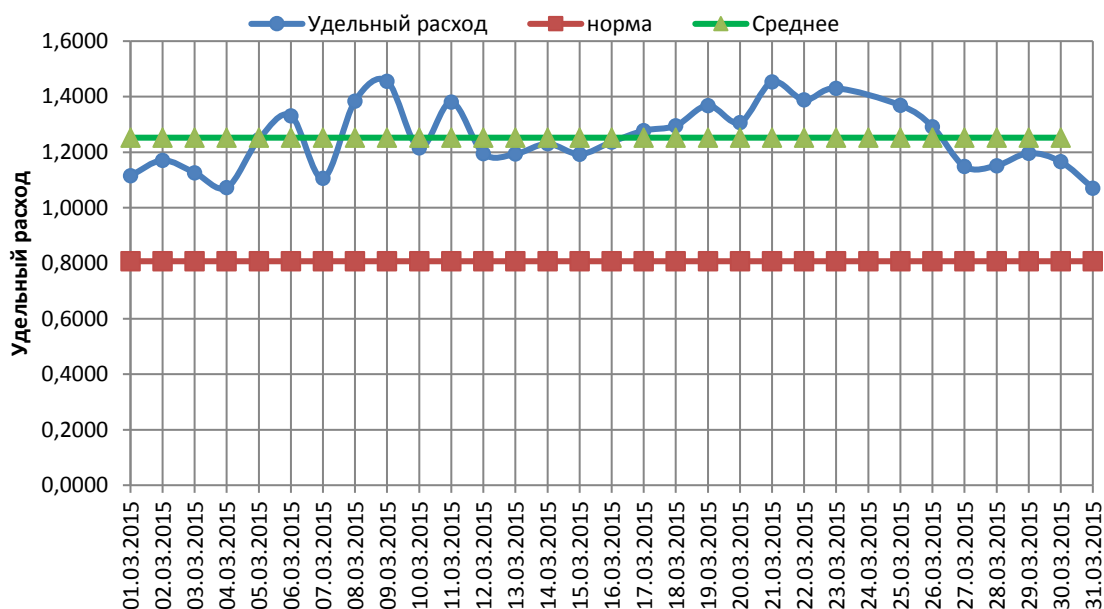


Рисунок 5.9 – Скорректированный график удельного расхода НІТАСНІ №4 за март месяц

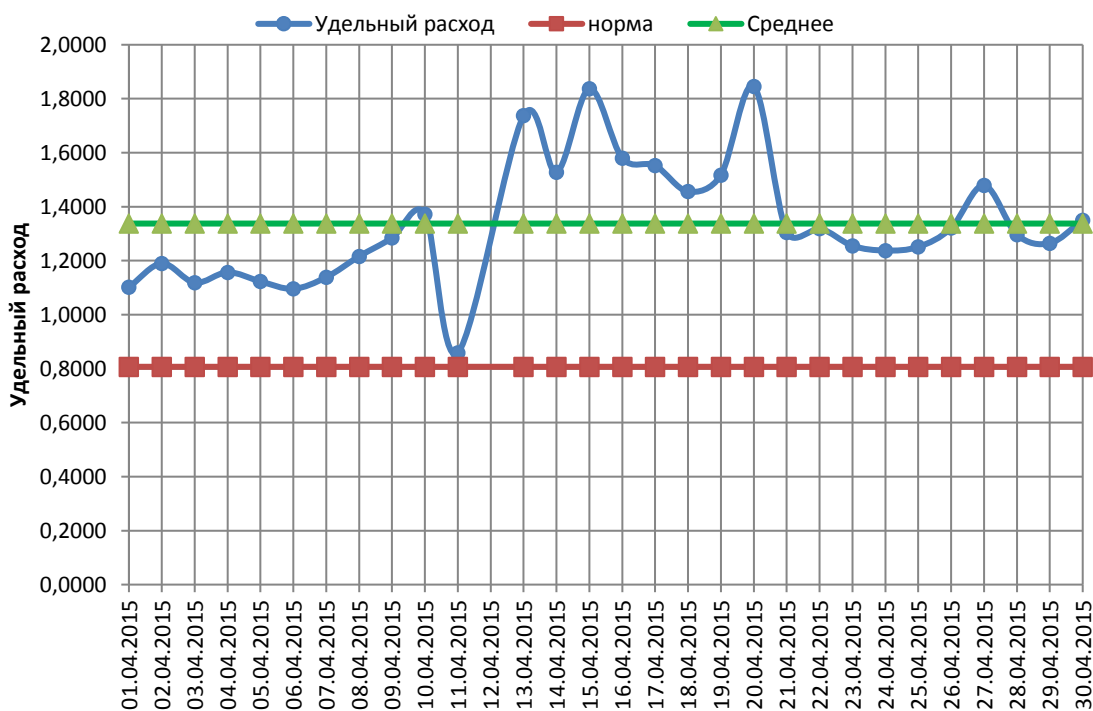


Рисунок 5.10 – Скорректированный график удельного расхода НІТАСНІ №4 за апрель месяц

Согласно данным, приведенным в [128], с увеличением удельного потребления фактический удельный расход энергии снижается. Что подтверждается показанными выше результатами мониторинга удельного потребления энергии экскаватором ЭШ-10/70: расчетное и фактическое значения удельного потребления в таблице отличаются незначительно [3, с. 924].

В [128, с. 41] также утверждается, что при небольших объемах добычи или перемещения горной массы разница между расчетным и фактическим удельным потреблением электроэнергии достигает значительных величин, причем это тоже подтверждено в процессе мониторинга [3, с. 924].

Обработка полученных в ходе экспериментальных исследований данных позволила определить средние значения затрат электроэнергии на различные технологические операции, по которым можно составить сменные электробалансы одноковшовых экскаваторов.

На основании результатов анализа электропотребления можно сделать вывод, что существует необходимость корректировки расчетных норм удельного электропотребления экскаваторов. Данная корректировка напрямую связана с технологическим процессом, в результате которого изменится характер работ экскаватора, а также с метеоданными в зависимости от времени года [3, с. 924].

На основе проведенных исследований определены фактические удельные нормы на производство единицы продукции в различных технологических процессах (добыча угля, вскрышные работы, технологическая перегрузка) для основных типов горновыемочных машин, применяемых в АО «Шубарколь комир» [3, с. 924].

5.2 Разработка модели прогнозирования по результатам эксплуатации системы мониторинга

5.2.1 Выбор параметров и постановка задачи анализа данных

Актуальной задачей энергетической службы предприятия является прогнозирование потребляемой энергии. Результатами данной задачи является планирование затрат предприятия на расходы по потреблению электроэнергии.

Для прогнозирования электропотребления проведен регрессионный анализ с помощью ППП «STATISTICA» и построены модели суточного электропотребления экскаваторов. Исследуемые экскаваторы были разделены на две группы в зависимости от вида работ. К первой группе отнесены экскаваторы, осуществляющие вскрышные и добычные работы, ко второй группе отнесены экскаваторы, осуществляющие выемочно-погрузочные работы.

Для проведения регрессионного анализа выбраны параметры для факторов и для отклика. Откликом является суточное электропотребление экскаватора. В качестве факторов выбраны такие параметры как: количество добываемого угля, количество коммутаций экскаватора (отключение), среднемесячная температура наружного воздуха [129]. Все факторы являются

количественными. Исходные данные для анализа (Приложение В). В общем виде уравнение регрессии имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3, \quad (5.2)$$

где y – электропотребление экскаватора;

b_0 – свободный член уравнения;

b_1 – коэффициент при факторе «объем добычи»;

b_2 – коэффициент при факторе «количество коммутаций»;

b_3 – коэффициент при факторе «среднемесячная температура»;

x_1 – объем добычи;

x_2 – количество коммутаций;

x_3 – среднемесячная температура.

5.2.2 Построение модели электропотребления экскаваторов, осуществляющих вскрышные и добычные работы

После выбора требуемых факторов и отклика проведен поиск мультиколлинеарных факторов. Факторы называются мультиколлинеарными, если между ними существует достаточно сильная корреляционная связь, при которой коэффициент корреляции принимает значение от 0,7 и выше [130]. Мультиколлинеарность факторов усложняет процедуру поиска наилучшего уравнения регрессии. В таблице 5.1 представлена корреляционная матрица.

Таблица 5.1 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Объем добычи, м ³	Количество коммутаций	Средняя месячная температура воздуха, °С	Электропотребление, кВт*ч
Объем добычи, м ³	1,000000	0,576695	-0,386799	0,925431
Количество коммутаций	0,576695	1,000000	-0,418507	0,468105
Средняя месячная температура воздуха, °С	-0,386799	-0,418507	1,000000	-0,406306
Электропотребление, кВт*ч	0,925431	0,468105	-0,406306	1,000000

Как видно из таблицы 5.1, мультиколлинеарные факторы отсутствуют

Следующим этапом с помощью ППП «STATISTICA» построена таблица итогами регрессии для зависимой переменной (электропотребление) с указанием уровней значимости и представлена на рисунке 5.12.

Уровнем значимости p -знач называют вероятность, при которой событие (в данной определенной задаче) практически невозможно, т.е. это вероятность того, что исследуемое событие при данных условиях не произойдет [131].

Таблица 5.2 – Уровни значимости факторов

Фактор	БЕТА	В	Уровень значимости р-знач
Свободный член	-	42,457	0,752241
Объем добычи	0,963541	0,918	0,000000
Количество коммутаций	-0,123210	-228,834	0,001654
Средняя месячная температура воздуха	-0,085174	-40,519	0,013454

Уровень значимости влияния факторов должен быть меньше 0,05. Все исследуемые факторы имеют значимость меньше 0.05.

Следующим этапом проведен анализ качества модели, а именно анализ остатков. Остатки представляют собой разность между фактическими значениями отклика и предсказанными значениями по уравнению регрессии [131, с. 164]. Исходя из предположений линейной регрессии, должны выполняться следующие условия: остатки нормально распределены и не зависят от значений отклика, предсказанных по уравнению регрессии [132]. С помощью ППП «STATISTICA» построена гистограмма распределения остатков (рисунок 5.11) и нормально вероятностный график остатков (рисунок 5.12).

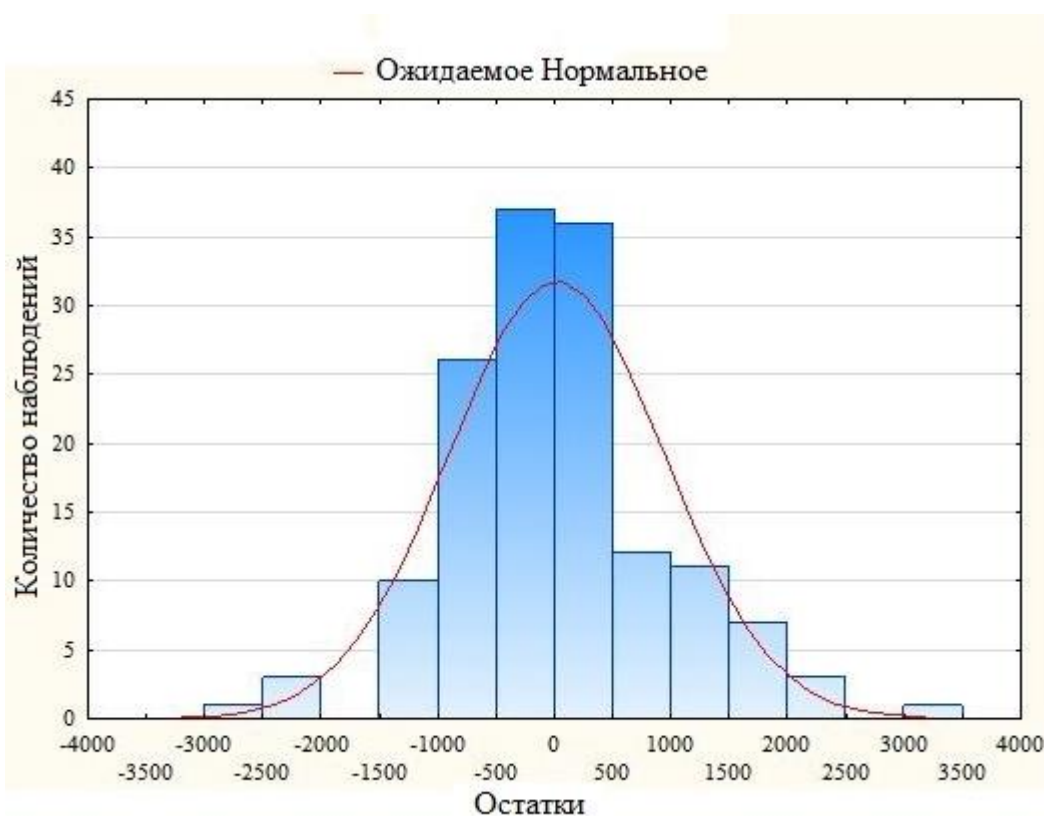


Рисунок 5.11 – Гистограмма распределения остатков

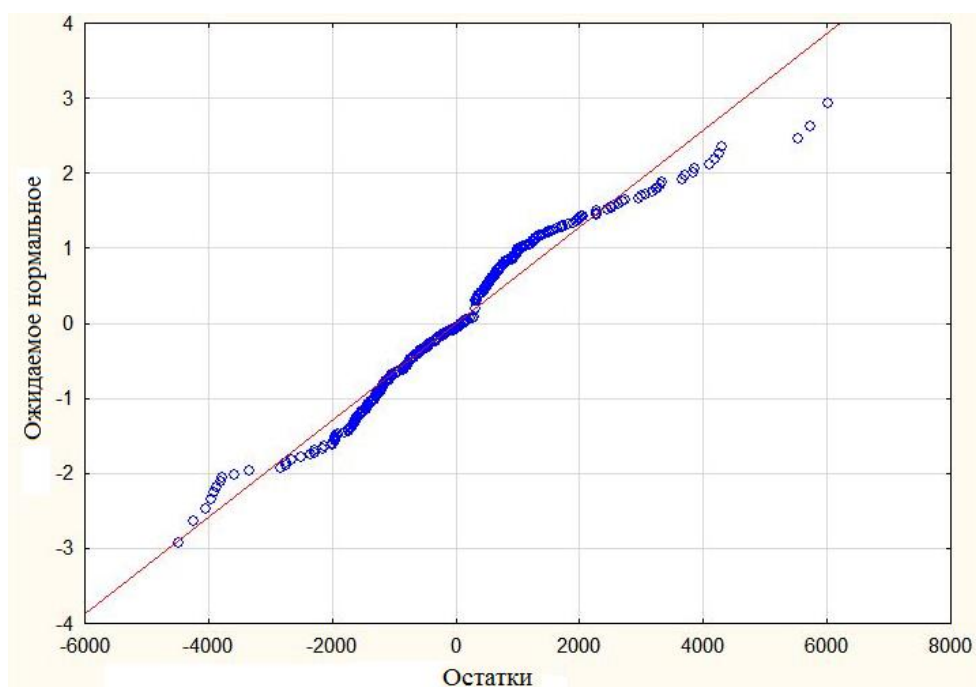


Рисунок 5.12 – Нормальный вероятностный график остатков

Как видно из рисунка 5.11 частотная гистограмма относительно симметрична, и фактические значения остатков не систематически отклоняются от теоретической нормальной прямой (рисунок 5.12), соответственно гипотеза о нормальности распределения остатков не отклоняется.

Для определения независимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика построена диаграмма рассеяния (рисунок 5.13).

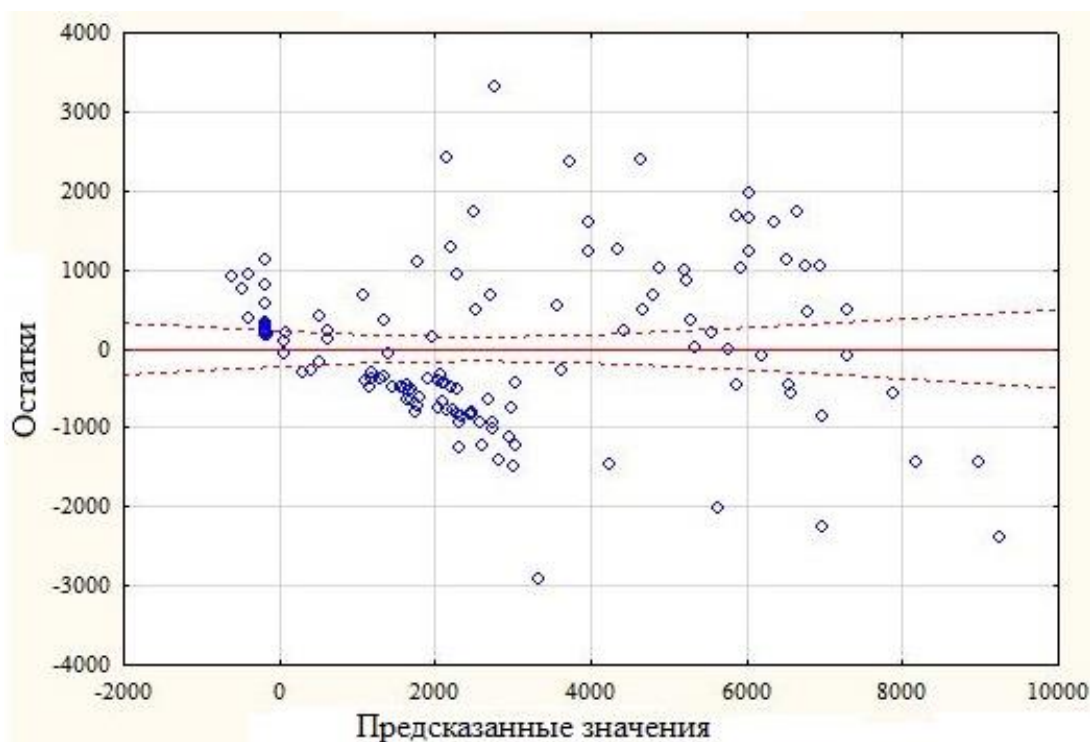


Рисунок 5.13 – Предсказанные значения и остатки

На диаграмме рассеяния видно, что отсутствует определенная систематичность в расположении точек, что говорит об отсутствии зависимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика.

Следующим этапом проведен анализ коэффициента детерминации и построено уравнение регрессии. Коэффициент детерминации (R-квадрат) показывает, насколько изменчивость отклика системы зависит от рассмотренных влияющих факторов [131, с. 165]. Согласно проведенному анализу, коэффициент детерминации равен 0,87, это говорит о том, что модель достаточно качественная.

На основании общего уравнения регрессии (5.2) и коэффициентов В, показанных в таблице 5.2, построено уравнение регрессии (5.3) для прогнозирования суточного электропотребления экскаваторов, осуществляющих вскрышные и добычные работы.

$$y = 42.457 + 0,918x_1 - 228,834x_2 - 40,519x_3, \quad (5.3)$$

где x_1 – объем добычи;

x_2 – количество коммутаций;

x_3 – среднемесячная температура.

Данное уравнение интерпретировано следующим образом: при увеличении объема добычи на 1 м³ электропотребление увеличивается на 0,918 кВт*ч, при увеличении количества суточных коммутаций (отключений экскаватора) на единицу электропотребление уменьшается на 157.363 кВт*ч, при увеличении среднемесячной температуры наружного воздуха на один градус по шкале Цельсия электропотребление уменьшается на 40.519 кВт*ч.

Также следует отметить, что данное уравнение справедливо при объеме суточной добычи не меньше 500 м³. При нормальной работе экскаваторов такой показатель составляет около 95%.

5.2.3 Построение модели электропотребления экскаваторов, осуществляющих выемочно-погрузочные работы

Аналогично предыдущему эксперименту проведен поиск мультиколлинеарных факторов. В таблице 5.16 представлена корреляционная матрица.

Таблица 5.3 – Корреляционная матрица факторов и отклика

Переменная	Объем добычи, м ³	Количество коммутаций	Средняя месячная температура воздуха, °С	Электропотребление, кВт*ч
1	2	3	4	5
Объем добычи, м ³	1,000000	0,609730	0,029780	0,977605
Количество коммутаций	0,609730	1,000000	-0,048282	0,518181

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5
Средняя месячная температура воздуха, °С	0,029780	-0,048282	1,000000	0,065538
Электропотребление, кВт*ч	0,977605	0,518181	0,065538	1,000000

Как видно из таблицы 5.3, мультиколлинеарные факторы отсутствуют. Следующим этапом с помощью ППП «STATISTICA» построена таблица 5.4 с уровнями значимости.

Таблица 5.4 – Уровни значимости факторов

Фактор	БЕТА	В	Уровень значимости р-знач
Свободный член	-	559,070	0,000000
Объем добычи	1,050528	1,031	0,000000
Количество коммутаций	-0,120986	-344,902	0,000000
Средняя месячная температура воздуха	0,028412	15,202	0,071834

Как было сказано выше, уровень значимости влияния факторов должен быть меньше 0,05. Для фактора «средняя месячная температура» уровень значимости равен 0.07. При погрузочных работах температура воздуха на электропотребление не влияет, в отличие от вскрышных и добычных работ. Фактор «среднемесячная температура воздуха» удален из расчета.

После проведения необходимых операций остается два фактора, по которым проведен регрессионный анализ и показаны итоги регрессии для зависимой переменной (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Итоги регрессии для зависимой переменной

Фактор	БЕТА	В	Уровень значимости р-знач
Свободный член	-	520,315	0,000001
Объем добычи	1,053206	1,034	0,000000
Количество коммутаций	-0,123991	-353,468	0,000000

Следующим этапом проведен анализ качества модели, а именно анализ остатков. С помощью ППП «STATISTICA» построена гистограмма распределения остатков (рисунок 5.14) и нормально вероятностный график остатков (рисунок 5.15).

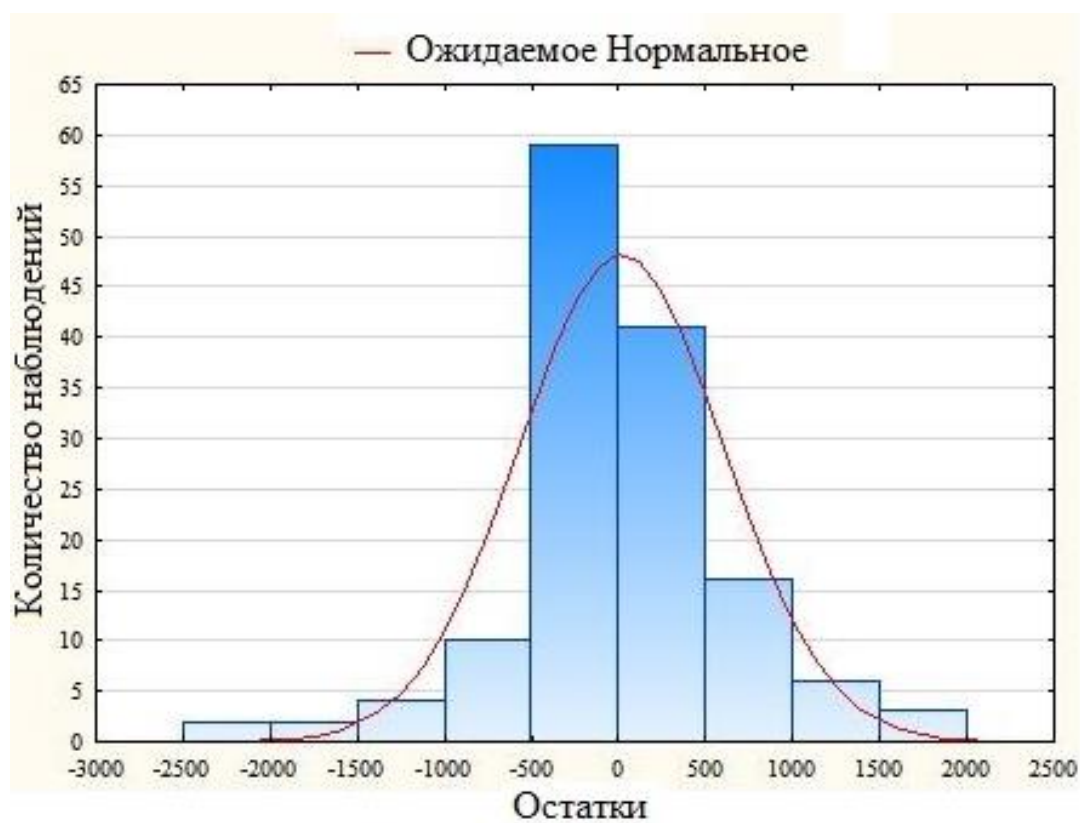


Рисунок 5.14 – Гистограмма распределения остатков

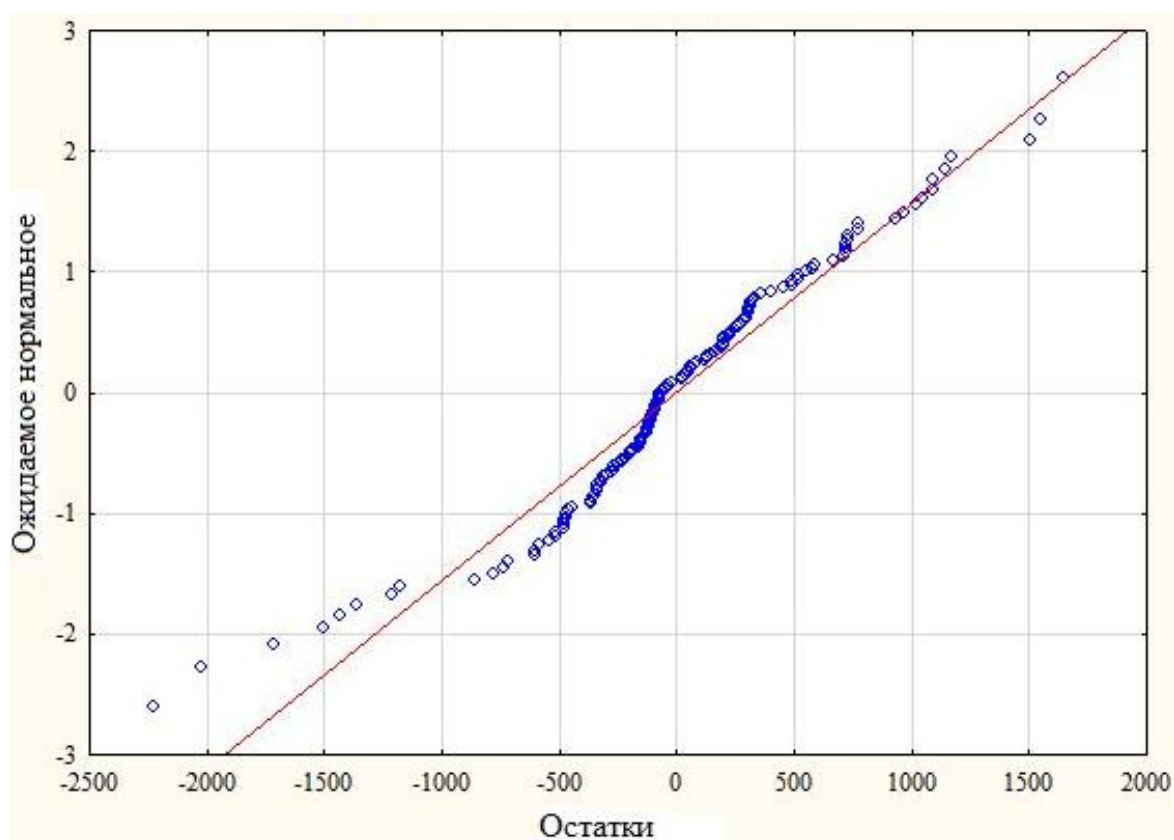


Рисунок 5.15 – Нормальный вероятностный график остатков

Как видно из рисунка 5.14 частотная гистограмма относительно симметрична, и фактические значения остатков не систематически отклоняются от теоретической нормальной прямой (рисунок 5.15), соответственно гипотеза о нормальности распределения остатков не отклоняется.

Для определения независимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика построена диаграмма рассеяния (рисунок 5.16).

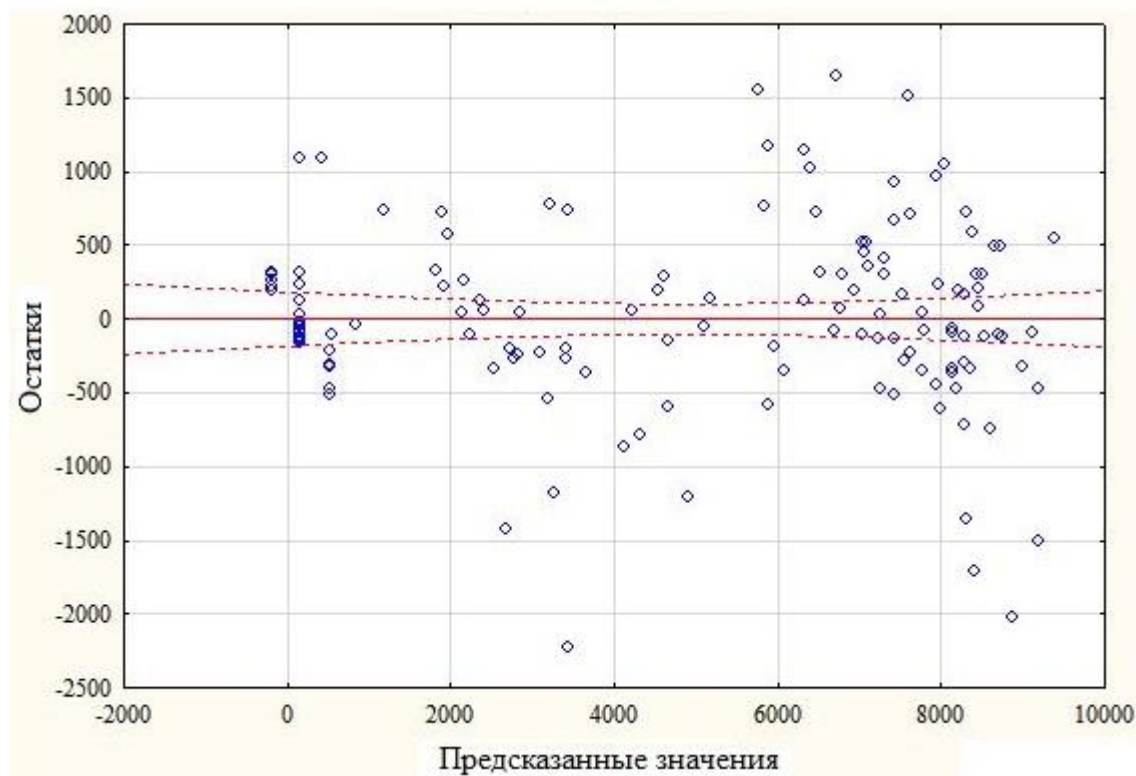


Рисунок 5.16 – Предсказанные значения и остатки

На диаграмме рассеяния видно, что отсутствует определенная систематичность в расположении точек, что говорит об отсутствии зависимости остатков от предсказанных по уравнению регрессии значений отклика.

Следующим этапом проведен анализ коэффициента детерминации и построение уравнения регрессии. Согласно проведенному анализу, коэффициент детерминации равен 0,96, это говорит о том, что модель достаточно качественная.

На основании общего уравнения регрессии (5.2) и коэффициентов В, показанных в таблице 5.5 построено уравнение регрессии (5.4) для прогнозирования суточного электропотребления экскаваторов, осуществляющих выемочно-погрузочные работы.

$$y = 520,315 + 1,034x_1 - 353,468x_2, \quad (5.3)$$

где x_1 – объем добычи;

x_2 – количество коммутаций.

Данное уравнение интерпретировано следующим образом: при увеличении объема добычи на 1 м^3 электропотребление увеличивается на $1,034 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, при увеличении количества суточных коммутаций (отключений экскаватора) на единицу электропотребление уменьшается на $353,4683 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

Таким образом, влияние вышеприведенных факторов доказано с помощью регрессионного анализа. Объем добычи непосредственно влияет на электропотребление. Влияние коммутаций учитывается с отрицательным коэффициентом. Это связано с работой в режиме холостого хода во время пересменки и обеденного перерыва без отключения экскаваторов.

Для анализа режима работы на холостом ходу построен временной ряд электропотребления экскаваторов и представлен на рисунке 5.17.

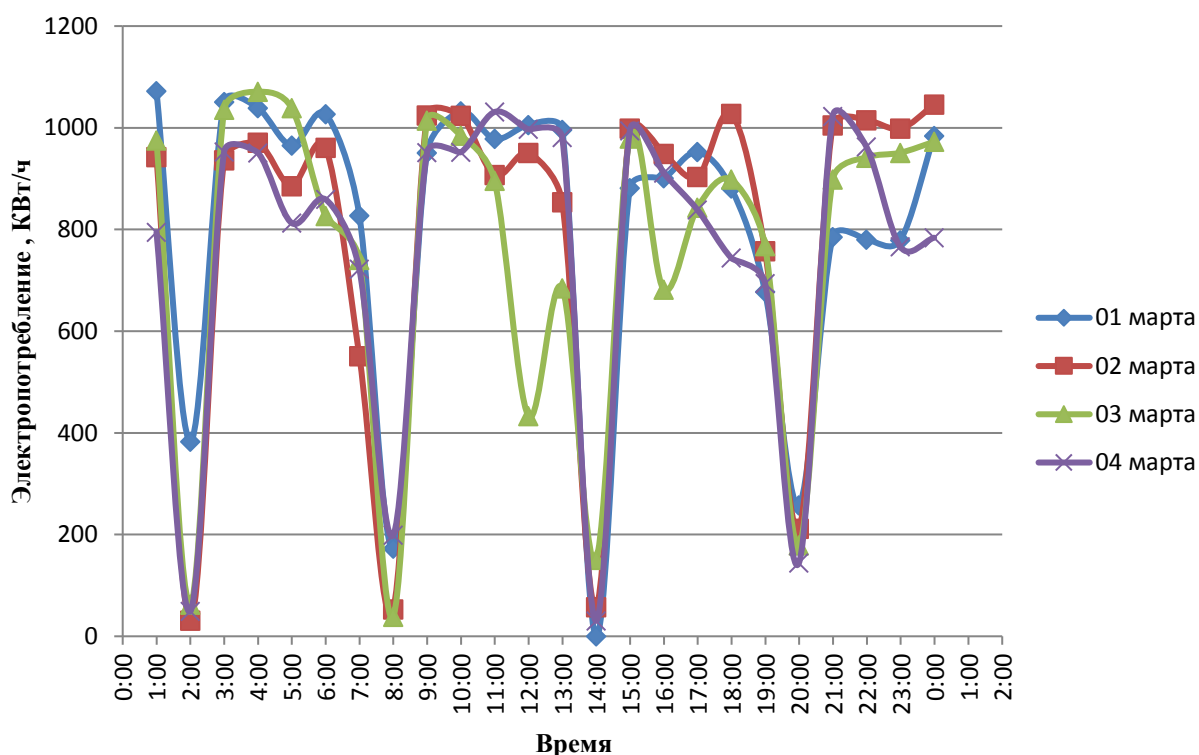


Рисунок 5.17 – Почасовое электропотребление в пределах различных суток

Как видно из рисунка 5.17 наблюдается закономерность электропотребления в течение суток. В 14:00 и в 02:00 во время обеденного перерыва наблюдается снижение электропотребления. Также в промежуток времени между сменами, в течение которого к работе приступает другая группа работников в 8:00 и в 20:00 наблюдается спад электропотребления. Однако за счет работы в режиме холостого хода электропотребление не падает до нуля. Таким образом, доказано увеличение электропотребления экскаваторов при работе на холостом ходу. Влияние температуры воздуха на электропотребление существенно влияет в экскаваторах, работающих на вскрыше и добыче, чем ниже температура воздуха, тем выше электропотребление.

5.3 Применение системы мониторинга в условиях подземной добычи полезных ископаемых

Воссоздание процесса возникновения аварийных ситуаций, необходимого при расследовании причин аварий является основной проблемой, в связи с тем, что системы контроля безопасности перестают функционировать после аварии. Расследование причин аварий на основе последствий носит вероятностный характер, что в свою очередь ставит под сомнение достоверность выводов [59, с. 115].

Угольные шахты Карагандинского угольного бассейна являются опасными в связи с наличием газа и пыли. Аварии на таких шахтах наиболее тяжелые последствия. В связи с этим, в настоящее время актуальным является решение проблемы объективного документированного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования [59, с. 115].

Наиболее распространенной причиной взрывов на угольных шахтах является превышение допустимой концентрации метана при наличии источников его воспламенения. Такими источниками может быть неисправное электрооборудование, коммутация электрических аппаратов, не имеющих взрывозащищенную оболочку [58, с. 193]. Нарушения правил техники безопасности являются основными предпосылками к возникновению несчастных случаев.

В настоящее время существует множество предпосылок для создания системы контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования. Основным назначением такой системы является сбор и регистрация, а также хранение и передача в диспетчерский пункт информационных параметров технологической среды. При проведении расследования аварии ранее недоступная информация позволит объективно выяснить ее причины. С учетом возможностей современной микропроцессорной техники такая задача вполне разрешима [59, с. 115].

Создание системы предаварийного и поставарийного контроля (СПАК) технологической среды и режимов работы электрооборудования на основе принципов удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования, позволит наиболее эффективно контролировать аварийные режимы работы, возникающие вследствие различных нарушений. Основное назначение СПАК – получение, регистрация, хранение информационных параметров технологической среды как до возникновения аварийной ситуации, так и во время аварии, и что принципиально важно – после нее. Это позволит при анализе причин аварии обладать информацией, которая ранее не была доступна [58, с. 192].

Система пред- и послеаварийного контроля режимов работы состоит из подсистемы осуществляющей контроль технологической среды, подсистемы осуществляющей контроль электрооборудования, а также подсистемы осуществляющей обработку и хранение информации [133].

Основными объектами подсистемы контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования являются электрические аппараты,

такие как автоматы и пускатели, распределяющие электроэнергию в пределах участка. Наличие электрической энергии в участковом взрывозащищенном электрооборудовании, несанкционированный доступ внутрь оборудования, а также целостность кабеля, являются основными параметрами контроля электрооборудования [59, с. 116].

Параметрами контроля технологической среды угольных шахт является содержание газов, включая метан, водород, кислород, углекислый газ, угарный газ. В связи с тем, что внезапные выбросы, взрывы и пожары сопровождаются повышением температуры, а также световой, звуковой и ударной волнами, в системе предусмотрен контроль таких параметров как изменение давления шахтной атмосферы; акустический [134, 135] и температурный контроль; контроль светового потока, преимущественно в инфракрасной области; контроль ускорения и изменения положения взрывозащищенного корпуса пускателя в аварийных режимах в результате действия взрывной волны [59, с. 116].

В результате внедрения полученных принципов построения систем удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования сокращается количество потерь информации на 20%.

5.4 Результаты эксплуатации системы удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования на разрезе АО «Шубарколь комир»

Система удаленного мониторинга режимов работы горного электрооборудования успешно внедрена на двух подстанциях и на пяти экскаваторах угольного разреза АО «Шубарколь комир» (Приложение Г).

В процессе опытной эксплуатации системы исключены режимы холостого хода оборудования, подключенного к подстанциям «Южная» и «Юго-Западная» [3, с. 922].

Нагрузкой для этих подстанций являются 10 единиц техники, в том числе экскаваторы ЭКГ5 – 5 шт.; шагающие экскаваторы ЭШ10-70 – 2 шт.; экскаваторы ЭКГ8 – 1 шт.; буровой станок и водоотлив. Работа под нагрузкой дает следующее потребление энергии по каждому типу экскаваторов: ЭКГ5 – 250 кВт*ч, ЭКГ8 – 630 кВт*ч и ЭШ10-70 – 1250 кВт*ч [3, с. 922].

Пересмена обслуживающего персонала происходит по 1 часу 2 раза в сутки. Среднее потребление энергии на холостом ходу составляет 500 кВт/ч на подключенное к подстанциям оборудование. Таким образом, только исключение режимов холостого хода обеспечивает расчетную экономию электроэнергии за год 360 000 кВт/ч на две подстанции [3, с. 922].

Внедрение системы удаленного мониторинга режимов работы на основе разработанных принципов построения таких систем позволяет повысить энергоэффективность предприятия.

Результаты проведенного исследования будут той отправной точкой, начиная с которой можно проводить работы по сокращению непроизводительных расходов в области энергосбережения.

5.5 Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- на основании результатов анализа электропотребления можно сделать вывод, что существует необходимость корректировки расчетных норм удельного электропотребления экскаваторов. Данная корректировка напрямую связана с технологическим процессом, в результате которого изменятся характер работ экскаватора, а также метеоданными в зависимости от времени года;
- определены фактические удельные нормы на производство единицы продукции в различных технологических процессах в АО «Шубарколь комир»;
- проведен регрессионный анализ электропотребления при действии различных факторов, и получены модели суточного электропотребления необходимых для прогнозирования;
- представлен опыт применения системы мониторинга в условиях подземной добычи полезных ископаемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию принципов и технических решений по удаленному мониторингу режимов работы горного электрооборудования.

Решена актуальная научная проблема в области систем мониторинга электропотребления и других электрических параметров электрооборудования в условия горного производства.

Основные результаты выполненных исследований заключаются в следующем:

- проведен анализ исследований и технических решений по мониторингу режимов работы электрооборудования горного производства;
- проведен анализ режимов работы удаленного электрооборудования горного производства способом открытой добычи в условия помех;
- разработаны имитационные модели, описывающие влияние режимов работы многодвигательного горного электрооборудования (экскаваторы) на помехоустойчивость, достоверность и надежность функционирования систем мониторинга. На основании полученных моделей проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить влияние коммутационных воздействий, возникающих при работе различной нагрузки;
- разработаны помехозащищенные алгоритмы сбора и передачи информации с учетом коммутационных помех;
- разработан способ мониторинга устройств измерения, анализа и управления оборудованием электрических подстанций и электрооборудования горного производства в условиях открытой добычи полезных ископаемых;
- разработана структурная схема системы мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства, за счет использования которой. осуществляется своевременный и достоверный контроль режимов работы электрооборудования, с целью недопущения перехода его в аварийные режимы, а также прогнозирования возможности экономического планирования затрат на ремонт текущего или приобретения нового электрооборудования;
- разработано техническое решение, обеспечивающее автоматический выбор возможных каналов передачи информации в системах удаленного мониторинга в реальных изменяющихся условиях эксплуатации горного оборудования;
- проведены испытания и опытная эксплуатация системы удаленного мониторинга высоковольтных подстанций и электрооборудования экскаваторов на разрезе АО «Шубарколь комир». По результатам эксплуатации системы построены модели прогнозирования электропотребления;
- представлен опыт применения системы мониторинга в условиях подземной добычи полезных ископаемых;
- результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Карагандинского технического университета (Приложение Д);

– основные научные положения диссертации защищены патентом Республики Казахстан (Приложение Е) и свидетельствами о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом (Приложение Ж).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Филимонов А.Т., Данияров Н.А., Жуманов М.А., Жалгасбеков А.З. Адаптация горных машин и оборудования к горно-техническим условиям эксплуатации // Тр. Университета КарГТУ. – 2006. – №3(24). – С. 58-60.
- 2 Зайков В.И., Берлявский Г.П. Эксплуатация горных машин и оборудования: учебник для вузов. – Изд. 4-е. стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2006. – 257 с.
- 3 Breido I.V., Sichkarenko A.V., Kotov E.S. Remote monitoring systems for high-voltage substations and mining machines at open pit coal mines // Journal of Mining Science. – 2016. – Т. 52, №5. – P. 919-926.
- 4 Пастух Ю.М. Модернизация оборудования как важнейший элемент повышения экономической эффективности производства // Тр. междунар. конф. 8-го междунар. молод. форума. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 2905-2910.
- 5 Коренкова Ю. В. Экономика горного производства и геологоразведочных работ // Вестник Забайкальского горного колледжа имени М.И. Агошкова: Агошковские чтения. – 2018. – №11. – С. 103-106.
- 6 Борисенко М.М. Системный анализ объекта управления и разработка интегрированных систем управления технологическими процессам: учебное пособие. – Саратов: ВГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2011. – 209 с.
- 7 СА 03-002-05 «Стандарт ассоциации. Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования. – Введ. 2004-12-15. – М.: Издательство «Компрессорная и химическая техника». 2005. – 24 с.
- 8 Костюков В.Н., Бойченко С.Н, Костюков А. Классификация систем мониторинга технического состояния оборудования // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: тез. докл. 6-й междунар. конф. – М.: Машиностроение-1, 2007. – С. 43-45
- 9 Жуковский Ю.Л., Козярук А.Е., Коржев А.А., Кривенко А.В., Система мониторинга и оценки остаточного ресурса силового электрооборудования // Записки горного института. – 2008. – Т. 178. – С. 17-21.
- 10 Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Таджибаев А.И. Вибродиагностика: монография. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
- 11 Попков В.И. Виброакустическая диагностика и снижение виброактивности судовых механизмов. – Л.: Судостроение, 1974. – 224 с.
- 12 Павлов Б.В. Акустическая диагностика машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
- 13 Bennett S.M. Patton R.J. Rapid prototyping of a sensor fault tolerant traction control system // IEE International Conference (Colloquium) on Fault Diagnosis in Process Systems. – London UK, 1997. – P. 2/1-2/6.
- 14 Patton R.J. Robustness in model-based fault diagnosis: the 1995 situation // Proceed. on IFAC workshop, On-line fault detection and supervision in the chemical process industries. – Newcastle UK, 1995. – P. 45-67.

- 15 Афонин А.В., Ньюпорт Р.К., Таджибаев А.И. Информационная термография в энергетике: учебное пособие. – СПб.: ПЭИПК, 2000. – 60 с.
- 16 Таджибаев А.И. Автоматизированные системы распознавания состояний электроустановок. – СПб.: Энергоатомиздат, 2001. – 175 с.
- 17 Гребченко Н.В., Полковниченко Д.В. Экспериментальные исследования установившихся режимов работы асинхронных электродвигателей при наличии в них дефектов // Сб. науч. тр. ДонГТУ. – 2000. – №17. – С. 110-114.
- 18 Нури Абделбассет. Диагностика короткозамкнутых роторов асинхронных электроприводов электротехнических комплексов: автореф. ... канд. техн. наук. – Донецк, 1997. – 19 с.
- 19 Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов. – Изд. 3-е. перер. и. доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
- 20 Randy R. Schoen, Thomas G. Habetler, Farrukh Kamran, Robert G. Barthel. «Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring» // IEEE Transactions on Industry Applications: – 1995. – Vol. 31, №6. – P. 1274-1279.
- 21 Thomson W.T. and Rankin D. «Case Histories of Rotor Winding Fault Diagnosis in Induction Motors», 21st Int Conf Proc on Condition Monitoring. – Swansea: University College Swansea, 1987.
- 22 Пастухов А.С., Литвинов А.И., Ледянкин И.А., Легков К.Е. Методика бесконтактного контроля технического состояния электрооборудования систем электроснабжения специального назначения // Журнал Наукоемкие технологии в космических исследованиях земли. – 2014. – №6. – С. 17.
- 23 Будко П.А., Литвинов А.И. Метод бесконтактного мониторинга технического состояния электрооборудования систем электроснабжения промышленных комплексов // Матер. 12-го всерос. совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 7001-7011.
- 24 Васьков В.С. Обоснование системы мониторинга экскаватора. <https://www.usurt.ru>. 19.04.2020.
- 25 Киприянов Г.О. Особенности эксплуатации одноковшовых экскаваторов в суровых климатических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №11. – С. 193-194.
- 26 Глушко В.В. Характеристики режимов работы горных машин. – М.: Недра, 1973. – 223 с.
- 27 Завьялов В.М., Носков А.П., Городнянский В.С., Гаргаев А.Н. Система мониторинга динамического состояния электроприводов карьерных экскаваторов. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. – №3(73). – С. 59-61.
- 28 Устройство мониторинга экскаватора УМЭ-02 // <http://www.ictglobal.ru>. 12.01.2020.
- 29 Тихонов Ю.В. Интеллектуальные информационные компоненты мехатронного комплекса карьерного экскаватора: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.05. – Владимир, 2016 – 171 с.
- 30 Жукова Т.В., Жукова М.Д. Проектирование системы удалённого мониторинга трансформаторно-распределительной подстанции // Вестник

Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. – 2018. – №4(33). – С. 63-68.

31 Система мониторинга, контроля и управления электрическими подстанциями на объектах ООО «Березовские электрические сети» // Журнал информатизация и системы управления в промышленности. – 2011. – №5(35). – С. 11-17.

32 Пат. 151431 RU, МПК G06Q 10/06 (2012.01). Автоматизированная система контроля и управления электропотреблением предприятий / Комяков А.А., Пономарев А.В.; опубл. 10.04.2015, Бюл. №10. – 6 с.

33 Пат. 29486 РК, МПК G01R 31/00 (2006.01), G01R 31/02 (2006.01), G01R 31/06 (2006.01). Система мониторинга высоковольтного электротехнического оборудования (ВЭО) / Рассальская С.М., Сахно А.А., Конограй С.П.; опубл. 15.01.2015, Бюл. №1. – 11 с.

34 Пат. 2613130 RU, МПК G01R 21/133 (2006.01), H02J 13/00 (2006.01), G01R 15/22 (2006.01), G06E 1/00 (2006.01), H02B 5/00 (2006.01). Автоматизированное устройство мониторинга оборудования электрической подстанции / Балашов А.В., Карпиков С.Р., Есафов А.В.; опубл. 15.03.2017, Бюл. №8. – 20 с.

35 Системы мониторинга и контроля параметров электросети предприятия // <https://isup.ru>. 21.02.2019.

36 Система непрерывного мониторинга электропотребления // <https://www.rittal.com> 22.02.2019.

37 Федоров А.А. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 744 с.

38 Андреева Л.В., Осика Л.К., Тубинис В.В. Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничном рынках. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2010. – 384 с.

39 Шаулева Н.М., Лобур И.А. К вопросу о надежности систем электроснабжения угольных разрезов Кузбасса // Тр. XIV междунар. науч.-практ. конф. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2012. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – С 81-84.

40 Бабин А.И. Автоматизированные системы мониторинга электропотребления и расчеты режимов электрических систем // Успехи современного естествознания. – 2008. – №1. – С. 54-57.

41 Henning S. Monitoring electrical power consumption with kiekeer // Softwaretechnik-Trends: 9th symposium on Software Performance 2018. – Kiel: Kiel University, 2018. – P. 1-3.

42 Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надёжность и диагностика элементов электроустановок. – СПб.: Элмор, 2009. – 336 с.

43 Филатов А. А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

44 Свистунов Н.А. Принципы построения систем релейной защиты и автоматики на основе микропроцессорных устройств // Известия ТулГУ. – 2016. – №12, ч. 3. – С. 92-95.

45 Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надежность и диагностика электроустановок: учебное пособие. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2000. – 369 с.

46 Троп А.Е., Голубев В.А., Карасев Н.М. Эксплуатационная надежность и техническое обслуживание экскаваторов ЭКГ-8 и ЭКГ-8И. – Свердловск: СГИ, 1971. – 122 с.

47 Медведевских В.А., Боярских Г.А., Рубцов М.В. Статистический анализ технического состояния и ремонтпригодности экскаваторов ЭКГ-8И в процессе эксплуатации // Известия Уральского государственного горного университета. – 2010. – №24. – С. 101-107.

48 Голубев В.А. Надежность электрооборудования экскаваторов ЭКГ-8И // Известия Уральского государственного горного университета. – 2003. – №16. – С. 33-35.

49 Nakirekanti M., Prasad D.R.M., Mahammad E., Reddy K.N., Basha D.K. Coal mining safety monitoring system // International journal of mechanical engineering and technology. – 2017. – №8(12). – P. 542-550.

50 Грачев А.Ю., Новиков А.В., Гоффарт Т.В., Урусов Л.В. Многофункциональные системы безопасности и позиционирование персонала в шахтах // Горная Промышленность. – 2016. – №2(126). – С. 95-101.

51 Комплекс АКМР-М Руководство по эксплуатации // <https://analitpribor.nt-rt.ru>. 19.01.2020.

52 Бабенко А.Г. Лапин С.Э. Система газоаналитическая шахтная многофункциональная «МИКОН 1Р» - основа построения систем контроля и управления угольных шахт // Известия Уральского государственного горного университета: спецвыпуск. – 2005. – С. 169-178.

53 Система газоаналитическая шахтная многофункциональная «МИКОН 1Р». <http://www.ingortech.ru>. 14.01.2020.

54 Грызунов В.В., Киприянов П.М., Казакова А.Д. Многофункциональная измерительная система «Granch» // Аллея Науки. – 2016. – №3(3). – С. 305-307.

55 Авдеев Л.А. Интегрированная АСУ «Безопасность» угольной шахты: учеб. пособие. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2014. – 119 с.

56 Баймухаметов С.К., Авдеев Л.А. Автоматизированная система контроля и управления параметрами безопасности (АСУ «БЕЗОПАСНОСТЬ») В условиях шахты им. Ленина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №9. – С. 44.

57 Шкундин С.З., Грачев А.Ю., Стучилин В.В. Современные информационно-измерительные системы обеспечения безопасности в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №10. – С. 185-196.

58 Breido I.V., Sichkarenko A.V., Kotov, E.S. Emergency control of technological environment and electric machinery activity in coal mines // Journal of Mining Science. – 2013. – Vol. 49, №2. – P. 338-342.

59 Брейдо И.В., Вяткин В., Котов Е.С. Система пред – и послеаварийного контроля режимов работы взрывозащищенного электрооборудования //

Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – 2020. – №2(49). – С. 114-121.

60 Захаренко В.Н., Парначев В.П. Влияние метеорологических условий (температуры) на распространение радиоволн КВ–СВ–ДВ диапазонов. // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – №400. – С. 337-344.

61 Матвеев М. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры // Новости электротехники, информационно-справочное издание. – 2002. – №1(13). – С. 8.

62 Харлов Н.Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.

63 Дьяконов В.П. MATLAB: полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.

64 Костюченко Л.П. Имитационное моделирование систем электроснабжения в программе MATLAB: учебное пособие. – Красноярск: Красноярский аграрный государственный университет, 2012. – 215 с.

65 Справочные данные параметров трансформаторов от 35 кВ // <https://powersystem.info>. 17.01.2020.

66 Кочегурова Е.А. Основы работы и программирования в системе MathCad: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 25 с.

67 Полный справочник по кабельной продукции // <https://k-ps.ru>. 28.04.2019.

68 Каталог кабельного завода «Энергопром» // <https://energoprom.net.ua>. 29.04.2019.

69 Сборник электротехнической информации // <https://www.websor.ru>. 27.04.2019.

70 Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учебное пособие. – Изд. 2-е. – Р-на-Д.: Феникс, 2008. – 715 с.

71 Пантель О. В. Методика расчета параметров асинхронного двигателя для моделирования режимов его работы в среде Matlab/Simulink // Научно-методический журнал Academy. – 2015. – №2(2) – С. 7-11.

72 Ефимов В.Н., Цветков В.Н., Садовников Е.М. Карьерные экскаваторы: справ. рабочего. – М.: Недра, 1994. – 378 с.

73 Бариев Н.В. Электрооборудование экскаваторов типов ЭКГ-8 и ЭКГ-8И // Библиотека электромонтера: сб. лит. – М.: Энергия, 1981. – Вып. 514. – 112 с.

74 Бариев Н.В. Электропривод одноковшовых экскаваторов типов ЭКГ-4 и ЭКГ-4, 6. – М.: Энергия, 1975. – 160 с.

75 Экскаваторы ЭШ – 10/70А и ЭШ – 13/50. Электрическая часть. Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке // <https://rykovodstvo.ru>. 25.04.2019.

76 Меркурьев Г.В., Шаргин Ю.М. Устойчивость энергосистем. Расчеты: монография. – СПб.: НОУ Центр подготовки кадров энергетики, 2008. – 376 с.

77 Каталог электротехнического оборудования // <https://electro.mashinform.ru>. 27.02.2020.

78 Каталог оборудования Русэлпром-СЭЗ // <https://safemz.nt-rt.ru>. 28.02.2020.

79 Электродвигатель АЭ4-400L (приводной). Технические характеристики // <https://www.1gc.ru>. 28.02.2020.

80 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей: утв. 30 марта 2015 года, №247 // <http://adilet.zan.kz>. 02.03.2020.

81 Котов Е.С., Вяткин В. Имитационное моделирование переходных процессов на примере высоковольтной подстанции угольного разреза // Вестник КазННТУ. – 2020. – №4(140). – С. 122-127.

82 Котов Е.С., Вяткин В. Исследование коммутационных процессов, возникающих в электрооборудовании при переходе в аварийный режим работы // Тр. междунар. науч. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №12)». – Караганда: КарГТУ, 2020. – Ч. 1. – С. 859-860.

83 Миленина С.А. Электротехника: учебник и практикум для СПО / под ред. Н.К. Миленина. – Изд. 2-е. перер. и. доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 263 с.

84 Мякишев В.М., Жеваев М.С. Переходные процессы в линейных электрических цепях (в примерах). – Изд. 2-е. – М: ИНФРА-М, 2018. – 347 с.

85 Куликовский В.С., Ковалева О.А. Моделирование коммутационных перенапряжений с учетом повторных зажигания дуги в межконтактном промежутке вакуумного выключателя // Вестник КРАСГАУ. – 2015. – №2. – С. 67-71.

86 Губарь Л. Н., Ермоленко А.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. – Сыктывкар: Изд-во СГУ имени Питирима Сорокина, 2015. – 120 с.

87 Левин Д.М., Стефан Д., Кребиль Т.С., Беренсон М.Л. Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel, 4-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1312 с.

88 Гарбар С.А, Котов Е.С. Исследование систем удаленного мониторинга режимов работы горного оборудования с использованием различных каналов связи // Вестник КазННТУ. – 2020. – №2(138). – С. 124-130.

89 Паздерин А.В. Способы повышения достоверности измерительной информации систем учета электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2004. – №11-12. – С. 76-85.

90 Першенков П.П., Башкиров О.В., Тюренков Д.А. Один из путей повышения точности показаний счетчиков электроэнергии // Тр. междунар. симпоз. "Надежность и качество". – Пенза: ФГБОУВО "Пензенский государственный университет", 2005. – С. 363.

91 А.С. 9489. Программа для защиты от несанкционированного сброса показаний электроэнергии: Memory ME96SSR-MB (программа для ЭВМ) / Е.С. Котов; опубли. 20.04.20. – 2 с.

92 Имакаев Р.М. Применение помехоустойчивого кодирования при передаче информации от датчиков в интеллектуальной скважине // Сб. тр. 4-й всерос. зимней школы-семинара аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы в науке и технике. Информатика, управление и компьютерные науки». – Уфа: Диалог, 2009. – С. 239-243.

93 Кудрявцев А.В., Енгальчев И.Р. Кашапов А.Р. Применение помехозащищённого кодирования для повышения целостности информации погружной телеметрии // Журнал Молодой ученый. – 2014. – №1(24). – С. 25-27.

94 Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки – М.: Мир, 1986. – 576 с.

95 Клименко С.В., Яковлев В.В., Благовещенская Е.А. Исследование реализаций алгоритмов контрольной суммы CRC32 // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2018. – №3. – С. 471-477.

96 Новиков С. П., Зайцева Е. Ю. Применение корреляционного анализа для исследования экспериментальных данных // Молодой исследователь Дона. – 2019. – №4(19). – С. 57-64.

97 Пат. 5132 РК, МПК G06F 17/40 (2006.01), G05B 13/00 (2006.01), G06F 13/42 (2006.01). Способ мониторинга устройств измерения, анализа и управления оборудованием электрических подстанций и электрооборудования горного производства в условиях открытой добычи полезных ископаемых / Котов Е.С., Брейдо И.В., Сичкаренко А.В.; опубли. 10.07.2020, Бюл. №27. – 5 с.

98 Котов Е.С., Гарбар С.А. Повышение эффективности горного производства, как следствие использования систем удаленного мониторинга режимов работы горного оборудования // Тр. междунар. науч. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11). – Караганда: КарГТУ, 2019. – Ч. 5. – С. 81-82.

99 Баранова Н.В., Калачева О.Н. Метод оценки ресурса высоковольтных выключателей // Матер. 9-й междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2014». – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014. – Ч. 2. – С. 162-166.

100 Коротун В. Максимальная токовая защита: принцип действия, виды, примеры схем // <https://www.asutpp.ru>. 25.07.2019.

101 Шуин В.А, Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – №11(35). – 104 с.

102 Алексеев Б.А., Коган Ф.Л., Мамиконянц Л.Г. Объем и нормы испытаний электрооборудования – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 256 с.

- 103 Кудрин Б.И., Минеев А.Р. Электрооборудование промышленности. – М.: Академия, 2008. – 432 с.
- 104 Сергеевков Б.Н., Кисилев В.М., Акимов Н.А. Электрические машины: Трансформаторы. – М.: Высшая школа, 1989. – 352 с.
- 105 Хорошев Н.И. Оценка технического состояния силового маслонаполненного электротехнического оборудования в различных режимах его работы // Известия Томского политехнического университета инжиниринг георесурсов. – 2013. – Т. 323, №4. – С. 162-167.
- 106 Breido I., Sichkarenko A., Kotov Y. Communication channels in systems for remote monitoring of mining electrical equipment operating modes // Proceed. of the 30th DAAAM internat. sympos. – Vienna: Published by DAAAM International, 2019. – P 298-304.
- 107 User's manual, Detailed Edition. Mitsubishi Electronic Multi-Measuring Instrument // <https://dl.mitsubishielectric.com>. 11.12.2019.
- 108 Счетчик электрической энергии статический трехфазный «Меркурий 234»: руководство по эксплуатации // <https://www.incotexcom.ru>. 20.12.2019.
- 109 Осика Л.К. Коммерческий и технический учёт на оптовом и розничном рынках: теория и практические рекомендации. – СПб.: Политехника, 2005. – 360 с.
- 110 Приказ Министра энергетики Республики Казахстан. Об утверждении Правил пользования электрической энергией: утв. 25 февраля 2015 года, №143 // <http://adilet.zan.kz>. 25.01.2020.
- 111 Реестр государственной системы обеспечения единства измерений // <https://kazmemst.kz>. 10.01.2020.
- 112 User's manual - Hardware Edition. Fx3u Series Programmable Controllers // <https://dl.mitsubishielectric.com>. 11.12.2019.
- 113 Karl-Heinz J., Tiegelkamp M. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems – Berlin, Heidelberg.: Springer, 2001. – 376 p.
- 114 Lewis R.W. Programming industrial control systems using IEC 113-3 Revised edition. – London: The Institution of Electrical Engineers, 1998. – 329 p.
- 115 Ершов С.В., Тишутин В.Н. Возникновение и влияние электромагнитных помех на микропроцессорные устройства релейной защиты // Известия ТулГУ. – 2018. – №12, ч. 3. – С. 66-70.
- 116 Рабион Н.Д., Ермолаев А.О., Панфилов Д.И., Соколов М.А. Реализация каналов GSM/GPRS в беспроводных системах сбора и передачи информации // Сети и системы связи. – 2006. – №6. – С. 86-91.
- 117 Пушкарев О. Использование диапазонов 433 и 868 МГц в системах промышленной телеметрии // Электронные компоненты. – 2012. – №2. – С. 42-48.
- 118 Приказ И.О. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан. Об утверждении Правил присвоения полос частот, радиочастот (радиочастотных каналов), эксплуатации радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств, а также проведения расчета электромагнитной

совместимости радиоэлектронных средств гражданского назначения: утв. 21 января 2015 года, №34 // <http://adilet.zan.kz>. 28.11.2019.

119 Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. Современная телеметрия в теории и на практике: учебный курс. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 672 с.

120 Брейдо И.В. Иванов В.А, Котов Е.С. Применение gsm-сетей для передачи технологической информации // Тр. Университета КарГТУ. – 2018. – №3(72). – С. 124-127.

121 CitectSCADA. Архив 2004-2013 // <http://www.rtsoft.ru>. 27.06.2019.

122 Минин П.Е., Конев В.Н., Сычев Н.В., Крымов А.С., Савчук А.В., Андрияков Д.А. Анализ существующих автоматизированных систем управления технологическим процессом // Спецтехника и связь. – 2014. – №1. – С. 29-37.

123 CitectSCADA. CitectVBA Reference Guide. Citect Pty. Limited, edition for CitectSCADA Version 6.0, 2004 // <http://tisa.se>. 28.06.2019.

124 CitectSCADA. Cicode Reference Guide. Citect Pty. Limited, edition for CitectSCADA Version v7.20, 2010 // <http://www.scada.ru>. 02.07.2019.

125 Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. SCADA-системы: взгляд изнутри. – М.: Изд-во «РТСофт», 2004. – 176 с.

126 АС. 8594. РК. Руководство оператора по системе технического учёта электроэнергии и технологических параметров подстанций «ЮЖНАЯ» и «ЮГО-ЗАПАДНАЯ» / Е.С. Котов, А.В. Сичкаренко, И.В. Брейдо; опубл. 05.03.2020. – 11 с.

127 Приказ председателя Комитета государственного энергетического надзора и контроля Республики Казахстан. Об утверждении Типовой инструкции по учету электроэнергии при ее производстве, передачи и распределении: утв. 19 ноября 2012 года, №106-П // <https://online.zakon.kz>. 05.10.2019.

128 Казаков А.П., Белов А.Н., Первушин И.А. Опыт внедрения программного комплекса «АРМ для управления энергосбережением» на предприятиях горнодобывающей и обогащательной промышленности // Тр. междунар. науч.-практ. конф «Научно-технологические разработки и использования минеральных ресурсов». – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2010. – С. 36-42.

129 Архив среднесуточной погоды // <https://rp5.ru>. 10.05.2020.

130 Каморников С. Ф., Каморников С. С. Эконометрика: учебное пособие. – М.: Интеграция, 2012. – 262 с.

131 Любченко Е.А., Чуднова О.А. Планирование и организация эксперимента: учебное пособие. – Владивосток: Издательство ТГЭУ, 2010. – Ч. 1. – 156 с.

132 Основы линейной регрессии // <http://statistica.ru>. 15.05.2020.

133 Брейдо И.В., Сичкаренко А.В. Режимы работы интеллектуальной системы пред- и поставарийного контроля угольных шахт // Тр. междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-21». – Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2008. – С. 272-273.

134 Котов Е.С., Баскаков П.В. Разработка информационного комплекса системы поставарийного контроля добычных участков угольных шахт // Тр. междунар. науч. конф. «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №11). – Караганда: КарГТУ, 2019. – Ч. 5. – С. 83-84.

135 Котов Е.С. Брейдо И.В., Баскаков П.В. Размещение акустических датчиков системы поставарийного контроля в угольных шахтах // Автоматика и информатика. – 2020. – №1. – С. 31-35.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы и список переменных специального функционального блока Memory

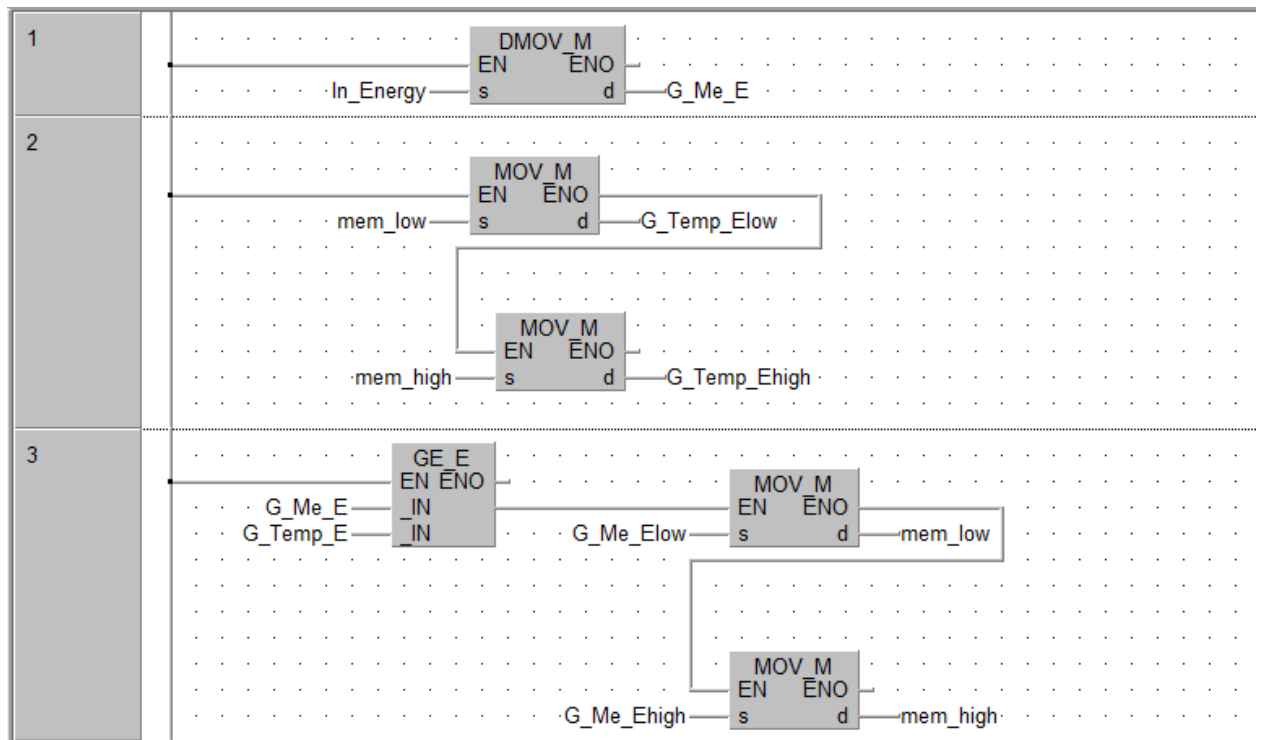


Рисунок А.1 –1-3 строки программы

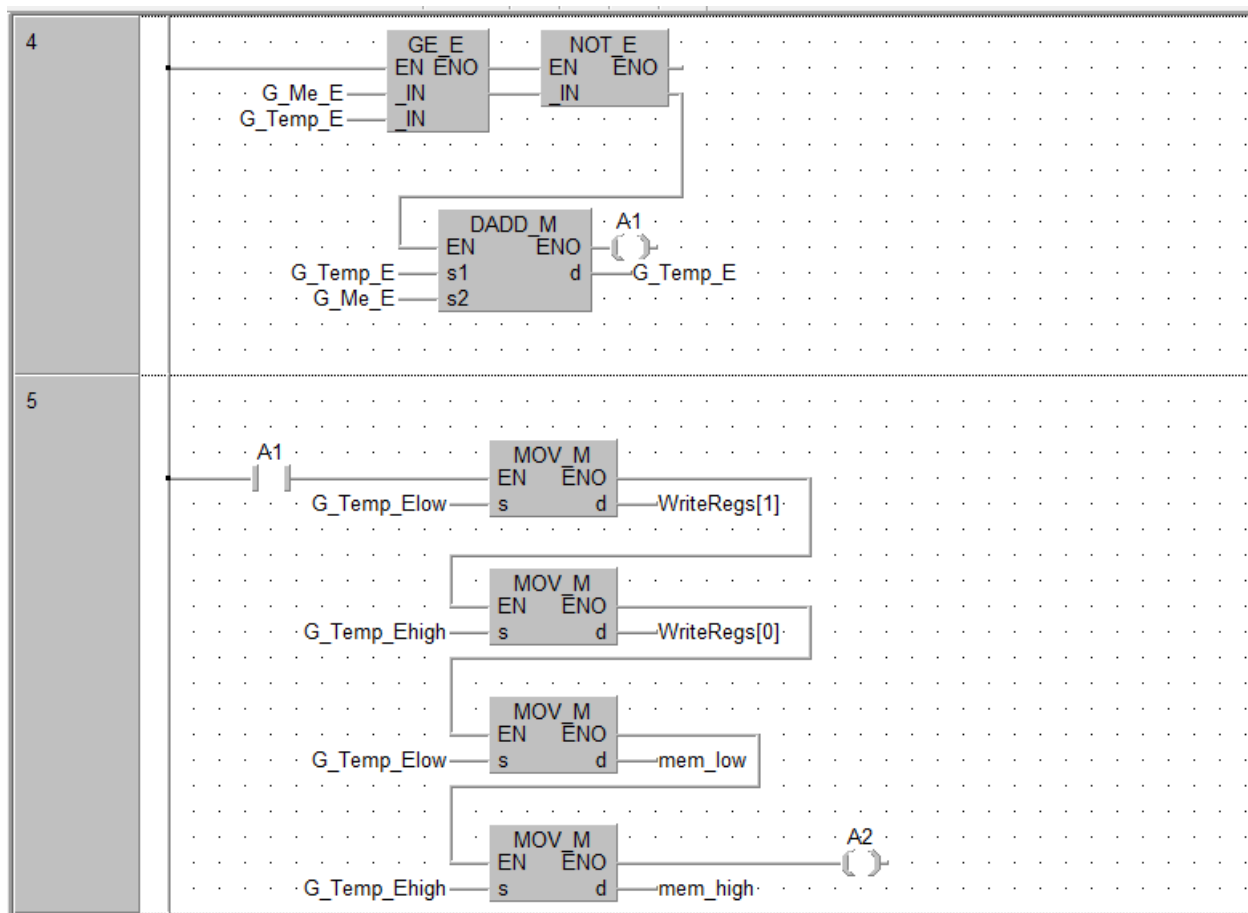


Рисунок А.2 – 4-5 строки программы

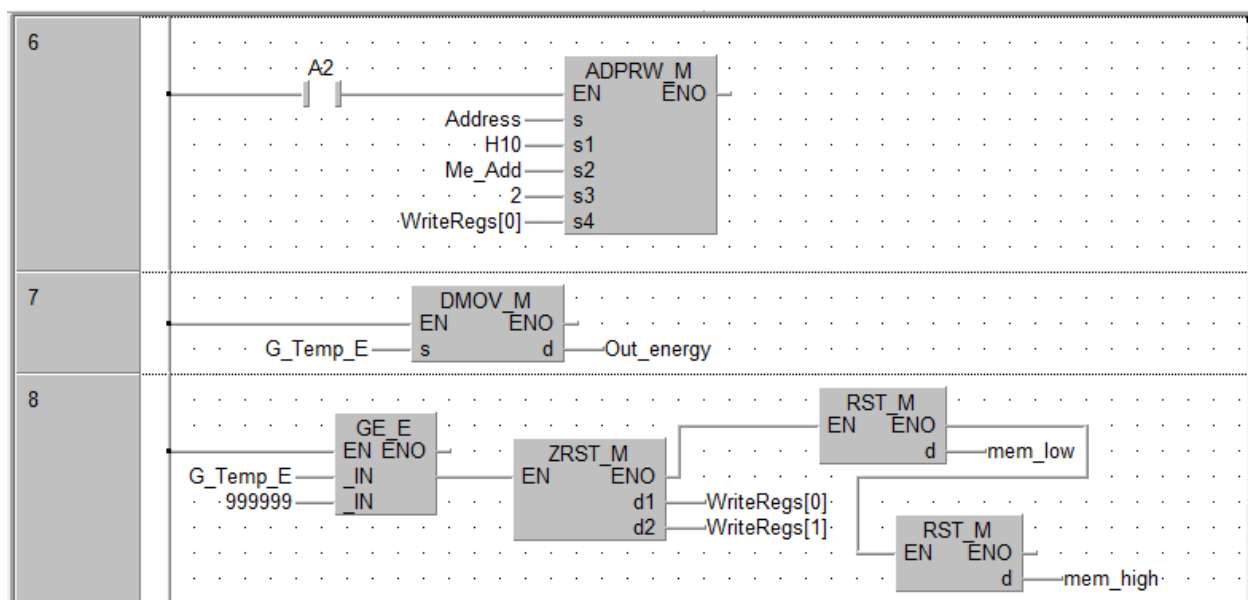


Рисунок А.3 – 6-8 строки программы

Таблица А.1 – Список переменных, применяемых в программе для защиты от несанкционированного сброса показаний электроэнергии Memory ME96SSR-MB

Имя переменной	Тип переменной	Назначение переменной
In_energy	DINT	Показания электроэнергии, поступающие на контроллер
G_Me_E	DINT	Временная ячейка хранения показаний электроэнергии
G_Me_Elow	INT	Младший разряд переменной G_Me_E
G_Me_Ehigh	INT	Старший разряд переменной G_Me_E
mem_low	INT	Временная ячейка хранения младшего разряда показаний электроэнергии
mem_high	INT	Временная ячейка хранения старшего разряда показаний электроэнергии
G_Temp_E	DINT	Временная ячейка хранения показаний электроэнергии
G_Temp_Elow	INT	Младший разряд переменной G_Temp_E
G_Temp_Ehigh	INT	Старший разряд переменной G_Temp_E
Out_energy	DINT	Данные электроэнергии для передачи в диспетчерский пункт
Me_Add	INT	Адрес регистра в памяти счетчика
Address	INT	Адрес мультиметра–счетчика
WriteRegs	INT	Массив для записи данных в счетчик
A1	BOOL	Разрешение записи данных предварительный массив
A2	BOOL	Разрешение записи данных в счетчик

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Показатели потребления активной энергии экскаваторами

Таблица Б.1 – Показатели потребления активной энергии экскаватором ЭШ-10/70

ЭШ-10/70 №21 (норма удельного расхода = 1,050)											
февраль	расход	объем,	удельн. расход,	март	расход	объем,	удельн. расход,	апрель	расход	объем,	удельн. расход,
дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³	дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³	дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³
1	301,92	0	0,000	1	7306,56	8400	0,870	1	4742,4	4235	1,120
2	2614,56	1330	1,966	2	7283,04	7840	0,929	2	8916,48	7875	1,132
3	6786,72	7210	0,941	3	8071,2	8400	0,961	3	9107,52	7875	1,157
4	6911,52	7364	0,939	4	7558,08	8190	0,923	4	9076,8	8295	1,094
5	5311,2	5180	1,025	5	7430,88	8050	0,923	5	7404,48	7910	0,936
6	6941,28	7000	0,992	6	7476,96	7070	1,058	6	9042,24	7545	1,198
7	7106,88	7182	0,990	7	4275,84	3920	1,091	7	8366,88	7035	1,189
8	6452,16	6300	1,024	8	8651,04	8015	1,079	8	6847,68	6160	1,112
9	7812,48	8064	0,969	9	7193,76	6440	1,117	9	7290,24	7210	1,011
10	7051,2	5530	1,275	10	5763,36	5600	1,029	10	8441,76	8190	1,031
11	4511,52	4690	0,962	11	200,16	0	0,000	11	8345,28	7910	1,055
12	6849,12	9450	0,725	12	486,72	0	0,000	12	4169,76	3850	1,083
13	7692,48	9765	0,788	13	7479,84	6650	1,125	13	6833,76	6720	1,017
14	7135,68	6895	1,035	14	8623,68	8645	0,998	14	8807,52	8750	1,007
15	8165,28	8540	0,956	15	2089,44	2660	0,786	15	8720,16	8330	1,047
16	7858,08	8498	0,925	16	211,2	0	0,000	16	7109,28	7105	1,001
17	7990,08	8200	0,974	17	1927,2	1680	1,147	17	7608,96	7595	1,002
18	7599,84	7035	1,080	18	7428	6720	1,105	18	8736	8400	1,040
19	8684,64	8890	0,977	19	7569,12	7000	1,081	19	9935,04	9261	1,073
20	8410,08	8435	0,997	20	7308,48	6440	1,135	20	8200,8	8225	0,997
21	7820,16	7700	1,016	21	5309,28	5880	0,903	21	9140,64	8890	1,028
22	7383,36	7910	0,933	22	8361,6	7357	1,137	22	8976	8295	1,082
23	7510,08	7875	0,954	23	7722,24	8414	0,918	23	8401,44	8120	1,035
24	4909,44	4655	1,055	24	7511,52	7350	1,022	24	8024,16	8610	0,932
25	7781,28	8400	0,926	25	6627,36	7350	0,902	25	7723,2	8456	0,913
26	6959,52	8575	0,812	26	7715,04	7595	1,016	26	8599,2	8260	1,041
27	5046,24	5110	0,988	27	8095,68	8050	1,006	27	8537,28	8701	0,981
28	5714,88	6055	0,944	28	8049,12	8400	0,958	28	9213,12	8281	1,113
				29	6604,8	6510	1,015	29	9019,68	9002	1,002
				30	3991,2	3290	1,213	30	6697,44	9002	0,744
				31	7697,76	7805	0,986				
Примечание - значения, превышающие удельную норму											

Таблица Б.2 – Показатели потребления активной энергии экскаватором НІТАСНІ

НІТАСНІ №4 (норма удельного расхода = 0,807)											
февраль	расход	объем	удельн. расход	март	расход	объем	удельн. расход	апрель	расход	объем	удельн. расход
дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³	дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³	дата	А+, кВт*ч	м³	кВтч/м³
1	15487,68	13902	1,114	1	19441,92	17436	1,115	1	14426,88	13094	1,102
2	19021,92	17456	1,090	2	18995,52	16230	1,170	2	17959,2	15093	1,190
3	12046,56	9984	1,207	3	18134,88	16104	1,126	3	18528	16568	1,118
4	15622,56	11502	1,358	4	18330,72	17098	1,072	4	18473,76	15965,4	1,157
5	17910,72	16194	1,106	5	12591,36	10105	1,246	5	9754,08	8684,8	1,123
6	19985,76	18099	1,104	6	17388,48	13059	1,332	6	17966,88	16394,4	1,096
7	20453,76	18790	1,089	7	17778,24	16081	1,106	7	19858,08	17440	1,139
8	20025,12	18605	1,076	8	16451,52	11885	1,384	8	10416,96	8566,4	1,216
9	21161,76	19025	1,112	9	14480,16	9945	1,456	9	18900,96	14719	1,284
10	18929,28	16451	1,151	10	7888,8	6492	1,215	10	19161,12	13963	1,372
11	12052,32	13941	0,865	11	18430,08	13353	1,380	11	6611,04	7696	0,859
12	19931,52	13851	1,439	12	19644	16434	1,195	12	3452,16	584	5,911
13	11453,28	9367	1,223	13	20042,88	16794	1,193	13	17317,92	9967	1,738
14	20569,92	17009	1,209	14	19909,44	16183	1,230	14	17040	11157	1,527
15	20570,4	17464	1,178	15	20479,68	17170	1,193	15	13543,2	7373	1,837
16	20164,8	16194	1,245	16	19444,8	15724	1,237	16	7383,36	4672	1,580
17	18668,64	14274	1,308	17	19325,28	15126	1,278	17	15093,6	9724	1,552
18	20357,76	16717	1,218	18	17628,48	13609,2	1,295	18	15929,28	10940	1,456
19	20412,96	17301	1,180	19	19796,64	14467,2	1,368	19	16587,84	10930	1,518
20	19831,2	16267	1,219	20	17502,24	13394,4	1,307	20	15243,84	8258	1,846
21	17787,36	11827	1,504	21	10828,32	7452,8	1,453	21	16639,2	12747	1,305
22	14319,84	11862	1,207	22	18186,72	13101,6	1,388	22	17231,04	13059	1,319
23	18295,68	15702	1,165	23	18115,2	12668,8	1,430	23	18240	14531	1,255
24	16870,56	12946	1,303	24	5678,4	2891,6	1,964	24	17088,96	13807	1,238
25	18133,92	14589	1,243	25	18677,28	13645	1,369	25	15642,72	12504	1,251
26	19364,16	18498	1,047	26	19679,04	15231	1,292	26	18132	13727	1,321
27	16106,4	15411	1,045	27	18287,52	15922	1,149	27	17999,04	12169	1,479
28	18234,72	16366	1,114	28	15763,2	13689	1,152	28	19122,72	14746	1,297
				29	17332,32	14488	1,196	29	19187,04	15169	1,265
				30	17923,2	15378	1,166	30	15804,96	11705	1,350
				31	17208,48	16071	1,071				
Примечание - значения, превышающие удельную норму											

Таблица Б.3 – Расчёт фактического удельного расхода экскаватором ЭШ-10/70 №21

ЭШ-10/70 №21											
дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	сред нее	дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	сред нее
1	0,0000	1,0500	0,9702	1	0,8698	1,0500	0,9171	1	1,1198	1,0500	1,0391
2	1,9658	1,0500	0,9702	2	0,9290	1,0500	0,9171	2	1,1323	1,0500	1,0391
3	0,9413	1,0500	0,9702	3	0,9609	1,0500	0,9171	3	1,1565	1,0500	1,0391
4	0,9386	1,0500	0,9702	4	0,9228	1,0500	0,9171	4	1,0942	1,0500	1,0391
5	1,0253	1,0500	0,9702	5	0,9231	1,0500	0,9171	5	0,9361	1,0500	1,0391
6	0,9916	1,0500	0,9702	6	1,0576	1,0500	0,9171	6	1,1984	1,0500	1,0391
7	0,9895	1,0500	0,9702	7	1,0908	1,0500	0,9171	7	1,1893	1,0500	1,0391
8	1,0242	1,0500	0,9702	8	1,0794	1,0500	0,9171	8	1,1116	1,0500	1,0391
9	0,9688	1,0500	0,9702	9	1,1170	1,0500	0,9171	9	1,0111	1,0500	1,0391
10	1,2751	1,0500	0,9702	10	1,0292	1,0500	0,9171	10	1,0307	1,0500	1,0391
11	0,9619	1,0500	0,9702	11	0,0000	1,0500	0,9171	11	1,0550	1,0500	1,0391
12	0,7248	1,0500	0,9702	12	0,0000	1,0500	0,9171	12	1,0831	1,0500	1,0391
13	0,7878	1,0500	0,9702	13	1,1248	1,0500	0,9171	13	1,0169	1,0500	1,0391
14	1,0349	1,0500	0,9702	14	0,9975	1,0500	0,9171	14	1,0066	1,0500	1,0391
15	0,9561	1,0500	0,9702	15	0,7855	1,0500	0,9171	15	1,0468	1,0500	1,0391
16	0,9247	1,0500	0,9702	16	0,0000	1,0500	0,9171	16	1,0006	1,0500	1,0391
17	0,9744	1,0500	0,9702	17	1,1471	1,0500	0,9171	17	1,0018	1,0500	1,0391
18	1,0803	1,0500	0,9702	18	1,1054	1,0500	0,9171	18	1,0400	1,0500	1,0391
19	0,9769	1,0500	0,9702	19	1,0813	1,0500	0,9171	19	1,0728	1,0500	1,0391
20	0,9970	1,0500	0,9702	20	1,1349	1,0500	0,9171	20	0,9971	1,0500	1,0391
21	1,0156	1,0500	0,9702	21	0,9029	1,0500	0,9171	21	1,0282	1,0500	1,0391
22	0,9334	1,0500	0,9702	22	1,1366	1,0500	0,9171	22	1,0821	1,0500	1,0391
23	0,9537	1,0500	0,9702	23	0,9178	1,0500	0,9171	23	1,0347	1,0500	1,0391
24	1,0547	1,0500	0,9702	24	1,0220	1,0500	0,9171	24	0,9320	1,0500	1,0391
25	0,9263	1,0500	0,9702	25	0,9017	1,0500	0,9171	25	0,9133	1,0500	1,0391
26	0,8116	1,0500	0,9702	26	1,0158	1,0500	0,9171	26	1,0411	1,0500	1,0391
27	0,9875	1,0500	0,9702	27	1,0057	1,0500	0,9171	27	0,9812	1,0500	1,0391
28	0,9438	1,0500	0,9702	28	0,9582	1,0500	0,9171	28	1,1126	1,0500	1,0391
				29	1,0146	1,0500	0,9171	29	1,0020	1,0500	1,0391
				30	1,2131	1,0500	0,9171	30	0,7440	1,0500	1,0391
				31	0,9863	1,0500	0,9171				
Примечания											
- нулевые значения;											
- завышенные значения											

Таблица Б.4 – Расчёт скорректированного фактического удельного расхода экскаватора ЭШ-10/70 №21

ЭШ-10/70 №21 (скорректированный)											
дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	сред нее
1	0,9413	1,0500	0,9692	1	0,8698	1,0500	1,0154	1	1,1198	1,0500	1,0391
2	0,9386	1,0500	0,9692	2	0,9290	1,0500	1,0154	2	1,1323	1,0500	1,0391
3	1,0253	1,0500	0,9692	3	0,9609	1,0500	1,0154	3	1,1565	1,0500	1,0391
4	0,9916	1,0500	0,9692	4	0,9228	1,0500	1,0154	4	1,0942	1,0500	1,0391
5	0,9895	1,0500	0,9692	5	0,9231	1,0500	1,0154	5	0,9361	1,0500	1,0391
6	1,0242	1,0500	0,9692	6	1,0576	1,0500	1,0154	6	1,1984	1,0500	1,0391
7	0,9688	1,0500	0,9692	7	1,0908	1,0500	1,0154	7	1,1893	1,0500	1,0391
8	1,2751	1,0500	0,9692	8	1,0794	1,0500	1,0154	8	1,1116	1,0500	1,0391
9	0,9619	1,0500	0,9692	9	1,1170	1,0500	1,0154	9	1,0111	1,0500	1,0391
10	0,7248	1,0500	0,9692	10	1,0292	1,0500	1,0154	10	1,0307	1,0500	1,0391
11	0,7878	1,0500	0,9692	11	1,1248	1,0500	1,0154	11	1,0550	1,0500	1,0391
12	1,0349	1,0500	0,9692	12	0,9975	1,0500	1,0154	12	1,0831	1,0500	1,0391
13	0,9561	1,0500	0,9692	13	0,7855	1,0500	1,0154	13	1,0169	1,0500	1,0391
14	0,9247	1,0500	0,9692	14	1,1471	1,0500	1,0154	14	1,0066	1,0500	1,0391
15	0,9744	1,0500	0,9692	15	1,1054	1,0500	1,0154	15	1,0468	1,0500	1,0391
16	1,0803	1,0500	0,9692	16	1,0813	1,0500	1,0154	16	1,0006	1,0500	1,0391
17	0,9769	1,0500	0,9692	17	1,1349	1,0500	1,0154	17	1,0018	1,0500	1,0391
18	0,9970	1,0500	0,9692	18	0,9029	1,0500	1,0154	18	1,0400	1,0500	1,0391
19	1,0156	1,0500	0,9692	19	1,1366	1,0500	1,0154	19	1,0728	1,0500	1,0391
20	0,9334	1,0500	0,9692	20	0,9178	1,0500	1,0154	20	0,9971	1,0500	1,0391
21	0,9537	1,0500	0,9692	21	1,0220	1,0500	1,0154	21	1,0282	1,0500	1,0391
22	1,0547	1,0500	0,9692	22	0,9017	1,0500	1,0154	22	1,0821	1,0500	1,0391
23	0,9263	1,0500	0,9692	23	1,0158	1,0500	1,0154	23	1,0347	1,0500	1,0391
24	0,8116	1,0500	0,9692	24	1,0057	1,0500	1,0154	24	0,9320	1,0500	1,0391
25	0,9875	1,0500	0,9692	25	0,9582	1,0500	1,0154	25	0,9133	1,0500	1,0391
26	0,9438	1,0500	0,9692	26	1,0146	1,0500	1,0154	26	1,0411	1,0500	1,0391
				27	1,2131	1,0500	1,0154	27	0,9812	1,0500	1,0391
				28	0,9863	1,0500	1,0154	28	1,1126	1,0500	1,0391
								29	1,0020	1,0500	1,0391
								30	0,7440	1,0500	1,0391

Таблица Б.5 – Расчёт фактического удельного расхода экскаватором HITACHI №4

HITACHI №4											
дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м³	норма	сред нее
1	1,1141	0,8070	1,1828	1	1,1150	0,8070	1,2751	1	1,1018	0,8070	1,4901
2	1,0897	0,8070	1,1828	2	1,1704	0,8070	1,2751	2	1,1899	0,8070	1,4901
3	1,2066	0,8070	1,1828	3	1,1261	0,8070	1,2751	3	1,1183	0,8070	1,4901
4	1,3582	0,8070	1,1828	4	1,0721	0,8070	1,2751	4	1,1571	0,8070	1,4901
5	1,1060	0,8070	1,1828	5	1,2461	0,8070	1,2751	5	1,1231	0,8070	1,4901
6	1,1042	0,8070	1,1828	6	1,3315	0,8070	1,2751	6	1,0959	0,8070	1,4901
7	1,0885	0,8070	1,1828	7	1,1055	0,8070	1,2751	7	1,1387	0,8070	1,4901
8	1,0763	0,8070	1,1828	8	1,3842	0,8070	1,2751	8	1,2160	0,8070	1,4901
9	1,1123	0,8070	1,1828	9	1,4560	0,8070	1,2751	9	1,2841	0,8070	1,4901
10	1,1506	0,8070	1,1828	10	1,2152	0,8070	1,2751	10	1,3723	0,8070	1,4901
11	0,8645	0,8070	1,1828	11	1,3802	0,8070	1,2751	11	0,8590	0,8070	1,4901
12	1,4390	0,8070	1,1828	12	1,1953	0,8070	1,2751	12	5,9112	0,8070	1,4901
13	1,2227	0,8070	1,1828	13	1,1935	0,8070	1,2751	13	1,7375	0,8070	1,4901
14	1,2094	0,8070	1,1828	14	1,2303	0,8070	1,2751	14	1,5273	0,8070	1,4901
15	1,1779	0,8070	1,1828	15	1,1928	0,8070	1,2751	15	1,8369	0,8070	1,4901
16	1,2452	0,8070	1,1828	16	1,2366	0,8070	1,2751	16	1,5803	0,8070	1,4901
17	1,3079	0,8070	1,1828	17	1,2776	0,8070	1,2751	17	1,5522	0,8070	1,4901
18	1,2178	0,8070	1,1828	18	1,2953	0,8070	1,2751	18	1,4561	0,8070	1,4901
19	1,1799	0,8070	1,1828	19	1,3684	0,8070	1,2751	19	1,5176	0,8070	1,4901
20	1,2191	0,8070	1,1828	20	1,3067	0,8070	1,2751	20	1,8459	0,8070	1,4901
21	1,5040	0,8070	1,1828	21	1,4529	0,8070	1,2751	21	1,3053	0,8070	1,4901
22	1,2072	0,8070	1,1828	22	1,3881	0,8070	1,2751	22	1,3195	0,8070	1,4901
23	1,1652	0,8070	1,1828	23	1,4299	0,8070	1,2751	23	1,2552	0,8070	1,4901
24	1,3031	0,8070	1,1828	24	1,9638	0,8070	1,2751	24	1,2377	0,8070	1,4901
25	1,2430	0,8070	1,1828	25	1,3688	0,8070	1,2751	25	1,2510	0,8070	1,4901
26	1,0468	0,8070	1,1828	26	1,2920	0,8070	1,2751	26	1,3209	0,8070	1,4901
27	1,0451	0,8070	1,1828	27	1,1486	0,8070	1,2751	27	1,4791	0,8070	1,4901
28	1,1142	0,8070	1,1828	28	1,1515	0,8070	1,2751	28	1,2968	0,8070	1,4901
				29	1,1963	0,8070	1,2751	29	1,2649	0,8070	1,4901
				30	1,1655	0,8070	1,2751	30	1,3503	0,8070	1,4901
				31	1,0708	0,8070	1,2751				

Примечания

- нулевые значения;
- завышенные значения

Таблица Б.6 – Расчёт скорректированного фактического удельного расхода экскаватора НІТАСНІ №4

НІТАСНІ №4 (скорректированный)											
дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	среднее	дата	удельн. расход, кВтч/м ³	норма	сред нее
1	1,1141	0,8070	1,1828	1	1,1150	0,8070	1,2521	1	1,1018	0,8070	1,3376
2	1,0897	0,8070	1,1828	2	1,1704	0,8070	1,2521	2	1,1899	0,8070	1,3376
3	1,2066	0,8070	1,1828	3	1,1261	0,8070	1,2521	3	1,1183	0,8070	1,3376
4	1,3582	0,8070	1,1828	4	1,0721	0,8070	1,2521	4	1,1571	0,8070	1,3376
5	1,1060	0,8070	1,1828	5	1,2461	0,8070	1,2521	5	1,1231	0,8070	1,3376
6	1,1042	0,8070	1,1828	6	1,3315	0,8070	1,2521	6	1,0959	0,8070	1,3376
7	1,0885	0,8070	1,1828	7	1,1055	0,8070	1,2521	7	1,1387	0,8070	1,3376
8	1,0763	0,8070	1,1828	8	1,3842	0,8070	1,2521	8	1,2160	0,8070	1,3376
9	1,1123	0,8070	1,1828	9	1,4560	0,8070	1,2521	9	1,2841	0,8070	1,3376
10	1,1506	0,8070	1,1828	10	1,2152	0,8070	1,2521	10	1,3723	0,8070	1,3376
11	0,8645	0,8070	1,1828	11	1,3802	0,8070	1,2521	11	0,8590	0,8070	1,3376
12	1,4390	0,8070	1,1828	12	1,1953	0,8070	1,2521	12	1,7375	0,8070	1,3376
13	1,2227	0,8070	1,1828	13	1,1935	0,8070	1,2521	13	1,5273	0,8070	1,3376
14	1,2094	0,8070	1,1828	14	1,2303	0,8070	1,2521	14	1,8369	0,8070	1,3376
15	1,1779	0,8070	1,1828	15	1,1928	0,8070	1,2521	15	1,5803	0,8070	1,3376
16	1,2452	0,8070	1,1828	16	1,2366	0,8070	1,2521	16	1,5522	0,8070	1,3376
17	1,3079	0,8070	1,1828	17	1,2776	0,8070	1,2521	17	1,4561	0,8070	1,3376
18	1,2178	0,8070	1,1828	18	1,2953	0,8070	1,2521	18	1,5176	0,8070	1,3376
19	1,1799	0,8070	1,1828	19	1,3684	0,8070	1,2521	19	1,8459	0,8070	1,3376
20	1,2191	0,8070	1,1828	20	1,3067	0,8070	1,2521	20	1,3053	0,8070	1,3376
21	1,5040	0,8070	1,1828	21	1,4529	0,8070	1,2521	21	1,3195	0,8070	1,3376
22	1,2072	0,8070	1,1828	22	1,3881	0,8070	1,2521	22	1,2552	0,8070	1,3376
23	1,1652	0,8070	1,1828	23	1,4299	0,8070	1,2521	23	1,2377	0,8070	1,3376
24	1,3031	0,8070	1,1828	24	1,3688	0,8070	1,2521	24	1,2510	0,8070	1,3376
25	1,2430	0,8070	1,1828	25	1,2920	0,8070	1,2521	25	1,3209	0,8070	1,3376
26	1,0468	0,8070	1,1828	26	1,1486	0,8070	1,2521	26	1,4791	0,8070	1,3376
27	1,0451	0,8070	1,1828	27	1,1515	0,8070	1,2521	27	1,2968	0,8070	1,3376
28	1,1142	0,8070	1,1828	28	1,1963	0,8070	1,2521	28	1,2649	0,8070	1,3376
				29	1,1655	0,8070	1,2521	29	1,3503	0,8070	1,3376
				30	1,0708	0,8070	1,2521				

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаваторов

Таблица В.1 – Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаватора ЭКГ-8И (Выемочно-погрузочные работы)

Дата	Элек тро потреб ление, кВт*ч	Объем добычи, м ³	Коли чество коммут аций	Средняя месячная темпера тура воз духа, °С	Дата	Электро потреб ление, кВт*ч	Объем до бычи, м ³	Кол-во комму таций	Средняя месячная температура воздуха, °С
Экскаватор ЭКГ-8И (Выемочно-погрузочные работы)									
01.фев	2173,92	1564	0	-9,4	03.апр	4,8	0	2	5,4
02.фев	2120,16	1656	0	-9,4	04.апр	5,28	0	1	5,4
03.фев	2580,96	2576	1	-9,4	05.апр	5,28	0	0	5,4
04.фев	3302,88	3726	2	-9,4	06.апр	4,8	0	1	5,4
05.фев	3254,88	4506	3	-9,4	09.апр	88,8	0	1	5,4
06.фев	3701,76	5276	3	-9,4	10.апр	40,32	0	2	5,4
07.фев	3532,32	4698	3	-9,4	11.апр	14,4	0	1	5,4
08.фев	2656,32	3958	4	-9,4	12.апр	72,48	0	1	5,4
09.фев	802,56	1000	2	-9,4	13.апр	52,8	0	1	5,4
10.фев	291,84	0	1	-9,4	14.апр	126,72	0	2	5,4
11.фев	78,72	0	1	-9,4	15.апр	31,2	0	1	5,4
12.фев	403,2	0	1	-9,4	16.апр	44,64	0	0	5,4
13.фев	93,12	0	1	-9,4	17.апр	127,68	0	1	5,4
14.фев	1260,48	0	1	-9,4	18.апр	109,92	0	1	5,4
15.фев	3149,28	3488	2	-9,4	19.апр	47,52	0	0	5,4
16.фев	4063,68	5036	3	-9,4	24.апр	48	0	0	5,4
17.фев	3213,6	2800	0	-9,4	25.апр	91,68	0	1	5,4
18.фев	2539,2	2831,28	2	-9,4	28.апр	145,92	0	1	5,4
19.фев	2433,6	1596,32	0	-9,4	30.апр	120	0	2	5,4
20.фев	2505,6	2862,07	2	-9,4					
21.фев	2555,04	1411,11	0	-9,4					
22.фев	2859,36	2829,51	1	-9,4					
23.фев	2900,16	2255,11	0	-9,4					
24.фев	2132,16	1343,53	0	-9,4					
25.фев	2499,36	1790,9	0	-9,4					
26.фев	2153,76	1258,8	0	-9,4					
27.фев	2186,88	2277,5	1	-9,4					
28.фев	445,44	1393,5	4	-9,4					
01.мар	2459,04	2158,8	1	-6,4					
02.мар	1248,48	2770,98	2	-6,4					
03.мар	1523,52	600	2	-6,4					
04.мар	1208,16	3500	2	-6,4					
05.мар	10,56	0	1	-6,4					
01.апр	81,12	0	2	5,4					
02.апр	195,36	0	1	5,4					

Таблица В.2 – Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаватора ЭШ-10/70 (Выемочно-погрузочные работы)

Дата	Электро потреб ление, кВт*ч	Объем добычи, м³	Кол-во коммутаций	Средняя месячная температура воздуха, °С	Дата	Электро потреб ление, кВт*ч	Объем добычи, м³	Кол-во комму таций	Средняя месячная температура воздуха, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Экскаватор ЭШ-10/70 (Выемочно-погрузочные работы)									
01.фев	301,92	0	0	-6,4	17.мар	1927,2	1680	3	-6,4
02.фев	2614,56	1330	0	-6,4	18.мар	7428	6720	3	-6,4
03.фев	6786,72	7210	2	-6,4	19.мар	7569,12	7000	2	-6,4
04.фев	6911,52	7364	2	-6,4	20.мар	7308,48	6440	4	-6,4
05.фев	5311,2	5180	2	-6,4	21.мар	5309,28	5880	2	-6,4
06.фев	6941,28	7000	2	-6,4	22.мар	8361,6	7357	4	-6,4
07.фев	7106,88	7182	2	-6,4	23.мар	7722,24	8414	4	-6,4
08.фев	6452,16	6300	2	-6,4	24.мар	7511,52	7350	3	-6,4
09.фев	7812,48	8064	2	-6,4	25.мар	6627,36	7350	4	-6,4
10.фев	7051,2	5530	1	-6,4	26.мар	7715,04	7595	3	-6,4
11.фев	4511,52	4690	2	-6,4	27.мар	8095,68	8050	4	-6,4
12.фев	6849,12	9450	4	-6,4	28.мар	8049,12	8400	3	-6,4
13.фев	7692,48	9765	4	-6,4	29.мар	6604,8	6510	4	-6,4
14.фев	7135,68	6895	2	-6,4	30.мар	3991,2	3290	2	-6,4
15.фев	8165,28	8540	3	-6,4	31.мар	7697,76	7805	3	-6,4
16.фев	7858,08	8498	2	-6,4	01.апр	4742,4	4235	1	5,4
17.фев	7990,08	8200	2	-6,4	02.апр	8916,48	7875	2	5,4
18.фев	7599,84	7035	2	-6,4	03.апр	9107,52	7875	3	5,4
19.фев	8684,64	8890	2	-6,4	04.апр	9076,8	8295	3	5,4
20.фев	8410,08	8435	2	-6,4	05.апр	7404,48	7910	3	5,4
21.фев	7820,16	7700	2	-6,4	06.апр	9042,24	7545	0	5,4
22.фев	7383,36	7910	2	-6,4	07.апр	8366,88	7035	1	5,4
23.фев	7510,08	7875	2	-6,4	08.апр	6847,68	6160	1	5,4
24.фев	4909,44	4655	2	-6,4	09.апр	7290,24	7210	2	5,4
25.фев	7781,28	8400	3	-6,4	10.апр	8441,76	8190	2	5,4
26.фев	6959,52	8575	3	-6,4	11.апр	8345,28	7910	3	5,4
27.фев	5046,24	5110	2	-6,4	12.апр	4169,76	3850	3	5,4
28.фев	5714,88	6055	2	-6,4	13.апр	6833,76	6720	2	5,4
01.мар	7306,56	8400	5	-6,4	14.апр	8807,52	8750	3	5,4
02.мар	7283,04	7840	3	-6,4	15.апр	8720,16	8330	2	5,4
03.мар	8071,2	8400	3	-6,4	16.апр	7109,28	7105	3	5,4
04.мар	7558,08	8190	2	-6,4	17.апр	7608,96	7595	3	5,4
05.мар	7430,88	8050	3	-6,4	18.апр	8736	8400	0	5,4
06.мар	7476,96	7070	2	-6,4	19.апр	9935,04	9261	2	5,4
07.мар	4275,84	3920	1	-6,4	20.апр	8200,8	8225	3	5,4
08.мар	8651,04	8015	1	-6,4	21.апр	9140,64	8890	3	5,4
09.мар	7193,76	6440	2	-6,4	22.апр	8976	8295	2	5,4
10.мар	5763,36	5600	1	-6,4	23.апр	8401,44	8120	2	5,4
11.мар	200,16	0	0	-6,4	24.апр	8024,16	8610	3	5,4
12.мар	486,72	0	1	-6,4	25.апр	7723,2	8456	3	5,4
13.мар	7479,84	6650	3	-6,4	26.апр	8599,2	8260	1	5,4

Продолжение таблицы В.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14.мар	8623,68	8645	2	-6,4	27.апр	8537,28	8701	3	5,4
15.мар	2089,44	2660	0	-6,4	28.апр	9213,12	8281	1	5,4
16.мар	211,2	0	0	-6,4	29.апр	9019,68	9002	2	5,4
					30.апр	6697,44	9002	4	5,4

Таблица В.3 – Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаватора ЭКГ-5А (Вскрышные и добычные работы)

Дата	Электро потребле ние, кВт*ч	Объем добычи, м³	Коли чество комму таций	Средняя месячная темпера тура воздуха, °С	Дата	Электро потребле ние, кВт*ч	Объем добычи, м³	Кол- во комму таций	Средняя месячная темпера тура воз духа, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Экскаватор ЭКГ-5А (Вскрышные и добычные работы)									
01.фев	1096,56	2001,73	3	-9,40	08.мар	1015,68	1652,46	2	-6,40
02.фев	1704,96	3010,38	2	-9,40	09.мар	1106,16	1671,79	1	-6,40
03.фев	1807,2	3015,26	2	-9,40	10.мар	1379,52	2256,39	1	-6,40
04.фев	1615,2	2950,53	3	-9,40	11.мар	1394,88	2449,02	1	-6,40
05.фев	1457,28	2768,87	3	-9,40	12.мар	1404	2734,17	0	-6,40
06.фев	1280,88	2510,32	3	-9,40	13.мар	294,48	402,632	5	-6,40
07.фев	972,96	1121,02	0	-9,40	14.мар	43,44	0	2	-6,40
08.фев	1630,8	3083,02	3	-9,40	15.мар	300,24	0	4	-6,40
09.фев	1483,2	2589,76	2	-9,40	16.мар	666,48	1187,52	1	-6,40
10.фев	1178,4	1836,47	2	-9,40	17.мар	18	0	2	-6,40
11.фев	810,48	1093,41	1	-9,40	18.мар	12,72	0	3	-6,40
12.фев	1191,12	1642,91	1	-9,40	19.мар	5,04	0	2	-6,40
13.фев	1815,12	3585,47	3	-9,40	20.мар	7,44	0	1	-6,40
14.фев	1820,16	3243,31	2	-9,40	07.апр	132,96	0	0	5,40
15.фев	913,68	1704,42	3	-9,40	08.апр	2,4	0	0	5,40
16.фев	951,12	1954,7	2	-9,40	09.апр	48,48	0	0	5,40
17.фев	1181,76	1742,5	1	-9,40	11.апр	92,88	0	0	5,40
18.фев	144,96	0	0	-9,40	12.апр	146,64	0	0	5,40
19.фев	1414,8	2062,82	1	-9,40	13.апр	618,24	0	0	5,40
20.фев	1646,16	2737,03	2	-9,40	14.апр	948	0	0	5,40
21.фев	1686,48	2488,3	1	-9,40	15.апр	393,12	0	0	5,40
22.фев	696,72	754,135	0	-9,40	16.апр	16,8	0	0	5,40
23.фев	1030,56	1461,24	0	-9,40	17.апр	73,92	0	0	5,40
24.фев	1045,44	2379,44	4	-9,40	18.апр	148,08	0	0	5,40
25.фев	1455,36	2959,85	4	-9,40	19.апр	140,64	0	0	5,40
26.фев	898,8	1829,83	4	-9,40	20.апр	24,48	0	0	5,40
27.фев	992,4	1814,15	2	-9,40	21.апр	529,92	500	3	5,40
28.фев	1153,68	2120,04	3	-9,40	22.апр	1705,2	3084,51	2	5,40
01.мар	341,76	974,342	3	-6,40	23.апр	1734,24	2936,54	2	5,40
02.мар	936	1226,64	4	-6,40	24.апр	1642,56	2913,91	2	5,40
03.мар	750,72	1098,67	3	-6,40	25.апр	1691,28	3015,26	2	5,40
04.мар	1525,68	3441,28	2	-6,40	26.апр	1325,28	2457,82	3	5,40

Продолжение таблицы В.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
05.мар	1393,44	3024,38	2	-6,40	27.апр	1671,12	3471,35	4	5,40
06.мар	1074,48	2192,41	0	-6,40	28.апр	1516,32	2508,5	1	5,40
07.мар	306,24	25,3383	1	-6,40	29.апр	2047,92	3370	1	5,40
					30.апр	1778,16	3176,39	2	5,40

Таблица В.4 – Исходные данные для регрессионного анализа электропотребления экскаватора ЭШ-12,5 (Вскрышные и добычные работы)

Дата	Электропотребление, кВт*ч	Объем добычи, м³	Количество коммутаций	Средняя месячная температура воздуха, °С	Дата	Электропотребление, кВт*ч	Объем добычи, м³	Кол-во коммутаций	Средняя месячная температура воздуха, °С
Экскаватор ЭКГ-12,5 (Вскрышные и добычные работы)									
01.фев	7790,88	7650	3	-9,40	01.апр	7543,2	10208	3	-6,40
02.фев	6105,12	4352	3	-9,40	02.апр	5772,48	6464	2	-6,40
03.фев	7549,92	6678	3	-9,40	03.апр	5407,68	6820	3	-6,40
04.фев	7645,44	7398	3	-9,40	04.апр	4554,72	2012	0	-6,40
05.фев	5197,92	4606	3	-9,40	05.апр	5651,04	5928	2	-6,40
06.фев	5739,84	6584	4	-9,40	06.апр	6087,84	5860	2	-6,40
07.фев	4220,16	2758	2	-9,40	07.апр	7317,12	8756	2	-6,40
08.фев	6087,84	7662	4	-9,40	08.апр	5473,92	5156	1	-6,40
09.фев	1751,04	1202	2	-9,40	09.апр	5346,72	5980	2	-6,40
10.фев	3470,88	2434	2	-9,40	10.апр	5149,44	5244	2	-6,40
11.фев	5586,24	5014	3	-9,40	11.апр	3029,76	2428	0	-6,40
12.фев	3389,28	3483	4	-9,40	12.апр	6010,56	7342	2	-6,40
13.фев	840	462	1	-9,40	13.апр	5898,72	5500	2	-6,40
14.фев	2860,32	1468	0	-9,40	14.апр	2782,08	5290	4	-6,40
15.фев	6103,2	2568	0	-9,40	15.апр	3361,92	4370	3	-6,40
16.фев	7261,92	6868	3	-9,40	16.апр	6110,88	8020	3	-6,40
17.фев	7769,76	8470	4	-9,40	17.апр	6751,68	9338	3	-6,40
18.фев	5568	4620	3	-9,40	18.апр	3598,08	6792	4	-6,40
19.фев	8385,6	7524	3	-9,40	19.апр	3234,72	2173	0	-6,40
20.фев	6946,56	6993	4	-9,40	20.апр	4094,88	3800	1	-6,40
21.фев	7953,6	7208	3	-9,40	21.апр	6854,4	9752	0	-6,40
22.фев	7678,56	6852	3	-9,40	22.апр	4717,44	7754	2	-6,40
23.фев	8013,6	6859	3	-9,40	23.апр	1704,48	1380	1	-6,40
24.фев	4670,88	5376	4	-9,40	24.апр	7244,64	7564	2	-6,40
25.фев	7035,36	5108	2	-9,40	25.апр	2250,72	3680	3	-6,40
26.фев	7983,84	7854	3	-9,40	26.апр	2595,84	3214	1	-6,40
27.фев	6199,2	6206	4	-9,40	27.апр	169,44	0	1	-6,40
28.фев	7217,76	8485	4	-9,40	29.апр	2114,4	2070	1	-6,40
01.мар	412,32	4290	4	-6,40	30.апр	6099,36	6916	2	-6,40

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты использования результатов диссертационных исследований в АО «Шубарколь комир»

АКТ об использовании научных результатов диссертационной работы PhD докторанта Котова Евгения Сергеевича по теме: «Разработка принципов удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства»

SHUBARKOL KOMIR



На подстанциях «Южная» и «Юго-западная» разреза АО «Шубарколь-Комир» были внедрены результаты научных исследований PhD докторанта Котова Е.С. по разработке системы удаленного мониторинга режимов работы подстанций.

Система удаленного мониторинга в режиме реального времени позволяет контролировать технологические параметры каждого фидера подстанции, в том числе: ток, напряжение, потребляемую энергию, активную и реактивную мощность. Данные параметры выводятся на экран оператора, посредством SCADA-системы.

Система также позволяет контролировать состояние фидеров подстанции (включена/выключена) и аварийных ситуаций (максимальная токовая защита, замыкание на землю), уровня и температуры трансформаторного масла, с возможностью архивирования в базу данных.

Предусмотрено отображение на экране оператора графиков тока, напряжения и потребляемой энергии за период (час, смена, день, месяц).

В процессе испытаний и дальнейшей эксплуатации в период с 01.02.2019 г - 01.03.2020 г. система работает без замечаний.

Система удаленного мониторинга режимов работы подстанций рекомендована для дальнейшего внедрения на распределительных подстанциях разреза АО «Шубарколь-Комир».

Главный энергетик

АО «Шубарколь-Комир»:



Юсупов А.А

«12» 03 2020г.

www.erg.kz

**АКТ об использовании
научных результатов
диссертационной работы
PhD докторанта Котова
Евгения Сергеевича по
теме: «Разработка
принципов удаленного
мониторинга режимов
работы
электрооборудования
горного производства»**

SHUBARKOL KOMIR



На угольном разрезе АО «Шубарколь-Комир» были внедрены результаты научных исследований PhD докторанта Котова Е.С. по разработке системы удаленного мониторинга режимов работы экскаваторов.

Система удаленного мониторинга осуществляет сбор, хранение и передачу на промежуточный пункт архивирования информации о потребляемой энергии. Сбор и хранение осуществляется посредством счетчиков электроэнергии Меркурий 234. Передача информации возможна как проводным способом, посредством подключения планшетного компьютера со специализированным программным обеспечением непосредственно в ячейку ЯКНО так и беспроводным, путем подключения через беспроводной модем на расстоянии до 30 метров (при объезде территории не выходя из транспортного средства)

В процессе испытаний и дальнейшей эксплуатации в период с 01.04.2019 г - 01.03.2020 г. система работает без замечаний.

Система удаленного мониторинга режимов работы экскаваторов рекомендована для дальнейшего внедрения на распределительных ячейках ЯКНО разреза АО «Шубарколь-Комир».

Главный энергетик

АО «Шубарколь-Комир»



Юсупов А.А

«12» 03 2020г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Акт внедрения диссертационной работы в учебный процесс

Утверждаю
И.о. Топ-менеджера
НАО «КарТУ»
Исагулов А.З.
07 09 2020



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждается использование результатов диссертации Котова Евгения Сергеевича «Разработка принципов удаленного мониторинга режимов работы электрооборудования горного производства», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071800 - «Электроэнергетика».

Материалы диссертации используются в учебном процессе Карагандинского технического университета на кафедре автоматизации производственных процессов, факультета энергетике, автоматике и телекоммуникаций для студентов и магистрантов специальностей «Электроэнергетика» и «Автоматизация и управление» в следующих дисциплинах:

- в лекционном и практическом курсах по дисциплине «Энергосберегающие технологии в электроэнергетике и автоматизации» применяются разработанные в диссертации имитационные модели, описывающие влияние режимов работы многодвигательного горного электрооборудования (экскаваторы) на помехоустойчивость, достоверность и надежность функционирования систем мониторинга;
- в лекционном и практическом курсах по дисциплине «Автоматизированные системы управления электроснабжением» применяется разработанная в диссертации система удаленного мониторинга как способа прогнозирования потребления электроэнергии.

Зав. кафедрой АПП,
д.т.н., проф.



Брейдо И.В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Патент 5132 Республики Казахстан

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 5132

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

 (21) 2020/0423.2

(22) 02.05.2020

(45) 10.07.2020

(54) Пайдалы қазбаларды ашық өндіру жағдайында тау-кен өндірісінің электр қосалқы станциялардың және электр жабдықтардың өлшеу, талдау және басқару құрылғыларының мониторингін жасау тәсілі
Способ мониторинга устройств измерения, анализа и управления оборудованием электрических подстанций и электрооборудования горного производства в условиях открытой добычи полезных ископаемых
Method of monitoring of devices for measuring, analyzing and controlling equipment of electrical substations and electrical equipment of mining production in conditions of opencast mining

(73) Котов Евгений Сергеевич (KZ) Kotov Yevgeniy Sergeyevich (KZ)
Kotov Yevgeniy Sergeyevich (KZ)

(72) Котов Евгений Сергеевич (KZ) Kotov Yevgeniy Sergeyevich (KZ)
Брейдо Иосиф Вульфович (KZ) Breydo Iosif Vulfovich (KZ)
Сичкаренко Андрей Владимирович (KZ) Sichkarenko Andrey Vladimirovich (KZ)



ЭЦК қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Куантыров
E. Куантыров
Y. Kuanturov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE



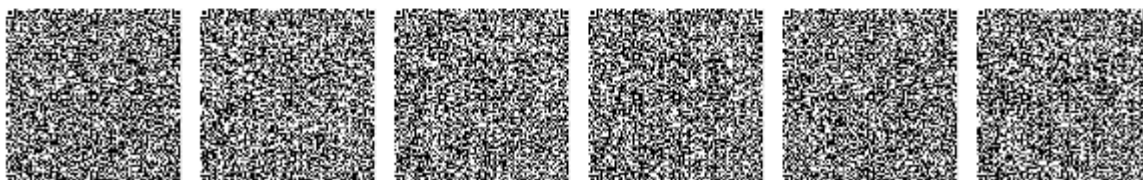
ВЫПИСКА ИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА ПОЛЕЗНЫХ МОДЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Статус: Действует

(11) № охранного документа	5132
(12)	Патент на Полезную Модель
(21) Номер заявки	2020/0423.2
(22) Дата подачи заявки	02.05.2020
(51) МПК	G06F 17/40 G05B 13/00 G06F 13/42
(54) Название	Способ мониторинга устройства измерения, анализа и управления оборудованием электрических подстанций и электрооборудования горного производства в условиях открытой добычи полезных ископаемых
(73) Патентообладатель	Котов Евгений Сергеевич (KZ)
(72) Автор(-ы)	Котов Евгений Сергеевич Kotov Yevgeniy Sergeyevich(KZ); Брейдо Иосиф Вульфович Breydo Iosif Vulfovich (KZ); Сичкаренко Андрей Владимирович Sichkarenko Andrey Vladimirovich(KZ)
(45) Номер и дата бюллетеня	№ 27 - 10.07.2020
Срок действия	02.05.2021

Дата формирования выписки: 23.08.2020



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Свидетельства о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты,
охраняемые авторским правом

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

СВИДЕТЕЛЬСТВО
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР
ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ
№ 8594 от «5» марта 2020 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):
КОТОВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ, СИЧКАРЕНКО АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, БРЕЙДО ИОСИФ ВУЛЬФОВИЧ

Вид объекта авторского права: **произведение литературы**

Название объекта: **Руководство оператора по системе технического учёта электроэнергии и технологических параметров подстанций «ЮЖНАЯ» и «ЮГО-ЗАПАДНАЯ» АО "Шубарколь комир"**

Дата создания объекта: **01.01.2020**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АРНАУЛЫҚ БІЛІМ АЛҒАШҚЫ АРНАУЛЫҚ АКАДЕМИЯСЫ
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ АРНАУЛЫҚ БІЛІМ АЛҒАШҚЫ АРНАУЛЫҚ АКАДЕМИЯСЫ

Құжат түпнұсқалығын <http://www.kazpatent.kz> сайтының
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Абулхаиров Н.А.

QR code

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ

№ 9489 от «28» апреля 2020 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):
КОТОВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Вид объекта авторского права: программа для ЭВМ

Название объекта: Программа для защиты от несанкционированного сброса показаний электроэнергии:
Memory ME96SSR-MB

Дата создания объекта: 01.01.2018



Курсыт тіркестірілген: <http://www.kazpatent.kz/ru/owning>
"Авторлық құқық" бағытында ескерту болып: <http://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте kazpatent.kz
в разделе «Авторское право» <http://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ

КУӘЛІК

2020 жылғы «28» сәуір № 9489

Автордың (ардың) жөні, аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куалайдыратын құжатта көрсетілсе):
КОТОВ ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Авторлық құқық объектісі: ЭЕМ-ге арналған бағдарлама

Объектінің атауы: Программа для защиты от несанкционированного сброса показаний электроэнергии:
Memory ME96SSR-MB

Объектіні жасаған күні: **01.01.2018**



Құжат тіпіндіскалығын <http://www.kazpatent.kz> сайтының
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады: <http://copyright.kazpatent.kz>
Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)
в разделе «Авторское право» <http://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

Куантыров Е.С.