

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

На правах рукописи

ПЕТУХОВ Степан Викторович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ И РАЗРАБОТКА
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ГОРНЫХ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЙ С ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКОЙ УГЛЯ**

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель – докт. техн. наук, профессор Ляхомский А. В.

Москва – 2019 г.

Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Современное состояние эффективности процесса электропотребления промышленных предприятий угольной отрасли	11
1.1. Общие положения	11
1.2. Обзор исследований в области повышения эффективности электропотребления	14
1.3. Анализ эффективности процесса энергопотребления предприятий угольной отрасли	21
1.4. Обоснование и постановка задач исследования	28
Глава 2. Методика исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли	30
2.1. Исходные положения.....	30
2.2. Методические принципы исследования эффективности процесса электропотребления	32
2.3. Анализ причинных связей, обуславливающих эффективность электропотребления	35
2.4. Методика экспериментального исследования эффективности процесса электропотребления	40
2.4.1. Вероятностные свойства процесса электропотребления	40
2.4.2. Энергетические профили выполняемых работ	49
2.5. Методические принципы исследования управления электропотреблением с целью повышения энергоэффективности.....	55
2.5.1. Исходные положения.....	55
2.5.2. Методические принципы исследования управления потреблением электроэнергии	59
2.6. Выводы.....	62

Глава 3. Исследование процесса электропотребления горных предприятий угольной отрасли.....	64
3.1. Исходные данные	64
3.2. Исследование процесса электропотребления вскрышных горных работ	66
3.2.1. Исходные положения.....	66
3.2.2. Статистические характеристики и вероятностные модели энерготехнологических показателей вскрышных горных работ	67
3.3. Исследование процесса электропотребления добычных горных работ	84
3.3.1. Исходные положения.....	84
3.3.2. Статистические характеристики и вероятностные модели энерготехнологических показателей добычных горных работ	85
3.4. Выводы.....	92
Глава 4. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик экскаваторных работ на угледобывающих предприятиях.....	95
4.1. Исходные положения.....	95
4.2. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик вскрышных экскаваторных работ	97
4.3. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик добычных экскаваторных работ	114
4.4. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик отгрузочных экскаваторных работ	119
4.5. Выводы.....	123
Глава 5. Исследование управления потреблением электроэнергии предприятий угольной отрасли.....	125
5.1. Исходные положения.....	125
5.2. Исследование уровня развития управления электрической энергией на предприятиях угольной отрасли.....	127
5.2.1. Методические принципы и показатели оценки уровня развития составляющих управления электроэнергией	127

5.2.2. Оценка уровня развития управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли.....	129
5.3. Освоение контроля над энергоэффективностью электропотребления	143
5.4. Организационно-информационно-аналитическое обеспечение управления эффективностью электропотребления.....	145
5.5. Выводы.....	146
Глава 6. Разработка рекомендаций по управлению электропотреблением с целью повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли .	148
6.1. Исходные положения.....	148
6.2. Рекомендации по освоению контроля над эффективностью электропотребления	148
6.3. Рекомендации по организационно-информационно-аналитическому обеспечению эффективности электропотребления.....	150
6.4. Рекомендации по системному управлению эффективностью электропотребления	151
6.5. Выводы.....	168
Заключение.....	170
Список литературы.....	173
Приложение 1. Расчетные значения характеристик и показателей исследования процесса электропотребления экскаваторных работ (индивидуальные статистические характеристики, вероятностные модели, энерготехнологические профили) .	183
Приложение 2. Расчетные значения характеристик и показателей исследования процесса электропотребления экскаваторных работ (обобщенные статистические характеристики, вероятностные модели, энерготехнологические профили) .	203
Приложение 3. Материалы, подтверждающие использование результатов диссертационной работы.....	213

Введение

Устойчивое развитие предприятий минерально-сырьевого комплекса страны в значительной мере зависит от решения задач энергосбережения и повышения энергоэффективности производства. В числе задач, поставленных в государственных программах [1-4], стоят задачи: снижение энергоемкости ВВП к 2020 г. по отношению к 2007 г. не менее, чем на 13,5%; снижение энергоемкости угольной отрасли к 2030 г. по отношению к 2010 г. на 30%. Предприятия минерально-сырьевого комплекса являются крупнейшими потребителями энергетических ресурсов и характеризуются высокой долей энергозатрат в себестоимости продукции. Так, на горных предприятиях угольной отрасли доля затрат на энергоресурсы достигает 18-23%, а на горно-обогатительных предприятиях железорудной отрасли – 23-30%.

Высокая энергоемкость продукции обуславливает актуальность повышения энергоэффективности на предприятиях минерально-сырьевого комплекса, в том числе на горных предприятиях угольной отрасли.

В настоящее время, как показывают результаты выполнения вышеприведенных задач, а также оценки экспертного сообщества, повышение энергоэффективности развивается по инерционному сценарию и имеет недостаточные темпы, что требует обеспечения инновационного сценария развития повышения энергоэффективности.

Повышение энергоэффективности включает в себя комплекс взаимосвязанных вопросов, касающихся решения исследовательских, опытно-конструкторских, внедренческих, организационных, управленческих, производственно-технологических, инвестиционных и иных задач, что определяет повышение энергоэффективности как важную межотраслевую научно-производственную проблему.

В научных исследованиях, касающихся энергосбережения и повышения энергоэффективности, рассматриваются вопросы режимов электропотребления, энергоемкости производственных процессов, экономии электроэнергии, оценки

факторов, обуславливающие эффективность электропотребления, создания экспертных систем энергетического менеджмента и др.

В исследованиях, в основном, рассматриваются технические аспекты процесса электропотребления, касающиеся энергосбережения и повышения энергоэффективности, и недостаточное внимание уделяется управленческим аспектам процесса электропотребления, обусловленным действиями персонала, участвующего в этом процессе.

В этой связи исследования процесса электропотребления как процесса, имеющего две основные компоненты – техническую и управленческую, связанную с действиями персонала, с целью научно-методического, информационно-аналитического, организационно-технологического обеспечения повышения энергоэффективности являются актуальными.

Объектом исследования диссертационной работы является процесс электропотребления вскрышных, добычных, отгрузочных горных работ предприятий угольной отрасли с открытой разработкой месторождений.

Предметом исследования является эффективность процесса электропотребления с учетом его «человеко-машинного» – эргатического характера.

Идея работы заключается в том, что инновационное повышение энергоэффективности должно базироваться на системном управлении процессом электропотребления, интегрирующим как техно-технологические аспекты, так и аспекты энергетического менеджмента.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса электропотребления вскрышных, добычных, отгрузочных горных работ на основе системного управления, включающего как техно-технологическое, так и программно-аналитическое, информационное, организационно-мотивационное обеспечение.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

- Анализ современного состояния эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли.
- Разработка методики исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли.
- Установление индивидуальных вероятностных свойств энерготехнологических параметров, индивидуальных энерготехнологических профилей вскрышных, добычных экскаваторных работ для применения в управлении эффективностью электропотребления.
- Установление обобщённых вероятностных свойств, обобщённых энерготехнологических профилей вскрышных, добычных, отгрузочных экскаваторных работ для применения в управлении эффективностью электропотребления.
- Исследование управления процессом электропотребления предприятий угольной отрасли для повышения энергоэффективности.
- Разработка на основе результатов выполненных исследований рекомендаций по повышению эффективности электропотребления предприятий угольной отрасли.

Методология и методы диссертационного исследования.

Теоретические и экспериментальные исследования выполнены с использованием методов теории электроснабжения промышленных предприятий, теории электропотребления, теории планирования эксперимента, теории вероятностей, теории математической статистики, теории энергетического менеджмента. При установлении вероятностных и энерготехнологических моделей процесса электропотребления использовались программные пакеты Statistica, Microsoft Office Excel.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций обеспечивается научно-обоснованной постановкой задач исследования, корректным применением современных методов вероятностного и статистического моделирования и подтверждается сходимостью результатов

исследования с результатами их практического использования в производственной практике.

Научные положения, выносимые на защиту, и их новизна:

1. Методические принципы исследования эффективности процесса электропотребления как «человеко-машинного» – эргатического процесса, учитывающие комплексное влияние энерготехнологических, организационных и информационно-аналитических факторов на повышение его эффективности.

2. Индивидуальные и обобщенные вероятностные модели энерготехнологических параметров, впервые полученные для различных технологических схем вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ.

3. Индивидуальные и обобщенные энерготехнологические профили, впервые установленные для различных технологических схем вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ.

4. Концептуальные принципы информационно-аналитического обеспечения повышения эффективности электропотребления и структура программно-аналитического комплекса по управлению энергоресурсами, разработанные впервые.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработаны методические принципы исследования эффективности процесса электропотребления, как «человеко-машинного» процесса, комплексно учитывающие энерготехнологические факторы и факторы, обусловленные деятельностью персонала, участвующего в процессе электропотребления.

2. Установлены индивидуальные и обобщенные модели, описывающие вероятностные свойства энерготехнологических параметров вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ.

3. Установлены индивидуальные и обобщенные энерготехнологические профили, обеспечивающие аналитическое описание для цифрового управления энергоэффективностью вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ.

4. Разработаны концептуальные принципы и структура программно-аналитического комплекса, позволяющие выполнять цифровое управление энергоэффективностью с объединением участников процесса электропотребления на базе единой организационно-информационно-аналитической платформы.

5. Разработана методика исследования управления процессом электропотребления с оценкой уровня развития составляющих энергетического менеджмента и интегрированием технических и управленческих аспектов повышения энергоэффективности.

6. Оценки статистических характеристик, вероятностные модели и энерготехнологические профили энерготехнологических параметров позволяют осуществлять планирование, оперативное управление и отчетность по эффективному потреблению электроэнергии при введении вскрышных, добычных, отгрузочных экскаваторных работ предприятий с открытой разработкой угля.

7. Разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить управление эффективностью потребления электроэнергии экскаваторных работ на предприятиях с открытой разработкой угля с применением программно-аналитических комплексов для повышения энергоэффективности.

Реализация работы. Методические положения исследования процесса электропотребления, как энергетического процесса, энерготехнологические профили энерготехнологических параметров вскрышных, добычных, отгрузочных работ, рекомендации по управлению энергоэффективностью использованы при разработке нормативно-технической документации и программно-аналитического комплекса по управлению энергетическими ресурсами систем энергетического менеджмента, внедренных на предприятиях Сибирской угольной энергетической компании.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: IX Всероссийская (с международным участием) научно-техническая конференция «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в

энергетике (г. Пермь, ФГБОУ ВО ПНИПУ, 2015 г.); Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона. (г. Санкт-Петербург, С-ПГЭУ «ЛЭТИ», 2015 г.); Ежегодные научные симпозиумы «Неделя-горняка» (г. Москва, ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», 2014-2017 гг.); Международная научно-практическая конференция «Альтернативная и интеллектуальная энергетика» (г. Воронеж, ФГБОУ «ВГГУ», 2018 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, библиографического списка, включающего 114 наименований и 3 приложений. Общий объем работы 215 стр., из которых 168 стр. основного текста, включая 20 рисунков, 39 таблиц.

Глава 1. Современное состояние эффективности процесса электропотребления промышленных предприятий угольной отрасли

1.1. Общие положения

Задачи повышения энергоэффективности промышленных предприятий, в т. ч. предприятий угольной отрасли, установлены программными документами [1-4], задающими цели, задачи, инструменты, целевые индикаторы, сроки, этапы, объемы финансирования, ожидаемые результаты реализации программ.

В качестве целевых показателей по повышению энергетической эффективности предприятий угольной промышленности предусматривается снижение удельных расходов на добычу и переработку угля (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Целевые показатели повышения энергоэффективности добычи и переработки угля

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Годы			
			2007	2013	2015	2020
1	Удельный расход энергоресурсов на добычу угля	кг.у.т./т	5,6	3,6	3,5	3,0
2	Удельный расход энергоресурсов на переработку угля	кг.у.т./т	5,0	4,3	4,2	3,8

Из данных таблицы следует, что за программный период снижение удельного энергопотребления должно составить: в добыче угля на 46%, в переработке угля на 36%.

Предприятия угольной отрасли характеризуются значительно отличающимися условиями, влияющими на объемы производства, энергопотребление и удельное энергопотребление, являющееся показателем энергоэффективности. Так условия залегания полезного ископаемого обуславливают вариацию значения коэффициента вскрыши от 0,5-1 до 7-8 и более. Это приводит к значительно отличающимся для отдельных предприятий объему переработанной горной массы, энергопотреблению и, как следствие,

удельному энергопотреблению. Климато-метеорологические условия, при более низких средних температурах окружающего воздуха, обуславливают повышение энергопотребления, как показывает опыт предприятий с открытой разработкой угля, до 20%.

В этой связи значения целевых показателей энергоэффективности для отдельных предприятий угольной отрасли могут значительно отличаться от приведенных в таблице 1.1.

В этом случае при обеспечении повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли целесообразно следовать тем трендам, которые задают значения целевых показателей в период с 2007 по 2020 годы. Указанные тренды в виде среднего ежегодного снижения удельного энергопотребления составляют: в добыче угля – 3,5%, в переработке угля – 2,8%.

В качестве целевого показателя в рассматриваемых программных документах определен потенциал энергосбережения, который в добыче и переработке угля должен составить 1,16 млн т.у.т., в структуре которого электроэнергия составляет 37%.

Современные условия, обуславливающие деятельность предприятий угольной отрасли, наряду с прочим, характеризуются: увеличивающейся конкуренцией; высокими энергетическими затратами на производство, доставку продукции потребителю; растущими тарифами на энергетические ресурсы; повышением экологических требований и др. Это выдвигает повышенные требования к энергоэффективности производства, снижению себестоимости продукции, в составе которой энергетические затраты составляют до 20-27%.

В числе мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности в рассматриваемых программных документах устанавливаются:

– добровольные и обязательные энергетические обследования энергопотребителей в сфере промышленного производства и других отраслях экономики, а также в бюджетной сфере с целью установления фактического

энергопотребления, определения потенциала повышения энергоэффективности, разработки энергосберегающих мероприятий;

– разработка и внедрение систем энергетического менеджмента с целью повышения уровня управления энергетическими ресурсами для повышения энергоэффективности;

– подготовка специалистов, повышение квалификации руководителей и специалистов в области управления энергетическими ресурсами, повышения энергетической эффективности.

Несмотря на значительное внимание к вышеуказанным вопросам, повышение энергоэффективности как промпредприятий, так и экономики в целом характеризуется инерционным, а не инновационным сценарием развития, что относится и к предприятиям угольной отрасли.

К числу основных причин, обуславливающих инерционный сценарий повышения энергоэффективности на предприятиях угольной отрасли, относятся:

– недостаточное обеспечение современным техническим учетом потребления электроэнергии;

– практическое отсутствие мониторинга показателей энергоэффективности, в том числе электропотребления, удельного электропотребления в реальном времени, особенно в местах значительных энергозатрат;

– недостаточный уровень аналитического описания процесса энергопотребления, его эффективности;

– невысокий уровень управления энергопотреблением, включая организационные, мотивационные, информационные и иные аспекты.

В этой связи решение вопросов, обеспечивающих инновационный путь повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли, является актуальной задачей.

В связи с вышеизложенным для оценки степени разработанности вопросов повышения энергоэффективности, обоснования и постановки задач диссертационной работы целесообразно выполнить обзор исследований,

посвященных эффективности энергопотребления, а также анализ эффективности электропотребления предприятий угольной отрасли.

1.2. Обзор исследований в области повышения эффективности электропотребления

Вопросы, касающиеся рационального использования энергетических ресурсов, постоянно являются предметом научных исследований. В эти исследования неотъемлемыми составными частями входят вопросы: режимов электропотребления; энергоемкости производства; повышения энергоэффективности; управления энергетическими ресурсами; планирования, нормирования, мониторинги энергопотребления; оценки и рационализации энергетических балансов и др.

Существенный вклад разработку вопросов повышения эффективности применения электроэнергии внесён отечественными учёными.

Одним из первых вопросы анализа электропотребления рассмотрел В.И. Вейц [29]. В этих исследованиях установлены взаимосвязи между электропотреблением и технологическими показателями производства.

Вероятностно-статистический подход к нормированию электропотребления развили Б.А. Константинов, П.П. Волобринский [53]. В их исследованиях применены расчетно-статистический и опытный методы для построения энергетических характеристик. Применение этих методов позволило повысить достоверность нормирования удельного расхода электроэнергии.

Методика анализа и нормирования электропотребления с применением методов математической статистики и теории вероятностей на базе моделирования энергетических характеристик как многомерных статистических зависимостей разработана в исследованиях Б.Н. Авилова-Карнаухова и Л.Г. Зюбровского [5].

В исследованиях А.Х. Сальникова и Л.А. Шевченко [100] обоснована система нормативных показателей и показателей экономии топливно-

энергетических ресурсов, используемых при планировании потребления топлива и энергии на различных уровнях управления экономикой, рассмотрены методы разработки показателей расхода и экономии топливно-энергетических ресурсов.

В работе А.В. Праховника, В.П. Розина, В.В. Дегтярева [94] выполнено исследование энергосберегающих режимов электроснабжения горнодобывающих предприятий. Рассматриваются вопросы, касающиеся моделирования графиков электрических нагрузок, планирования и регулирования режимов электропотребления горнодобывающих предприятий, оптимизации электропотребления, управления энергопотреблением. Большое внимание уделено вопросам выявления потребителей-регуляторов, оперативного прогнозирования нагрузок, управления режимами электропотребления угольных шахт, планирования нагрузок и нормирования электропотребления. Предложены варианты создания технических средств вычислительной техники, предназначенных для учёта, контроля и управления электропотреблением.

Методические вопросы экономии энергоресурсов отражены в исследованиях В.Е. Аракелова и А.И. Кремера [13]. Предложена система информационно-методического обеспечения для выявления резервов экономии энергетических ресурсов, обоснованы положения комплексного подхода к анализу энергоиспользования, составлению и рационализации энергобалансов.

Б.П. Белых, В.К. Олейников, И.С. Свердель [17, 18, 91] выполнили обоснование необходимости определения энергетических характеристик для каждого значимого по энергопотреблению приемника, механизма, агрегата. В исследованиях проведен анализ факторов, влияющих на электропотребление. Используя корреляционно-регрессионный метод, установлены закономерности электропотребления в зависимости от технологических параметров отдельных энергоёмких потребителей.

Задачам, связанным с планированием эксперимента с целью экономии энергоресурсов, посвящены исследования Ф.Г. Гусейнова и О.С. Мамедярова [45]. Установлено влияние качества электроэнергии на экономичность работы

электрических сетей и электроприемников, приведены экономические характеристики потребителей и экономичные режимы работы питающих сетей.

Исследование проблемы повышения энергоэффективности выполнено в работах В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелокова, М.Г. Ладыгичева [59, 60]. Выполнен анализ широкого круга вопросов, касающихся: мировоззренческих взглядов на энергосбережение; методов и способов анализа энергосбережения; обоснования, разработки мероприятий и рекомендаций по повышению энергоэффективности предприятий различных отраслей экономики.

Исследованию режимов электропотребления горных предприятий посвящены работы В.И. Щуцкого, А.В. Ляхомского, Н.А. Ковальчука и др. [61-79, 81, 105-109 и др.].

В указанных исследованиях процесс потребления электроэнергии рассматривался как случайный процесс на разных временных уровнях (смена, месяц, год). Для обработки массивов информации о факторах, влияющих на потребление электроэнергии, расчетов параметров электропотребления использованы методы многомерного анализа, методы теории распознавания образов, математической статистики, что позволило в условиях неопределенности и неполноты информации установить математические модели, наиболее адекватно описывающие режимы электропотребления горных предприятий.

Это позволило: разработать методологию оценки состояний и моделирования режимов электропотребления; выявить статистическую неоднородность режимов электрических нагрузок электроприемников горных предприятий; с использованием методов теории распознавания образов (разложение Карунена-Лозва, метод главных компонент) синтезировать математические модели неоднородных режимов электрических нагрузок; установить математические модели режимов электропотребления горных предприятий, отражающие временной, факторный и комбинированный аспекты их формирования. Указанные результаты: позволяют выполнять оценку режимов электрических нагрузок и электропотребления в условиях неопределенности и неполноты информации, с повышением адекватности оценки и точности расчета

электрических нагрузок; обеспечивают эффективный прогноз электропотребления горных предприятий.

Вопросам разработки метода анализа энергозатрат при открытой добыче полезных ископаемых, энергетической оценки систем открытой разработки полезных ископаемых, энергетического анализа развития техники и технологических процессов на карьерах посвящены исследования Ю.И. Анистратова и К.Ю. Анистратова [10].

Рассматривается «энергопоглощение» по процессам технологического потока: подготовка горных пород к выемке, выемка-погрузка, перемещение горной массы, отвалообразование. При этом «энергопоглощение» приводится к единице количества продукции, произведенной за рабочий цикл, характеризуя удельное энергопотребление. Приведены соответствующие аналитические выражения зависимостей удельного энергопотребления от влияющих на него факторов.

Авторы отмечают, что энергозатраты в себестоимости продукции горных предприятий могут достигать до 50%.

Результаты исследований рекомендовано применять при проектировании новых предприятий, анализе эффективности действующих для выбора возможных вариантов технологий и механизации горных работ по экономическим показателям с учетом энергозатрат.

Отмечая системность этих исследований по оценке энергоемкости, энергоэффективности процессов и работ на предприятиях с открытой разработкой, следует отметить, что аналитические выражения по оценке энергоемкости идентифицируют энергоэффективность как детерминированный процесс, не учитывая изменений энергопотребления во времени как случайного процесса.

Вопросы управления энергетическими ресурсами с целью обоснования и разработки систем энергетического менеджмента находятся в зоне повышенного внимания исследователей.

В работе В.И. Гордеева, И.Е. Васильева, В.И. Щуцкого [37] исследуются вопросы управления, прогнозирования электропотребления с рассмотрением методов и методик его анализа, синтеза прогнозных временных и факторных моделей.

В работах В.М. Гофмана и Ю.П. Миновского [42-83, 84, 85] рассматриваются методы и методики регулирования и экономии электроэнергии на угольных шахтах за счет нормирования потребления энергии, повышения эффективности электроснабжения, разработки и внедрения мероприятий по энергосбережению.

В работах Г.И. Бабокина, А.В. Ляхомского, Е.Н. Перфильевой и др. [14, 58-67 и др.] с целью исследования управления энергетическими ресурсами выполнены: моделирование многомерных закономерностей электропотребления при обогащении руд черных металлов и определены зоны оптимальных по энергоэффективности режимов электропотребления; оценка эффективности управления энергетическими ресурсами на горно-обогатительных предприятиях цветной, железорудной и алмазодобывающей отраслей; моделирование оценок энергетического менеджмента на промышленных предприятиях; разработка интегрированной системы управления энергоресурсами предприятий минерально-сырьевого комплекса.

В исследованиях Г.В. Никифорова, В.К. Олейникова, Б.И. Заславца [89, 90] разработана методика и выполнен анализ режимов энергопотребления металлургических предприятий с разработкой мероприятий по повышению уровня управления энергетическими ресурсами для обеспечения энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Анализ программных нормативных документов и выполнения целевых показателей повышения энергоэффективности на промышленных предприятиях выполнен в исследованиях Г.Я. Вагина, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютича, А.Б. Лоскутова [26-28]. В числе факторов, обуславливающих недостаточные темпы повышения энергоэффективности на промышленных предприятиях, приводятся: недостаточность аналитического обеспечения разработки нормативов по

потреблению энергетических ресурсов; невысокий уровень целевого энергетического мониторинга; недостаточность регулярности анализа информации о потреблении энергетических ресурсов и, как следствие, принятия решений по эффективности их использования; практическое отсутствие механизма «обратной связи» для улучшения мотивации персонала к повышению энергоэффективности; слабое использование бенчмаркинга для выстраивания процесса самосовершенствования предприятий в вопросах повышения энергоэффективности. Анализ рассматриваемых работ позволяет сделать вывод, что уровень энергоэффективности промышленных предприятий имеет значительный потенциал для повышения.

Рассмотрение особенностей и методологических принципов разработки систем энергетического менеджмента на промышленных предприятиях с целью эффективного управления энергосбережением проведено в работах В.И. Бирюлина, А.Н. Горлова, О.М. Ларина, Н.В. Хорошилова [20, 38]. В исследованиях обосновывается методологический подход к созданию экспертных систем энергетического менеджмента, выполняющих: анализ подготовленных исходных данных; автоматизацию части формализуемых операций, входящих в процедуру формирования, оценки и выбора решений задач энергосбережения. Вместе с этим в работе не приводятся взаимосвязи предлагаемой экспертной системы с организационно-производственной структурой промышленных предприятий.

Рассмотрение систем мониторинга с целью управления энергопотреблением выполнено в работе С.М. Волошина [33]. Обоснован функционал системы мониторинга энергопотребления, предложена архитектура системы контроля и управления энергопотреблением на основе Web-технологий, позволяющая осуществлять контроль, сбор и анализ информации о потреблении энергетических ресурсов. Вместе с этим требуется отметить, что для управления энергоресурсами недостаточно контролировать только энергетические параметры. С учетом того, что энергоэффективность характеризуется удельным энергопотреблением, то рассматриваемый мониторинг должен включать и контроль объемов продукции

(работ, услуг), и определение на основе энергетических и производственных показателей удельные расходы энергоресурсов. Для управления энергопотреблением в системе мониторинга должны присутствовать значения заданных (плановых) показателей удельного энергопотребления, синхронизированные со значениями фактического удельного энергопотребления за контролируемые интервалы времени (час, сутки и т. д.).

Вопросы информационного обеспечения энергетического менеджмента рассмотрены в работе А.И. Богоявленского, М.С. Бернера, Ю.В. Матюнина [21]. Авторы обосновывают создание на промышленных предприятиях автоматизированной информационно-измерительной системы учета энергетических ресурсов: позволяющей соотносить учет энергопотребления с административными границами подразделений; обеспечивающей приемлемую достоверность информации; распределяющей информацию по уровням принятия решений в соответствии с учетом структуры предприятия и состава энергоприемников. Приведены целевые показатели эффективности энергетического менеджмента для верхних уровней управления предприятия. Вместе с этим в разработанном информационном обеспечении энергоменеджмента не рассматривается связь между потреблением энергоресурсов и полученным эффектом от этого потребления.

Вопросы организации и внедрения системы управления энергоэффективностью промышленных предприятий в условиях региона рассмотрены в работе Д.Г. Закирова, А.А. Рыбина [50]. На основании системного подхода, отвечающего требованиям международного стандарта ISO-50001 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению», обоснована и предложена система управления энергопользованием, представляющая многоуровневую интерактивную динамическую систему. Обобщенная модель рассматриваемой системы на основе операционного подхода дает взаимосвязи между направлениями действий и их результатами с целью: управления энергосбережением, снижения энергоемкости выпускаемой продукции и экологизации производства промышленных

предприятий. Приведен алгоритм выполнения основных операций системы и положительный опыт деятельности промпредприятий в вопросах повышения энергоэффективности. Вместе с этим в статье при достаточно представительном организационном обеспечении управления энергосбережением, снижения энергоемкости недостаточно раскрываются вопросы, связанные с мотивационными, информационно-аналитическими аспектами энергетического менеджмента.

Выполненный обзор исследований в области повышения энергоэффективности показывает, что вопросы повышения энергоэффективности, касающиеся: анализа режимов, балансов электропотребления; планирования, нормирования, экономии потребления электроэнергии; управления энергоресурсами; методов способов энергосбережения, повышения энергоэффективности и иных аспектов – в определенной мере недостаточно учитывают «человеко-машинный» - эргатический характер процесса энергопотребления, рассматривают в большинстве случаев только технические, технологические стороны рассматриваемой проблемы.

Исследований по вопросам энергосбережения, повышения энергоэффективности, которые бы комплексно рассматривали аспекты, факторы, обуславливающие процесс энергопотребления как эргатический процесс, проведено явно недостаточно.

В этой связи целесообразно выполнить анализ состояния процесса энергопотребления предприятий угольной отрасли, включая вопросы как технической, так управленческой компоненты, обусловленной деятельностью персонала.

1.3. Анализ эффективности процесса энергопотребления предприятий угольной отрасли

Потребление электроэнергии является сложным процессом, включающим фазы генерации, распределения и преобразования её в различные виды энергии

(механическую, световую, тепловую и др.). Потребление электроэнергии происходит в основных и вспомогательных процессах, машинах, оборудовании, в процессе эксплуатации зданий, сооружений и пр. Процесс потребления электроэнергии происходит при участии персонала, обеспечивающего ведение указанных процессов, управление энергопотребляющими машинами и оборудованием. В этой связи электропотребление является эргатическим процессом, анализ эффективности которого требуется выполнять на основе рассмотрения как технической (машинной) компоненты, так и компоненты, обусловленной участием персонала.

Потребление электроэнергии связано с получением полезного эффекта в виде выполнения определенной работы, выпуска продукции, обеспечения требуемых условий эксплуатации. Оценка эффективности потребления электроэнергии определяется показателем энергоэффективности, представляющим собой отношение полезного эффекта к объему затраченной электроэнергии на получение этого эффекта. В практической деятельности предприятий используется показатель удельного расхода электроэнергии на единицу полезного эффекта (работы, продукции и т. д.), который является обратным по отношению к показателю энергоэффективности.

Так как показатель энергоэффективности связывает величины расхода энергетического ресурса и объемов полезного эффекта (объемов работ, объемов выпуска продукции), то при анализе эффективности использования электроэнергии требуется выполнение совместного анализа указанных величин.

На основе анализа деятельности предприятий угольной отрасли, проведенного для предприятий Кузбасского, Красноярского, Хакаского, Дальневосточного регионов, добывающих совместно более трети угля страны, получены характеризующие эффективность электропотребления показатели объемов выпуска продукции (добычи и переработки угля), электропотребления, удельных расходов электроэнергии на добычу, переработку угля, переработку горной массы, удельных финансовых затрат на добычу, переработку и долю затрат в себестоимости продукции, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Показатели, характеризующие эффективность электропотребления предприятий угольной отрасли

№ п/п	Предприятия	Показатели, характеризующие эффективность электропотребления						
		Объем добычи, переработки угля, тыс. тонн/год	Объем горной массы, тыс. м ³ /год	Объем электропотребления, МВт*ч/год	Удельный расход		Удельные затраты на добычу (переработку) руб./т	Доля затрат в себестоимости продукции, %
					На добычу, переработку угля, кВт*ч/т	На переработку горной массы кВт*ч/м ³		
1	Разрезы	1200 – 24400	13 000 – 59 500	35,5 – 63,5	2,8 – 15,8	1,2 – 3,4	3,5 – 23,1	7,4 – 15,0
2	Шахты	890 – 1140	-	14,6 – 18,2	7,3 – 70,5	-	13,0 – 22,1	2,3 – 7,4
3	Обогатительные фабрики	3400 – 5400	-	8,2 – 18,0	3,3 – 3,5	-	-	3,6 – 4,5

Из приведенных данных можно отметить значительную изменчивость анализируемых параметров:

1. Объемы добычи и переработки по отдельным предприятиям различаются весьма существенно. Так, для разрезов имеет место большая изменчивость объемов горной массы и добытого угля, для углеобогачительных фабрик – переработка угля, для шахт – объемы добычи угля имеют меньшую изменчивость.

2. Указанная изменчивость в объемах производства обуславливает различия в общем (до 2-х раз) и удельном (до 10-ти раз) электропотреблении. Большой разброс показателей удельного электропотребления характерен для шахт и разрезов, что, в первую очередь, связано с объемами производства и структурой условно постоянных и условно переменных составляющих электропотребления.

3. Имеют место существенные различия удельных финансовых затрат на добычу и переработку угля (выпуск продукции) (в 6,6 раза – для разрезов, в 1,7 раза – для шахт).

4. Доля затрат на электроэнергию в себестоимости продукции предприятий составляет в среднем: 15% – для разрезов, 7,4% – для шахт, 4,5% – для обогачительных фабрик.

Приведенные данные показывают значительные различия процесса электропотребления на угольных предприятиях, обусловленные спецификой горно-геологических, производственно-технологических, климато-метеорологических, организационно-управленческих условий их деятельности.

С учетом того, что, процесс электропотребления состоит из технической компоненты и компоненты, обусловленной участием персонала, рассмотрим их состояние на предприятиях угольной отрасли.

Анализ данных проведенных энергетических обследований угольных предприятий АО «СУЭК», обеспечивающих одну треть добычи угля страны, позволил сгруппировать энергосберегающие мероприятия в основные направления повышения энергоэффективности (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Направления повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли

Направления повышения энергетической эффективности	Доля в общем количестве энергосберегающих мероприятий, %
Снижение затрат на освещение производственных помещений и промышленных площадок за счет внедрения энергоэффективных источников света	20,8
Оптимизация режимов работы насосных установок за счет стабилизации напоров и уровней жидкости в емкостях и зумпфах	36,4
Повышение коэффициента мощности за счет улучшения качества электрической энергии	6,5
Снижение тепловых потерь в магистральных и распределительных сетях за счет высококачественных теплоизоляционных материалов	6,5
Повышение КПД котлов для выработки собственной тепловой энергии за счет их реконструкции и режимной наладки	2,6
Оптимизация выработки и потребления сжатого воздуха, систем приточно-вытяжной вентиляции	10,4
Обеспечение нормативно-расчетного планирования, инструментального учета и балансовой отчетности по энергопотреблению	16,8

Доля энергосберегающих мероприятий по электроэнергии составляет около 75% от общего числа мероприятий, что показывает актуальность повышения энергоэффективности за счет повышения эффективности применения электроэнергии.

Техническая компонента повышения эффективности электропотребления характеризуется вопросами: повышения к.п.д., улучшения коэффициента мощности, повышения коэффициента загрузки оборудования, снижения потерь энергоресурсов, повышения коэффициента готовности оборудования и др.

Компонента повышения эффективности электропотребления, обусловленная действиями персонала, характеризуется вопросами управления электропотреблением, связанными с организационными, мотивационными, информационными и иными аспектами менеджмента электроэнергии на предприятиях.

В настоящее время вопросы управления потреблением энергетических ресурсов, в том числе электроэнергией, осуществления их экономии, повышения энергоэффективности рассматриваются преимущественно как вопросы технических задач с явно недостаточным применением методов, способов управления, включающих результаты действий персонала. В этой связи на большинстве промпредприятий, в том числе на предприятиях угольной отрасли, результаты работы по энергосбережению и повышению энергоэффективности не столь существенны, какими бы могли быть.

На предприятиях угольной отрасли недостаточно внимания уделяется управленческому аспекту повышения энергоэффективности, в том числе эффективности электропотребления.

В числе причин, которые снижают, а в некоторых случаях препятствуют повышению энергоэффективности являются:

- недостаточная, а в некоторых случаях отсутствующая системность в управлении энергоресурсами;

- отсутствие у большей части персонала современных воззрений, знаний по вопросам управления энергоресурсами, невысокий уровень осознания важности повышения энергоэффективности;

- недостаточный уровень мотивационного обеспечения повышения энергоэффективности и, как следствие, низкая мотивация персонала в этой области;

- отсутствие современных информационно-аналитических систем, обеспечивающих контроль потребления энергоресурсов (интегрировано с основными техническими и финансовыми показателями производства) и предоставляющих участникам процесса энергопотребления информацию, позволяющую принимать решения по обеспечению энергоэффективности;

- недостаточная эффективность применения процедур технико-экономической оценки мероприятий по энергосбережению, оценок фактического возврата инвестиций в энергоэффективность;

– недостаточное инвестирование в энергоэффективность, осуществляемое зачастую по остаточному принципу.

В определенной степени приведенное выше подтверждают исследования, проведенные на предприятиях минерально-сырьевой отрасли [68] с помощью экспертного опроса специалистов предприятий (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Характеристика состояния аспектов управления энергоресурсами с целью повышения энергоэффективности

№ п/п	Вопросы	Ответы экспертов		
		Да	Нет	Затрудняюсь ответить
		%	%	%
1.	Удовлетворяет ли Вас работа по повышению энергоэффективности	11,1	77,8	11,1
2.	Что на Ваш взгляд затрудняет работу по повышению энергоэффективности:	-	-	-
2.1	Недостаточно эффективная энергетическая политика предприятия	50,0	16,7	33,3
2.2	Недостаточная организация работы по управлению энергоресурсами	55,5	16,7	27,8
2.3	Слабая мотивация персонала в области повышения энергоэффективности	61,1	22,2	16,7
2.4	Недостаточное информационное обеспечение при управлении энергоресурсами	61,1	22,2	16,7
2.5	Недостаточная пропаганда необходимости повышения энергоэффективности, снижения энергозатрат	61,1	11,1	27,8
2.6	Недостаточное инвестирование в энергоэффективность	66,2	16,7	16,7
3.	Будет ли способствовать повышению энергоэффективности, снижению энергозатрат внедрение Системы управления энергетическими ресурсами	74,2	-	26,8

Анализ представленных в таблице 1.4 данных показывает:

– по мнению значительного числа экспертов работа по повышению энергоэффективности является неудовлетворительной;

– в качестве недостаточности использования аспектов управления энергоресурсами с целью повышения энергоэффективности указываются: организационные, мотивационные, информационные, маркетинговые (пропаганда, повышение осознания, обучение) и инвестиционные аспекты.

На основании проведенного выше анализа эффективности электропотребления можно сделать вывод: существующее повышение энергоэффективности, в том числе эффективности электропотребления угольных предприятий, не обеспечивает выполнение целевых показателей государственных программ (таблица 1.1) в связи с инерционным сценарием развития. Для обеспечения инновационного сценария развития энергоэффективности предприятий угольной отрасли требуется, наряду с другими вопросами, решение вопросов по исследованию и обоснованию предложений по повышению уровня оценки, аналитического описания процесса электропотребления, как случайного процесса, а также вопросов по исследованию, обоснованию предложений по повышению уровня управления энергетическими ресурсами.

1.4. Обоснование и постановка задач исследования

Выполненный анализ проработанности вопросов повышения энергоэффективности показывает, что исследований, в которых выполнено комплексное рассмотрение аспектов, касающихся процесса электропотребления как эргатического («человеко-машинного») процесса, проведено недостаточно.

Процесс электропотребления как вероятностный эргатический процесс включает в себя как техническую компоненту, обусловленную потреблением электроэнергии в машинах, оборудовании, производственных процессах, так и компоненту, обусловленную действиями персонала, вовлеченного в процесс управления указанным электропотреблением – управленческую компоненту.

Предприятия угольной отрасли относятся к энергоемким предприятиям со значительной долей затрат на энергоресурсы в себестоимости продукции, достигающей 20%. С учетом того, что электроэнергия является одним из основных видов энергии на горных предприятиях, то повышение эффективности её применения является актуальным вопросом.

В настоящее время вопросы управления потреблением электроэнергии с целью повышения энергоэффективности, как и других видов энергии,

рассматриваются преимущественно в рамках решения технических задач с явно недостаточным вниманием к аспектам, обусловленным действиями персонала, участвующего в процессе электропотребления.

На основании изложенного в диссертационном исследовании сформулированы следующие задачи:

1. Разработать методику исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли как эргатического процесса.

2. Выполнить исследование процесса электропотребления предприятий угольной отрасли с установлением его вероятностных свойств и энерготехнологических профилей индивидуальных электроприемников для последующего применения в управлении эффективностью электропотребления.

3. Исследование процесса электропотребления с установлением обобщенных вероятностных свойств и обобщенных энерготехнологических профилей горных работ предприятий угольной отрасли для последующего применения в управлении эффективностью электропотребления.

4. Исследование управления процессом потребления электроэнергии предприятий угольной отрасли для повышения энергоэффективности.

5. Разработка рекомендаций по повышению эффективности электропотребления предприятий угольной отрасли.

Глава 2. Методика исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли

2.1. Исходные положения

Исследование эффективности электропотребления, характеризующееся удельным электропотреблением, должно быть неразрывно связано с мониторингом, оценкой, анализом расхода электроэнергии, а также мониторингом, оценкой и анализом объемов выпуска продукции, объемов выполняемых работ производственных процессов предприятия, на которые затрачивается электроэнергия.

Процесс электропотребления предприятий угольной отрасли обусловлен рядом групп факторов. В числе указанных групп основными являются горно-геологическая, климато-метеорологическая, производственно-технологическая, организационно-управленческая группы.

К числу факторов горно-геологической группы относятся: глубина залегания, мощность, гипсометрия полезного ископаемого; крепость, трещиноватость горных пород; обводненность месторождений; наличие взрывоопасных газов, пыли; иные факторы, которые обуславливают электропотребление.

Факторы климато-метеорологической группы обуславливают потребление электроэнергии, как на производственные процессы, так и на электроотопление, электрообогрев воздуха на вентиляцию, освещение, кондиционирование воздуха и др.

Факторы производственно-технологической группы: схема вскрытия, система разработки полезного ископаемого, технология производства, развитие горных работ с удалением рабочих мест от центров электропитания и иные – обуславливают электропотребление производственных процессов, отдельных работ.

Факторы организационно-управленческой группы включают информационные, организационные, мотивационные и иные факторы, обуславливающие влияние персонала на электропотребление при выпуске продукции, выполнении работ.

В этой связи процесс электропотребления на предприятиях угольной отрасли является сложным процессом, включающим разнообразные электропотребляющие объекты и персонал, который управляет электропотребляющими объектами. К электропотребляющим объектам следует отнести: предприятие в целом, его подразделения, места значительного потребления электроэнергии, а также оборудование, машины, механизмы, здания, сооружения и др.

К персоналу, который управляет электропотребляющими объектами, следует отнести: персонал, непосредственно управляющий электропотребляющими машинами, механизмами, технологическим и иным оборудованием (персонал рабочих профессий); персонал, ведущий производственные процессы и управляющий вышеуказанным персоналом (мастера); персонал, в ведении которого находятся производственные участки, цеха и указанный выше персонал (начальники участков, цехов); персонал предприятий, имеющий отношение к процессу электропотребления (специалисты, главные-специалисты, административно-управленческие работники); руководители предприятий.

В связи с вышеизложенным процесс электропотребления, с точки зрения его исследования с целью повышения энергоэффективности, следует отнести к «человеко-машинному» – эргатическому процессу, который включает две основные компоненты (составляющие): электропотребляющие объекты и персонал, участвующий в управлении электропотребляющими объектами. Для исследования указанных составляющих процесса электропотребления, целесообразно рассмотреть как технические аспекты (техническую компоненту), так и аспекты управления процессом электропотребления, связанные с действиями персонала (управленческую компоненту).

В связи с тем, что энергоэффективность представляет собой комплексное свойство, зависящее от объемов продукции, выполняемых работ и потребленной при этом электроэнергии, целесообразно, наряду с оценкой факторов, влияющих на расход электроэнергии, сделать оценку факторов, влияющих на объем выпуска продукции, выполняемых работ в условиях предприятий угольной отрасли.

Анализ показывает, что на деятельность предприятий угольной отрасли, связанной с выполнением работ в основных и вспомогательных процессах, влияют факторы рассмотренных выше групп, а именно: горно-геологической, климато-метеорологической, производственно-технологической, организационно-управленческой.

В этой связи схему формирования эффективности процесса электропотребления – удельного электропотребления можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 2.1.

На схеме горно-геологические, климато-метеорологические, производственно-технологические, организационно-управленческие факторы влияют на объемы выполняемых работ, выпуск продукции, а также на электропотребление при выполнении указанных работ и выпуска продукции, которые интегрировано (совместно) обуславливают энергоэффективность (удельное электропотребление) выполняемых работ, выпуска продукции.

Приведенную на рисунке 2.1 схему целесообразно использовать при разработке методических принципов исследования эффективности процесса электропотребления.

2.2. Методические принципы исследования эффективности процесса электропотребления

С учетом того, что процесс электропотребления, как «человеко-машинный» процесс, имеет две основных составляющих, исследование этого процесса должно включать исследование вопросов, влияющих на эффективность электропотребления как с технической, так и управленческой сторон.

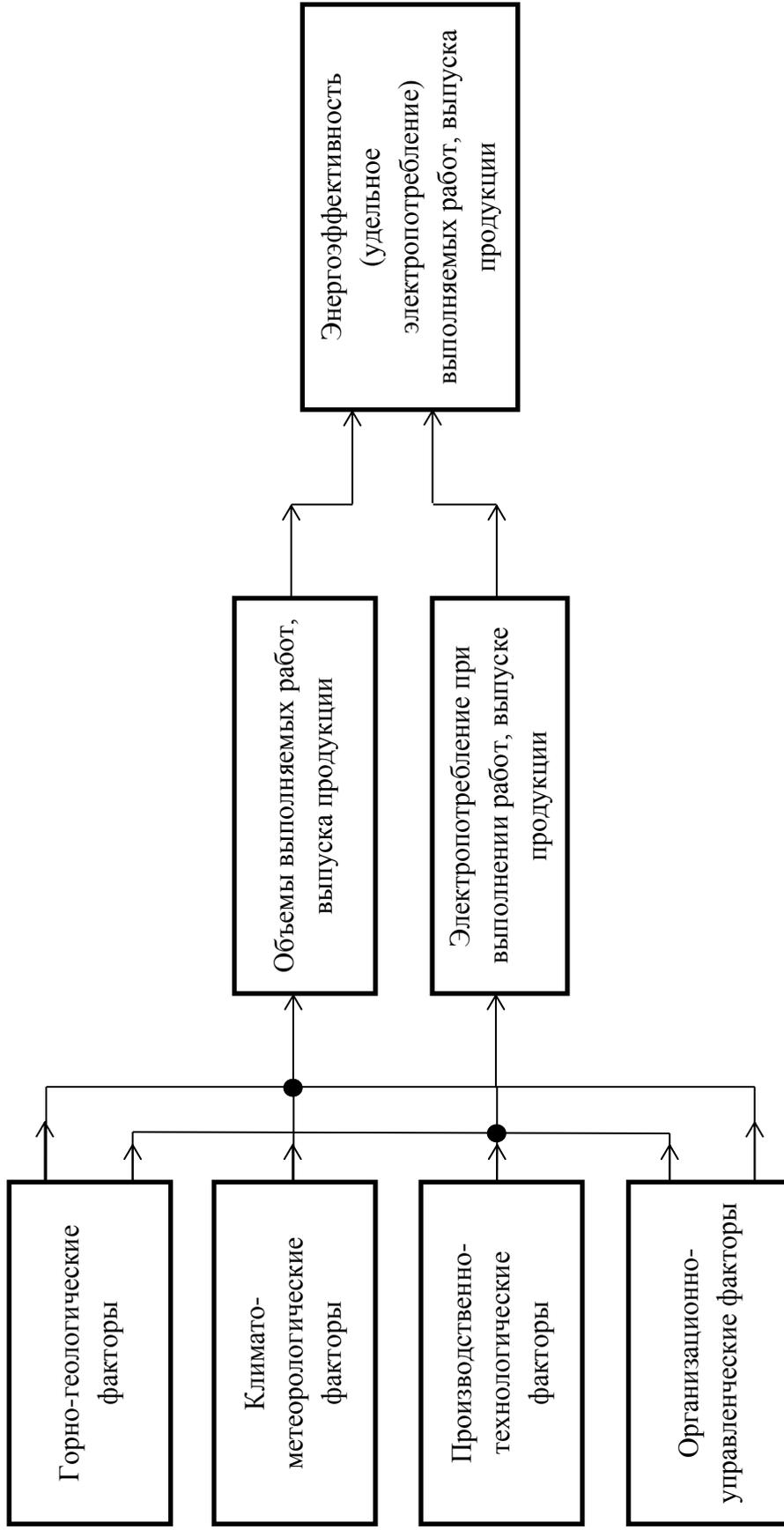


Рисунок 2.1 – Схема формирования эффективности процесса электропотребления выполняемых работ, выпуска продукции на предприятиях угольной отрасли

В этой связи при исследовании процесса электропотребления целесообразно опираться на следующие методические принципы:

1. Процесс электропотребления, характеризующийся режимами расхода электроэнергии на выпуск продукции, на выполняемые работы, является случайным процессом, для исследования которого требуется применить методы теории вероятностей и математической статистики.

2. Эффективность электропотребления, характеризующаяся удельным электропотреблением, требует при исследовании интеграции энергетических и технологических показателей, а именно: выпускаемого объема продукции, выполняемых объемов работ, а также электропотребления, которое связано с указанными объемами.

3. С учетом случайного характера величин, характеризующих процесс эффективности электропотребления (рисунок 2.1), для установления статистических характеристик, вероятностных закономерностей распределения указанных величин, их зависимостей друг от друга требуются экспериментальные данные, полученные в условиях действующих предприятий угольной отрасли.

4. С учетом того, что процесс электропотребления предприятий угольной отрасли зависит от значительного числа горно-геологических, климато-метеорологических, производственно-технологических, организационно-управленческих и иных факторов, то требуется дать оценку влияния указанных факторов на энергоэффективность.

5. Для определения степени развития управленческой компоненты процесса электропотребления требуется оценка уровня его управления в условиях действующих предприятий угольной отрасли.

6. Повышение уровня управления процессом электропотребления требует исследования информационно-аналитического обеспечения с анализом: мониторинга эффективности электропотребления; информационной обеспеченности персонала, участвующего в потребляющих электроэнергию работах, процессах; возможности оценки персоналом состояния режимов

электропотребления в соответствии с заданными параметрами эффективности электропотребления.

Вышеуказанные методические принципы позволяют разработать методику исследования процесса эффективности электропотребления.

2.3. Анализ причинных связей, обуславливающих эффективность электропотребления

Электропотребление, наряду с объемом выпускаемой продукции, выполняемых работ, является одним из параметров, который определяет эффективность применения электроэнергии. Электропотребление зависит от значительного числа совместно влияющих факторов, влияние которых имеет случайный характер и не всегда может быть оценено количественно. Вместе с этим достаточно затруднительно проконтролировать текущее изменение указанных факторов и связать их значения с текущим расходом электроэнергии для определения эффективности электропотребления. Это затрудняет определение зависимостей электропотребления от указанных факторов. Вместе с этим рассматриваемые факторы зачастую зависят друг от друга, что также обуславливает неопределенность при оценке их влияния на электропотребление.

Факторы, влияющие на электропотребление для наиболее энергоемкого процесса предприятий с открытой разработкой угольных месторождений – выемки-погрузки породы и полезного ископаемого, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Факторы, влияющие на энергопотребление процесса выемки-погрузки

№ п/п	Факторы	Характеристика	Параметры
1	2	3	4
1	Свойства горных пород	Мягкая (нескальная) Полускальная Скальная	Плотность – ρ_n – кг/м ³ ; Предел прочности на разрушение – σ_n – Па; Модуль упругости – E – Па
2	Свойства горной массы	Связанность Слѣживаемость Смерзаемость Заснеженность	Степень дробления – n – D_o/d_{cp}^*); Удельное сопротивление копанию k_c – кг/см ² ; Коэффициент разрыхления – k_p

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Факторы	Характеристика	Параметры
1	2	3	4
3	Свойства полезного ископаемого	Физическое состояние угля в пласте	Мощность пласта – м; Угол наклона – градус; Плотность угля – $\rho_{\text{уг}}$ – кг/м ³ ; Предел прочности на разрушение – $\sigma_{\text{уг}}$ – Па
4	Тип вскрыши	Бестранспортная Автотранспортная Железнодорожная	-
5	Тип добычи	Автотранспортная Железнодорожная Конвейерная	-
6	Параметры забоя	-	Высота уступа – $h_{\text{уст}}$, м; Высота черпанья – $h_{\text{ч}}$, м; Высота разгрузки – $h_{\text{р}}$, м
7	Состав выемочно-погрузочного оборудования	Мехлопаты Драглайны Роторные экскаваторы	-
8	Тип разгрузки	В отвал (склад) В а/самосвал В ж/д вагон На конвейер	-

*) D_0 – средний размер отдельностей в горном массиве;
 $d_{\text{ср}}$ – средний размер куска разрушенной породы.

Затраты электроэнергии, электроемкость процесса выемки-погрузки зависят от:

– свойств горных пород (нескальная, полускальная, скальная), характеризующихся плотностью, пределом прочности на разрушение, модулем упругости;

– свойств горной массы (связанность, слёживаемость, смерзаемость, заснеженность), характеризующихся степенью дробления, коэффициентом разрыхления, удельным сопротивлением копанию;

– свойств полезного ископаемого, характеризующихся мощностью пласта, углом наклона пласта, плотностью угля, пределом прочности на разрушение;

– типа вскрыши – бестранспортной, автотранспортной, железнодорожной;

– типа добычи – автотранспортной, железнодорожной, конвейерной;

– параметров забоя – высоты уступа, черпания, разгрузки;

- состава выемочно-погрузочного оборудования – мехлопаты, драглайны, роторные экскаваторы;

- типа разгрузки – в отвал (склад), в автосамосвалы, в железнодорожные вагоны (полувагоны), на конвейеры.

Влияние приведенных в таблице 2.1 факторов на электропотребление в общем виде сводится к следующему:

- Электропотребление выемки-погрузки при увеличении плотности, предела прочности на разрушение, модуля упругости горных пород (угля) монотонно возрастает.

- Увеличение степени дробления горной массы оказывает монотонно убывающее влияние на электропотребление при копании и монотонно возрастающее влияние на электропотребление при перемещении.

- Повышение удельного сопротивления копанию, коэффициента разрыхления, зависящие от степени дробления, слёживаемости, смерзаемости, заснеженности горной массы, монотонно увеличивают энергопотребление.

- Изменение физического состояния угля в пласте, параметры забоя влияют на электропотребление.

- Тип вскрыши, добычи влияет на соотношение времени работы и времени холостого хода выемочно-погрузочного оборудования, что в свою очередь, влияет на электропотребление.

- Состав выемочно-погрузочного оборудования, тип разгрузки влияют на непрерывность работ и определяют энергоёмкость выемочно-погрузочного процесса.

Вышеприведенный анализ показывает, что влияние рассматриваемых факторов на электропотребление многообразно и неоднозначно. Влияние факторов в некоторых случаях взаимозависимо. Вместе с этим параметры указанных факторов сами могут изменяться при изменении горно-геологических, климато-метеорологических, производственно-технологических, организационных и иных условий. В этой связи количественную оценку влияния указанных

факторов на электропотребление, для последующего практического использования выполнить затруднительно, а в некоторых случаях невозможно.

Таким образом, можно сделать вывод, что электропотребление как в рассмотренном технологическом процессе выемки-погрузки, так и в большинстве других горно-технологических процессах формируется в условиях неопределённости и неполноты информации.

В этой связи представляется целесообразным выделить несколько, так называемых, наиболее информативных факторов, которые в свою очередь зависят от рассматриваемых факторов. В этом случае эти факторы будут определять наиболее информативное влияние на электропотребление.

Электроэнергия на предприятиях угольной отрасли в основном используется в следующих направлениях:

- при преобразовании в механическую энергию для обеспечения работы электропотребляющего оборудования, машин, устройств, механизмов (электродвигательная нагрузка);
- при преобразовании в тепловую энергию для электрообогрева, подогрева воздуха, на вентиляцию (электротермическая нагрузка);
- при преобразовании в световую энергию (нагрузка световых приборов).

В настоящей диссертационной работе рассматриваются вопросы эффективного применения электроэнергии в электропотребляющем оборудовании, машинах, механизмах, выполняющих работу в основных производственных процессах, в которых потребляется до 85-93% электроэнергии угледобывающих предприятий с открытой разработкой.

Наиболее информативным фактором, который в обобщенном виде отражает влияние рассмотренных в таблице 2.1 факторов на электропотребление, целесообразно установить объем выполняемых работ.

В этом случае для целей исследования схему причинных связей между электропотреблением и влияющими на него факторами, в том числе организационно-управленческими факторами, можно представить в виде схемы на рисунке 2.2.

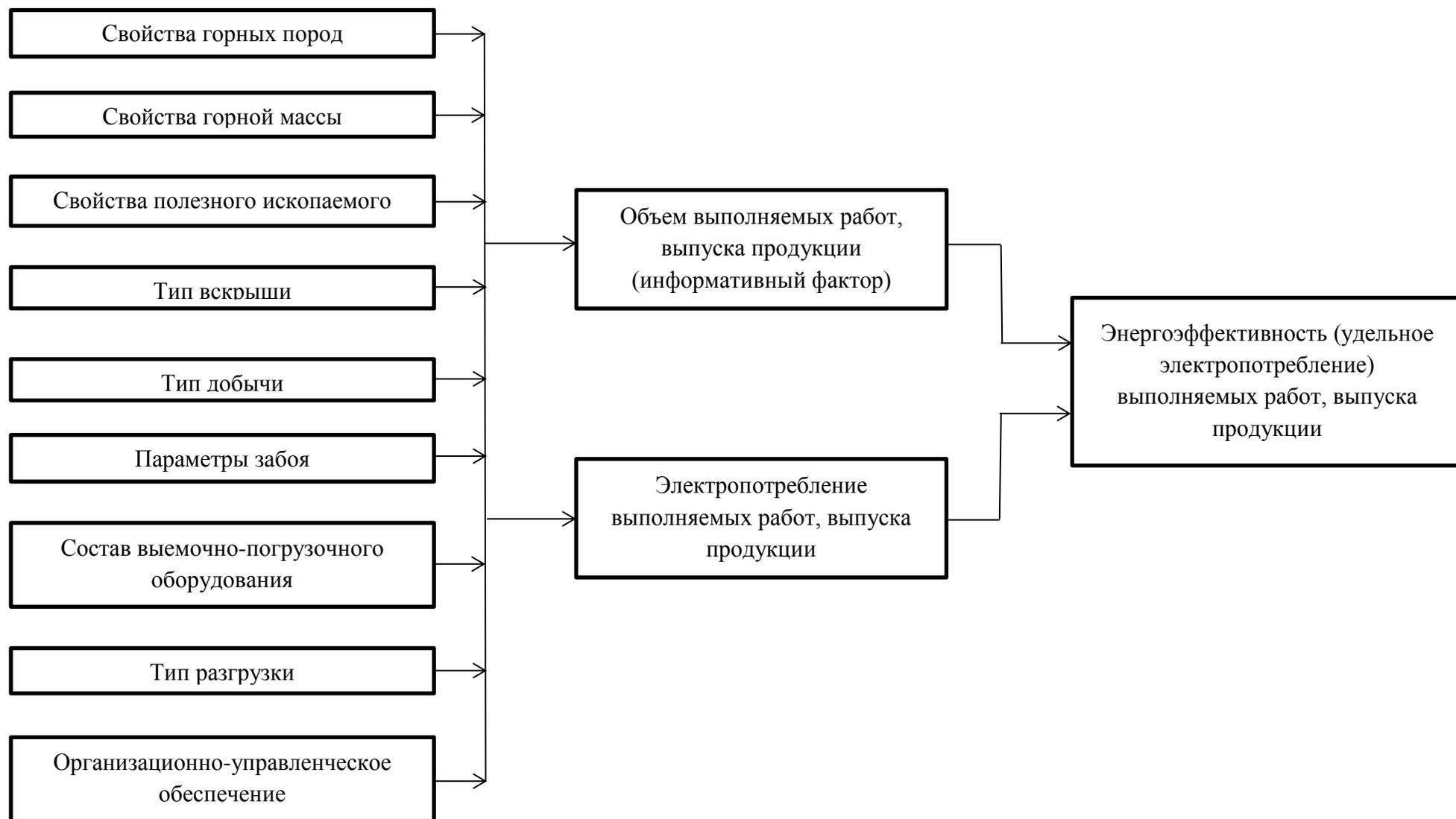


Рисунок 2.2 – Схема причинных связей, обуславливающих эффективность электропотребления предприятий угольной отрасли

В этом случае задача исследования эффективности электропотребления существенно упрощается за счет введения информативных факторов, в качестве которых приняты объем выполняемых работ, выпуска продукции, а также объем потребления электроэнергии при осуществлении указанных объемов, работ, выпуска продукции.

С учетом случайного характера формирования величин, определяющих объемы выполняемых работ, выпуска продукции, а также потребления электроэнергии, для их исследования требуются эмпирические данные, отражающие изменения указанных величин в условиях предприятий угольной отрасли.

В связи с изложенным выше для исследования эффективности процесса электропотребления требуется разработать методику экспериментального исследования потребления электроэнергии, а также методические принципы управления процессом электропотребления с целью повышения его эффективности.

2.4. Методика экспериментального исследования эффективности процесса электропотребления

2.4.1. Вероятностные свойства процесса электропотребления

С учетом того, что показатель эффективности процесса электропотребления – удельное электропотребление и определяющие его величины (объемы выполняемых работ, выпуска продукции и расхода электроэнергии на производство указанных объемов) имеют случайный характер, то для их аналитического описания требуется определение их статистических характеристик. В числе указанных статистических характеристик целесообразно определить: среднее значение (математическое ожидание), медиану, моду, дисперсию, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрию, эксцесс. Вместе с этим требуется установить законы распределения

указанных случайных величин для оценки, принятия решений об устойчивых уровнях их значений, об устойчивых диапазонах их изменений, достоверности их оценки.

С учетом случайного характера рассматриваемых величин для исследования необходимы статистические выборки фактических данных об объемах выполняемых работ и расходах электроэнергии на эти работы в условиях действующих горных предприятий. С этой целью требуется провести экспериментальное исследование режимов работы электропотребляющих объектов. В качестве электропотребляющих объектов целесообразно рассмотреть как технические объекты (экскаваторы, выемочные комплексы), так и организационно-производственные объекты (производственные участки, смены).

Схема исследования вероятностных свойств процесса электропотребления приведена на рисунке 2.3.

В результате мониторинга за режимами работы электроприемников в качестве наблюдаемых параметров выступают объемы выполняемых работ (Q) и связанное с этими объемами потребление электроэнергии (W). Используя указанные параметры, путем деления W на Q находится удельное электропотребление (w). Таким образом, формируются базы данных и статистические выборки параметров, характеризующих случайный характер, как объемов выполняемых работ, так и электропотребления на эти работы, а также удельного электропотребления.

Статистические выборки должны характеризовать типичные условия работы электропотребляющих объектов, в том числе:

- для технических объектов: вид, марка оборудования (экскаваторы, добычные комплексы и др.); вид выполняемых работ (вскрышные, добычные и др.); типы работ (бестранспортные, автотранспортные, конвейерные); временные периоды работы (смена, сутки и др.);
- для организационно-производственных объектов: временные периоды работы, специфические условия работы и др.

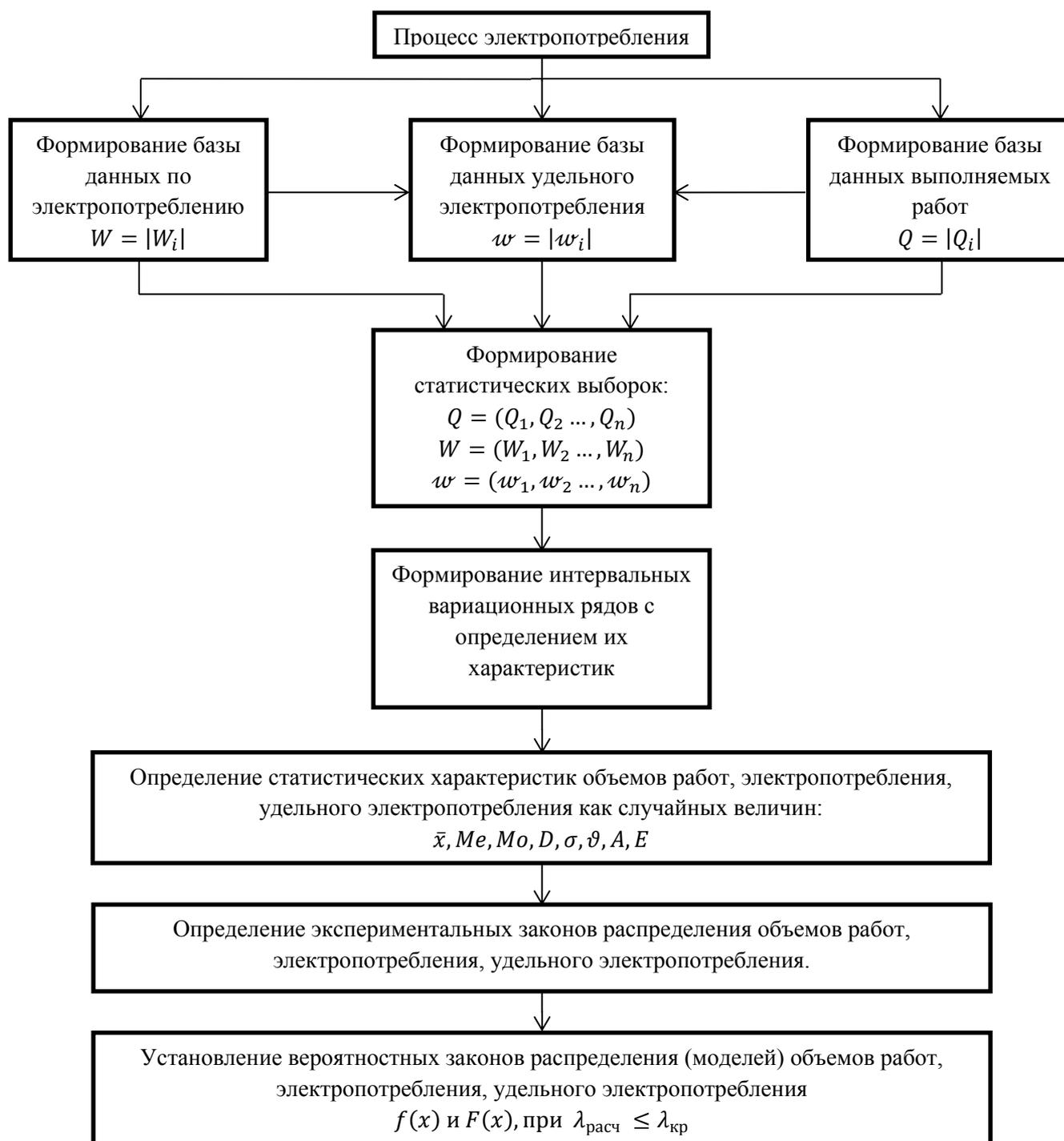


Рисунок 2.3 – Схема исследования вероятностных свойств процесса электропотребления

Типизация электропотребляющих объектов и условий их работы приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Типизация электропотребляющих объектов и условий их работы при исследовании эффективности электроэнергии

№ п/п	Электропотребляющие объекты (места значимого электропотребления)	Электропотребляющие работы	Электропотребляющие машины, оборудование. Участки, комплексы	Горно-геологические условия			Информативные факторы		
				Способ разработки, переработки	Добыча		Порода, концентрат вскрыши	Показатель	Временной интервал мониторинга
					Вид угля	Мощность пласта			
1.	Технические, в том числе:								
1.1 1.2	Машины Оборудование	Горные работы (вскрыша, добыча, отгрузка)	1. Экскаваторы (по типам, маркам) Мехлопаты, Драглайны, Роторные экскаваторы 2. Добычные комплексы	1. Открытый 2. Подземный	1. Каменный 2. Бурый	1. Мощные 2. Средние 3. Тонкие	1. Скальные 2. Полускальные 3. Нескальные	1. Объем выполняемых работ (т, м ³) 2. Электропотребление (кВт*ч) 3. Удельное электропотребление (кВт*ч/т, м ³)	Смена
2.	Организационно-производственные								
2.1	Участки, цеха (комплексы)	1. Отдельные горные работы 2. Комплексы работ	Участки вскрыши: - бестранспортной; - автотранспортной Участки добычи Добычные комплексы	1. Открытый 2. Подземный	1. Каменный 2. Бурый	1. Мощные 2. Средние 3. Тонкие	1. Скальные 2. Полускальные 3. Нескальные	1. Объем выполняемых работ (т, м ³) 2. Электропотребление (кВт*ч) 3. Удельное электропотребление (кВт*ч/т, м ³)	1. Смена 2. Сутки 3. Месяц 4. Квартал 5. Год
2.2	Организации, предприятия	Выпуск продукции		1. Открытый 2. Подземный 3. Обогащение	1. Каменный 2. Бурый	1. Мощные 2. Средние 3. Тонкие	Коэффициент вскрыши	1. Объем выпуска продукции 2. Электропотребление (кВт*ч) 3. Удельное электропотребление (кВт*ч/т, м ³)	1. Месяц 2. Квартал 3. Год

В этом случае при исследовании электропотребления получаем для каждого электропотребляющего объекта статистические выборки наблюдаемых величин:

$$x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n), \quad (2.1)$$

где x – наблюдаемые величины.

В рассматриваемом исследовании в качестве наблюдаемых величин выступают:

Q – объем выполняемой работы (т, м³);

W – потребление электроэнергии (кВт · ч);

w – удельное электропотребление (кВт · ч/т, кВт · ч/м³).

Число членов статистических выборок должно позволять получать оценки статистических характеристик с уровнем доверительной вероятности не ниже, чем 0,90. Число членов выборки наблюдаемого параметра должно быть не меньше числа, определяемого по выражению:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (2.2)$$

где σ^2 – дисперсия наблюдаемой случайной величины $x(Q, W, w)$;

Δ – предельная ошибка выборки, характеризующаяся наибольшим отклонением выборочной средней от генеральной средней при заданной доверительной вероятности β ;

t – значение случайной величины, при котором нормальная функция распределения $\Phi(x)$ равна выбранной доверительной вероятности β .

Для первоначальной оценки наблюдаемых величин из статистических выборок формируются интервальные вариационные ряды (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Интервальный вариационный ряд наблюдаемой величины

№ интервала	Границы интервала	Середина интервала	Частота попадания в интервал	Частость	Накопленная частота
1	2	3	4	5	6
1	$x_{1 \min} - x_{1 \max}$	x_1	n_1	n_1/n	n_1/n

Продолжение таблицы 2.3

№ интервала	Границы интервала	Середина интервала	Частота попадания в интервал	Частость	Накопленная частота
1	2	3	4	5	6
2	$x_{2 \min} - x_{2 \max}$	x_2	n_2	n_2/n	$(n_1 + n_2)/n$
3	$x_{3 \min} - x_{3 \max}$	x_3	n_3	n_3/n	$(n_1 + n_2 + n_3)/n$
.
.
.
m	$x_{m \min} - x_{m \max}$	x_m	n_m	n_m/n	$\sum n_i/n$
			$n = \sum n_i$ *)	$\sum n_i/n = 1$	

*) i – номер интервала, $i = (1, 2, \dots, m)$.

При первоначальной оценке определяются экспериментальные распределения наблюдаемых величин: распределение плотности вероятности $P(x)$ (значения столбца 5, соответствующие серединам интервалов столбца 3) и распределение вероятности $F(x)$ (значения столбца 6, соответствующие серединам интервалов столбца 3). Указанные распределения вероятностей графически отображаются в виде гистограмм, характеризующих плотность распределения и кумулянт, характеризующих накопленную вероятность наблюдаемой величины.

Анализ гистограмм позволит определить характер распределения наблюдаемых величин (симметричность, моно-поли-modalность, U-образность и др.), который, в свою очередь, позволит, с одной стороны, определить, подтвердить физическую картину формирования наблюдаемой величины как случайной величины, с другой стороны, осуществить более точную оценку её статистических характеристик.

Оценку вышеуказанных статистических характеристик наблюдаемых величин следует выполнять на основе сформированных выборок и их интервальных рядов по следующим выражениям [22-25, 30, 31 35, 96-98 и др.].

Среднее значение наблюдаемой величины x

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.3)$$

где x_i – значение наблюдаемой величины (объема выполняемых работ, расхода электроэнергии, удельного электропотребления) в сформированных выборках;
 n – число членов (отдельных значений) выборок.

Медиана наблюдаемой величины x

$$Me = x_{med(min)} + h \frac{\frac{\sum n_i}{2} - M_{med-1}}{m_{med}}, \quad (2.4)$$

где $x_{med(min)}$ – нижняя граница медианного интервала;

M_{med-1} – накопленная частота интервала, предшествующего медианному;

m_{med} – частота медианного интервала;

h – оптимальная величина интервала интервального ряда,

$$h = \frac{x_{max} - x_{min}}{1 + 3,2 \log n}. \quad (2.5)$$

Мода наблюдаемой величины x

$$Mo = x_{mod(min)} + h \frac{m_{mod} - m_{mod-1}}{(m_{mod} - m_{mod-1}) + (m_{mod} - m_{mod+1})}, \quad (2.6)$$

где $x_{mod(min)}$ – нижняя граница модального интервала;

m_{mod} – частота модального интервала.

Среднеквадратическое (стандартное) отклонение наблюдаемой величины x

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (2.7)$$

в случае $n > 100$ в знаменателе выражения (2.7) допустимо использовать n .

Коэффициент вариации наблюдаемой величины x

$$\vartheta_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}. \quad (2.8)$$

Асимметрия распределения наблюдаемой величины x

$$A = \frac{\alpha_3^0}{\delta^3}, \quad (2.9)$$

где α_3^0 – начальный момент третьего порядка наблюдаемой величины x ;

δ^3 – центральный момент третьего порядка наблюдаемой величины x .

Экссесс распределения наблюдаемой величины x

$$E = \frac{\alpha_4^0}{\delta^4} - 3, \quad (2.10)$$

где α_4^0 – начальный момент четвертого порядка наблюдаемой величины x ;

δ^4 – центральный момент четвертого порядка наблюдаемой величины x .

Объем выполняемой работы как случайной величины при ведении горных работ в соответствии с действующими на предприятиях регламентами формируется в следующих условиях:

1. Число факторов, влияющих на объем выполняемой работы, значительно (схема рисунка 2.2).

2. Указанные факторы действуют случайным образом.

3. Каждый из указанных факторов не обладает превалирующим влиянием на объем выполняемой работы.

В этих условиях допустимо предположить и сформулировать нулевую гипотезу H_0 , что распределение вероятностей объема выполняемой работы подчиняется нормальному закону распределения.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (2.11)$$

где $f(x)$ – функция плотности распределения вероятности.

Проверку нулевой гипотезы можно выполнить с помощью критерия согласия путем определения области принятия гипотезы, при которой можно принять выдвинутую гипотезу. В качестве критерия согласия применим критерий Колмогорова ($\lambda_{кр}$).

При выполнении работ могут возникнуть аномальные условия, связанные с превалирующим действием каких-либо из указанных факторов, что скажется на

резком отклонении отдельных значений объема выполняемой работы в выборке от среднего значения. В этом случае следует определить, являются ли указанные значения «промахами» и не принадлежат (не соответствуют) условиям формирования нормального закона распределения.

Здесь выполняется приведение полученного закона распределения плотности вероятности с известными значениями \bar{x} , σ_x к стандартному нормальному распределению, переходя к переменному

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x}. \quad (2.12)$$

Затем, требуется установить диапазон изменения параметра x_i , соответствующий условиям устойчивой работы в соответствии с действующими регламентами (например, 90%, т. е. девяносто процентов значений будут попадать в диапазон, симметрично расположенный относительно среднего). После этого по таблице стандартного нормального распределения для вероятности (учитывая, что таблица, ввиду симметричности стандартного нормального распределения, дана только для положительной области) находим значения $\pm z$, по которым по выражению (2.12) находим наименьшее x_{min} и наибольшее x_{max} значение по выражениям

$$\begin{aligned} x_{min} &= \bar{x} + (-z)\sigma, \\ x_{max} &= \bar{x} + z\sigma \end{aligned} \quad (2.13)$$

Значения статистической выборки, имеющей значения $x_i < x_{min}$ и $x_i > x_{max}$ исключаются из статистической выборки объема выполняемой работы как «промахи». При это проводится пересчет статистических характеристик объема выполняемой работы. Вместе с этим из выборок электропотребления W и удельного электропотребления w исключаются значения, соответствующие исключенным значениям объема работ.

Таким образом, преобразованные выборки будут более адекватно отражать вероятностные свойства электропотребления выполняемых работ.

2.4.2. Энергетические профили выполняемых работ

Энергетические профили, представляющие статистические зависимости энергетических показателей от объема выполняемых работ, позволяют повысить уровень аналитического описания процесса электропотребления с целью управления им для повышения энергоэффективности.

С учетом принятых информативных факторов, влияющих на электропотребление, в качестве энергетических профилей целесообразно рассмотреть энерготехнологические профили, представляющие зависимости показателей электропотребления (полного и удельного) от объемов работ.

Установление указанных энерготехнологических профилей можно осуществить с применением методов регрессионного анализа на основе сформированной базы эмпирических данных, характеризующих объемы выполняемых работ выпуска продукции и электропотребление, затрачиваемое на выполнение указанных объемов.

На предприятиях угольной отрасли с открытой разработкой наиболее значимыми местами электропотребления являются вскрышные и добычные работы с применением электрических экскаваторов. В этой связи целесообразно установить энерготехнологические профили для различных видов работ, а также различных типов и марок экскаваторов.

Установление энерготехнологических профилей (зависимостей электропотребления от объемов работ) целесообразно выполнить для мест значимого электропотребления – электропотребляющих объектов, типизированных в таблице 2.3, так как этими объектами потребляется преобладающая доля электроэнергии.

Предварительное рассмотрение диаграмм рассеяния эмпирических данных электропотребления и удельного электропотребления позволяет допустить, что зависимости электропотребления (W и w) от объема (Q) работ могут быть представлены линейной зависимостью вида [22-25, 46, 48, 92, 99 и др.]

$$\begin{aligned} W &= b_0 + b_1 \cdot Q, \\ w &= b_0 + b_1 \cdot Q, \end{aligned} \quad (2.14)$$

где b_0 и b_1 – коэффициенты соответствующего уравнения.

В соответствии с методом наименьших квадратов, позволяющем минимизировать сумму квадратов отклонений значений, полученных по (2.14), от эмпирических значений выборок. Значения коэффициентов b_0 и b_1 определяются по выражениям

$$b_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot W_i - \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \sum_{i=1}^n W_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^2 - (\sum_{i=1}^n Q_i)^2} \quad (2.15)$$

$$b_0 = \bar{W} - b_1 \cdot \bar{Q}, \quad (2.16)$$

где Q_i, W_i – эмпирические данные, характеризующие объемы работ и соответствующее им электропотребление, в соответствии с (2.1);

n – число членов статистической выборки.

Связь между технологическим параметром Q (предиктором) и энергетическим параметром W (откликом) определяется коэффициентом корреляции r_{WQ} по выражению

$$r_{WQ} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot W_i - \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \sum_{i=1}^n W_i}{\sqrt{[n \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^2 - (\sum_{i=1}^n Q_i)^2][n \cdot \sum_{i=1}^n W_i^2 - (\sum_{i=1}^n W_i)^2]}} \quad (2.17)$$

Для коэффициента корреляции (2.17) требуется оценка его статистической значимости, которая проводится с применением t-критерия Стьюдента, расчетное значение которого определяется по выражению

$$t_{\text{расч}} = \frac{r_{WQ} \sqrt{n - m - 1}}{\sqrt{1 - r_{WQ}^2}}, \quad (2.18)$$

где n – число членов в выборке;

m – число предикторов в выражении (2.14).

При принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$ по таблицам критических точек распределения Стьюдента определяется критическое значение $t_{\text{крит}}$.

Если $|t_{\text{расч}}| \geq t_{\text{крит}}$, то коэффициент корреляции признается статистически значимым. В противном случае коэффициент корреляции считается статистически незначимым, и выявленная связь между W и Q не может быть признана.

Определение доли вариации электропотребления W от объема работ Q выполняется с помощью коэффициента детерминации R^2 , который рассчитывается по выражению

$$R^2 = (r_{WQ})^2, \quad (2.19)$$

где r_{WQ} – коэффициент корреляции между Q и W .

В случае нелинейной регрессионной связи теснота связи определяется коэффициентом – индексом корреляции

$$\rho = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (w_i - \hat{w}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2}}, \quad (2.20)$$

где \hat{w}_i – значения электропотребления по выражению 2.14;

\bar{w} – среднее значение электропотребления выборки.

Проверка статистической значимости коэффициента детерминации R^2 выполняется с помощью F-критерия Фишера, определяемого по выражению

$$F_{\text{расч}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \frac{n - m - 1}{m}, \quad (2.21)$$

где n – объем выборки;

m – число независимых переменных (в случае парной корреляции $m = 1$).

Коэффициент детерминации признается статистически значимым, если выполняется условие

$$F_{\text{расч}} \geq F_{\text{табл}}, \quad (2.22)$$

где $F_{\text{табл}}$ – значение F-критерия Фишера, определяется по таблице значений распределения Фишера-Снедекора (таблица F-распределения) при уровне значимости α и для степеней свободы $df_1 = m$ и $df_2 = n - m - 1$.

В случае, если $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, то коэффициент детерминации R^2 не является статистически значимым и не может служить в качестве оценки доли вариации электропотребления W , зависящей от объема выполненных работ Q .

Вместе с этим целесообразно выполнить интервальную оценку коэффициента корреляции, показывающую с принятой доверительной вероятностью (надежностью) $\gamma = 1 - \alpha$ его верхнюю и нижнюю границы изменения.

В этом случае

$$r_{\min WQ} < r_{WQ} < r_{\max WQ}, \quad (2.23)$$

где $r_{\min WQ}, r_{\max WQ}$ – соответственно, нижняя и верхняя границы доверительного интервала.

$$r_{\min WQ} = r_{WQ} - m_r t_{\text{табл}}; \quad (2.24)$$

$$r_{\max WQ} = r_{WQ} + m_r t_{\text{табл}},$$

где m_r – стандартная ошибка коэффициента корреляции;

$t_{\text{табл}}$ – табличное значение t-критерия Стьюдента при принятой надежности $\gamma = 1 - \alpha$ и числе степеней свободы $df = n - m - 1$.

Стандартная ошибка коэффициента корреляции определяется по выражению

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - r_{WQ}^2}{n - m - 1}}. \quad (2.25)$$

Для характеристики точности установленных зависимостей электропотребления от объемов выполняемых работ (2.14) следует оценить среднюю относительную ошибку аппроксимации по выражению

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{W_i - \widehat{W}_i}{W_i} \right| \times 100\%. \quad (2.26)$$

Точность установленных зависимостей (энерготехнологических профилей) (2.14) оценивается в следующем порядке (шкала Чеддока):

при значении \bar{A} – менее 10% – точность высокая;

- 10-20% – точность хорошая;
- 20-50% – удовлетворительная;
- более 50% – неудовлетворительная.

Вместе с этим вывод о статистической значимости установленных зависимостей проводится по оценке статистической значимости коэффициента детерминации.

Для оценки статистической значимости параметров b_0 и b_1 зависимостей (2.14) требуется определить расчетные значения t-критерия Стьюдента по выражениям

$$\begin{aligned} t_{b_0} &= \left| \frac{b_0}{m_{b_0}} \right|; \\ t_{b_1} &= \left| \frac{b_1}{m_{b_1}} \right|, \end{aligned} \quad (2.27)$$

m_{b_0}, m_{b_1} – средние квадратические ошибки, соответственно, параметров b_0 и b_1 .

Средние квадратические ошибки параметров b_0 и b_1 определяются по выражениям

$$m_{b_0} = \sqrt{\frac{\sum (W_i - \widehat{W}_i)^2}{(n-2)} \times \frac{\sum Q_i^2}{n \sum (Q_i - \bar{Q})^2}}; \quad (2.28)$$

$$m_{b_1} = \sqrt{\frac{\sum (W_i - \widehat{W}_i)^2}{(n-2) \sum (Q_i - \bar{Q})^2}}. \quad (2.29)$$

Табличное значение критерия $t_{\text{табл}}$ находится по таблице критических значений Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $df = n - m - 1$.

Статистическая значимость коэффициентов b_0 и b_1 с вероятностью ошибки признается в случае $t_{b_j} \geq t_{\text{табл}}$.

Полученные по зависимости (2.14) значения \widehat{W}_i отличаются от W_i на определенную величину ε , т. е.

$$W_i = \widehat{W}_i + \varepsilon_i. \quad (2.30)$$

Для выполнения условий определения коэффициентов зависимости (2.14) по методу наименьших квадратов должны выполняться требования теоремы

Гаусса-Маркова для математического ожидания остатков $M(\varepsilon_i) = 0$, что на практике допустимо при среднем значении остатков $\bar{\varepsilon}$ близким к нулю. Таким образом, требуется, чтобы

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i}{n} \approx 0. \quad (2.31)$$

Вместе с этим для разных значений W_i остатки ε_i должны быть некоррелированными.

Выполнение требования независимости остатков проверяется с применением критерия Дарбина-Уотсона (о наличии в остатках автокорреляции первого порядка) путем расчета статистики $d_{\text{расч}}$ по выражению

$$d_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum \varepsilon_i^2}. \quad (2.32)$$

Значение статистики $d_{\text{расч}}$ должно находиться в диапазоне $0 \leq d_{\text{расч}} \leq 4$.

Для оценки степени влияния технологического фактора – объема выполняемых работ (Q) на удельное электропотребление (w) целесообразно определить средний коэффициент эластичности, который показывает, на сколько процентов изменяется среднее удельное электропотребление (\bar{w}) при изменении среднего объема выполняемых работ (\bar{Q}) на один процент.

$$\bar{\varepsilon} = b_1 \frac{\bar{Q}}{\bar{w}}, \quad (2.33)$$

где b_1 – коэффициент при Q в выражении (2.14);

\bar{Q} , \bar{w} – среднее значение, соответственно, объема выполняемых работ и удельного электропотребления.

Вместе с изложенными выше методическими положениями имеет место задача моделирования обобщенных вероятностных и энерготехнологических профилей для одноптипных экскаваторов одинаковых марок, выполняющих одни и те же горные работы в условиях разных предприятий. В этом случае требуется определить отсутствие значимых различий между выборками энерготехнологических параметров указанных экскаваторов для различных

предприятий, которое можно выполнить с помощью непараметрического критерия Ван-дер-Вардена [104].

В этом случае определяется расчетное значение критерия Ван-дер-Вардена

$$X_{\text{эмп}} = \sum_{i=1}^{n=2} \psi \left(\frac{R_i}{n_1 + n_2 + 1} \right), \quad (2.34)$$

где ψ – квантиль стандартного нормального закона;

R_i – ранг i -го наблюдения одной из выборок;

n_1 и n_2 – число членов первой и второй выборок.

Проверка гипотезы об отсутствии различий между указанными выборками проводится на основании сравнения расчетного значения $X_{\text{эмп}}$ и критического значения $X_{\text{кр}}$ критерия Ван-дер-Вардена, которое определяется по таблице критических значений указанного критерия.

В случае, когда $X_{\text{эмп}} \leq X_{\text{кр}}$, то гипотеза об отсутствии различий принимается.

Проверив выполнение нулевой гипотезы об отсутствии различий между указанными выборками, проводится их объединение в обобщенные выборки, по которым определяются обобщенные вероятностные и энерготехнологические профили экскаваторных работ.

2.5. Методические принципы исследования управления электропотреблением с целью повышения энергоэффективности

2.5.1. Исходные положения

Повышение энергоэффективности предприятий угольной отрасли требует управления процессом электропотребления с применением современных методов, учитывающих его эргатический характер, т. е. методов энергетического менеджмента.

Эргатический характер процесса электропотребления обусловлен наличием двух основных компонент, а именно: технической компоненты и компоненты,

обусловленной действиями персонала, участвующего в процессе электропотребления – управленческой компоненты.

Персонал, который участвует в управлении электропотреблением, включает персонал всех организационно-производственных уровней предприятия, начиная от персонала, управляющего энергопотребляющими объектами (машинами, механизмами, установками и др.), до руководителей предприятия (рисунок 2.4).

На схеме (рисунок 2.4) на примере добычного комплекса представлены уровни персонала, участвующего (в соответствии со своими функциями) в управлении энергопотреблением.

Персонал, управляющий энергопотребляющими объектами, непосредственно обеспечивает высокую производительность экскаватора (лучшее заполнение ковша, меньшее время цикла и др.) – это, в свою очередь, обеспечивает эффективный (с более низким удельным электропотреблением) расход электроэнергии.

Сменные мастера осуществляют оперативное управление персоналом, управляющим энергопотребляющими объектами, обеспечивая организационно-производственные вопросы с целью высокой производительности в смене, тем самым поддерживая эффективное электропотребление.

Начальники участков, осуществляя оперативное управление производственным процессом участка, обеспечивают высокую производительность (повышение технологической загрузки электропотребляющих объектов, снижение времени необоснованных простоев, при которых зачастую электрооборудование потребляет электроэнергию без производительной работы и др.), что, в свою очередь, обеспечивает снижение удельного электропотребления – повышение энергоэффективности.

Начальник комплекса, входящие в состав комплекса специалисты, осуществляя управление комплексом в целом (оперативная постановка задач, выдача заданий, контроль выполнения объемов работ, анализ расхода электроэнергии на горные работы, улучшение организации работы и др.),

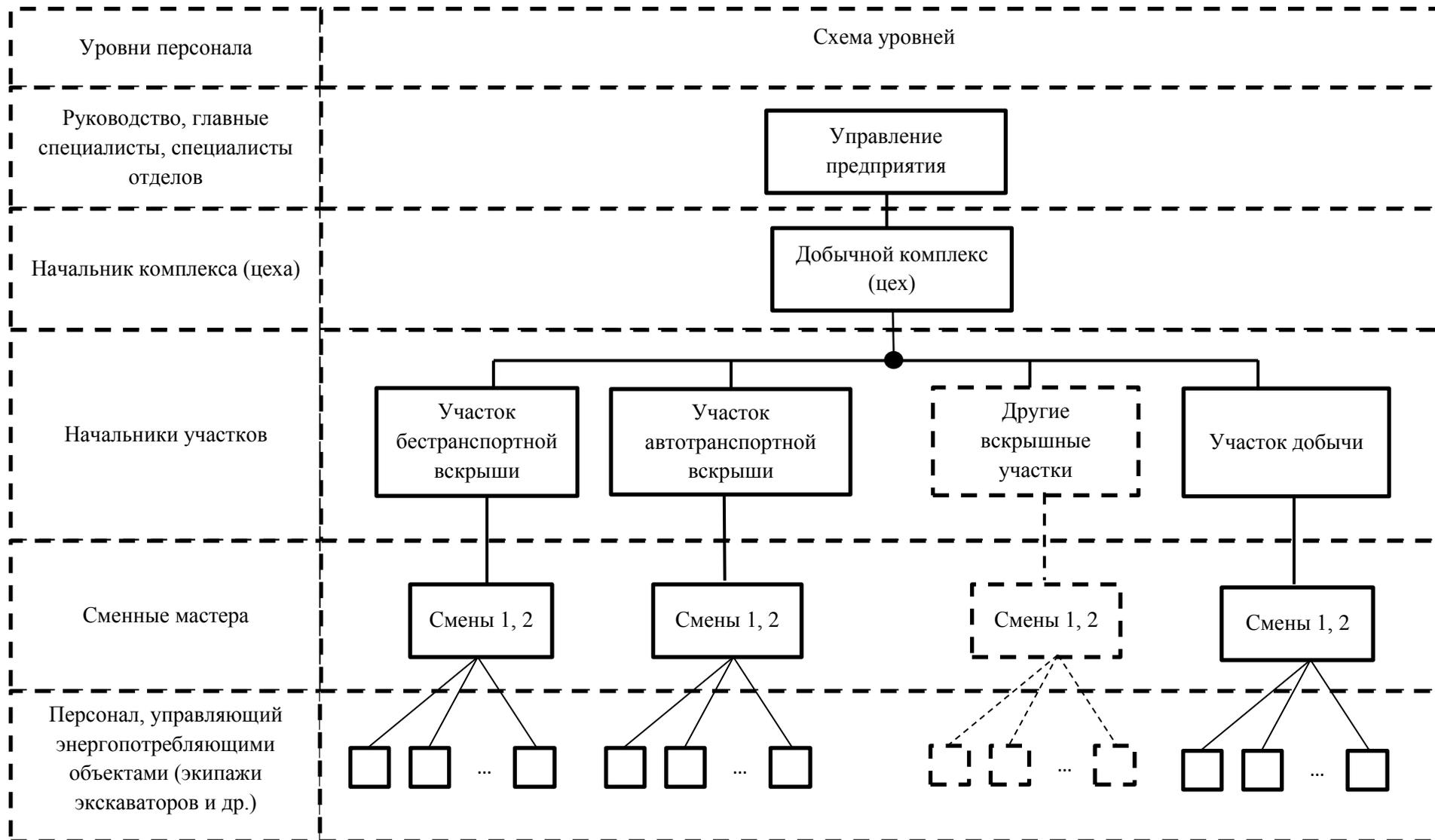


Рисунок 2.4 – Схема уровней персонала, участвующего в управлении электропотреблением (на примере добычного комплекса)

обеспечивают эффективное (с низким удельным электропотреблением) использование электроэнергии комплексом.

Руководство, главные специалисты, специалисты отделов, проводя управление предприятием в целом (в том числе добычным комплексом), осуществляют: постановку задач, распорядительство, анализ, планирование, общую организацию производственного процесса; контроль по выполнению заданий по объемам работ, затратам на электроэнергию как в натуральных, так и финансовых показателях, в том числе долю энергозатрат в себестоимости продукции.

Таким образом, к участникам управления процессом электропотребления относится практически весь персонал предприятия – от персонала, управляющего электропотребляющими объектами, до руководства предприятия.

Как было показано в гл. 1, повышение энергоэффективности в настоящее время следует по инерционному, а не по инновационному сценарию. Это положение в значительной мере обусловлено недостаточным уровнем управления процессом энергопотребления, в том числе электропотребления, как эргатическим процессом, включая его управленческую компоненту. В настоящее время у персонала предприятий, участвующего в процессе электропотребления, при выполнении изложенных выше функций имеет место недостаточный уровень информационно-аналитического обеспечения. Это выражается в недостаточности: мониторинга показателей энергоэффективности, в том числе удельного электропотребления; анализа результатов указанного мониторинга там где этот мониторинг существует; аналитического описания энерготехнологических параметров энергопотребляющих производственных процессов; обеспечения участников процесса энергопотребления (рисунок 2.4) комплексной информацией, включающей объемы выполняемых работ, расход энергоресурсов, удельное энергопотребление на эти работы в реальном времени и др.

Вышеизложенное позволяет заключить, что вопрос информационно-аналитического обеспечения повышения энергоэффективности, в частности

эффективности электропотребления, в настоящее время проработан недостаточно как в теоретическом, так и в практическом аспектах.

В этой связи целесообразно сформировать методические принципы исследования управления электропотреблением с целью повышения энергоэффективности.

2.5.2. Методические принципы исследования управления потреблением электроэнергии

На основании изложенного выше исследование управления потреблением электроэнергии должно проводиться в рамках современных требований энергетического менеджмента.

В этой связи целесообразно рассмотреть современное состояние (развитие) управления электрической энергией на предприятиях угольной отрасли, а также освоения, обеспечения, реализации управленческой компоненты для повышения эффективности электропотребления.

Исследование современного состояния (развития) управления электрической энергией на предприятиях угольной отрасли целесообразно выполнить на основании оценок составляющих управления (менеджмента) электроэнергией с применением качественных шкал, приведенных в гл. 5.

Исследование управленческой компоненты повышения энергоэффективности целесообразно проводить с рассмотрением следующих вопросов: освоения контроля над эффективностью электропотребления; организационно-информационно-аналитического обеспечения участников процесса управления электропотреблением.

При исследовании вопросов освоения контроля над эффективностью электропотребления требуется выполнить анализ следующего:

1. Каким образом на предприятиях осуществляются измерение, учет показателей, формирующих показатель энергоэффективности – удельное электропотребление, а именно: объемов выполняемых работ, расхода

электроэнергии на эти работы. Здесь требуется оценить способы измерения, учета указанных показателей (расчетный учет, показывающие измерительные приборы, приборы с возможностью составлять протоколы (архивы) измеряемых величин; приборы, объединенные в информационную сеть; приборы, объединенные в информационно-аналитическую сеть).

2. Интегрируются ли данные учета объемов выполняемых работ с расходом электроэнергии в единой информационной системе для получения показателя энергоэффективности – удельного электропотребления.

3. Охвачены ли учетом объемы выполняемых работ, расхода электроэнергии и удельного электропотребления места значительного потребления электроэнергии. В качестве мест значительного потребления электроэнергии могут выступать крупные электропотребляющие объекты, например, экскаваторы, отдельные подразделения, производственные процессы и иные объекты.

4. Временной масштаб измерения, фиксации данных по объемам выполняемых работ, расходу электроэнергии, удельному электропотреблению. Позволяет ли масштаб времени измерения, фиксирования указанных данных адресно планировать, оперативно оценивать, управлять и отчитываться за удельное электропотребление.

Результаты анализа рассмотренных выше вопросов позволят дать оценку уровня освоения контроля над эффективностью электропотребления производственных процессов, электропотребляющих машин, мест значительного электропотребления.

При исследовании организационно-информационно-аналитического обеспечения участников процесса электропотребления требуется выполнить анализ следующего:

1. Каким образом идентифицируется ответственность персонала, участвующего в процессе электропотребления, за обеспечение и повышение энергоэффективности. Требуется оценить: места значительного потребления электроэнергии в разрезе их принадлежности к определенным производственным

процессам, подразделениям; наличия в этих местах крупных электропотребляющих машин, установок, оборудования; каким лицам делегирована ответственность за обеспечение и повышение эффективности электропотребления.

2. Каким образом, на каком аналитическом уровне выполняется анализ данных, предназначенных для контроля эффективности электропотребления. Требуется оценить методы анализа данных, предназначенных для контроля энергоэффективности (точечные, дискретные ряды, аналитические зависимости и др.) с целью получения информации для управления эффективностью электропотребления.

3. В каком временном масштабе, в каком формате предоставляется информация о указанных данных участникам процесса управления электропотреблением. Требуется оценить:

– регулярность предоставления информации – каждый час, ежемесячно, ежедекадно, ежемесячно и т. д.;

– формат предоставления информации о эффективности электропотребления – отдельно или совместно с основными производственными показателями, на бумажных носителях, в электронной форме.

4. Каким способом, в каком формате, каким лицам персонала выдаются задания по эффективности электропотребления. Требуется оценить:

– адресность и регулярность выдачи заданий по эффективности электропотребления – ежемесячно, ежесуточно и др.;

– связываются ли задания по эффективности электропотребления с задаваемыми объемами работ;

– получает ли задания персонал, управляющий электропотребляющими объектами.

5. Каким образом происходит отчет и анализ выполнения заданий по эффективности электропотребления. Требуется оценить:

– адресность и регулярность отчетов по эффективности электропотребления;

– корректируются ли отчеты по эффективности электропотребления в зависимости от фактически выполненных объемов работ;

– интегрируются ли в отчетных формах данные по эффективности электропотребления с данными о выполненных за смену, отчетный период объемах работ;

– отчетные формы содержат данные только за текущую смену или за отчетный период в накопительном формате.

Результаты анализа рассмотренных выше вопросов позволят дать оценку организационно-информационно-аналитического обеспечения участников процесса электропотребления.

Установленные методические принципы позволят выполнить исследования управления процессом электропотребления для повышения энергоэффективности.

2.6. Выводы

Разработанные в гл. 2 методические положения исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли позволяют сделать следующие выводы:

1. Процесс электропотребления предприятий угольной отрасли представляется сложным эргатическим процессом, на эффективность которого влияют горно-геологические, климато-метеорологические, производственно-технологические и организационно-управленческие факторы.

2. Процесс электропотребления, характеризующийся режимами электропотребления на выполнение горных работ, выпуск продукции в силу вероятностного влияния на него указанных факторов является случайным процессом, для исследования которого требуется применение методов теории вероятностей и математической статистики.

3. Эффективность процесса электропотребления характеризуется удельным электропотреблением и требует при его исследовании интеграции как

технологических показателей – объема выполняемых работ, так и энергетического показателя – расхода электроэнергии на эти работы.

4. С учетом многообразия влияющих на процесс электропотребления факторов большинство из которых действует в условиях неопределенности и неполноты информации целесообразно при исследовании энергоэффективности выделить наиболее информативный фактор, которым выступает объем выполняемых работ.

5. Установление вероятностных свойств энергетических, технологических параметров выполняемых работ, их энерготехнологических профилей должно базироваться на экспериментальных (фактических) данных, полученных в условиях действующих предприятий.

6. Установленные методические принципы исследования управления электропотреблением позволяют выполнить исследование вопросов освоения контроля над электропотреблением, а также организационно-информационно-аналитического обеспечения энергоэффективности.

Разработанные в гл. 2 методические положения позволяют выполнить исследование эффективности процесса электропотребления горных работ предприятий угольной отрасли как энергетического процесса с учетом его технической и управленческой компонент.

Глава 3. Исследование процесса электропотребления горных предприятий угольной отрасли

3.1. Исходные данные

Исследование электропотребления горных работ выполнено в соответствии с методическими положениями, приведенными во второй главе, в условиях открытой разработки угольных месторождений. Исследованиями охвачены предприятия: с открытой разработкой мощных пластов бурых углей и пластов средней мощности каменных углей. Указанные предприятия входят в состав Сибирской угольной энергетической компании.

В соответствии с методическими положениями в качестве электропотребляющих объектов, по которым проводилось исследование электропотребления, выступали: экскаваторы (драглайны, мехлопаты, роторные), работающие на вскрыше, добыче и отгрузке угля.

Общая характеристика проведенных экспериментальных исследований электропотребления предприятий приведены в таблице 3.1.

Исследование включало:

- предприятия с открытой разработкой бурого и каменного углей (разрезы «Бородинский» и «Восточно-Бейский»);
- технологические процессы, в числе которых: вскрыша бестранспортная, вскрыша с отгрузкой в ж/д вагоны, вскрыша с отгрузкой в автотранспорт, приемка вскрышных пород в отвалы, добыча (отгрузка) угля;
- основные электропотребляющие объекты вскрышных и добычных горных работ – различные типы и марки экскаваторов.

Общее число измерений, включенное в исходную базу экспериментальных данных, составило 37356 значений. Полученные в ходе экспериментального обследования данные позволили создать представительные статистические выборки для дальнейшего исследования электропотребления горных работ с установлением для различных электропотребляющих объектов статистических и

Таблица 3.1 – Общая характеристика проведенных экспериментальных исследований

№ п/п	Технологический процесс (работа)	Электропотребляющие объекты	Количество объектов, ед.	Объем исследований				
				Период		Измерения, количество		Общее количество измерений, ед.
				Начало	Окончание	Объем работы за смену (Q), м ³ /т	Потребление ЭЭ за смену (W), кВт*ч	
Разрез «Бородинский»								
1	Вскрыша автотранспортная	ЭКГ-10	1	01.07.2016	19.06.2017	708	708	1416
		ЭКГ-12,5	3			2124	2124	4248
		ЭКГ-15	1			708	708	1416
		Итого:	5			3540	3540	7080
2	Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт	ЭКГ-8ус	3	01.07.2016	19.06.2017	2124	2124	4248
		Итого:	3			2124	2124	4248
3	Вскрыша бестранспортная	ЭШ-10/70	1	01.07.2016	19.06.2017	708	708	1416
		Итого:	1			708	708	1416
4	Приемка вскрышных пород в отвалы	ЭКГ-8и	1	01.07.2016	19.06.2017	708	708	1416
		ЭКГ-10	2			1416	1416	2832
		ЭШ-11/70	1			708	708	1416
		ЭШ-13/50	1			708	708	1416
		Итого:	5			2270	2270	4540
5	Добыча угля (отгрузка)	ЭР-1250	3	01.07.2016	19.06.2017	2124	2124	4248
		ЭРП-1600	2			1416	1416	2832
		ЭРП-2500	3			2124	2124	4248
		ЭКГ-4у	2			1416	1416	2832
		Итого:	10			7080	7080	14160
Всего по разрезу:			25			15722	15722	31444
Разрез «Восточно-Бейский»								
1	Вскрыша автотранспортная	РС-3000	2	10.06.2016	30.06.2017	1478	1478	2956
2	Вскрыша бестранспортная	ЭШ-10/70	2	10.06.2016	30.06.2017	1478	1478	2956
		Итого:	4			2956	2956	5912
Всего:			29			18678	18678	37356

вероятностных моделей электропотребления, энерготехнологических профилей основных технологических процессов вскрышных и добычных работ.

3.2. Исследование процесса электропотребления вскрышных горных работ

3.2.1. Исходные положения

Исследование процесса электропотребления вскрышных работ выполнено в условиях Восточно-Бейского разреза, осуществляющего разработку Бейского каменноугольного месторождения открытым способом, и Бородинского разреза, осуществляющего разработку Бородинского бурогоугольного месторождения открытым способом.

Вскрышные горные работы на Восточно-Бейском разрезе ведутся с применением автотранспортной и бестранспортной вскрыши. Вскрышные породы размещаются как в выработанном пространстве, так и во внешних отвалах со средней дальностью транспортировки, составляющей 2,3 км.

К анализу приняты:

– вскрышные работы, выполняемые экскаваторами РС-3000, работающими в технологической цепочке с автосамосвалами БелАЗ-75131 грузоподъемностью 130 т;

– вскрышные работы, выполняемые экскаваторами ЭШ-10/70.

Экскаваторы РС-3000 работают по отработке вскрышных уступов, экскаваторы ЭШ-10/70 работают по эксплуатационной заходке.

Средняя плотность вскрышных пород составляет 2,3 т/м³.

Вскрышные горные работы на Бородинском разрезе ведутся с применением: автотранспортной вскрыши; бестранспортной вскрыши; вскрыши с погрузкой вскрышных пород в ж/д транспорт; приемки вскрышных пород в отвалы. Вскрышные породы размещаются в выработанном пространстве и во внутренних экскаваторных отвалах.

К анализу приняты:

– вскрышные работы, выполняемые экскаваторами ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, отрабатывающими вскрышные уступы и работающими в технологической цепочке с автосамосвалами НД-785-7, грузоподъемностью 90 т (автотранспортная вскрыша);

– вскрышные работы, выполняемые экскаваторами ЭКГ-8ус, отрабатывающими вскрышные уступы и работающими в технологических цепочках с думпкарами 2 ВС-105 (вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт);

– вскрышные работы, выполняемые экскаваторами ЭШ-10/70, осуществляются по бестранспортной схеме (бестранспортная вскрыша);

– приемка вскрышных пород в отвал экскаваторами ЭКГ-10, ЭКГ-8И, ЭШ-11/70, ЭШ-13/50.

Средняя плотность вскрышных пород 2,4 т/м³.

3.2.2. Статистические характеристики и вероятностные модели энерготехнологических показателей вскрышных горных работ

В результате исследования режимов электропотребления экскаваторных работ (таблица 3.1), сформированы статистические выборки фактических данных по сменным объемам вскрышных работ, потреблению электроэнергии и удельному электропотреблению на указанные горные работы.

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) для каждого экскаватора определены:

– статистические характеристики сменных объемов вскрышных работ – $Q_{см}, м^3$, сменного электропотребления – $W_{см}, кВт \cdot ч$, удельного электропотребления – $w_{см}, кВт \cdot ч/м^3$, в числе которых среднее значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса;

– вероятностные законы (модели) распределения вероятностей объемов вскрышных работ, электропотребления, а также удельного электропотребления;

– корреляционные зависимости (энерготехнологические профили) между указанными величинами – $W_{см} = f(Q_{см})$ и $w_{см} = f(Q_{см})$.

Вместе с этим выполнены:

– проверка на статистическую значимость коэффициентов корреляции и детерминации с определением доверительных интервалов коэффициентов корреляции;

– оценка качества установленных корреляционных уравнений (энерготехнологических профилей) с определением средней относительной ошибки аппроксимации, с проверкой статистической значимости оценок параметров уравнений;

– проверка условий выполнения требований теоремы Гаусса-Маркова для применения метода наименьших квадратов при определении коэффициентов корреляционных уравнений;

– определение коэффициентов эластичности индивидуальных энерготехнологических профилей.

Исследование процесса электропотребления выполнено на примере анализа статистических выборок экскаватора РС-3000 №2 Восточно-Бейского разреза.

Для других экскаваторов приводятся результирующие статистические характеристики, вероятностные модели и энерготехнологические профили, а также результирующие значения вышеуказанных проверок на статистическую значимость коэффициентов корреляции и детерминации, качества корреляционных уравнений, коэффициентов уравнений, условий выполнения теоремы Гаусса-Маркова.

Статистики сменных энерготехнологических показателей экскаватора РС-3000 №2, объема работ $Q_{см}$, электропотребления $W_{см}$, удельного электропотребления $w_{см}$, определенные по выражениям 2.3-2.10, приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Статистики сменных энерготехнологических показателей экскаваторных работ экскаватора РС-3000 (автотранспортная вскрыша)

Экскаватор	Показатель	Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент		
						вариации	асимметрии	эксцесса
РС-3000 №2	$Q_{см}, м^3$	15884,94	15974,17	7453,00	5245,33	0,33	-0,574	-0,051
	$W, кВт \cdot ч$	11553,63	11568,48	Multiple	2361,42	0,20	-0,665	0,102
	$w, кВт \cdot ч/м^3$	0,793	0,728	Multiple	0,253	0,31	3,015	11,877

Анализ статистических характеристик, приведенных в таблице 3.2, показывает, что для исследуемых случайных величин имеет место: близкие по значению средние, медианы; распределение $Q_{см}$ является мономодальным, распределения $W_{см}$ и $w_{см}$ – полимодальные; коэффициенты вариации не превосходят значения 0,33; коэффициенты асимметрии и эксцесса показывают соответствующие незначительные асимметрию и островершинность распределений. Полимодальность распределений $W_{см}$ и $w_{см}$ обусловлена двумя устойчивыми режимами электропотребления при работе в режиме выемки-погрузки и при работе в режиме холостого хода (при отсутствии автосамосвалов), что приводит к двум модальным значениям распределений вероятностей.

Вышеотмеченное для статистических характеристик рассматриваемых величин, а именно: близкие по значениям среднее и медиана, значения коэффициентов вариации, не превышающие значения 0,33, относительно незначительные значения коэффициентов асимметрии – позволяет выдвинуть гипотезу о нормальном распределении вероятностей исследуемых величин. Проверка гипотез о принадлежности законов распределения вероятностей рассматриваемых величин к нормальному закону, выполненная с применением критерия Колмогорова, показала, что с доверительной вероятностью 0,95 можно принять нормальный закон распределения вероятностей.

Выражения для законов распределения плотности вероятностей исследуемых величин приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Законы распределения плотности вероятностей сменных энерготехнологических показателей экскаваторных работ экскаватора РС-3000 (автотранспортная вскрыша)

Экскаватор	Показатель	Закон распределения	Критерий согласия Колмогорова	
			$\lambda_{расч}$	$\lambda_{кр}$
РС-3000 №2	$Q_{см}, м^3$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-15884,9)^2}{55026871}}$	0,123	0,200
	$W_{см}, кВт \cdot ч$	$f^*(W) = 0,0002 \times e^{-\frac{(W-11553,6)^2}{11152574}}$	0,167	0,200
	$w_{см}, кВт \cdot ч/м^3$	$f^*(w) = 1,57 \times e^{-\frac{(w-0,793)^2}{0,128}}$	0,198	0,200

Определенные статистические характеристики и законы распределения вероятностей сменных энерготехнологических показателей позволяют повысить уровень аналитического описания процесса электропотребления для установления устойчивых (с определенной доверительной вероятностью) уровней сменных объемов, электропотребления, удельного электропотребления экскаваторных работ экскаватора РС-3000 на автотранспортной вскрыше.

Для повышения уровня прогнозирования, планирования, отчетности за электропотребление, эффективное его использование целесообразно установить корреляционные уравнения (энерготехнологические профили) зависимостей электропотребления и удельного электропотребления от объемов выполняемых работ $W_{см} = f(Q_{см})$ и $w_{см} = f(Q_{см})$.

Корреляционные зависимости сменного электропотребления ($W_{см}$) и сменного удельного электропотребления ($w_{см}$) от сменных объемов выполняемых работ ($Q_{см}$), а также их коэффициенты корреляции, получены в соответствии с выражениями 2.14-2.17.

Корреляционные поля и зависимости для рассматриваемых величин приведены на рисунках 3.1, 3.2.

Уравнения линейных зависимостей $W_{см} = f(Q_{см})$ и $w_{см} = f(Q_{см})$ (энерготехнологические профили), а также соответствующие им коэффициенты корреляции и детерминации приведены в таблице 3.4.

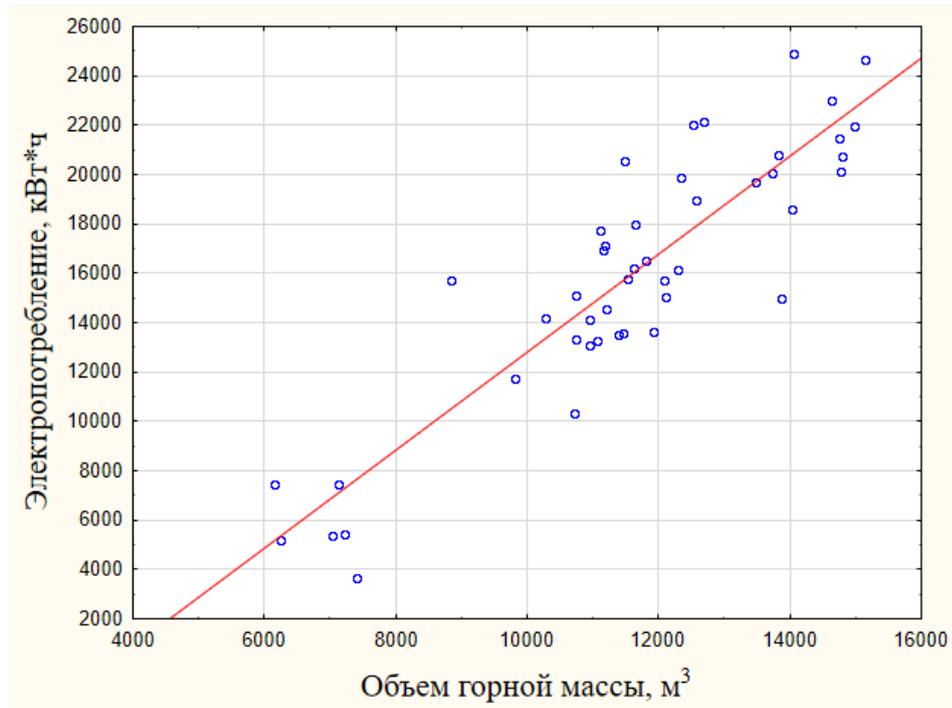


Рис 3.1 – Корреляционные поля и зависимость электропотребления от объема экскаваторных работ экскаватора РС-3000 (автотранспортная вскрыша)

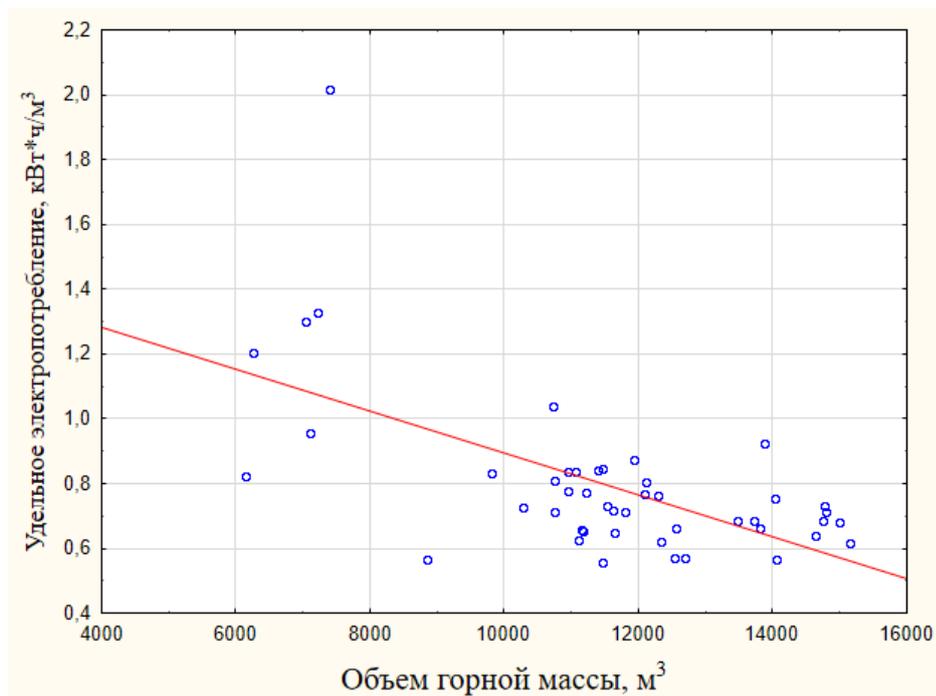


Рис 3.2 – Корреляционные поля и зависимость удельного электропотребления от объема экскаваторных работ экскаватора РС-3000 (автотранспортная вскрыша)

Таблица 3.4 – Энерготехнологические профили экскаваторных работ экскаватора РС-3000 (автотранспортная вскрыша)

№ п/п	Экскаватор	Зависимость	Коэффициенты	
			Корреляции, R	Детерминации, R ²
1	РС-3000 № 2	$W_{\text{см}} = 5159,2 + 0,402 \cdot Q_{\text{см}}$	0,894	0,799
		$w_{\text{см}} = 1,411 - 3,89 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	-0,806	0,650

Анализируя в соответствии со шкалой Чеддока, значения коэффициентов корреляции (таблица 3.4), можно заключить, что характер линейных корреляционных связей между $W_{см}$ и $Q_{см}$, а также $w_{см}$ и $Q_{см}$ является достаточно сильным (тесным).

Исходя из значений коэффициентов детерминации, доля вариации зависимых величин $W_{см}$ и $w_{см}$ от независимой $Q_{см}$ составляет, соответственно 0,799 и 0,650. То есть сменный объем работы существенно влияет на сменное электропотребление и сменное удельное электропотребление.

Оценки статистической значимости коэффициентов корреляции и детерминации, а также оценки доверительных границ коэффициентов корреляции получены в соответствии с выражениями 2.18-2.25.

Расчетное значение t-критерия Стьюдента для коэффициента корреляции R_{WQ} :

$$t_{расч} = \frac{R_{WQ}}{\sqrt{1 - R_{WQ}^2}} \times \sqrt{n - m - 1} = \frac{0,894}{\sqrt{1 - (0,894)^2}} \times \sqrt{46 - 1 - 1} = 13,235, \quad (3.1)$$

где m – число независимых переменных (в случае парной корреляции $m = 1$).

Расчетное значение критерия Стьюдента ($t_{расч} = 13,2$) превышает критическое значение ($t_{табл} = 2,015$), найденное по таблице критических значений распределения Стьюдента при уровне значимости 5% и числе степеней свободы $df = n - m - 1 = 44$. Это позволяет сделать вывод о том, что коэффициент корреляции R_{WQ} является значимым.

Проверка статистической значимости коэффициента детерминации R_{WQ}^2 производится с помощью F-критерия Фишера. Расчетное значение критерия

$$F_{расч} = \frac{R_{WQ}^2}{1 - R_{WQ}^2} \times \frac{n - m - 1}{m} = \frac{(0,894)^2}{1 - (0,894)^2} \times \frac{46 - 1 - 1}{1} = 175,163. \quad (3.2)$$

Расчетное значение $F_{расч}$ превосходит критическое значение ($F_{табл} = 4,062$), найденное по таблице критических значений распределения Фишера-Снедекора (F-распределения) при уровне значимости 5% и двум числам степеней свободы df_1

$= m = 1$ и $df_2 = n - m - 1 = 44$. Это позволяет сделать вывод о статистической значимости коэффициента детерминации R_{WQ}^2 .

Интервальная оценка коэффициента корреляции, в качестве которой служит доверительный интервал, определяется с доверительной вероятностью $\gamma = 1 - \alpha = 1 - 0,05 = 0,95$. При этом:

– стандартная ошибка коэффициента корреляции

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - R_{WQ}^2}{n - m - 1}} = \sqrt{\frac{1 - (0,894)^2}{46 - 1 - 1}} = 0,068; \quad (3.3)$$

– нижняя граница доверительного интервала

$$R_{min} = R_{WQ} - m_r t_{табл} = 0,894 - 0,068 \times 0,063 = 0,890; \quad (3.4)$$

– верхняя граница доверительного интервала

$$R_{max} = R_{WQ} + m_r t_{табл} = 0,894 + 0,068 \times 0,063 = 0,898, \quad (3.5)$$

где $t_{табл} = 0,063$ – значение по таблице критических точек распределения Стьюдента при доверительной вероятности 95% и числе степеней свободы $df = n - m - 1 = 44$.

Диапазон изменения доверительной оценки коэффициента корреляции имеет достаточно малое значение, что свидетельствует о высокой надежности оценки R_{WQ}

$$0,890 < 0,894 < 0,898. \quad (3.6)$$

Оценка математической точности уравнения $W_{см} = f(Q_{см})$ определяется по средней относительной ошибке аппроксимации

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{W_i - \widehat{W}_i}{W_i} \right| \times 100\% = \frac{1}{46} \times |3,524| \times 100\% = 7,56 \%. \quad (3.7)$$

Т. к. $7,56\% < 10\%$, то полученное уравнение регрессии (энерготехнологический профиль) имеет высокую точность.

Проверка статистической значимости уравнения регрессии осуществляется с использованием расчетного значения F-критерия Фишера

$$F_{расч} = \frac{R_{WQ}^2}{1 - R_{WQ}^2} \times \frac{n - m - 1}{m} = \frac{(0,894)^2}{1 - (0,894)^2} \times \frac{46 - 1 - 1}{1} = 175,16. \quad (3.8)$$

$F_{расч}$ превышает критическое значение ($F_{табл} = 4,06$), найденное по таблице критических значений распределения Фишера-Снедекора (F-распределения) при

уровне значимости 5% и двум числам степеней свободы $df_1 = m = 1$ и $df_2 = n - m - 1 = 44$. Это позволяет сделать вывод, что уравнение регрессии в целом статистически значимое (адекватно описывающее исходные данные).

Проверка статистической значимости оценок параметров b_0 , b_1 производится с помощью t-критерия Стьюдента с определением расчетных значений критерия Стьюдента

$$t_{b0} = \left| \frac{b_0}{m_{b0}} \right| = \left| \frac{5159,2}{507,852} \right| = 10,159; \quad (3.9)$$

$$t_{b1} = \left| \frac{b_1}{m_{b1}} \right| = \left| \frac{0,402}{0,030} \right| = 13,228, \quad (3.10)$$

где m_{b0} ; m_{b1} – средние квадратические ошибки параметров

$$m_{b0} = \sqrt{\frac{\sum(W_i - \widehat{W}_i)^2}{(n-2)} \times \frac{\sum Q_i^2}{n \sum(Q_i - \bar{Q})^2}} = \sqrt{\frac{50314861,815}{(46-2)} \times \frac{12845337356,420}{46 \times 1238104316,224}} = 507,852; \quad (3.11)$$

$$m_{b1} = \sqrt{\frac{\sum(W_i - \widehat{W}_i)^2}{(n-2) \sum(Q_i - \bar{Q})^2}} = \sqrt{\frac{50314861,815}{(46-2) \times 1238104316,224}} = 0,030. \quad (3.12)$$

Полученные значения t_{b0} и t_{b1} превышают теоретическое значение t-критерия Стьюдента ($t_{\text{табл}} = 2,02$), которое находится по таблице критических значений распределения Стьюдента при уровне значимости 5% и числе степеней свободы $df = n - m - 1 = 44$, а именно $10,159 > 2,02$ и $13,228 > 2,02$. Это позволяет сделать вывод, что оценки параметров уравнения регрессии b_0 и b_1 являются статистически значимыми.

Проверка условий выполнения условий теоремы Гаусса-Маркова выполняется путем оценок среднего значения остатков $\bar{\varepsilon}$, используя 2.30, 2.31, и критерия Дарбина-Уотсона, применяя 2.32.

Среднее значение остатков

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i}{n} = \frac{39,4}{46} = 0,86, \quad (3.13)$$

где $\varepsilon_i = W_i - \widehat{W}_i$ – i -тое значение отклонения.

Среднее значение остатков имеет небольшую величину и может считаться приемлемой оценкой.

Определение независимости остатков проводится с применением критерия Дарбина-Уотсона. Расчетная статистика определяется из выражения

$$d_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum \varepsilon_i^2} = \frac{101848381,06}{50314861,82} = 2,02. \quad (3.14)$$

Расчетная статистика находится в требуемом диапазоне $0 \leq d_{\text{расч}} \leq 4$.

С помощью таблицы критических значений определяются теоретические значения критерия Дарбина-Уотсона $d_U = 1,57$ и $d_L = 1,48$ при объеме выборки $n = 46$, числе степеней свободы $df = m = 1$ и уровне значимости 5%. Поэтому есть основание считать, что автокорреляция остатков отсутствует. При полученных значениях d_U и d_L значение $d_{\text{расч}}$ попадает в промежуток $[d_U \div (4 - d_U)]$, т.е. имеет место двойное неравенство $d_U < d_{\text{расч}} < d_L$, а именно: $1,57 < 2,02 < 2,43$.

Для оценки влияния объема горной массы (Q) на электропотребление W в соответствии с 2.33 вычисляется средний коэффициент эластичности ($\bar{\varepsilon}$)

$$\bar{\varepsilon} = b_1 \frac{\bar{Q}}{\bar{W}} = 0,402 \times \frac{15884,934}{11553,63} = 0,55, \quad (3.15)$$

который показывает, на сколько процентов изменяется \bar{W} при изменении \bar{Q} на один процент. В рассматриваемом случае электропотребление экскаватора РС-3000 №2 увеличится на 0,55% при возрастании объемов работ на 1%.

Дальнейший анализ электропотребления для экскаваторов, работающих по различным технологическим схемам на вскрышных работах, выполнен в соответствии с методическими положениями, изложенными в гл. 2, и по аналогии с расчетами, проведенными выше для экскаватора РС-3000 №2 Восточно-Бейского разреза. Статистические характеристики энерготехнологических показателей различных технологических схем вскрышных экскаваторных работ приведены в Приложении 1 (таблица П.1.1.).

Анализ статистических характеристик сменного объема вскрышных работ, сменного электропотребления на эти объемы и сменного удельного электропотребления показывает, что в целом они характеризуются как и статистики энерготехнологических показателей экскаватора РС-3000 №2. Средние значения и значения медиан энерготехнологических показателей экскаваторов одинаковых марок, выполняющих вскрышные работы по одинаковым технологическим схемам, имеют близкие друг к другу значения.

Стандартные отклонения имеют значения, при которых коэффициент вариации практически не превышает 33%. Коэффициенты асимметрии имеют значения, которые показывают незначительные левые и правые асимметрии распределений вероятностей энерготехнологических показателей. Коэффициенты эксцесса показывают незначительные положительные и отрицательные островершинности распределений вероятностей энерготехнологических показателей, за исключением экскаватора РС-3000.

Отмеченные характеристики статистик энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ позволяют выдвинуть гипотезу о возможности распределения вероятностей анализируемых энерготехнологических показателей по нормальному закону.

Проверка гипотезы о принадлежности законов распределения вероятностей энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ к нормальному закону, выполненная с применением критерия Колмогорова, показала, что с доверительной вероятностью 0,95 можно принять нормальный закон распределения. Для экскаваторов ЭШ-10/70 №№301, 338 доверительная вероятность для принятия нормального закона составляет 0,90.

Вероятностные модели (законы распределения вероятностей) энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ приведены в таблице 3.5.

В соответствии с методикой (гл. 2) и в соответствии с анализом, выполненным для экскаватора РС-3000, определены энерготехнологические профили вскрышных экскаваторных работ – корреляционные зависимости сменных электропотребления ($W_{см}$) и удельного электропотребления ($w_{см}$) от сменного объема работ ($Q_{см}$), приведенные в таблицах 3.6, 3.7.

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) выполнена (по аналогии с проверкой для экскаватора РС-3000 №2) проверка коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость для энерготехнологических профилей электропотребления вскрышных экскаваторных

Таблица 3.5 – Вероятностные модели энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ

№ п/п	Экскаватор		Показатель	Вероятностные модели (закон распределения вероятностей)	Критерий согласия Колмогорова	
	Тип	Номер			$\lambda_{расч}$	$\lambda_{кр}$
1	2	3	4	6	7	8
Вскрыша автотранспортная						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭКГ-12,5	1	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,001 \times e^{-\frac{(Q-8978,8)^2}{6293570,1}}$	0,058	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,004 \times e^{-\frac{(W-3870,0)^2}{837691,6}}$	0,071	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 44,7 \times e^{-\frac{(w-0,437)^2}{0,006}}$	0,062	0,173
2	ЭКГ-12,5	2	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,001 \times e^{-\frac{(Q-8990,5)^2}{6752445,1}}$	0,069	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,004 \times e^{-\frac{(W-3823,2)^2}{837691,6}}$	0,084	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 43,9 \times e^{-\frac{(w-0,432)^2}{0,006}}$	0,062	0,173
3	ЭКГ-12,5	87	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,001 \times e^{-\frac{(Q-9047,7)^2}{6721977,7}}$	0,084	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,004 \times e^{-\frac{(W-3860,6)^2}{870727,5}}$	0,066	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 45,5 \times e^{-\frac{(w-0,433)^2}{0,006}}$	0,068	0,173
4	ЭКГ-10	262	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{-\frac{(Q-7586,9)^2}{5068705,1}}$	0,091	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,005 \times e^{-\frac{(W-3190,2)^2}{567397,9}}$	0,052	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 50,1 \times e^{-\frac{(w-0,427)^2}{0,005}}$	0,084	0,173

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	6	7	8
Разрез «Восточно-Бейский»						
5	РС-3000	2	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-15884,9)^2}{55026871}}$	0,123	0,200
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,0002 \times e^{-\frac{(W-11553,6)^2}{11152574}}$	0,167	0,200
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 1,57 \times e^{-\frac{(w-0,793)^2}{0,128}}$	0,198	0,200
6	РС-3000	3	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-17822,6)^2}{16408614}}$	0,141	0,203
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,0002 \times e^{-\frac{(W-12079,6)^2}{10269393}}$	0,174	0,203
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 2,86 \times e^{-\frac{(w-0,689)^2}{0,038}}$	0,121	0,240
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт						
Разрез «Бородинский»						
7	ЭКГ-8ус	21	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{-\frac{(Q-6012,2)^2}{2717726,9}}$	0,092	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,006 \times e^{-\frac{(W-2609,3)^2}{334560,3}}$	0,082	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 41,1 \times e^{-\frac{(w-0,441)^2}{0,007}}$	0,096	0,173
8	ЭКГ-8ус	22	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{-\frac{(Q-6041,5)^2}{2730326,4}}$	0,080	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,006 \times e^{-\frac{(W-2587,8)^2}{412715,2}}$	0,059	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 47,3 \times e^{-\frac{(w-0,433)^2}{0,006}}$	0,077	0,173
9	ЭКГ-8ус	28	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{-\frac{(Q-6058,01)^2}{3176379,4}}$	0,076	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,006 \times e^{-\frac{(W-2584,1)^2}{363869,3}}$	0,068	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 41,7 \times e^{-\frac{(w-0,434)^2}{0,007}}$	0,099	0,173

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	6	7	8
Вскрыша бестранспортная						
Разрез «Бородинский»						
10	ЭШ-10/70	307	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{\frac{-(Q-7563,4)^2}{4990942,1}}$	0,060	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,005 \times e^{\frac{-(W-3200,2)^2}{594418,4}}$	0,070	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 48,2 \times e^{\frac{-(w-0,429)^2}{0,005}}$	0,075	0,173
Разрез «Восточно-Бейский»						
11	ЭШ-10/70	301	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{\frac{-(Q-7894,9)^2}{55026871}}$	0,170	0,245
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,0002 \times e^{\frac{-(W-7742,017)^2}{11152574}}$	0,220	0,245
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 1,72 \times e^{\frac{-(w-1,002)^2}{0,128}}$	0,122	0,200
12	ЭШ-10/70	338	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{\frac{-(Q-8519,864)^2}{77350581}}$	0,223	0,240
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,0003 \times e^{\frac{-(W-7785,708)^2}{4534313}}$	0,165	0,240
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 1,58 \times e^{\frac{-(w-0,939)^2}{0,127}}$	0,233	0,240
Приемка вскрышных пород в отвалы						
Разрез «Бородинский»						
13	ЭКГ-8и	775	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{\frac{-(Q-6036,0)^2}{2996866,1}}$	0,102	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,006 \times e^{\frac{-(W-2566,226)^2}{339504,480}}$	0,074	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 44,7 \times e^{\frac{-(w-0,432)^2}{0,006}}$	0,108	0,173
14	ЭКГ-10	167	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{\frac{-(Q-7562,9)^2}{4606941,9}}$	0,082	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,005 \times e^{\frac{-(W-3222,5)^2}{561918,7}}$	0,060	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 43,9 \times e^{\frac{-(w-0,433)^2}{0,006}}$	0,097	0,173

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	6	7	8
15	ЭКГ-10	287	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{\frac{-(Q-7458,3)^2}{436247,2}}$	0,077	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,004 \times e^{\frac{-(W-3237,8)^2}{643962,6}}$	0,052	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 41,1 \times e^{\frac{-(w-0,440)^2}{0,007}}$	0,091	0,173
16	ЭШ-11/70	51	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,002 \times e^{\frac{-(Q-7507,2)^2}{4670032,5}}$	0,075	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,005 \times e^{\frac{-(W-3232,9)^2}{503162,9}}$	0,065	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 45,5 \times e^{\frac{-(w-0,438)^2}{0,006}}$	0,087	0,173
17	ЭШ-13/50	18	Объем, м ³	$f^*(Q) = 0,005 \times e^{\frac{-(Q-2501,5)^2}{490325,2}}$	0,079	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,012 \times e^{\frac{-(W-1198,1)^2}{90770,9}}$	0,058	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	$f^*(w) = 41,5 \times e^{\frac{-(w-0,485)^2}{0,007}}$	0,100	0,173

Таблица 3.6 – Энерготехнологические профили электропотребления различных технологических схем вскрышных экскаваторных работ, $W_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологические профили (зависимости), $W_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$	Коэффициенты	
	Тип	Номер		корреляции	детерминации
1	2	3	4	5	6
Вскрыша автотранспортная					
Разрез «Бородинский»					
1	ЭКГ-12,5	1	$W_{\text{см}} = 1223,1 + 0,295 \cdot Q_{\text{см}}$	0,776	0,602
2	ЭКГ-12,5	2	$W_{\text{см}} = 1352,0 + 0,275 \cdot Q_{\text{см}}$	0,780	0,608
3	ЭКГ-12,5	87	$W_{\text{см}} = 1284,3 + 0,284 \cdot Q_{\text{см}}$	0,791	0,626
4	ЭКГ-10	262	$W_{\text{см}} = 1056,9 + 0,281 \cdot Q_{\text{см}}$	0,840	0,706
Разрез «Восточно-Бейский»					
5	РС-3000	2	$W_{\text{см}} = 5159,2 + 0,402 \cdot Q_{\text{см}}$	0,894	0,799
6	РС-3000	3	$W_{\text{см}} = 5015,45 + 0,396 \cdot Q_{\text{см}}$	0,501	0,251
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт					
Разрез «Бородинский»					
7	ЭКГ-8ус	21	$W_{\text{см}} = 1088,7 + 0,252 \cdot Q_{\text{см}}$	0,720	0,518
8	ЭКГ-8ус	22	$W_{\text{см}} = 733,2 + 0,307 \cdot Q_{\text{см}}$	0,789	0,623
9	ЭКГ-8ус	28	$W_{\text{см}} = 1030,3 + 0,256 \cdot Q_{\text{см}}$	0,758	0,575
Вскрыша бестранспортная					
Разрез «Бородинский»					
10	ЭШ-10/70	307	$W_{\text{см}} = 1089,5 + 0,279 \cdot Q_{\text{см}}$	0,808	0,653
Разрез «Восточно-Бейский»					
11	ЭШ-10/70	301	$W_{\text{см}} = 3015,069 + 0,598 \cdot Q_{\text{см}}$	0,708	0,501
12	ЭШ-10/70	338	$W_{\text{см}} = 2857,64 + 0,578 \cdot Q_{\text{см}}$	0,755	0,570
Приемка вскрышных пород в отвалы					
Разрез «Бородинский»					
13	ЭКГ-8и	775	$W_{\text{см}} = 938,8 + 0,269 \cdot Q_{\text{см}}$	0,801	0,642
14	ЭКГ-10	167	$W_{\text{см}} = 1185,4 + 0,269 \cdot Q_{\text{см}}$	0,771	0,594
15	ЭКГ-10	287	$W_{\text{см}} = 1067,1 + 0,291 \cdot Q_{\text{см}}$	0,757	0,573
16	ЭШ-11/70	51	$W_{\text{см}} = 1266,6 + 0,261 \cdot Q_{\text{см}}$	0,798	0,637
17	ЭШ-13/50	18	$W_{\text{см}} = 340,9 + 0,342 \cdot Q_{\text{см}}$	0,796	0,634

работ $W_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблица П.1.2).

Результаты проверки коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость для энерготехнологических профилей удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ $w_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблица П.1.3).

Таблица 3.7 – Энерготехнологические профили удельного электропотребления различных технологических схем вскрышных экскаваторных работ, $w_{см} = f(Q_{см})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость, $w_{см} = f(Q_{см})$	Коэффициенты	
	Тип	Номер		корреляции	детерминации
1	2	3	4	5	6
Вскрыша автотранспортная					
Разрез «Бородинский»					
1	ЭКГ-12,5	1	$w_{см} = 0,581 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,508	0,258
2	ЭКГ-12,5	2	$w_{см} = 0,595 - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,591	0,349
3	ЭКГ-12,5	87	$w_{см} = 0,579 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,543	0,295
4	ЭКГ-10	262	$w_{см} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,618	0,382
Разрез «Восточно-Бейский»					
5	РС-3000	2	$w_{см} = 1,411 - 3,89 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,806	0,650
6	РС-3000	3	$w_{см} = 1,136 - 2,51 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,517	0,267
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт					
Разрез «Бородинский»					
7	ЭКГ-8ус	21	$w_{см} = 0,633 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,615	0,378
8	ЭКГ-8ус	22	$w_{см} = 0,556 - 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,451	0,203
9	ЭКГ-8ус	28	$w_{см} = 0,606 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,598	0,358
Вскрыша бестранспортная					
Разрез «Бородинский»					
10	ЭШ-10/70	307	$w_{см} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,580	0,336
Разрез «Восточно-Бейский»					
11	ЭШ-10/70	301	$w_{см} = 1,328 - 4,139 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,362	0,131
12	ЭШ-10/70	338	$w_{см} = 1,441 - 5,88 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,459	0,211
Приемка вскрышных пород в отвалы					
Разрез «Бородинский»					
13	ЭКГ-8и	775	$w_{см} = 0,602 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,617	0,381
14	ЭКГ-10	167	$w_{см} = 0,605 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,611	0,373
15	ЭКГ-10	287	$w_{см} = 0,595 - 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,508	0,258
16	ЭШ-11/70	51	$w_{см} = 0,616 - 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,656	0,430
17	ЭШ-13/50	18	$w_{см} = 0,637 - 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,499	0,249

Результаты проверки показывают:

1. Расчетные значения t-коэффициента Стьюдента ($t_{расч}$) по модулю превосходят табличные значения ($t_{крит}$), что позволяет утверждать о статистической значимости коэффициентов корреляции установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

2. Расчетные значения F-коэффициента Фишера ($F_{расч}$) превосходят критические значения ($F_{крит}$), что позволяет утверждать о статистической

значимости коэффициентов детерминации установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

3. Доверительные области коэффициентов корреляции имеют малый размах, что позволяет признать оценки коэффициентов корреляции достаточно надежными при доверительной вероятности 0,95.

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) выполнена (по аналогии с оценкой для экскаватора РС-3000 №2) оценка качества энерготехнологических профилей, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблицы П.1.4, П.1.5).

Результаты оценки показывают:

1. Точность установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ по шкале Чеддока является высокой ($\bar{A} < 10\%$) и хорошей ($\bar{A} < 20\%$). Исключение составляют энерготехнологические зависимости для экскаватора ЭШ-10/70 №301 ($\bar{A} = 22,93$).

2. Расчетные значения F-критерия Фишера ($F_{\text{расч}}$) превышают критические значения ($F_{\text{крит}}$), что позволяет утверждать о статистической значимости установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

3. Расчетные значения t-критерия Стьюдента для коэффициентов b_0 и b_1 энерготехнологических профилей $|t_{b_0}|$ и $|t_{b_1}|$ превосходят по модулю критическое значение ($t_{\text{крит}}$), что позволяет утверждать о статистической значимости коэффициентов b_0 и b_1 установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) и по аналогии с расчетами и анализом электропотребления для экскаватора РС-3000 №2

выполнены оценка средних значений остатков, значений критерия Дарбина-Уотсона и значений коэффициента эластичности для энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблицы П.1.6, П.1.7).

Результаты оценки показывают:

1. Средние значения остатков ($\bar{\epsilon}$) и значения критерия Дарбина-Уотсона находятся в пределах значений, при которых можно принять выполнимыми условия для применения теоремы Гаусса-Маркова.

2. Значения коэффициентов эластичности показывают:

- электропотребление будет увеличиваться на $(0,55 \div 0,70)\%$ при увеличении объемов вскрышных экскаваторных работ на 1%;
- снижение удельного электропотребления на $(0,29 \div 0,78)\%$ при увеличении объемов вскрышных экскаваторных работ на 1%.

Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили повышают уровень аналитического описания энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ как вероятностных величин для принятия управленческих решений, в частности при адресном планировании, оценке выполнения заданий по электропотреблению, удельному электропотреблению при выполнении фактических объемов работ.

3.3. Исследование процесса электропотребления добычных горных работ

3.3.1. Исходные положения

Исследование процесса электропотребления добычных горных работ выполнено в условиях Бородинского разреза, осуществляющего разработку Бородинского бурогоугольного месторождения открытым способом.

Добычные горные работы ведутся на четырех угольных пластах общей мощностью до 46 м. Добываемые угли относятся к переходным от углей марки 2Б

к углям марки ЗБ. Общее направление использования добываемых углей относится к энергетике.

Добыча угля ведется с применением роторных экскаваторов и механических лопат (таблица 3.1). К анализу приняты:

– добычные работы, выполняемые роторными экскаваторами ЭРП-2500, ЭРП-1600, ЭР-1250 с погрузкой угля в полувагоны и транспортировкой тепловозами ТЭМ-7;

– добычные работы, выполняемые механическими лопатами ЭКГ-4У с погрузкой в автотранспорт.

3.3.2. Статистические характеристики и вероятностные модели энерготехнологических показателей добычных горных работ

В результате исследования режимов электропотребления добычных экскаваторных работ, выполняемых указанными выше экскаваторами, сформированы статистические выборки фактических данных о сменных объемах добычных работ, потреблении электроэнергии и удельном электропотреблении на указанные работы.

В соответствии методическим положениям (гл. 2) и по аналогии с анализом электропотребления для экскаватора РС-3000 для каждого экскаватора:

– определены статистические характеристики сменных объемов работ $Q_{см}$, т, сменного электропотребления – $W_{см}$, кВт·ч, удельного электропотребления – $w_{см}$, кВт·ч/т, в числе которых среднее значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса;

– установлены вероятностные законы (модели) распределения вероятностей объемов добычных работ, электропотребления, а также удельного электропотребления;

– получены корреляционные зависимости (энерготехнологические профили) между указанными величинами $W_{см} = f(Q_{см})$ и $w_{см} = f(Q_{см})$.

Вместе с этим выполнены:

– проверка на статистическую значимость коэффициентов корреляции и детерминации с определением доверительных интервалов коэффициентов корреляции;

– оценка качества установленных корреляционных уравнений (энергетических профилей) с определением средней относительной ошибки аппроксимации, с проверкой статистической значимости оценок параметров уравнений;

– проверка условий выполнения требований теоремы Гаусса-Маркова для применения метода наименьших квадратов при определении коэффициентов уравнений.

Статистические характеристики энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ приведены в Приложении 1 (таблица П.1.8).

Анализ статистических характеристик сменного объема добычных работ, сменного электропотребления и сменного удельного электропотребления в целом характеризуются как и статистики экскаватора РС-3000 №2: средние значения энерготехнологических показателей имеют близкие значения по отношению к модальным значениям; стандартные отклонения имеют значения, при которых коэффициент вариации не превышает 21%, т. е. меньше, чем 33%; коэффициенты асимметрии имеют значения, показывающие незначительную положительную и отрицательную асимметрию распределений вероятностей энерготехнологических показателей; коэффициенты эксцесса показывают незначительную положительную и отрицательную островершинность распределений плотностей вероятностей энерготехнологических показателей.

Указанный характер статистик позволяет выдвинуть гипотезу о возможности распределения вероятностей анализируемых энерготехнологических показателей по нормальному закону.

Проверка гипотез о принадлежности закона распределения вероятностей энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ к нормальному закону, выполненная с применением критерия Колмогорова,

показала, что с доверительной вероятностью 0,95 можно принять нормальный закон распределения.

Вероятностные модели (законы распределения вероятностей) энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ приведены в таблице 3.8.

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) и по аналогии с расчетами и анализом электропотребления экскаватора РС-3000 №2 установлены энерготехнологические профили добычных экскаваторных работ – корреляционные зависимости сменного электропотребления ($W_{см}$) и сменного удельного электропотребления ($w_{см}$) от сменных объемов работ ($Q_{см}$), которые приведены в таблицах 3.9, 3.10.

В соответствии методическим положениям (гл. 2) выполнена (по аналогии с проверкой для экскаватора РС-3000 №2) проверка коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления для добычных работ, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблицы П.1.9, П.1.10).

Результаты проверки показывают:

1. Расчетные значения t-коэффициента Стьюдента ($t_{расч}$) по модулю превосходят табличные значения ($t_{табл}$), что позволяет утверждать о статистической значимости коэффициентов корреляции установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ при доверительной вероятности 0,95.

2. Расчетные значения F-коэффициента Фишера ($F_{расч}$) превосходят табличные значения ($F_{табл}$), что позволяет утверждать о статистической значимости коэффициентов детерминации установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ при доверительной вероятности 0,95.

Таблица 3.8 – Вероятностные модели энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ

№ п/п	Экскаватор		Показатель	Вероятностные модели (закон распределения вероятностей)	Критерий согласия Колмогорова	
	Тип	Номер			$\lambda_{расч}$	$\lambda_{кр}$
1	2	3	4	6	7	8
Добыча (отгрузка)						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭРП-2500	3	Объем, т	$f^*(Q) = 0,003 \times e^{-\frac{(Q-4228,3)^2}{1481860,3}}$	0,088	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,007 \times e^{-\frac{(W-2038,6)^2}{235631,2}}$	0,056	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 36,1 \times e^{-\frac{(w-0,490)^2}{0,010}}$	0,120	0,173
2	ЭРП-2500	4	Объем, т	$f^*(Q) = 0,003 \times e^{-\frac{(Q-4266,2)^2}{1384318,5}}$	0,093	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,007 \times e^{-\frac{(W-2061,6)^2}{238384,7}}$	0,057	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 35,4 \times e^{-\frac{(w-0,491)^2}{0,010}}$	0,099	0,173
3	ЭРП-2500	90	Объем, т	$f^*(Q) = 0,006 \times e^{-\frac{(Q-2107,3)^2}{346471,1}}$	0,084	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,014 \times e^{-\frac{(W-1027,4)^2}{60897,7}}$	0,089	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 37,4 \times e^{-\frac{(w-0,495)^2}{0,009}}$	0,110	0,173
4	ЭРП-1600	5	Объем, т	$f^*(Q) = 0,006 \times e^{-\frac{(Q-2132,6)^2}{358064,2}}$	0,070	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,014 \times e^{-\frac{(W-1028,4)^2}{67140,2}}$	0,054	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 39,4 \times e^{-\frac{(w-0,488)^2}{0,008}}$	0,103	0,173
5	ЭРП-1600	7	Объем, т	$f^*(Q) = 0,004 \times e^{-\frac{(Q-2834,4)^2}{641127,2}}$	0,067	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,011 \times e^{-\frac{(W-1376,1)^2}{111720,2}}$	0,068	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 36,5 \times e^{-\frac{(w-0,493)^2}{0,009}}$	0,099	0,173

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	6	7	8
6	ЭР-1250	72	Объем, т	$f^*(Q) = 0,006 \times e^{\frac{-(Q-2118,1)^2}{330212,5}}$	0,099	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,015 \times e^{\frac{-(W-1014,2)^2}{57504,9}}$	0,051	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 39,5 \times e^{\frac{-(w-0,485)^2}{0,008}}$	0,079	0,173
7	ЭР-1250	94	Объем, т	$f^*(Q) = 0,006 \times e^{\frac{-(Q-2107,3)^2}{346471,1}}$	0,084	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,014 \times e^{\frac{-(W-1027,4)^2}{60897,7}}$	0,089	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 37,4 \times e^{\frac{-(w-0,495)^2}{0,009}}$	0,110	0,173
8	ЭКГ-4у	19	Объем, т	$f^*(Q) = 0,007 \times e^{\frac{-(Q-1781,4)^2}{241940,5}}$	0,089	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,017 \times e^{\frac{-(W-853,6)^2}{42020,4}}$	0,070	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 45,1 \times e^{\frac{-(w-0,485)^2}{0,006}}$	0,083	0,173
9	ЭКГ-4у	339	Объем, т	$f^*(Q) = 0,007 \times e^{\frac{-(Q-1769,645)^2}{230116,943}}$	0,083	0,173
			Электропотребление, кВт*ч	$f^*(W) = 0,017 \times e^{\frac{-(W-855,565)^2}{45017,282}}$	0,074	0,173
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	$f^*(w) = 41,1 \times e^{\frac{-(w-0,489)^2}{0,007}}$	0,076	0,173

Таблица 3.9 – Энерготехнологические профили электропотребления добычных экскаваторных работ, $W_{CM} = f(Q_{CM})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость, $W_{CM} = f(Q_{CM})$	Коэффициенты	
	Тип	Номер		корреляции	детерминации
1	2	3	4	5	6
Добыча (отгрузка)					
Разрез «Бородинский»					
1	ЭРП-2500	3	$W_{CM} = 804,4 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	0,732	0,536
2	ЭРП-2500	4	$W_{CM} = 816,7 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	0,703	0,494
3	ЭРП-2500	90	$W_{CM} = 608,4 + 0,339 \cdot Q_{CM}$	0,812	0,659
4	ЭРП-1600	5	$W_{CM} = 326,2 + 0,329 \cdot Q_{CM}$	0,760	0,578
5	ЭРП-1600	7	$W_{CM} = 531,5 + 0,298 \cdot Q_{CM}$	0,713	0,508
6	ЭР-1250	72	$W_{CM} = 363,7 + 0,307 \cdot Q_{CM}$	0,736	0,542
7	ЭР-1250	94	$W_{CM} = 370,0 + 0,312 \cdot Q_{CM}$	0,744	0,554
8	ЭКГ-4у	19	$W_{CM} = 247,6 + 0,340 \cdot Q_{CM}$	0,816	0,666
9	ЭКГ-4у	339	$W_{CM} = 257,3 + 0,338 \cdot Q_{CM}$	0,764	0,584

Таблица 3.10 – Энерготехнологические профили удельного электропотребления добычных экскаваторных работ, $w_{CM} = f(Q_{CM})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость, $w_{CM} = f(Q_{CM})$	Коэффициенты	
	Тип	Номер		корреляции	детерминации
1	2	3	4	5	6
Добыча (отгрузка)					
Разрез «Бородинский»					
1	ЭРП-2500	3	$w_{CM} = 0,681 - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,561	0,315
2	ЭРП-2500	4	$w_{CM} = 0,695 - 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,563	0,317
3	ЭРП-2500	90	$w_{CM} = 0,624 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,482	0,232
4	ЭРП-1600	5	$w_{CM} = 0,641 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,478	0,228
5	ЭРП-1600	7	$w_{CM} = 0,674 - 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,529	0,280
6	ЭР-1250	72	$w_{CM} = 0,661 - 8,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,532	0,283
7	ЭР-1250	94	$w_{CM} = 0,684 - 8,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,559	0,312
8	ЭКГ-4у	19	$w_{CM} = 0,634 - 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,526	0,277
9	ЭКГ-4у	339	$w_{CM} = 0,642 - 8,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,482	0,232

3. Доверительные области коэффициентов корреляции имеют малый размах, что позволяет признать оценки коэффициентов корреляции достаточно надежными при доверительной вероятности 0,95.

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) и по аналогии с анализом электропотребления для экскаватора РС-3000 №2 (п. 3.2) выполнена оценка качества энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблицы П.1.11, П.1.12).

Результаты оценки показывают:

1. Точность установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ по шкале Чеддока высокая ($\bar{A} < 10\%$).

2. Расчетные значения F-критерия Фишера ($F_{\text{расч}}$) превышают критические значения ($F_{\text{крит}}$), что позволяет утверждать о статистической значимости установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

3. Расчетные значения t-критерия Стьюдента для коэффициентов b_0 и b_1 энерготехнологических профилей $|t_{b_0}|$ и $|t_{b_1}|$ превосходят по модулю табличное значение ($t_{\text{крит}}$), что позволяет утверждать о статистической значимости коэффициентов b_0 и b_1 установленных энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ (при доверительной вероятности 0,95).

В соответствии с методическими положениями (гл. 2) и по аналогии с анализом электропотребления для экскаватора РС-3000 №2 (п. 3.2) выполнена оценка среднего значения остатков, значения критерия Дарбина-Уотсона и значения коэффициента эластичности для энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления добычных экскаваторных работ, результаты которой приведены в Приложении 1 (таблицы П.1.13, П.1.14).

Результаты оценки показывают:

1. Средние значения остатков ($\bar{\epsilon}$) и значения критерия Дарбина-Уотсона находятся в пределах значений, при которых можно признать выполнимыми условия для применения теоремы Гаусса-Маркова.

2. Значения коэффициентов эластичности показывают:

– электропотребление будет увеличиваться на $(0,60 \div 0,70)\%$ при увеличении объемов добычных экскаваторных работ на 1%;

– удельное электропотребление будет снижаться на $(0,30 \div 0,45)\%$ при увеличении объемов добычных экскаваторных работ на 1%.

Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили повышают уровень аналитического описания энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ как вероятностных величин для принятия управленческих решений, в частности при адресном планировании, оценке выполнения заданий по эффективности электропотребления при выполнении фактических объемов добычных работ – по удельному электропотреблению.

3.4. Выводы

На основании исследования энерготехнологических режимов процесса электропотребления горных работ предприятий угольной отрасли, разрабатывающих месторождения каменных и бурых углей открытым способом, сформированы следующие выводы:

1. Исследования энерготехнологических режимов выполнено для большинства марок механических лопат, драглайнов и роторных экскаваторов, применяемых на вскрышных и добычных работах предприятий угольной отрасли.

2. На основании результатов исследования энерготехнологических режимов к анализу приняты 37356 фактических значений сменных объемов вскрышных и добычных горных работ и электропотребления на эти работы. В результате сформированы статистические выборки объемов вскрышных и добычных работ, электропотребления и удельного электропотребления, позволившие выполнить исследование энерготехнологических режимов электропотребления экскаваторов как случайных процессов.

3. Определены статистические характеристики энерготехнологических параметров – сменных объемов вскрышных экскаваторных работ, электропотребления, удельного электропотребления как случайных величин, в числе которых среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс.

4. Установлены вероятностные законы распределения вероятностей (вероятностные модели) энерготехнологических параметров для различных

технологических схем вскрышных экскаваторных работ, а именно: автотранспортной вскрыши, вскрыши с погрузкой в железнодорожный транспорт, бестранспортной вскрыши, приемки вскрышных пород в отвалы. Установленные вероятностные законы распределения вероятностей достаточно надежно (с доверительной вероятностью 0,95) соответствуют нормальному закону распределения.

5. Выполнено моделирование энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления в виде корреляционных зависимостей указанных параметров от объемов вскрышных экскаваторных работ, в числе которых: автотранспортная вскрыша, вскрыша с погрузкой в железнодорожный транспорт, бестранспортная вскрыша, приемка вскрышных пород в отвалы. Полученные энерготехнологические профили описываются линейными уравнениями с статистически значимыми коэффициентами корреляции и детерминации и достаточно высокой (в соответствии со шкалой Чеддока) математической точностью при средней относительной ошибке аппроксимации на уровне 10-20%.

6. Полученные коэффициенты эластичности энерготехнологических профилей показывают, что при увеличении объемов вскрышных экскаваторных работ на 1% электропотребление увеличивается (для различных экскаваторов) на $(0,55 \div 0,70)\%$, а удельное электропотребление уменьшается на $(0,29 \div 0,78)\%$.

7. Определены статистические характеристики энерготехнологических параметров – сменных объемов добычных экскаваторных работ, электропотребления, удельного электропотребления как случайных величин, в числе которых среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс.

8. Установлены вероятностные законы распределения вероятностей (вероятностные модели) энерготехнологических параметров добычных экскаваторных работ. Установленные вероятностные законы распределения вероятностей достаточно надежно (с доверительной вероятностью 0,95) соответствуют нормальному закону распределения.

9. Выполнено моделирование энерготехнологических профилей электропотребления и удельного электропотребления в виде корреляционных зависимостей указанных параметров от объемов добычных экскаваторных работ. Полученные энерготехнологические профили описываются линейными уравнениями с статистически значимыми коэффициентами корреляции и детерминации и достаточно высокой (в соответствии со шкалой Чеддока) математической точностью при средней относительной ошибке аппроксимации на уровне 10-20%.

10. Полученные коэффициенты эластичности энерготехнологических профилей показывают, что при увеличении объемов добычных экскаваторных работ на 1% электропотребление увеличивается на $(0,60 \div 0,70)\%$, а удельное электропотребление уменьшается на $(0,30 \div 0,45)\%$.

11. Установленные вероятностные модели энерготехнологических параметров, энерготехнологические профили позволяют повысить уровень аналитического описания энерготехнологических режимов вскрышных и добычных работ для повышения уровня управления энергоэффективностью, в части улучшения их адресного планирования, оперативного управления и отчетности с учетом фактических объемов работ.

Глава 4. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик экскаваторных работ на угледобывающих предприятиях

4.1. Исходные положения

Установленные в главе 3 статистические характеристики, вероятностные модели, энерготехнологические профили отражают индивидуальные энерготехнологические свойства определенного типа, марки экскаватора с учетом вероятностного подхода к анализу экскаваторных работ.

Полученные индивидуальные характеристики повышают уровень аналитического описания экскаваторных работ, в том числе устанавливают зависимости удельного электропотребления от сменных объемов работ экскаваторов. Указанные индивидуальные характеристики целесообразно применять в целях повышения уровня управления энергопотреблением при его анализе, оценке, планировании, нормировании и отчетности. Эти характеристики с учетом их индивидуальной принадлежности к определенному типу, марки позволяют повысить адресность управления электропотреблением, доводя его до конкретного экскаватора, конкретной смены (экипажа).

Вместе с этим для анализа, оценки, планирования, нормирования эффективности экскаваторных работ с целью повышения уровня управления энергопотреблением на уровне предприятия в целом требуются характеристики, отражающие групповые (обобщенные) энерготехнологические свойства этих работ.

В этой связи целесообразно определить соответствующие обобщенные энергетические профили (закономерности) энергопотребления от производственных, технологических параметров.

Задача установления указанных обобщенных энерготехнологических профилей включает в себя (как показано в гл. 2): группировку экскаваторов в определенные типические группы; выделение видов экскаваторных работ (вскрышные, добычные); определение технических параметров, от которых

зависит удельное электропотребление; сбор энерготехнологических статистических данных о работе экскаваторов каждой сгруппированной группы; проверку возможности объединения этих данных в выборочные совокупности для группы нескольких предприятий (в случае настоящего исследования – для предприятий Сибирской угольной энергетической компании). Затем с помощью полученных типических выборок определить обобщённые статистические характеристики, вероятностные модели (профили), энерготехнологические профили экскаваторных работ.

При исследовании обобщенных энерготехнологических характеристик приняты статистические данные предприятий о: фактическом среднесменном объеме (производительности) работ $Q_{\text{ср.см}}$; коэффициенте технической производительности, представляющем отношение фактической среднесменной производительности к номинальной (паспортной) среднесменной производительности $k_{\text{тп.ср.см}} = Q_{\text{ср.см}}/Q_{\text{т}}$; среднесменном удельном электропотреблении $w_{\text{ср.см}}$.

Группировка экскаваторов проводилась:

- по видам работ – вскрышные, добычные, отгрузочные;
- по типам экскаваторов – механические лопаты, драглайны;
- по маркам экскаваторов.

Вскрышные работы в исследовании представлены следующими экскаваторами:

- механические лопаты – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5;
- драглайны – ЭШ-10/70, ЭШ-11/70, ЭШ-13/50, ЭШ-15/80, ЭШ-20/90.

Добычные работы в исследовании представлены экскаваторами – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И.

Отгрузочные работы представлены экскаваторами – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А.

Всего исследованием по установлению обобщенных энерготехнологических характеристик охвачено 139 экскаваторов.

4.2. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик вскрышных экскаваторных работ

Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик выполнено в соответствии с методическими положениями, изложенными в гл. 2.

Для формирования обобщенных статистических выборок для указанных выше групп экскаваторов, выполняющих однотипные (идентичные) виды работ, следует провести проверку на отсутствие значимых статистических различий в их индивидуальных выборках. Указанная проверка проведена с применением непараметрического критерия Ван-дер-Вардена, рассчитанного по выражению 2.34, для всех типов экскаваторов на вскрышных, добычных и отгрузочных работах.

Исследование проведено для всех обобщенных выборок экскаваторов. В настоящей работе приведено исследование для обобщенной выборки применительно к экскаваторам ЭШ-10/70.

Результаты проверки гипотезы об отсутствии различий в выборках среднесменной производительности экскаваторов ЭШ-10/70 различных разрезов представлены в таблице 4.1.

Данные таблицы 4.1 показывают, что расчетные значения критерия Ван-дер-Вардена ($X_{эмп}$) меньше критических значений ($X_{кр}$). В этом случае допустимо с доверительной вероятностью 0,95 принять гипотезу об отсутствии статистических различий между выборками экскаваторов ЭШ-10/70, выполняющие идентичные работы на различных разрезах, указанных в таблице 4.1. Таким образом, индивидуальные выборки указанных экскаваторов ЭШ-10/70 можно объединить в обобщенную выборку.

Подобным образом были проверены на отсутствие статистических различий выборки для других групп экскаваторов, выполняющих вскрышные работы, а также для экскаваторов, выполняющих добычные и отгрузочные работы.

Таблица 4.1 – Проверка гипотез об отсутствии различий в выборках среднесменной производительности экскаваторов ЭШ-10/70

№, п/п	Сравниваемые выборки среднесменной производительности экскаваторов ЭШ-10/70 для разрезов		Значения критерия Ван-дер-Вардена		Вывод по гипотезе
			$X_{эмп}$	$X_{кр}$	
1	2	3	4	5	6
1	Восточно-Бейский	Изыхский	0,59	2,4	Принимается
2	Восточно-Бейский	Новошахтинский	~0,00	2,4	Принимается
3	Восточно-Бейский	Бородинский	0,67	2,4	Принимается
4	Восточно-Бейский	Назаровский	1,40	2,4	Принимается
5	Восточно-Бейский	Заречный	~0,00	2,4	Принимается
6	Восточно-Бейский	Камышанский	~0,00	2,4	Принимается
7	Восточно-Бейский	Майский	~0,00	2,4	Принимается
8	Восточно-Бейский	Черногорский	-0,75	2,3	Принимается
9	Восточно-Бейский	Тугнуйский	~0,00	2,4	Принимается
10	Восточно-Бейский	Харанорский	~0,00	2,4	Принимается
11	Восточно-Бейский	Восточный	1,40	2,4	Принимается
12	Изыхский	Новошахтинский	-1,09	2,4	Принимается
13	Изыхский	Бородинский	~0,00	2,4	Принимается
14	Изыхский	Назаровский	1,40	2,4	Принимается
15	Изыхский	Заречный	-1,09	2,4	Принимается
16	Изыхский	Камышанский	-0,67	2,4	Принимается
17	Изыхский	Мситский	~0,00	2,4	Принимается
18	Изыхский	Черногорский	-0,75	2,3	Принимается
19	Изыхский	Тугнуйский	-0,97	2,4	Принимается
20	Изыхский	Харанорский	~0,00	2,4	Принимается
21	Изыхский	Восточный	~0,00	2,4	Принимается
22	Новошахтинский	Бородинский	0,67	2,4	Принимается
23	Новошахтинский	Назаровский	1,40	2,4	Принимается
24	Новошахтинский	Заречный	0,59	2,4	Принимается
25	Новошахтинский	Камышанский	0,67	2,3	Принимается
26	Новошахтинский	Майский	0,67	2,4	Принимается
27	Новошахтинский	Черногорский	-0,75	2,3	Принимается
28	Новошахтинский	Тугнуйский	0,43	2,3	Принимается
29	Новошахтинский	Харанорский	0,67	2,3	Принимается
30	Новошахтинский	Восточный	1,40	2,4	Принимается
31	Бородинский	Назаровский	1,40	2,4	Принимается
32	Бородинский	Заречный	-0,67	2,4	Принимается
33	Бородинский	Камышанский	-0,43	2,4	Принимается
34	Бородинский	Майский	-0,43	2,4	Принимается
35	Бородинский	Черногорский	-0,43	2,3	Принимается
36	Бородинский	Тугнуйский	-0,84	2,3	Принимается
37	Бородинский	Харанорский	-0,43	2,4	Принимается
38	Бородинский	Восточный	0,84	2,3	Принимается

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
39	Назаровский	Заречный	-1,40	2,4	Принимается
40	Назаровский	Камышанский	-0,84	2,3	Принимается
41	Назаровский	Майский	-0,84	2,4	Принимается
42	Назаровский	Черногорский	-0,99	2,4	Принимается
43	Назаровский	Тугнуйский	-1,81	2,4	Принимается
44	Назаровский	Харанорский	-0,84	2,3	Принимается
45	Назаровский	Восточный	1,81	2,4	Принимается
46	Заречный	Камышанский	~0,00	2,4	Принимается
47	Заречный	Мситский	0,67	2,4	Принимается
48	Заречный	Черногорский	-0,75	2,3	Принимается
49	Заречный	Тугнуйский	~0,00	2,4	Принимается
50	Заречный	Харанорский	0,67	2,4	Принимается
51	Заречный	Восточный	1,40	2,4	Принимается
52	Камышанский	Мситский	0,43	2,4	Принимается
53	Камышанский	Черногорский	-0,43	2,3	Принимается
54	Камышанский	Тугнуйский	0,25	2,3	Принимается
55	Камышанский	Харанорский	0,43	2,4	Принимается
56	Камышанский	Восточный	0,84	2,3	Принимается
57	Майский	Черногорский	-0,43	2,3	Принимается
58	Майский	Тугнуйский	-0,84	2,3	Принимается
59	Майский	Харанорский	0,43	2,4	Принимается
60	Майский	Восточный	0,84	2,3	Принимается
61	Черногорский	Тугнуйский	0,99	2,3	Принимается
62	Черногорский	Харанорский	0,43	2,3	Принимается
63	Черногорский	Восточный	0,99	2,4	Принимается
64	Тугнуйский	Харанорский	0,84	2,3	Принимается
65	Тугнуйский	Восточный	1,81	2,4	Принимается
66	Тугнуйский	Восточный	0,84	2,3	Принимается

При исследовании энерготехнологических характеристик определялись:

– статистики среднесменных объемов работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления – среднее значение, медиана, мода, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрия, эксцесс;

– вероятностные модели – законы распределения вероятностей среднесменных объемов работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления;

– коэффициенты корреляции и детерминации статистических связей между среднесменным объемом работ ($Q_{\text{ср.см}}$) и среднесменным удельным электропотреблением ($w_{\text{ср.см}}$), а также среднесменным коэффициентом технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$) и среднесменным удельным электропотреблением ($w_{\text{ср.см}}$);

– корреляционные зависимости между указанными величинами – $Q_{\text{ср.см}} = f(w_{\text{ср.см}})$ и $k_{\text{тп.ср.см}} = f(w_{\text{ср.см}})$ – энерготехнологические профили.

Вместе с этим выполнялась:

– проверка коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость с определением доверительного интервала коэффициента корреляции;

– оценка качества уравнений корреляционных зависимостей с определением средней относительной ошибки аппроксимации и статистической значимости уравнения;

– проверка условий выполнения требований условий Гаусса-Маркова для применения метода наименьших квадратов при определении коэффициентов корреляционных уравнений;

– определение коэффициентов эластичности обобщенных энерготехнологических профилей.

Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик приведено на примере анализа обобщенной выборки экскаваторов ЭШ-10/70.

Для остальных типов и марок экскаваторов приводятся результирующие обобщенные статистические характеристики, вероятностные модели и энерготехнологические профили.

Среднесменные показатели объема работ, коэффициента технической производительности и удельного электропотребления экскаваторов ЭШ-10/70, работающих на вскрышных работах, приведены в таблице 4.2.

Статистические характеристики, определенные по выражениям 2.3-2.10, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.2 – Среднесменные объемы работы ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициенты технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$) и удельное электропотребление ($w_{\text{ср.см.}}$) экскаваторов ЭШ-10/70, работающих на вскрышных работах

№ п/п	Экскаватор	$Q_{\text{ср.см}}$, м ³	$w_{\text{ср.см.}}$, кВт*ч/м ³	$k_{\text{тп.ср.см}}$
1	ЭШ-10/70	3202,847	0,843	0,755
2	ЭШ-10/70	4273,927	0,770	1,007
3	ЭШ-10/70	1515,152	1,170	0,357
4	ЭШ-10/70	3561,151	0,814	0,839
5	ЭШ-10/70	4082,126	0,780	0,962
6	ЭШ-10/70	4197,761	0,774	0,989
7	ЭШ-10/70	3120,968	0,851	0,736
8	ЭШ-10/70	3164,384	0,847	0,746
9	ЭШ-10/70	3136,986	0,850	0,739
10	ЭШ-10/70	3150,685	0,848	0,743
11	ЭШ-10/70	4157,895	0,776	0,980
12	ЭШ-10/70	3678,930	0,806	0,867
13	ЭШ-10/70	3863,636	0,793	0,911
14	ЭШ-10/70	3453,947	0,822	0,814
15	ЭШ-10/70	1441,992	1,202	0,340
16	ЭШ-10/70	4730,469	0,749	1,115
17	ЭШ-10/70	5394,531	0,724	1,272
18	ЭШ-10/70	4835,287	0,744	1,140
19	ЭШ-10/70	3459,119	0,822	0,815
20	ЭШ-10/70	3785,489	0,798	0,892
21	ЭШ-10/70	4266,212	0,770	1,006
22	ЭШ-10/70	3448,276	0,823	0,813
23	ЭШ-10/70	2901,235	0,874	0,684
24	ЭШ-10/70	2984,496	0,865	0,703
25	ЭШ-10/70	2912,621	0,873	0,687

Таблица 4.3 – Статистические характеристики среднесменных показателей объема работ, коэффициента технической производительности и удельного электропотребления экскаваторов ЭШ-10/70

Показатель	Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
$Q_{\text{ср.см}}$, м ³	3548,81	3459,12	Multiple	896,05	0,25	-0,457	1,119
$w_{\text{ср.см}}$, кВт * ч/м ³	0,840	0,822	Multiple	0,112	0,13	2,52	6,55
$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,837	0,815	Multiple	0,211	0,25	-0,457	1,12

Анализ статистических характеристик показывает, что рассматриваемые случайные величины: имеют близкие оценки среднего значения и медианы; их распределения мультимодальные; имеют достаточно небольшие стандартные отклонения, коэффициенты вариации меньше, чем 0,3; относительно небольшие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Вышеотмеченное для статистических характеристик рассматриваемых величин, а именно: близкие значения среднего и медианы; достаточно незначительные значения среднеквадратического отклонения; значения коэффициента вариации меньше, чем 0,3; относительно небольшие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса – позволяют предположить возможность распределения вероятностей указанных величин по нормальному закону распределения.

Проверка гипотез о принадлежности законов распределения вероятностей рассматриваемых величин к нормальному закону распределения, выполненная с применением критерия Колмогорова, показала, что с доверительной вероятностью 0,95 можно принять нормальный закон распределения (2.11).

Выражения для плотности распределения вероятности рассматриваемых величин приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Законы распределения плотности вероятности среднесменных показателей: объема работ, коэффициента технической производительности и удельного электропотребления экскаваторов ЭШ-10/70.

Показатель	Законы распределения	Критерий согласия Колмогорова	
		$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{кр}}$
$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3/\text{см}$	$f^*(Q) = 0,0004 \times e^{-\frac{(Q-3548,805)^2}{1605834}}$	0,154	0,270
$w, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 3,552 \times e^{-\frac{(w-0,840)^2}{0,025}}$	0,269	0,270
$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 1,888 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,837)^2}{0,089}}$	0,154	0,270

Гистограмма и кривая закона нормального распределения плотности вероятностей среднесменного объема работ приведены на рисунке 4.1.

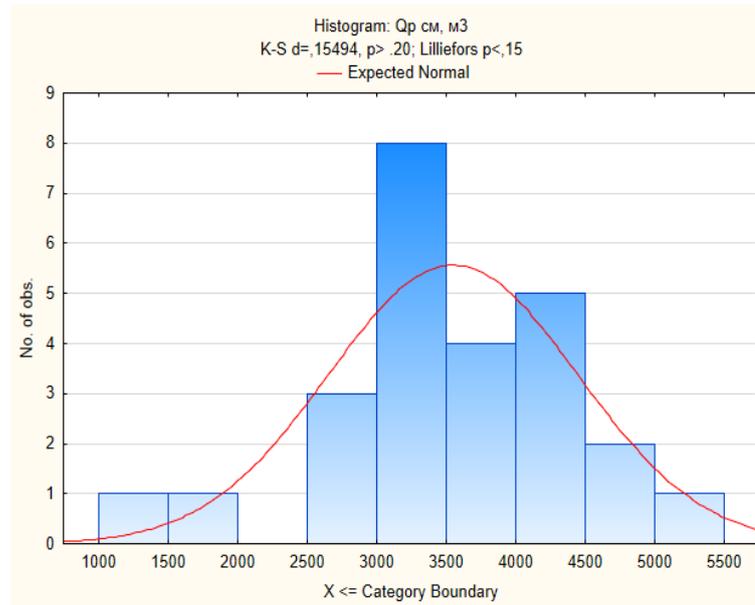


Рисунок 4.1 – Гистограмма и кривая закона нормального распределения плотности вероятностей среднесменного объема работ экскаваторов ЭШ-10/70 на вскрышных работах

Обобщенные статистические характеристики и законы распределения среднесменных параметров: объема работы, коэффициента технической производительности и удельного электропотребления – позволяют повысить уровень аналитического энерготехнологического описания при планировании вскрышных работ при применении экскаваторов ЭШ-10/70.

Для повышения уровня прогнозирования, планирования, нормирования целесообразно определить зависимости среднесменного удельного электропотребления от объема работ и коэффициента технической производительности $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$. Указанные корреляционные зависимости определены с применением метода наименьших квадратов. При определении вида зависимостей лучшие значения качественной оценки аппроксимации соответствовали: линейному и гиперболическому видам для зависимостей среднесменного удельного электропотребления от среднесменного объема работ; линейному и логарифмическому видам для зависимостей среднесменного удельного электропотребления от среднесменного коэффициента технической производительности.

Полученные зависимости – энерготехнологические профили, а также коэффициенты корреляции и детерминации между величинами в этих зависимостях, определенные по 2.17, 2.19, 2.20, приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Зависимости среднесменного удельного энергопотребления от среднесменных объема работ и коэффициента технической производительности (энерготехнологические профили) вскрышных работ для экскаваторов ЭШ-10/70

№ п/п	Зависимости	Коэффициенты			
		Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
1	$w_{\text{ср.см}} = 1,243 - 0,0001 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,990	-	0,980	-
2	$w_{\text{ср.см}} = 19,52 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,338}$	-	0,991	-	0,919
3	$w_{\text{ср.см}} = 1,243 - 0,482 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,907	-	0,823	-
4	$w_{\text{ср.см}} = 0,761 - 0,838 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,991	-	0,920

Анализируя в соответствии со шкалой Чеддока значения коэффициентов корреляции (таблица 4.5) можно заключить, что теснота связи между переменными достаточно сильная. Вместе с этим следует отметить, что доля вариации среднесменного удельного электропотребления от среднесменных объемов работ и коэффициента технической производительности является высокой и составляет соответственно 0,980 и 0,823.

Оценки статистической значимости коэффициентов корреляции и детерминации, а также доверительных границ коэффициента корреляции получены в соответствии с выражениями 2.18, 2.22-2.25.

Расчетное значение t-критерия Стьюдента

$$t_{\text{расч}} = \frac{R_{wQ}}{\sqrt{1 - R_{wQ}^2}} \times \sqrt{n - m - 1} = \frac{-0,907}{\sqrt{1 - (-0,907)^2}} \times \sqrt{25 - 1 - 1} \quad (4.1)$$

$$= -10,33,$$

где m – число независимых переменных (в случае парной корреляции $m = 1$).

Расчетное значение критерия Стьюдента ($t_{\text{расч}}$) сравнивается с критическим значением ($t_{\text{крит}} = 2,07$), найденным по таблице критических значений распределения Стьюдента при уровне значимости 5% и числе степеней свободы $df = n - m - 1 = 23$.

Так как $|-10,33| > 2,07$, то коэффициент корреляции признается статистически значимым.

Проверка статистической значимости коэффициента детерминации производится с помощью F-критерия Фишера. Расчетное значение критерия

$$F_{\text{расч}} = \frac{R_{wQ}^2}{1 - R_{wQ}^2} \times \frac{n - m - 1}{m} = \frac{(-0,907)^2}{1 - (-0,907)^2} \times \frac{25 - 1 - 1}{1} = 106,69 \quad (4.2)$$

Расчетное значение $F_{\text{расч}}$ сравнивается с критическим значением ($F_{\text{крит}} = 4,28$), найденным по таблице критических значений распределения Фишера-Снедекора (F-распределения) при уровне значимости 5% и двум числам степеней свободы $df_1 = m = 1$ и $df_2 = n - m - 1 = 23$.

Т. к. $106,69 > 4,28$, то коэффициент детерминации признается статистически значимым.

Для коэффициента корреляции находится его интервальная оценка, в качестве которой служит доверительный интервал, определенный с вероятностью $\gamma = 1 - \alpha$.

Стандартная ошибка коэффициента корреляции

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - R_{wQ}^2}{n - m - 1}} = \sqrt{\frac{1 - (-0,907)^2}{25 - 1 - 1}} = 0,088. \quad (4.3)$$

Нижняя граница доверительного интервала

$$R_{\text{min}} = R_{wQ} - m_r t_{\text{крит}} = -0,907 - 0,088 \times 0,063 = -0,901; \quad (4.4)$$

верхняя граница доверительного интервала

$$R_{\text{max}} = R_{wQ} + m_r t_{\text{крит}} = -0,907 + 0,088 \times 0,063 = -0,913, \quad (4.5)$$

где $t_{\text{крит}} = 0,063$ – значение, найденное по таблице критических точек распределения Стьюдента при доверительной вероятности 95% и числе степеней свободы $df = n - m - 1 = 23$.

Следовательно, доверительная оценка коэффициента корреляции

$$-0,901 < -0,907 < -0,913. \quad (4.6)$$

Результаты проверки коэффициентов корреляции и детерминации приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Проверка коэффициентов корреляции R и коэффициентов детерминации R^2 на статистическую значимость

№, п/п	Энерготехнологические профили	R	R^2	$t_{\text{расч}}$	$t_{\text{крит}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	Γ_{min}	Γ_{max}
1	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	-0,907	0,823	-10,33	2,07	106,69	4,28	-0,913	-0,901
2	$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	-0,907	0,823	-10,33	2,07	106,69	4,28	-0,913	-0,901

Так как $|t_{\text{расч}}| > t_{\text{крит}}$, то коэффициенты корреляции признаются статистически значимыми.

Так как $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$, то коэффициенты детерминации признаются статистически значимыми.

Средняя относительная ошибка аппроксимации, проверка статистической значимости уравнения регрессии, оценок его параметров b_0, b_1 проводится по выражениям 2.26-2.29.

Средняя относительная ошибка аппроксимации:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{w_i - \widehat{w}_i}{w_i} \right| \times 100\% = \frac{1}{25} \times |0,632| \times 100\% = 2,528 \%. \quad (4.7)$$

Так как $2,528\% < 10\%$, то полученное уравнение регрессии имеет высокую точность.

Проверка статистической значимости уравнения регрессии осуществляется с помощью F-критерия Фишера. Для этого определяется расчетное значение критерия

$$F_{\text{расч}} = \frac{R_{wQ}^2}{1 - R_{wQ}^2} \times \frac{n - m - 1}{m} = \frac{(-0,907)^2}{1 - (-0,907)^2} \times \frac{25 - 1 - 1}{1} = 106,69, \quad (4.8)$$

которое сравнивается с критическим ($F_{\text{крит}} = 4,28$), найденным по таблице критических значений распределения Фишера-Снедекора (F-распределения) при уровне значимости 5% и двум числам степеней свободы $df_1 = m = 1$ и $df_2 = n - m - 1 = 23$.

Так как $106,69 > 4,28$, то с вероятностью ошибки 5% уравнение регрессии признается в целом статистически значимым (адекватно описывающим исходные данные).

Проверка статистической значимости оценок параметров b_0 , b_1 производится с помощью t-критерия Стьюдента. Для этого определяются расчетные значения критерия Стьюдента

$$t_{b_0} = \left| \frac{b_0}{m_{b_0}} \right| = \left| \frac{1,243}{0,059} \right| = 20,995;$$

$$t_{b_1} = \left| \frac{b_1}{m_{b_1}} \right| = \left| \frac{-0,0001}{0,000016} \right| = 6,175,$$
(4.9)

где m_{b_0} ; m_{b_1} – средние квадратические ошибки параметров.

$$m_{b_0} = \sqrt{\frac{\sum(w_i - \widehat{w}_i)^2}{(n-2)} \times \frac{\sum Q_i^2}{n \sum(Q_i - \bar{Q})^2}} \sqrt{\frac{0,116}{(25-2)} \times \frac{334120415,698}{25 \times 192700,13}} =$$

$$= 0,059;$$
(4.10)

$$m_{b_1} = \sqrt{\frac{\sum(w_i - \widehat{w}_i)^2}{(n-2) \sum(Q_i - \bar{Q})^2}} = \sqrt{\frac{0,116}{(25-2) \times 192700,13}} = 0,000016.$$
(4.11)

Теоретическое значение критерия ($t_{\text{крит}} = 2,07$) находится по таблице критических значений распределения Стьюдента при уровне значимости 5% и числу степеней свободы $df = n - m - 1 = 23$.

Так как $20,995 > 2,07$ и $6,175 > 2,07$, то с вероятностью ошибки 5% оценка параметров уравнения регрессии b_0 и b_1 признается статистически значимой.

Результаты оценки качества корреляционных уравнений $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Оценка качества корреляционных уравнений $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$

№, п/п	Энерготехнологические профили	\bar{A}	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b_0}	t_{b_1}	$t_{\text{крит}}$
1	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	2,528	106,69	4,28	1,243	-0,0001	20,99	6,17	2,07
2	$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	1,75	106,69	4,28	1,243	-0,482	30,924	10,342	2,07

Данные таблицы 4.7 показывает, что корреляционные уравнения:

- имеют высокую точность (\bar{A} менее 10%);
- являются в целом статистически значимыми ($F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$);
- оценки коэффициентов, входящих в уравнения, являются статистически значимыми $t_{b_0} > t_{\text{крит}}$, $t_{b_1} > t_{\text{крит}}$.

Для проверки условий выполнения требований теоремы Гаусса-Маркова определяется значения остатков ε_i по выражению 2.30, среднего значения остатков $\bar{\varepsilon}$ (2.31) и критерия Дарбина-Уотсона d (2.32).

Среднее значение остатков, определенное для $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$, равно $-0,0486$, для $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ равно $-0,49 \cdot 10^{-4}$.

Так как числовая оценка математического ожидания приближается к нулю, то имеет место однородность наблюдений, т. е. дисперсия остатков одинакова для всех значений Q_i .

Расчетное значение критерия Дарбина-Уотсона для $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ равно $0,840$, для $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ равно $0,571$. Указанные значения находятся в требуемом диапазоне $0 \leq d_{\text{расч}} \leq 4$.

Для оценки влияния объема горной массы $Q_{\text{ср.см}}$ на удельное электропотребление $w_{\text{ср.см}}$ определяем средний коэффициент эластичности ($\bar{\varepsilon}$) по выражению 2.33

$$\bar{\varepsilon} = b_1 \frac{\bar{Q}}{\bar{w}} = -0,0001 \times \frac{3548,80}{0,84} = -0,423. \quad (4.12)$$

Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов изменяется $w_{\text{ср.см}}$ при изменении $Q_{\text{ср.см}}$ на один процент. Таким образом, среднесменное удельное электропотребление для экскаваторов ЭШ-10/70 уменьшается на $0,423\%$ при возрастании среднесменных объемов работ на 1% .

Приведенный энерготехнологический анализ с установлением статистических характеристик, вероятностных моделей и энерготехнологических профилей для экскаваторов ЭШ-10/70, выполняющих вскрышные работы, с оценкой статистической значимости коэффициентов корреляции, детерминации, корреляционных уравнений, коэффициентов, входящих в эти уравнения, выполнен также для других групп экскаваторов.

Обобщенные статистические характеристики энерготехнологических показателей мехлопат и драглайнов, выполняющих вскрышные работы: среднесменной производительности $Q_{\text{ср.см}}$, коэффициента технической

производительности $k_{\text{тп.ср.см}}$ и среднесменного удельного электропотребления $w_{\text{ср.см}}$ приведены в Приложении 2 (таблицы П.2.1, П.2.2).

Обобщенные вероятностные модели – законы распределения плотности вероятностей энерготехнологических показателей мехлопат и драглайнов, выполняющих вскрышные работы: среднесменной производительности $Q_{\text{ср.см}}$, коэффициента технической производительности $k_{\text{тп.ср.см}}$ и среднесменного удельного электропотребления $w_{\text{ср.см}}$ приведены в таблицах 4.8 и 4.9.

Установленные обобщенные вероятностные профили дают возможность повысить уровень аналитического описания энерготехнологических показателей вскрышных экскаваторных работ как случайных величин.

Смоделированные обобщенные энерготехнологические профили механических лопат и драглайнов, выполняющих вскрышные работы, представленные зависимостями среднесменного удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$) от среднесменных объемов работ ($Q_{\text{ср.см}}$) и коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), приведены в таблицах 4.10, 4.11.

Коэффициенты эластичности, показывающие, на сколько процентов изменится среднесменное удельное электропотребление при изменении на один процент среднесменных объемов работ и коэффициентов технической производительности приведены в таблице 4.12.

Проверка коэффициентов корреляции и детерминации полученных обобщенных энерготехнологических профилей, а также качества этих профилей на статистическую значимость приведена в Приложении 2 (таблицы П.2.3, П.2.4).

Значения критерия Дарбина-Уотсона d и средние значения остатков $\bar{\varepsilon}$ для обобщенных профилей приведены в Приложении 2 (таблица П.2.5).

Выполненная проверка показала приемлемость полученных профилей для применения при управлении процессом электропотребления вскрышных экскаваторных работ.

Установленные обобщенные энерготехнологические профили позволяют повысить уровень аналитического описания влияния среднесменной

Таблица 4.8 – Обобщенные вероятностные профили (законы распределения плотности вероятности) энерготехнологических показателей механических лопат, выполняющих вскрышные работы: среднесменных – производительности ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Вероятностные профили (законы распределения)	Критерий согласия Колмогорова	
				$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{кр}}$
1	ЭКГ-4У	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0004 \times e^{-\frac{(Q-1968,313)^2}{1917447}}$	0,352	0,624
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 0,957 \times e^{-\frac{(w-0,417)^2}{0,347}}$	0,427	0,624
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 1,235 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,323)^2}{0,209}}$	0,352	0,624
2	ЭКГ-5А	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0009 \times e^{-\frac{(Q-435,214)^2}{378821,9}}$	0,197	0,309
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 1,797 \times e^{-\frac{(w-0,551)^2}{0,099}}$	0,358	0,309
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 3,75 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,366)^2}{0,023}}$	0,197	0,309
3	ЭКГ-8И	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0004 \times e^{-\frac{(Q-2861,19)^2}{1662902}}$	0,167	0,410
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 2,419 \times e^{-\frac{(w-0,165)^2}{0,054}}$	0,248	0,410
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 2,983 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,134)^2}{0,035}}$	0,167	0,410
4	ЭКГ-10	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0009 \times e^{-\frac{(Q-3133,88)^2}{389694,1}}$	0,316	0,410
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 9,051 \times e^{-\frac{(w-0,614)^2}{0,004}}$	0,305	0,410
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 7,942 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,357)^2}{0,005}}$	0,316	0,410
5	ЭКГ-12,5	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0011 \times e^{-\frac{(Q-4055,21)^2}{271805,6}}$	0,189	0,349
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 13,99 \times e^{-\frac{(w-0,670)^2}{0,002}}$	0,156	0,349
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 11,17 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,399)^2}{0,003}}$	0,166	0,349

Таблица 4.9 – Обобщенные вероятностные профили (законы распределения плотности вероятности) энерготехнологических показателей драглайнов, выполняющих вскрышные работы: среднесменных – производительности ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Вероятностные профили (законы распределения)	Критерий согласия Колмогорова	
				$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{кр}}$
1	ЭШ-10/70	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0004 \times e^{-\frac{(Q-3548,805)^2}{1605834}}$	0,155	0,270
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 3,552 \times e^{-\frac{(w-0,840)^2}{0,025}}$	0,269	0,270
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 1,888 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,837)^2}{0,089}}$	0,155	0,270
2	ЭШ-11/70	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0013 \times e^{-\frac{(Q-3881,226)^2}{187025,4}}$	0,231	0,565
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 6,124 \times e^{-\frac{(w-0,826)^2}{0,0008}}$	0,236	0,565
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 19,26 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,826)^2}{0,008}}$	0,232	0,565
3	ЭШ-13/50	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0003 \times e^{-\frac{(Q-3200)^2}{3698421}}$	0,190	0,565
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 1,52 \times e^{-\frac{(w-1,180)^2}{0,136}}$	0,273	0,565
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 1,922 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,492)^2}{0,086}}$	0,191	0,565
4	ЭШ-15/80	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0003 \times e^{-\frac{(Q-4237)^2}{3216365}}$	0,273	0,624
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 3,377 \times e^{-\frac{(w-1,183)^2}{0,003}}$	0,267	0,624
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 1,477 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,865)^2}{0,145}}$	0,287	0,624
5	ЭШ-20/90	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q) = 0,0004 \times e^{-\frac{(Q-6093)^2}{1873468}}$	0,279	0,457
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{М}^3$	$f^*(w) = 7,86 \times e^{-\frac{(w-1,415)^2}{0,005}}$	0,288	0,457
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп}}) = 2,74 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп}}-0,916)^2}{0,042}}$	0,283	0,457

Таблица 4.10 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ механических лопат и драглайнов, выполняющих вскрышные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили (зависимости)	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
Вскрышные работы						
Механические лопаты						
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 1,319 - 0,0004 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,990	-	0,980	-
		$w_{\text{ср.см}} = 289,542 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,889}$	-	1,000	-	0,997
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 1,234 - 0,0005 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,895	-	0,801	-
		$w_{\text{ср.см}} = 108,097 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,735}$	-	0,989	-	0,886
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = 1,030 - 0,0002 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,916	-	0,839	-
		$w_{\text{ср.см}} = 75,255 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,625}$	-	0,997	-	0,933
4	ЭКГ-10	$w_{\text{ср.см}} = 0,927 - 0,00001 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,999	-	0,997	-
		$w_{\text{ср.см}} = 44,862 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,534}$	-	1,000	-	0,998
5	ЭКГ-12,5	$w_{\text{ср.см}} = 0,983 - 0,0000007 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,997	-	0,993	-
		$w_{\text{ср.см}} = 34,42 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,474}$	-	0,995	-	1,000
Драглайны						
1	ЭШ-10/70	$w_{\text{ср.см}} = 1,243 - 0,0001 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,907	-	0,823	-
		$w_{\text{ср.см}} = 19,518 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,388}$	-	0,991	-	0,919
2	ЭШ-11/70	$w_{\text{ср.см}} = 1,135 - 0,000068 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,999	-	0,998	-
		$w_{\text{ср.см}} = 10,814 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,305}$	-	0,992	-	1,000
3	ЭШ-13/50	$w_{\text{ср.см}} = 1,761 - 0,0002 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,946	-	0,895	-
		$w_{\text{ср.см}} = 29,637 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,406}$	-	0,995	-	0,951
4	ЭШ-15/80	$w_{\text{ср.см}} = 1,572 - 0,00009 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,985	-	0,970	-
		$w_{\text{ср.см}} = 15,030 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,306}$	-	0,997	-	0,986
5	ЭШ-20/90	$w_{\text{ср.см}} = 1,730 - 0,00005 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,998	-	0,996	-
		$w_{\text{ср.см}} = 9,825 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,223}$	-	0,996	-	1,000

Таблица 4.11 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ механических лопат и драглайнов, выполняющих вскрывные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили (зависимости)	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
Механические лопаты						
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 0,982 - 1,061 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,990		0,980	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,167 - 1,234 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	1,000	-	0,992
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 1,234 - 1,868 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,895		0,801	
		$w_{\text{ср.см}} = -0,024 - 1,214 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,989	-	0,883
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = 1,030 - 1,13 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,916	-	0,839	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,176 - 0,943 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,996	-	0,931
4	ЭКГ-10	$w_{\text{ср.см}} = 0,927 - 0,876 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,999	-	-0,997	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,279 - 0,741 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,999	-	1,000
5	ЭКГ-12,5	$w_{\text{ср.см}} = 0,985 - 0,791 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,991	-	0,982	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,374 - 0,738 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,995	-	0,984
Драглайны						
1	ЭШ-10/70	$w_{\text{ср.см}} = 1,243 - 0,482 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,907	-	0,823	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,761 - 0,838 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,991	-	0,920
2	ЭШ-11/70	$w_{\text{ср.см}} = 1,135 - 0,317 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,999	-	0,998	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,761 - 0,838 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,999	-	0,996
3	ЭШ-13/50	$w_{\text{ср.см}} = 1,767 - 1,192 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,948	-	0,899	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,767 - 1,187 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,996	-	0,958
4	ЭШ-15/80	$w_{\text{ср.см}} = 1,554 - 0,429 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,980	-	0,961	-
		$w_{\text{ср.см}} = 1,118 - 0,808 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,995	-	0,978
5	ЭШ-20/90	$w_{\text{ср.см}} = 1,73 - 0,349 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,999	-	0,998	-
		$w_{\text{ср.см}} = 1,38 - 0,727 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,999	-	1,000

Таблица 4.12 – Средние коэффициенты эластичности энергетических профилей механических лопат и драглайнов, выполняющих вскрышные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энергетические профили (зависимости)	Коэффициент эластичности
Механические лопаты			
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-1,610
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-1,697
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-1,286
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-1,240
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-1,029
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,853
4	ЭКГ-10	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,509
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,509
5	ЭКГ-12,5	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,467
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,471
Драглайны			
7	ЭШ-10/70	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,423
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,481
8	ЭШ-11/70	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,301
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,300
9	ЭШ-13/50	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,542
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,497
10	ЭШ-15/80	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,329
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,313
11	ЭШ-20/90	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,23
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,23

производительности и среднесменного коэффициента технической производительности на среднесменное удельное электропотребление с целью повышения уровня планирования, оперативного управления и отчетности за электропотребление вскрышных экскаваторных работ для повышения уровня управления эффективностью электропотребления.

4.3. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик добычных экскаваторных работ

На основании методических положений, изложенных в гл. 2, и в соответствии с исследованием обобщенных энерготехнологических характеристик вскрышных экскаваторных работ, выполненных в 4.1 и 4.2,

проведено исследование обобщенных энерготехнологических характеристик добычных экскаваторных работ. При этом:

– на основе статистических данных о добычных работах получены вариационные ряды энерготехнологических показателей: среднесменного объема работ ($Q_{\text{ср.см}}$), среднесменного коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$) и среднесменного удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$) для отдельных марок экскаваторов – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И;

– с применением непараметрического критерия Ван-дер-Вардена при доверительной вероятности 0,95 выполнена проверка и принята гипотеза об отсутствии статистических различий между вариационными рядами (индивидуальными выборками) энерготехнологических показателей вышеуказанных экскаваторов для различных разрезов;

– на основании отсутствия статистических различий между индивидуальными выборками указанных энерготехнологических показателей сформированы их обобщенные выборки;

– для обобщенных выборок определены статистические характеристики среднесменных объемов работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления – среднесменное среднее значение, медиана, мода, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрии, эксцесс, приведенные в Приложении 2 (таблица П.2.6);

– установлены обобщенные вероятностные модели – законы распределения плотности вероятностей энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих добычные работы: среднесменных объемов работ ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$), приведенными в таблице 4.13;

– смоделированы обобщенные энерготехнологические профили экскаваторов, выполняющих добычные работы, представляющие зависимости среднесменного удельного электропотребления от среднесменного объема работ

и коэффициента технической производительности, соответственно, $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$, приведены в таблицах 4.14 и 4.15.

Обобщенные коэффициенты эластичности, показывающие на сколько процентов изменится среднесменное удельное электропотребление при изменении на один процент среднесменных объемов работ и коэффициентов технической производительности, приведены в таблице 4.16.

Выполненная проверка коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость приведена в Приложении 2 (таблица П.2.7).

Проверка показывает, что коэффициенты корреляции и детерминации, обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ являются статистически значимыми ($|t_{\text{расч}}| > t_{\text{крит}}, F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$).

Выполненная проверка качества обобщенных энергетических профилей $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ приведена в Приложении 2 (таблица П.2.8).

Проверка показывает, что указанные энерготехнологические профили в целом являются статистически значимыми ($F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$), коэффициенты b_0 и b_1 , входящие в указанные энерготехнологические профили, статистически значимы ($t_{b_0} > t_{\text{крит}}, t_{b_1} > t_{\text{крит}}$).

Значения критерия Дарбина-Уотсона d и средние значения остатков $\bar{\varepsilon}$ для обобщенных энерготехнологических профилей (зависимостей) $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ приведены в Приложении 2 (таблица П.2.9).

Из приведенных выше результатов проверки следует, что полученные обобщенные энерготехнологические профили приемлемы для применения при управлении процессом электропотребления добычных экскаваторных работ.

Установленные обобщенные энерготехнологические профили экскаваторов позволяют повысить уровень аналитического описания влияния технологических факторов среднесменных объемов работ и среднесменного коэффициента производительности на среднесменное удельное электропотребление с целью

Таблица 4.13 – Обобщенные вероятностные модели (законы распределения плотности вероятности) энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих добычные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Вероятностные профили (законы распределения)	Критерий согласия Колмогорова	
				$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{кр}}$
Механические лопаты					
1	ЭКГ-4У	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q_{\text{ср.см}}) = 0,002 \times e^{-\frac{(Q_{\text{ср.см}}-746,37)^2}{76882,3}}$	0,261	0,624
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{М}^3$	$f^*(w_{\text{ср.см}}) = 2,09 \times e^{-\frac{(w_{\text{ср.см}}-0,701)^2}{0,072}}$	0,294	0,624
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп.ср.см}}) = 6,17 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп.ср.см}}-0,246)^2}{0,0083}}$	0,261	0,624
2	ЭКГ-5А	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q_{\text{ср.см}}) = 0,0006 \times e^{-\frac{(Q_{\text{ср.см}}-1619,0)^2}{785140,8}}$	0,135	0,391
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{М}^3$	$f^*(w_{\text{ср.см}}) = 2,44 \times e^{-\frac{(w_{\text{ср.см}}-0,506)^2}{0,053}}$	0,303	0,391
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп.ср.см}}) = 2,62 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп.ср.см}}-0,403)^2}{0,0046}}$	0,182	0,391
3	ЭКГ-8И	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q_{\text{ср.см}}) = 0,0013 \times e^{-\frac{(Q_{\text{ср.см}}-2472,0)^2}{271805,6}}$	0,267	0,624
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{М}^3$	$f^*(w_{\text{ср.см}}) = 10,3 \times e^{-\frac{(w_{\text{ср.см}}-0,545)^2}{0,003}}$	0,301	0,624
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп.ср.см}}) = 9,34 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп.ср.см}}-0,363)^2}{0,004}}$	0,276	0,624

Таблица 4.14 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих добычные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 1,417 - 0,0010 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,989	-	0,978	-
		$w_{\text{ср.см}} = 182,383 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,848}$	-	1,000	-	0,999
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 0,898 - 0,0002 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,929	-	0,863	-
		$w_{\text{ср.см}} = 91,380 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,716}$	-	0,990	-	0,920
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = 0,794 - 0,00008 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,789	-	0,623	-
		$w_{\text{ср.см}} = 20,921 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,467}$	-	0,798	-	0,615

Таблица 4.15 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих добычные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 1,417 - 2,906 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,989		0,978	-
		$w_{\text{ср.см}} = -0,219 - 1,479 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,999	-	0,994
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 0,917 - 1,02 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,950	-	0,903	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,126 - 0,891 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,998	-	0,960
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = 0,793 - 0,685 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,756	-	0,572	-
		$w_{\text{ср.см}} = 0,284 - 0,59 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,762	-	0,559

Таблица 4.16 – Средние обобщенные коэффициенты эластичности энергетических профилей экскаваторов, выполняющих добычные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энергетические профили (зависимости)	Коэффициент эластичности
Механические лопаты			
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-1,065
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-1,021
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,639
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,811
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,350
		$w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,456

повышения уровня планирования, оперативного управления и отчетности за электропотребление добычных работ для управления эффективностью электропотребления.

4.4. Исследование обобщенных энерготехнологических характеристик отгрузочных экскаваторных работ

На основании методических положений, изложенных в гл. 2, и в соответствии с исследованием обобщенных энерготехнологических характеристик вскрышных экскаваторных работ, выполненных в 4.1 и 4.2, проведено исследование обобщенных энерготехнологических характеристик отгрузочных экскаваторных работ. При этом:

– на основе статистических данных об отгрузочных работах получены вариационные ряды энерготехнологических показателей: среднесменного объема работ ($Q_{\text{ср.см}}$), среднесменного коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), среднесменного удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$) для экскаваторов – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А;

– с применением непараметрического критерия Ван-дер-Вардена при доверительной вероятности 0,95 выполнена проверка и принята гипотеза об отсутствии статистических различий между вариационными рядами (индивидуальными выборками) энерготехнологических показателей вышеуказанных экскаваторов различных карьеров;

– на основании отсутствия статистических различий между индивидуальными выборками указанных энерготехнологических показателей сформированы их обобщенные выборки;

– для обобщенных выборок определены статистические характеристики среднесменных объемов работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления – среднесменное среднее значение, медиана, мода, стандартное отклонение, коэффициент вариации, асимметрии, эксцесс, приведенные в Приложении 2 (таблица П.2.10);

– установлены обобщенные вероятностные модели (законы распределения плотности вероятности) энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы, приведенные в таблице 4.17;

– смоделированы обобщенные энерготехнологические профили экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы, представляющие корреляционные зависимости среднесменного удельного электропотребления от среднесменных объемов работ и коэффициента технической производительности, соответственно, $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$, приведенные в таблицах 4.18, 4.19.

Коэффициенты эластичности, показывающие на сколько процентов изменится среднесменное удельное электропотребление при изменении на один процент среднесменных объемов работ и коэффициентов технической производительности, приведены в таблице 4.20.

Выполненная проверка коэффициентов корреляции и детерминации на статистическую значимость приведена в Приложении 2 (таблица П.2.11).

Проверка показывает, что коэффициенты корреляции и детерминации зависимостей $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ являются статистически значимыми ($|t_{\text{расч}}| > t_{\text{крит}}$, $F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$).

Таблица 4.17 – Обобщенные вероятностные модели (законы распределения плотности вероятности) энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Законы распределения	Критерий согласия Колмогорова	
				$\lambda_{\text{набл}}$	$\lambda_{\text{кр}}$
1	ЭКГ-4У	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q_{\text{ср.см}}) = 0,004 \times e^{-\frac{(Q_{\text{ср.см}}-1443,1)^2}{19574,0}}$	0,209	0,624
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{М}^3$	$f^*(w_{\text{ср.см}}) = 19,43 \times e^{-\frac{(w_{\text{ср.см}}-0,399)^2}{0,0008}}$	0,240	0,624
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп.ср.см}}) = 12,26 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп.ср.см}}-0,476)^2}{0,002}}$	0,211	0,624
2	ЭКГ-5А	$Q_{\text{ср.см}}, \text{М}^3$	$f^*(Q_{\text{ср.см}}) = 0,0006 \times e^{-\frac{(Q_{\text{ср.см}}-1144,1)^2}{815854,5}}$	0,173	0,457
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{М}^3$	$f^*(w_{\text{ср.см}}) = 1,16 \times e^{-\frac{(w_{\text{ср.см}}-0,683)^2}{0,236}}$	0,270	0,457
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	$f^*(k_{\text{тп.ср.см}}) = 2,56 \times e^{-\frac{(k_{\text{тп.ср.см}}-0,280)^2}{0,048}}$	0,173	0,457

Таблица 4.18 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 0,697 - 0,0002 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,998	-	0,996	-
		$w_{\text{ср.см}} = 78,732 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,727}$	-	1,000	-	0,996
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 1,208 - 0,0005 * Q_{\text{ср.см}}$	-0,853	-	0,728	-
		$w_{\text{ср.см}} = 237,306 * Q_{\text{ср.см}}^{-0,863}$	-	0,980	-	0,819

Таблица 4.19 – Обобщенные энерготехнологические профили $w_{\text{ср.см}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№ п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Коэффициент			
			Корреляции	Индекс корреляции	Детерминации	Индекс детерминации
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см}} = 0,698 - 0,629 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,998	-	0,996	-
		$w_{\text{ср.см}} = -0,179 - 0,678 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,998	-	0,994
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см}} = 1,207 - 1,867 * k_{\text{тп.ср.см}}$	-0,847	-	0,717	-
		$w_{\text{ср.см}} = -0,142 - 1,353 * \log_{10}(k_{\text{тп.ср.см}})$	-	0,977	-	0,796

Таблица 4.20 – Средние коэффициенты эластичности энергетических профилей механических лопат и драглайнов, выполняющих отгрузочные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энергетические профили (зависимости)	Коэффициент эластичности
Механические лопаты			
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	-0,724
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	-0,751
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	-0,837
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	-0,765

Выполненная проверка качества обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$ приведена в Приложении 2 (таблица П.2.12).

Проверка показывает, что:

– полученные обобщенные энерготехнологические профили в целом являются статистически значимыми ($F_{\text{расч}} > F_{\text{крит}}$).

– коэффициенты b_0 и b_1 , входящие в обобщенные энерготехнологические профили, статистически значимы ($t_{b_0} > t_{\text{крит}}$, $t_{b_1} > t_{\text{крит}}$).

Значения критерия Дарбина-Уотсона d и средние значения остатков $\bar{\varepsilon}$ для обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$ приведены в Приложении 2 (таблица П.2.13).

Из приведенных выше результатов проверки следует, что полученные обобщенные энерготехнологические профили приемлемы для применения при управлении процессом электропотребления отгрузочных экскаваторных работ.

Установленные обобщенные энерготехнологические профили позволяют повысить уровень аналитического описания влияния технологических факторов среднесменных объемов работ и среднесменного коэффициента производительности на среднесменное удельное электропотребление с целью повышения уровня планирования, оперативного управления и отчетности за электропотребление отгрузочных экскаваторных работ.

4.5. Выводы

На основании исследования обобщенных энерготехнологических режимов экскаваторных работ на угледобывающих предприятиях сформулированы следующие выводы:

1. Исследование обобщенных энерготехнологических режимов выполнено с группировкой экскаваторов: по видам работ – вскрышные, добычные, отгрузочные; по типам экскаваторов – механические лопаты, драглайны; по маркам экскаваторов – ЭКГ-4У, ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭШ-10/70, ЭШ-11/70, ЭШ-13/50, ЭШ-15/80, ЭШ-20/90.

2. На основании статистических данных о работе указанных экскаваторов на различных предприятиях Сибирской угольной энергетической компании сформированы индивидуальные статистические выборки энерготехнологических показателей, а именно: среднесменных объемов работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления.

3. Энерготехнологические режимы электропотребления экскаваторов одинаковых марок, выполняющих однотипные виды работ на разных предприятиях, как показала проверка на отсутствие значимых статистических различий в их индивидуальных выборках, проведенная с применением непараметрического критерия Ван-дер-Вардена, не имеют значимых статистических различий. Это позволило объединить индивидуальные выборки в типические групповые (обобщенные) выборки.

4. Определены статистические характеристики указанных параметров обобщенных энерготехнологических режимов электропотребления вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ, в числе которых: среднее значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

5. Установлены вероятностные модели – законы распределения вероятности параметров обобщенных энерготехнологических режимов, а именно:

среднесменного объема работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ. Установленные вероятностные модели достаточно надежно (с доверительной вероятностью 0,95) соответствуют нормальному закону.

6. Выполнено моделирование обобщенных энерготехнологических профилей в виде корреляционных зависимостей среднесменного удельного электропотребления от среднесменного объема работ и среднесменного удельного электропотребления от среднесменного коэффициента технической производительности вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ.

Обобщенные энерготехнологические профили среднесменного удельного электропотребления от среднесменного объема работ описываются линейными и гиперболическими уравнениями с достаточно высокой (в соответствии со шкалой Чеддока) математической точностью при средней относительной ошибке аппроксимации на уровне 10-20%.

Обобщенные энерготехнологические профили среднесменного удельного электропотребления от среднесменного коэффициента технической производительности описываются линейными и логарифмическими уравнениями с достаточно высокой (в соответствии со шкалой Чеддока) математической точностью при средней относительной ошибке аппроксимации на уровне 10-20%.

7. Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили позволяют повысить уровень аналитического описания обобщенных режимов электропотребления вскрышных, добычных и отгрузочных экскаваторных работ для управления эффективностью электропотребления.

Глава 5. Исследование управления потреблением электроэнергии предприятий угольной отрасли

5.1. Исходные положения

Решение задач повышения энергоэффективности, обозначенных в государственных законодательных и программных документах [1-4], снижение потребления энергетических ресурсов, затрат на них, повышения энергоэффективности, конкурентоспособности предприятий угольной отрасли требует, наряду с существующими подходами, методами и способами повышения энергоэффективности, обосновать новые подходы, разработать методы, способы, обеспечивающие инновационные сценарии повышения энергоэффективности. В этой связи особо актуальным является управление энергоресурсами предприятий с применением системы энергетического менеджмента (стандарт ГОСТ Р ИСО-50001 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению»).

Выполненный в первой главе обзор исследований в области повышения эффективности электропотребления показывает, что проработанность проблемы повышения энергоэффективности имеет недостаточность в вопросах учета энергетического характера процесса электропотребления. Если вопросы, связанные с технической компонентой процесса электропотребления – режимами электрических нагрузок, электропотребления, их прогнозирования, влияния техно-технологических факторов на повышение энергоэффективности и т. п., в определенной степени достаточно проработаны, то вопросы управленческой компоненты процесса электропотребления, связанной с деятельностью персонала в управлении процессом электропотребления, режимами работы энергопотребляющих объектов с целью обеспечения и повышения энергоэффективности, проработаны в явно недостаточной степени.

Рассмотрение технического аспекта повышения энергоэффективности показывает, что в настоящее время на предприятиях угольной отрасли уделяется

определенное внимание к вопросам экономии энергоресурсов, энергосбережения: внедряются современные энергосберегающие технологии и установки, совершенствуются вопросы учета и контроля использования энергоресурсов, внедряются регулирующие и управляющие приборы, ведутся изыскания лучших энергоэффективных режимов и т. п. Однако, указанные действия практически односторонне связаны только с технической компонентой и недостаточно «включают» в процесс повышения энергоэффективности компоненту, связанную с действиями персонала.

С учетом эргатического характера процесса энергопотребления для инновационного сценария повышения энергоэффективности требуется управление как техно-технологическими энергопотребляющими объектами – технической компонентой, так и управленческой компонентой, обусловленной деятельностью персонала по повышению энергоэффективности.

В связи с этим представляется актуальным, чтобы повышение энергетической эффективности базировалась на системном управлении энергетическими ресурсами, интегрирующим техно-технологические, организационные, мотивационные, информационные, маркетинговые и инвестиционные аспекты управления. Синтезирование указанных аспектов в единую систему управления энергетическими ресурсами необходимо осуществлять с применением программно-аналитических комплексов, объединяющих всех участников процесса энергопотребления на базе единой цифровой информационно-аналитической платформы и реализующих функции, позволяющие участникам процесса энергопотребления принимать результативные управляющие решения по энергосбережению и повышению энергоэффективности в реальном времени.

В связи с вышеуказанным представляется целесообразным выполнить исследование уровня развития: управления электрической энергией, являющейся одним из важнейших энергетических ресурсов на предприятиях угольной отрасли; освоения контроля над эффективностью электропотребления;

организационно-информационно-аналитического обеспечения эффективности электропотребления.

5.2. Исследование уровня развития управления электрической энергией на предприятиях угольной отрасли

5.2.1. Методические принципы и показатели оценки уровня развития составляющих управления электроэнергией

Оценка уровня развития управления электрической энергией должна позволять оценить качественный уровень развития основных составляющих технической и управленческой компонент с учетом современных требований к управлению энергетическими ресурсами. Указанная оценка должна также позволять устанавливать дальнейшие направления развития управления электроэнергией.

Исходя из эргатического характера процесса электропотребления, уровень управления электроэнергией – уровень развития энергетического менеджмента на предприятиях угольной отрасли следует оценивать по составляющим (факторам), отражающим техно-технологические и управленческие аспекты.

Техническая компонента характеризуется следующими основными составляющими: эффективностью преобразования энергоресурсов – коэффициентом полезного действия; соотношением активной и полной потребляемых энергий – коэффициентом мощности; удельным потреблением на единицу продукции, единицу работ; современностью учета потребления энергетических ресурсов; паспортизацией процесса потребления энергетических ресурсов (электроэнергии).

Управленческая компонента включает следующие составляющие:

– энергетическую политику предприятия (организации) – официальный документ, включающий декларацию о заинтересованности предприятия в энергоэффективном использовании энергии, цели, задачи, ответственность в

деятельности по повышению энергоэффективности, ресурсы, проверки, процедуры обновления;

– организацию управления энергоресурсами, которая характеризуется организационно-функциональной структурой, размещенной на всех уровнях производственно-управленческой цепи и во всех подразделениях предприятия (организации), задающая функциональные, управленческие, кадровые составляющие процесса управления энергоресурсами;

– мотивацию персонала в области эффективного управления энергоресурсами, которая обеспечивается системой методов, способов, действий, направленных на достижение высокой мотивации персонала в области повышения энергоэффективности;

– информационное обеспечение управления энергоресурсами, в составе которого система получения, обработки, анализа и предоставления энерготехнологической информации, имеющей значение для участников процесса потребления энергоресурсов и помогающей им принимать решения по поддержанию и повышению энергоэффективности;

– маркетинговое обеспечение управления энергоресурсами, в составе которого система методов, способов, действий, направленных на выявление, изучение, предоставление, расширение и продвижение услуг в области повышения энергоэффективности для персонала, участвующего в процессе потребления энергетических ресурсов;

– инвестиционное обеспечение управления энергоресурсами, в составе которого система методов, способов, действий, направленных на: технико-экономическую оценку проектов, мероприятий по повышению энергоэффективности; разработку инвестиционных планов повышения энергоэффективности; защиту и фактический возврат инвестиций в энергоэффективность.

Оценку уровня развития управления электроэнергией целесообразно проводить посредством соотношения (измерения) фактического состояния указанных составляющих с уровнями развития, приведенным в качественных

шкалах (таблицы 5.1 и 5.2). Качественное описание уровней развития составляющих энергоменеджмента, приведенное в таблицах 5.1 и 5.2, детализировано и актуализировано к менеджменту электроэнергией на предприятиях угольной отрасли по сравнению с качественными шкалами, используемыми в [70]. Указанные шкалы представляют собой ранговые оценки качественных свойств технических и управленческих составляющих в зависимости от уровня их развития от нулевого до четвертого. Нулевой уровень шкал соответствует отсутствию развития каких-либо действий (организационных, технических и иных) в вопросах управления электроэнергией с целью повышения энергоэффективности. Каждый последующий уровень, включая четвертый (высший), соответствует постепенному развитию составляющих технической и управленческой компонент в управлении электроэнергией на предприятии.

Отражение оценок фактического состояния уровней развития составляющих технической и управленческой компонент в виде графиков в осях «составляющие» - «уровень развития» представляют собой, соответственно, технический и организационный (управленческий) профили, которые характеризуют современное (текущее) состояние управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли.

5.2.2. Оценка уровня развития управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли

Оценка уровня развития управления электроэнергией выполнена в соответствии с методическими принципами и показателями, приведенными в гл. 2 и п. 5.2.1, для предприятий Сибирской угольной энергетической компании, расположенных в Республике Хакасия, Красноярском и Хабаровском краях.

Оценка проводилась с применением метода экспертного исследования [19]. В качестве экспертов выступали руководители и специалисты предприятий, которые прошли повышение квалификации, профессиональную переподготовку по программам управления энергетическими ресурсами. Экспертное исследование

Таблица 5.1 – Качественная шкала для оценки уровня развития технических составляющих управления электроэнергией

Уровни развития	Энергетический КПД	Учет электроэнергии	Удельное электропотребление	Коэффициент мощности	Энергетический паспорт
1	2	3	4	5	6
Нулевой уровень	Энергетический КПД не используется в управлении энергоресурсам и (не планируется, не контролируется, не присутствует в документации по управлению ЭР).	Приборного учета электроэнергии не производится. Расходная часть энергобалансов не составляется.	Удельное электропотребление не определяется и не используется в управлении ЭР.	Коэффициент мощности не определяется ни в точке разграничения балансовой принадлежности с энергоснабжающей организацией, ни в узлах системы электроснабжения предприятия и не используется в управлении энергоресурсами.	На предприятии отсутствует паспортизация потребления электроэнергии, энергохозяйства, имеются некоторые документы, содержащие сведения об энергохозяйстве.
Первый уровень	Имеется некий набор рекомендаций о использовании КПД в управлении энергоресурсам и, измерений КПД не проводится.	Имеется коммерческий (только на входе системы) приборный учет электроэнергии без регистрации, передачи и архивации данных в едином диспетчерском центре. Расходные части энергобалансов составляются расчетным методом.	Имеется некий набор рекомендаций о использовании удельного электропотребления в управлении энергоресурсами. Отчетные показатели удельного электропотребления определяются в режиме «постфактум» на основании отчетов о производстве и расходе энергоресурсов за прошедшие периоды времени (месяц, квартал, год).	Коэффициент мощности определяется в точке разграничения балансовой принадлежности с энергоснабжающей организацией, а также в отдельных основных узлах системы электроснабжения предприятия. Коэффициент мощности не используется в управлении энергоресурсами предприятия.	На предприятии имеется определенный набор документов о состоянии энергохозяйства, однако, для составления энергетического паспорта нет сведений о современном состоянии энергоэффективности предприятий, о программе повышения энергоэффективности.

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
<p>Второй уровень</p>	<p>Имеется установленное положение о измерениях, анализе КПД, однако, это не интегрировано в документацию по управлению ЭР.</p>	<p>Имеется коммерческий приборный учет электроэнергии без регистрации передачи и архивации данных в едином диспетчерском центре. Имеется технический приборный учет электроэнергии, потребляемой отдельными основными электроприемниками (цехами, переделами, технологическими узлами, оборудованием и т.д.). Расходные части энергобалансов составляются расчетным методом.</p>	<p>Удельное электропотребление планируется «от достигнутого» по «точечному» методу на основании отчетных показателей, определяемых в режиме «постфактум» на основании отчетов по производству и расходе энергоресурсов за прошедшие периоды времени. Энерготехнологические характеристики энергопотребляющих объектов не определяются.</p>	<p>Имеется измерение коэффициента мощности в точке разграничения балансовой принадлежности с энергоснабжающей организацией, а также в основных узлах системы электроснабжения предприятиях. Значение коэффициента мощности нерегулярно используются в управлении энергоресурсами.</p>	<p>На предприятии оформлен энергетический паспорт, некоторые разделы которого содержат неполную информацию о состоянии процесса энергопотребления энергохозяйства. Энергетический паспорт практически не используется при управлении ЭР.</p>
<p>Третий уровень</p>	<p>Значения КПД интегрированы в документацию по управлению ЭР, однако не используются на практике.</p>	<p>Имеется коммерческий приборный учет электроэнергии с регистрацией, передачей и архивацией данных в едином диспетчерском центре. Имеется технический приборный учет электроэнергии, потребляемой основными электроприемниками. Расходные части энергобалансов, составляются с помощью инструментально-расчетного (по отчетным показаниям прибора учета), метода.</p>	<p>Удельное электропотребление планируется «от достигнутого» по «точечному» методу на основании отчетных показателей, производства и расхода энергоресурсов, полученных в результате непосредственных измерений в режимах реального времени с требуемой дискретизации. Определяются энерготехнологические характеристики энергопотребляющих объектов.</p>	<p>Имеется измерение коэффициента мощности в точке разграничения балансовой принадлежности с энергоснабжающей организацией, а также в основных узлах системы электроснабжения и у основных электроприемников. Значение коэффициента мощности регулярно используется для определения потерь электроэнергии в системе электроснабжения предприятия. Балансы генерации и потребления реактивной мощности не составляются.</p>	<p>На предприятии имеется энергетический паспорт, однако обновления его происходит на нерегулярной основе. Энергетический паспорт не используется при управлении ЭР.</p>

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
<p>Четвертый уровень</p>	<p>Значения КПД интегрированы в документацию по управлению ЭР и используются на практике.</p>	<p>Имеется коммерческий, приборный учет электроэнергии с регистрацией, передачей и архивацией данных в одном диспетчерском центре. Имеются технический приборный учет для всех основных энергоприемников. Расходные части энергобалансов составляются полученные с помощью инструментально-расчетного метода. Учет энергоресурсов интегрирован с учетом технологических показателей.</p>	<p>Планирование, оперативное управление и отчетность за удельное электропотребление производится адресно на основе непосредственных измерений с учетом энерготехнологических характеристик энергопотребляющих объектов по «областному» методу (с адаптацией планируемых и отчетных показателей к объемам производства).</p>	<p>Имеется измерение коэффициента мощности в точке разграничения с энергоснабжающей организацией, а также в основных узлах системы электроснабжения и у основных электроприемников. Значение коэффициента мощности регулярно используется для определения потерь электроэнергии в системе электроснабжения предприятия. Составляются и анализируются балансы реактивной мощности в системе электроснабжения предприятия для определения и минимизации потерь электроэнергии.</p>	<p>На предприятии имеется и регулярно обновляется энергетический паспорт, состоящий из необходимого количества разделов, включающих в себя все объективные сведения о состоянии электропотребления. Энергетический паспорт используется при управлении ЭР.</p>

Таблица 5.2 – Качественная шкала для оценки уровня развития управленческих составляющих управления электроэнергией

Уровни развития	Энергетическая политика предприятия	Организация управления энергоресурсами	Мотивационное обеспечение управления энергоресурсами	Информационное обеспечение управления энергоресурсами	Маркетинговое обеспечение управления энергоресурсами	Инвестиционное обеспечение управления энергоресурсами
1	2	3	4	5	6	7
Нулевой уровень	На предприятии отсутствует политика по повышению энергоэффективности.	Энергетический менеджмент как система управления энергоресурсами, базирующаяся на организационных, мотивационных, маркетинговых, информационных, инвестиционных составляющих, отсутствует на предприятии. Так же отсутствует любое формальное (не подтверждённое документально) делегирование ответственности за повышение энергоэффективности.	У менеджмента нет контактов по вопросам повышения энергоэффективности с персоналом, управляющим, энергопотребляющим оборудованием. Отсутствуют мотивирующие действия по обеспечению энергоэффективной практики.	На предприятии отсутствует учет потребления ТЭР	На предприятии отсутствуют маркетинговые действия по обеспечению энергоэффективной практики. Не пропагандируется необходимость, важность энергосбережения, повышения энергоэффективности.	Инвестиционные вложения в энергосбережение, в повышение энергоэффективности отсутствуют.
Первый уровень	На предприятии имеется некий набор рекомендаций по действиям в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, которые не зафиксирован в виде руководящих документов и не выведен в функциональные обязанности персонала.	На предприятии отсутствует функционально-структурная схема управления энергоресурсами, как элемент системы управления энергоресурсами, функции энергоменеджера возложены как одна из задач на кого-либо с ограниченными возможностями и влиянием.	У менеджмента имеются неофициальные контакты по вопросам повышения энергоэффективности с персоналом, управляющим энергопотребляющими установками. Применяются отдельные мотивирующие действия по обеспечению энергоэффективной практики.	Учет потребления ЭР основан на счетах энергоснабжающих организаций.	Имеются разрозненные маркетинговые действия по обеспечению энергоэффективной практики. Пропагандируется важность, необходимость повышения энергоэффективности.	Инвестиции осуществляются только в малозатратные энергосберегающие мероприятия. Не введены процедуры защиты инвестиций, не обеспечивается инструментальная фиксация их фактического возврата.

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4	5	6	7
Второй уровень	На предприятии имеется установленная старшим менеджером определённая политика в области повышения энергоэффективности, но эта политика не принята в виде официального документа.	Функции в рамках управления энергоресурсами возложены на лицо, занимающее должность энергоменеджера, подотчетного специальному комитету по энергетике. Однако, структура управления энергоресурсами и полномочия её элементов ясно не прописаны.	У менеджмента имеются связь с персоналом, участвующим в процессе электропотребления, по вопросам энергоэффективности. Разработана не принятая официально система мотивации персонала в области повышения энергоэффективности.	Имеется коммерческий учет отдельных энергоресурсов по предприятию. Затраты на энергоресурсы используются при разработке бюджета как самостоятельная статья, а не в составе накладных расходов.	На предприятии имеется не принятая официально система маркетингового обеспечения энергоэффективной практики. Проводятся мероприятия по повышению осознания персоналом важности повышения энергоэффективности.	Инвестиции осуществляются только в проекты с малым сроком окупаемости. Введены процедуры защиты и обеспечения возврата инвестиций.
Третий уровень	На предприятии есть официально утвержденная энергетическая политика, не отсутствует со стороны высшего руководства убежденная заинтересованность в действиях по повышению энергоэффективности на основе реализации системного управления энергоресурсами.	На предприятии введена в действие функционально-структурная схема управления энергопотреблением. Однако, управление энергоресурсами недостаточно интегрировано в структуру менеджмента предприятия.	На предприятии действует официально принятая система мотивации персонала в области повышения энергоэффективности. Однако, мотивирующие действия осуществляются не регулярно и не на всех уровнях производственно-управленческой цепи предприятия.	Имеется полномасштабный учет потребления всех видов энергоресурсов. Однако, система технического мониторинга не интегрирована в информационно-управляющую систему управления энергоресурсами предприятия.	На предприятии официально принята система маркетингового обеспечения процесса управления энергоресурсами, однако ее действие не полномасштабно. Проводятся мероприятия по обучению персонала вопросам энергетического менеджмента.	Для оценки инвестиций в энергоэффективность применяются критерии, что и для других вложений (а не по остаточному принципу). Имеется инвестиционная программа повышения энергоэффективности
Четвертый уровень	На предприятии имеется официально утвержденная энергетическая политика, направленная на повышение энергоэффективности на основе управления энергоресурсами и которая находит заинтересованное понимание персонала, осознается как часть общей стратегии повышения эффективности производства.	Управление энергопотреблением в соответствии с функциональной-структурной схемой полностью интегрировано в структуру менеджмента предприятия. Имеется четкое делегирование ответственности за реализацию энергетической политики предприятия, повышение энергоэффективности.	На предприятии полномасштабно действует система мотивации персонала в области обеспечения энергоэффективности производства.	На предприятии функционирует информационная система управления энергоресурсами на базе компьютерного мониторинга за энергопотреблением, выдающая пользователям в режиме требуемой дискретизации по времени информацию, позволяющую принимать, управляющие решения по обеспечению энергоэффективности производства.	На предприятии официально принята система маркетинга процесса управления энергоресурсами с полномасштабным действием как внутри, так и вне предприятия.	Инвестируются мероприятия по повышению энергоэффективности с длительными (более одного года) сроком окупаемости, а также имеющие экологический эффект. Инвестирование в развитие, модернизацию производства осуществляется с учетом энергоэффективных критериев.

выполнено на основе данных анкетированного опроса экспертов. Ранговые оценки экспертов были либо целочисленными (по ранговым уровням), либо промежуточными (срединные оценки между ранговыми уровнями).

При обработке оценок экспертов значения, имеющие значительные отклонения от среднего значения, считались «промахами» и не принимались к анализу. Интервал, за пределами которого находились значения «промахов», определялся по выражению

$$-3\sigma_i \leq x_{\text{ср.}i} \leq +3\sigma_i \quad (5.1)$$

где $x_{\text{ср.}i}$ – среднее значение оценок экспертов по каждой составляющей технической или управленческой компонент;

σ_i – среднеквадратическое отклонение оценок экспертов по каждой составляющей.

Общее количество экспертов, результаты которых приняты к анализу, составило 88 человек.

Экспертные оценки (средние значения при исключенных значениях «промахов») уровня развития составляющих технической и управленческой компонент управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли приведены в таблицах 5.3, 5.4.

Технические профили управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли Республики Хакасия, Красноярского и Хабаровского краев приведены на рисунках 5.1-5.3.

Организационные профили управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли Республики Хакасия, Красноярского и Хабаровского краев приведены на рисунках 5.4-5.6.

Анализ полученных оценок (таблицы 5.3, 5.4, рисунки 5.1-5.6) развития составляющих в целом показывает, что уровень развития составляющих как технической, так и управленческой компонент находится в срединной части (от первого, до третьего уровня), имея определенный потенциал развития (по некоторым составляющим значительный).

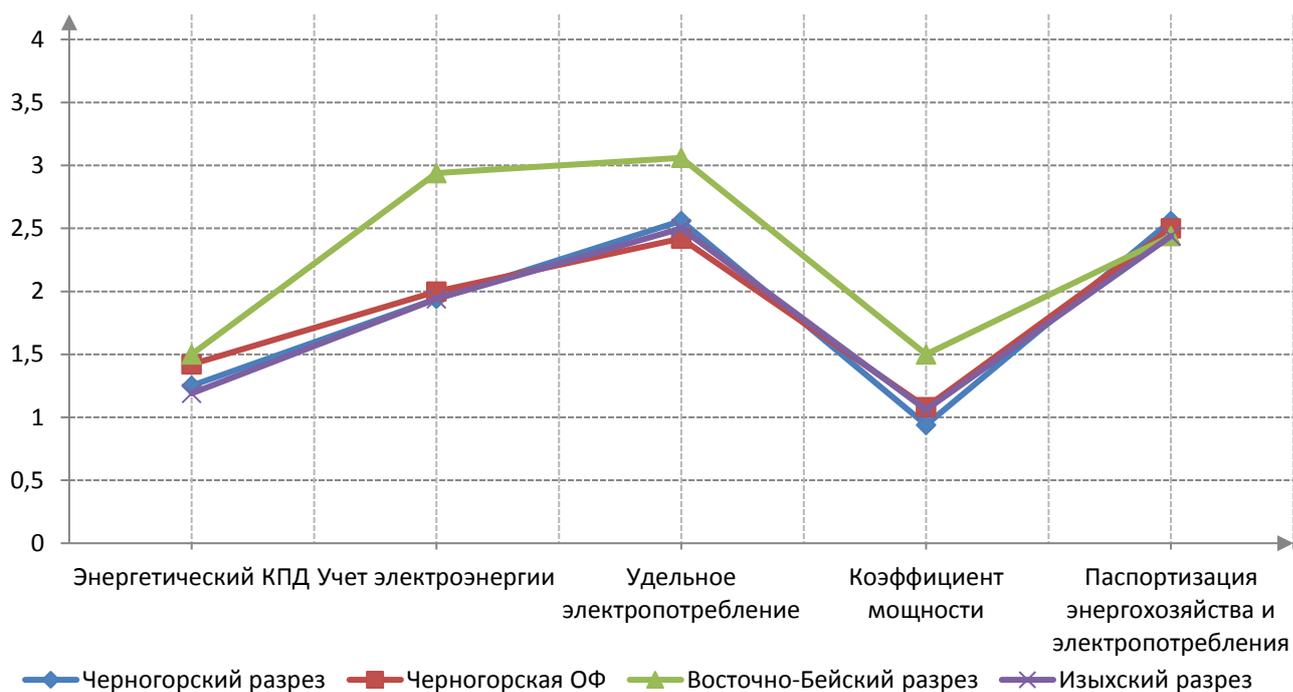


Рисунок 5.1 – Технические профили развития составляющих управления электропотреблением предприятий угольной отрасли в Республике Хакасия

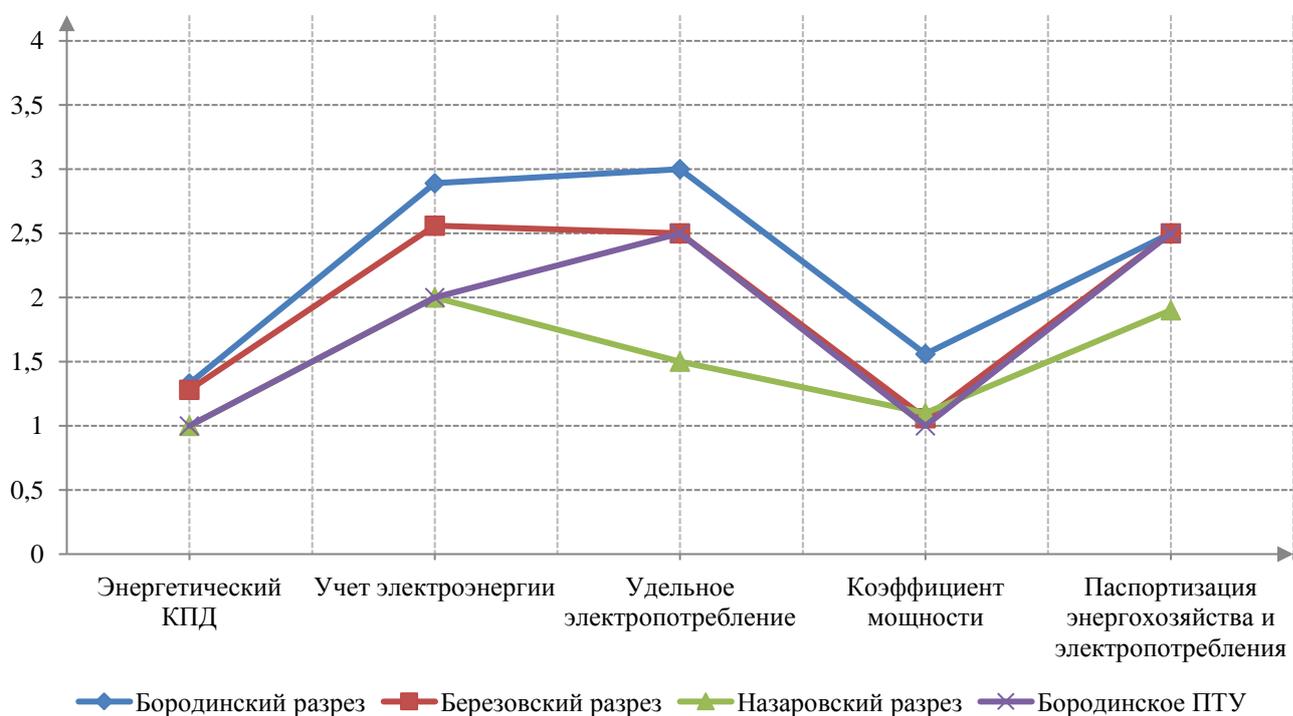


Рисунок 5.2 – Технические профили развития составляющих управления электропотреблением предприятий угольной отрасли в Красноярском крае

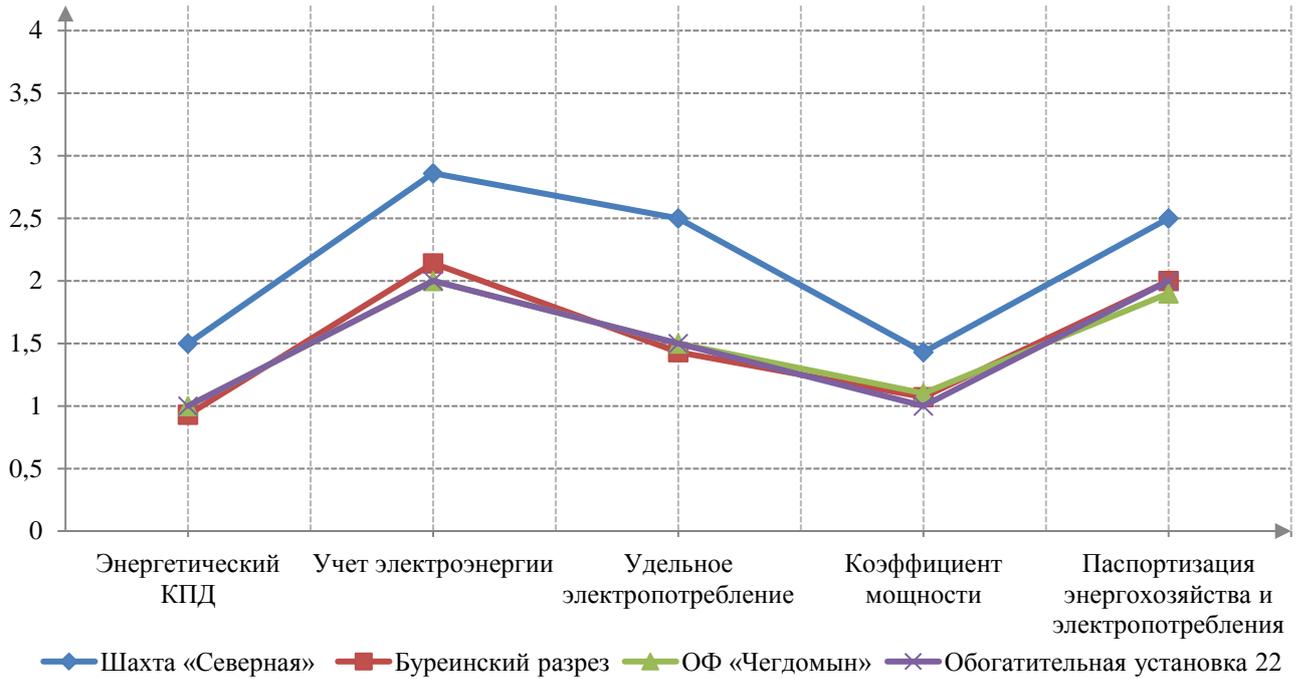


Рисунок 5.3 – Технические профили развития составляющих управления электропотребления на предприятиях угольной отрасли в Хабаровском крае

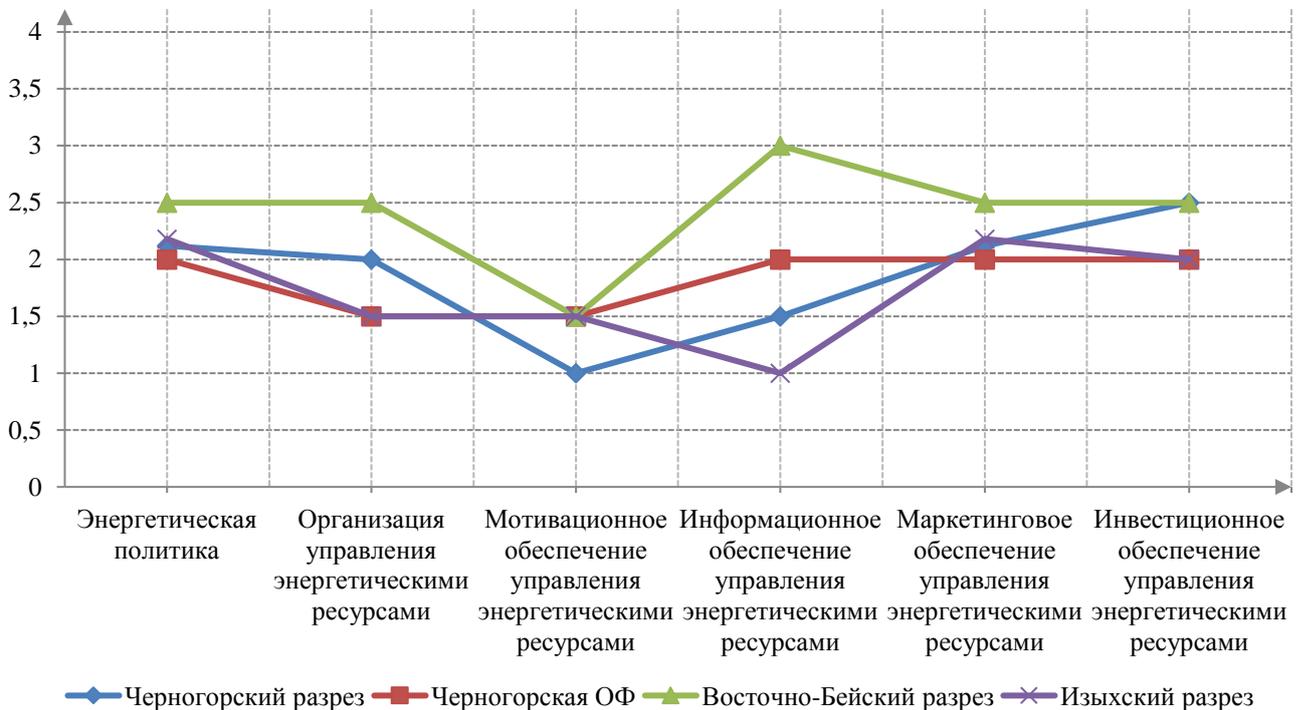


Рисунок 5.4 – Организационные профили развития составляющих управления электропотреблением предприятий угольной отрасли в Республике Хакасия

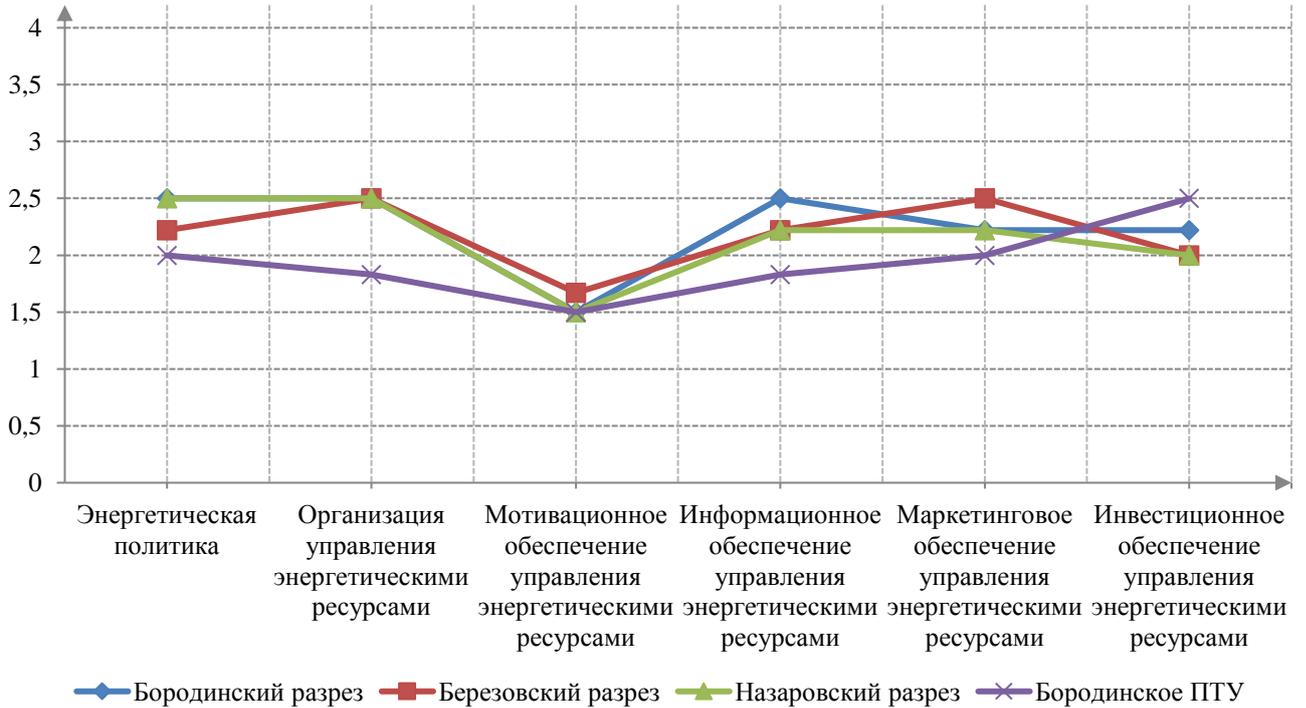


Рисунок 5.5 – Организационные профили развития составляющих управления электропотребления предприятий угольной отрасли в Красноярском крае

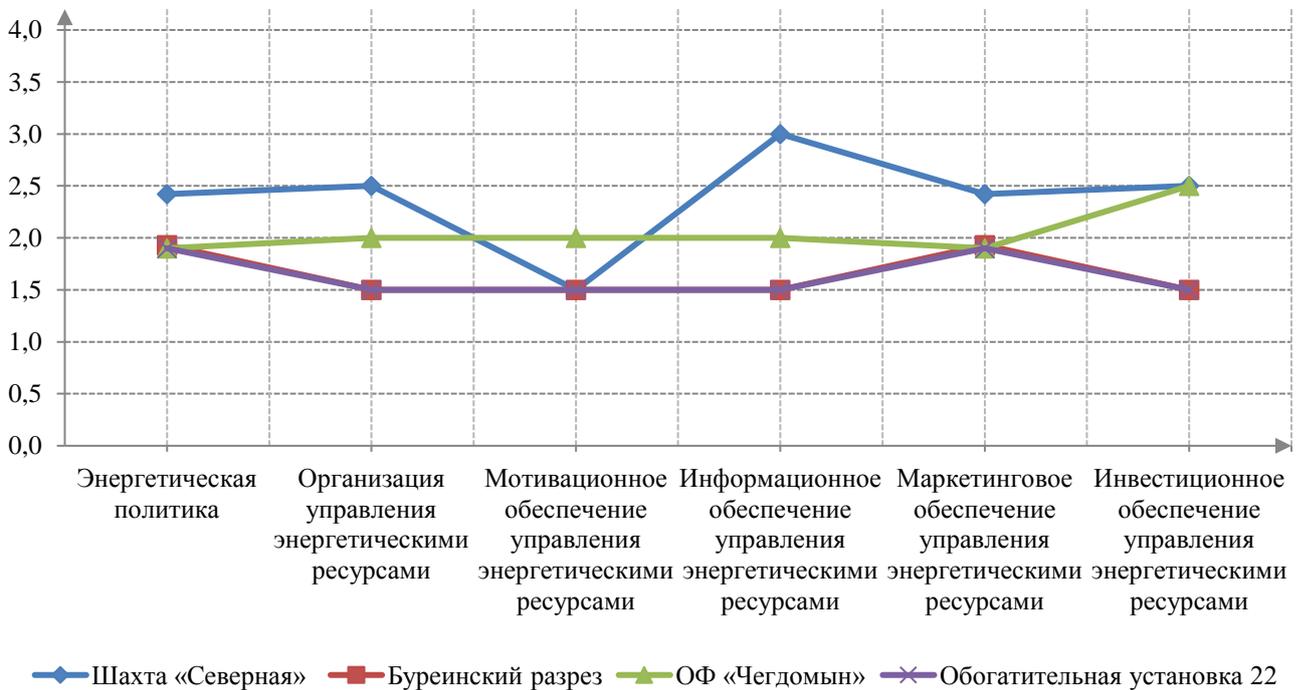


Рисунок 5.6 – Организационные профили развития составляющих управления электропотреблением предприятий угольной отрасли в Хабаровском крае

Анализ уровней развития составляющих технической компоненты управления электроэнергией показывает:

1. Энергетический коэффициент полезного действия, характеризующий эффективность преобразования видов и параметров энергии:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,19 до 1,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,00 до 1,33 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 0,93 до 1,50 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– используется в энергетических оценках, расчетах, в качестве справочной, проектной информации, однако фактические значения коэффициента полезного действия, которые могут меняться при различных режимах работы энергопотребляющих объектов, зачастую не используются для анализа эффективности расхода электроэнергии, в том числе удельного, с целью управления электропотреблением.

2. Учет электроэнергии:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,94 до 2,94 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 2,00 до 2,89 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 2,00 до 2,86 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– имеется коммерческий учет электропотребления по предприятиям с регистрацией и архивацией данных, технической учет с регистрацией и архивацией данных имеется не для всех основных электроприемников; расходные части энергобалансов составляются в основном с применением расчетного метода.

3. Удельное электропотребление:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 2,42 до 3,06 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 2,5 до 3,0 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 2,00 до 2,86 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– планирование, отчет за удельное электропотребление происходит по «точечному» методу без использования энерготехнологических профилей (зависимостей удельного электропотребления от объемов работ) основных электропотребляющих объектов.

4. Коэффициент мощности:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 0,94 до 1,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,00 до 1,56 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,00 до 1,43 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– имеются измерения коэффициента мощности в точке разграничения балансовой принадлежности с энергоснабжающей организацией, а также не во всех основных узлах системы электроснабжения предприятия и у крупных электропотребителей, что не позволяет управлять коэффициентом мощности в зависимости от режимов электропотребления в реальном времени.

5. Энергетический паспорт:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 2,44 до 2,56 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,90 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае; на предприятиях, расположенных в Красноярском крае, этот показатель составляет 2,50;

– имеются энергетические паспорта предприятий, оформленные по результатам энергоаудитов, однако данные энергетических паспортов практически не используются для управления электроэнергией.

Анализ уровней развития составляющих управленческой компоненты показывает:

1. Энергетическая политика:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 2,00 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 2,00 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,90 до 2,42 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– на предприятиях есть официально утвержденная энергетическая политика, однако её положения реализуются не в полной мере из-за недостаточного уровня развития организационной и мотивационной составляющих.

2. Организация управления энергоресурсами:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,50 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,83 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,50 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– функции управления электропотреблением, включая энергосбережение и повышение энергоэффективности, возложены на лиц (главных энергетиков) с ограниченными возможностями и влиянием.

3. Мотивационное обеспечение управления энергоресурсами:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,00 до 1,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,50 до 1,67 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,5 до 2,0 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– применяются отдельные действия по мотивации персонала в вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности, не приняты локальные нормативные акты (положения) о мотивации в вопросах управления энергоресурсами с целью повышения энергоэффективности.

4. Информационное обеспечение управления энергоресурсами:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,2 до 3,0 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,83 до 2,5 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,5 до 3,0 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– персонал, управляющий энергопотребляющими объектами, работами, процессами не получает в реальном времени информацию о показателе энергоэффективности – удельном электропотреблении для оперативного анализа, управления и отчетности.

5. Маркетинговое обеспечение управления энергоресурсами:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 1,2 до 3,0 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия; от 1,83 до 2,5 на предприятиях, расположенных в Красноярском крае; от 1,5 до 3,0 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– положения, требования по маркетинговому обеспечению управления электроэнергией не объединены единым локально-нормативным актом, проводится повышение квалификации и переподготовка персонала по программам повышения энергоэффективности и управления энергоресурсами.

6. Инвестиционное обеспечение управления энергоресурсами:

– уровень развития для управления электропотреблением находится в диапазонах: от 2,00 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Республике Хакасия и Красноярском крае; от 1,5 до 2,50 на предприятиях, расположенных в Хабаровском крае;

– инвестиции в повышение энергоэффективности осуществляются, в основном, при малых сроках окупаемости мероприятий, процедуры защиты и оценки возврата инвестиций в повышение энергоэффективности реализуются не в полной мере.

Выполненное исследование уровня развития технических и управленческих составляющих позволяет сделать вывод о наличии существенного потенциала в развитии управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли.

Указанное развитие целесообразно вести в направлении повышения уровня составляющих технической и управленческой компонент процесса электропотребления как эргатического процесса в соответствии с установленными техническими и организационными профилями (рисунки 5.1-5.6) и уровнями развития, приведенными в качественных шкалах (таблицы 5.1, 5.2).

В этой связи целесообразно рассмотреть вопросы освоения контроля над эффективностью электропотребления и организационно-информационно-аналитического обеспечения участников процесса электропотребления,

включающие аспекты как технических, так и управленческих составляющих управления электроэнергией.

5.3. Освоение контроля над энергоэффективностью электропотребления

Освоение контроля над эффективностью электропотребления должно включать: охват потребления электроэнергии во всех значительных местах её потребления современным приборным учётом; анализ управления электропотребляющими машинами, оборудованием с целью установления оптимальных по эффективности режимов электропотребления; обеспечение компетенции персонала, участвующего в процессе электропотребления, в вопросах обеспечения и повышения энергоэффективности; устранение очевидных необоснованных потерь электроэнергии при её потреблении.

В настоящее время на предприятиях угольной отрасли имеется учет и контроль производственных показателей (объемов выполняемых работ) и энергетических показателей (расхода электроэнергии), которые используются в вопросах планирования, бюджетирования, управления и отчетности. Учет и контроль указанных показателей в основных производственных процессах осуществляется в основном с применением современных средств измерения и информационных систем, позволяющих создавать протоколы, архивы, базы данных для управления как производственными, так и энергетическими показателями. Учет и контроль указанных показателей во вспомогательных производственных процессах, энергозатраты, которых составляют значительную долю энергозатрат по предприятию, зачастую осуществляются расчетными методами, имеющими известные недостатки и не позволяющими создавать в автоматическом режиме протоколы, архивы, базы данных для управления как производственными, так и энергетическими показателями, с целью управления эффективностью электропотребления.

Вместе с этим учет и контроль рассматриваемых показателей должен распространяться по производственным и энергетическим схемам до мест

значительного потребления электроэнергии (значимых электропотребляющих объектов), что в настоящее время на большинстве предприятий угольной отрасли не выполняется.

Контроль над эффективностью электропотребления требует интеграции в отдельной информационной системе данных как о производственных, так и об энергетических показателях для основных электропотребляющих объектов (предприятия, комплекса, участка, смены, экскаватора и др.). В этом аспекте контроль над эффективностью электропотребления для большинства из указанных электропотребляющих объектов предприятий отсутствует.

Анализ управления электропотребляющими машинами и оборудованием с целью установления оптимальных по эффективности режимов электропотребления имеется в недостаточной мере, не охватывая значительную часть указанных электропотребляющих объектов.

На рассматриваемых предприятиях имеет место обеспечение знаний, компетенции персонала руководящего и среднего уровня управления в вопросах энергосбережения и повышения энергоэффективности путем переподготовки, повышения квалификации. Однако указанное обеспечение пока не распространено на линейный управленческий персонал и персонал, непосредственно управляющий электропотребляющими объектами.

На предприятиях проводится деятельность по устранению очевидных необоснованных затрат электроэнергии, однако в этом вопросе имеются определенные резервы.

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что в настоящее время на рассматриваемых предприятиях угольной отрасли имеется потенциал развития освоения контроля над эффективностью электропотребления в разрезе современных требований по управлению электроэнергией.

5.4. Организационно-информационно-аналитическое обеспечение управления эффективностью электропотребления

Как показывает выполненный анализ, на рассматриваемых предприятиях угольной отрасли имеет место следующее состояние организационно-информационно-аналитического обеспечения управления электроэнергией.

С учетом недостаточного освоения контроля над эффективностью электропотребления ответственность персонала в управлении электроэнергией с целью повышения энергоэффективности достаточно четко идентифицируется (зачастую только в финансовых показателях) до уровня руководителей центров финансовой ответственности. Делегировать ответственность за эффективность электропотребления начальникам участков, мастерам смен, экипажам экскаваторов затруднительно или невозможно в силу недостаточности указанного освоения контроля над эффективностью электропотребления.

При наличии учета на отдельных значимых электропотребляющих объектах (экскаваторах) информация о электропотреблении представляется участникам процесса электропотребления (в основном главным энергетикам) в дискретном виде с осреднением за промежутки времени, формируемые в информационной системе, не всегда совпадающими с отчетными промежутками времени. Указанная информация в целях создания условий для управления электропотреблением: во-первых, не предоставляется персоналу, в ведении которого находятся электропотребляющие объекты (экскаватор, смена, участок); во-вторых, целесообразно усреднить эту информацию за отчетные периоды (смена, декада, месяц); в-третьих, недостаточна для управления повышением энергоэффективности, так как она не интегрирована с объемами выполняемых работ, то есть информация о энергоэффективности – удельном электропотреблении не формируется в информационных системах и не предоставляется в реальном времени участникам процесса электропотребления.

Для управления эффективностью электропотребления целесообразно обеспечить аналитическое описание зависимости удельного электропотребления

от объемов выполняемых работ. Указанные зависимости представляют собой энерготехнологические профили горных работ, аналогичные тем, что установлены в гл. 3 и 4. Энерготехнологические профили целесообразно использовать для повышения адресности планирования, оперативного управления и отчетности за электропотребление, тем самым создавая условия по аналитическому обеспечению управления повышением энергоэффективности.

Управление эффективностью электропотребления должно включать следующие операции: планирование-задание-выполнение-отчет-анализ удельного электропотребления при определенных (плановых и фактически выполненных) объемах работ.

В настоящее время в связи с недостаточным освоением контроля над эффективностью электропотребления адресность (по каждому значимому электропотребляющему объекту), регулярность (ежесменно) выдачи заданий персоналу по удельному электропотреблению, при определенных задаваемых объемах горных работ затруднительна, а зачастую невозможна. Вместе с этим также затруднена адресная (конкретными лицами персонала, в ведении которых находятся электропотребляющие объекты) отчетность, анализ и управление эффективностью электропотребления.

Выполненный анализ позволяет сделать вывод, что в настоящее время на предприятиях угольной отрасли в недостаточной мере созданы условия для организационно-информационно-аналитического обеспечения управления электропотреблением с целью повышения энергоэффективности.

5.5. Выводы

1. Для повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли с учетом эргатического характера процесса электропотребления требуется управление как техно-технологическими электропотребляющими объектами – технической компонентой процесса электропотребления, так и составляющими,

обусловленными действиями персонала по повышению энергоэффективности – управленческой компонентой.

2. Оценку развития управления электроэнергией на предприятиях угольной отрасли целесообразно проводить с помощью качественных измерений посредством соотношения (измерения) фактического состояния составляющих технической и управленческой компонент процесса электропотребления с показателями развития, приведенными в качественных шкалах оценки развития управления электропотреблением.

3. В настоящее время на предприятиях угольной отрасли не в полной мере созданы условия, обеспечивающие освоение контроля над эффективностью электропотребления в разрезе современных требований по управлению электроэнергией. Это обстоятельство требует разработки и внедрения рекомендаций и мероприятий по повышению уровня управления электропотреблением.

4. В настоящее время на предприятиях угольной отрасли требуется создать условия для организационно-информационно-аналитического обеспечения управления электропотреблением с целью повышения энергоэффективности с учетом современных требований.

5. Уровень управления электроэнергией с целью повышения энергоэффективности на предприятиях угольной отрасли имеет значительный потенциал для развития, включая развитие освоения контроля над эффективностью электропотребления, а также организационно-информационно-аналитического обеспечения эффективности электропотребления.

Глава 6. Разработка рекомендаций по управлению электропотреблением с целью повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли

6.1. Исходные положения

Затраты на энергетические ресурсы предприятий угольной отрасли составляют значительную часть (до 20%, а на отдельных предприятиях и выше) в себестоимости продукции. Значимая доля приходится на электрическую энергию, которая составляет более половины в указанных энергозатратах.

Принимаемые меры по повышению энергоэффективности характеризуются инерционным, а не инновационным сценарием развития.

В этой связи, выполненные в настоящей работе исследования, рассматривая процесс электропотребления как энергетический процесс, позволяют разработать рекомендации и мероприятия, которые обеспечивают инновационный сценарий развития эффективности электропотребления за счет повышения уровня управления электрической энергией.

6.2. Рекомендации по освоению контроля над эффективностью электропотребления

Освоение контроля над эффективностью электропотребления является необходимым условием повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли. Для освоения контроля над эффективностью электропотребления требуется осуществить:

1. Совокупный мониторинг объема выполняемых работ и расхода электроэнергии на эти работы для основных электропотребляющих объектов (предприятие, комплекс, участок, смена, экскаватор и иные объекты) в единые временные интервалы времени (смена, сутки, декада, месяц, квартал, год).

2. Анализ управления основными электропотребляющими машинами, оборудованием с установлением требуемых рациональных по эффективности режимов электропотребления.

3. Повышение компетенции линейного персонала, участвующего в процессе электропотребления (начальников участков, сменных мастеров, персонала, непосредственно управляющего основными электропотребляющими объектами), путем проведения курсов повышения квалификации, переподготовки по программам управления энергетическими ресурсами с целью повышения энергоэффективности.

4. Устранение очевидных необоснованных расходов и потерь электроэнергии при её применении.

Совокупный мониторинг объема работ и расхода электроэнергии для оценки удельного электропотребления основных электропотребляющих объектов зависимости от развития измерительно-информационных систем предприятия может в настоящее время иметь следующие уровни:

– расчетный – с расчетами удельного электропотребления на основании данных по объемам работ и расходу электроэнергии;

– приборный – с приборами без сервисных интерфейсов и расчетом удельного электропотребления на основе измеренных данных об объемах работ и расходах электроэнергии;

– автоматизированный – с приборами, имеющими сервисный интерфейс (составление протоколов, архивов, передачи данных и др.), объединенными в измерительно-информационную систему для определения удельного электропотребления на основе автоматически измеренных данных об объемах работ и расходах электроэнергии.

Указанные уровни совокупного мониторинга позволяют вести контроль показателя эффективности электропотребления, как правило, за следующие отчетные периоды (месяц, квартал, год), однако это не обеспечивает регулярный контроль удельного электропотребления в реальном времени (смены, сутки).

Для регулярного контроля эффективности электропотребления в реальном времени требуется обеспечить автоматический совокупный мониторинг показателей объемов работ и расходов электроэнергии с интеграцией (объединением) данных совокупного мониторинга в единой информационной

системе, для автоматической оценки удельного электропотребления с целью управления энергоэффективностью.

Автоматический мониторинг эффективности электропотребления должен быть распространен до мест значительного расхода электроэнергии – основных электропотребителей.

Выполнение вышеприведенных рекомендаций позволит обеспечить освоения контроля над эффективностью электропотребления.

6.3. Рекомендации по организационно-информационно-аналитическому обеспечению эффективности электропотребления

Организационно-информационно-аналитическое обеспечение эффективности электропотребления является необходимым условием повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли, для осуществления которого требуется:

1. Идентифицировать и делегировать ответственность за эффективность электропотребления лицам персонала, в управлении которых находятся основные электропотребляющие объекты – места значимого расхода электроэнергии – начальникам комплексов, участков, сменным мастерам, экипажам экскаваторов.

2. Обеспечить указанных лиц информацией о выполняемых объемах работ, расходе электроэнергии и удельном электропотреблении основных электропотребляющих объектов, находящихся в их ведении. Указанная информация должна предоставляться в регулярном формате за временные периоды: смена, сутки, декада, месяц, квартал, год.

3. Планирование и выдача заданий по электропотреблению, удельному электропотреблению, отчет за указанное электропотребление должны быть адресными и осуществляться с учетом (корректировкой) плановых и фактически выполненных объемов работ с применением энерготехнологических профилей, аналогичных полученным в гл. 3 и 4.

4. Энерготехнологические профили должны устанавливаться для мест значительного расхода электроэнергии по данным мониторинга с различными временными форматами: сменные энерготехнологические профили по сменным данным – для экипажей экскаваторов, мастеров смен, начальников участков и комплексов; суточные энерготехнологические профили по суточным данным – для начальников участков, комплексов.

5. Организационно-информационно-аналитическое обеспечение эффективности электропотребления должно осуществляться автоматизированным способом с применением специализированных программных комплексов, описание которых приведено в п. 6.4.

Выполнение вышеприведенных рекомендаций позволит осуществить организационно-информационно-аналитическое обеспечение эффективности электропотребления.

6.4. Рекомендации по системному управлению эффективностью электропотребления

Выполненное в гл. 5 исследование показало наличие существенного потенциала развития управления электрической энергией с целью повышения энергоэффективности на предприятиях угольной отрасли. Реализацию указанного потенциала целесообразно осуществлять с применением управления эффективностью электропотребления в рамках систем энергетического менеджмента (СЭнМ) [41].

Схема процесса «Энергетический менеджмент» приведена на рисунке 6.1.

В основу процесса «Энергетический менеджмент» (ПЭнМ) положен общий принцип управления «План-Выполнение-Проверка-Действие».

Основопологающим элементом ПЭнМ является Энергетическая политика организации, которая в виде официально утвержденного документа на основе декларации о приверженности организации непрерывному повышению энергоэффективности определяет основные цели, задачи, ответственность, проверки,

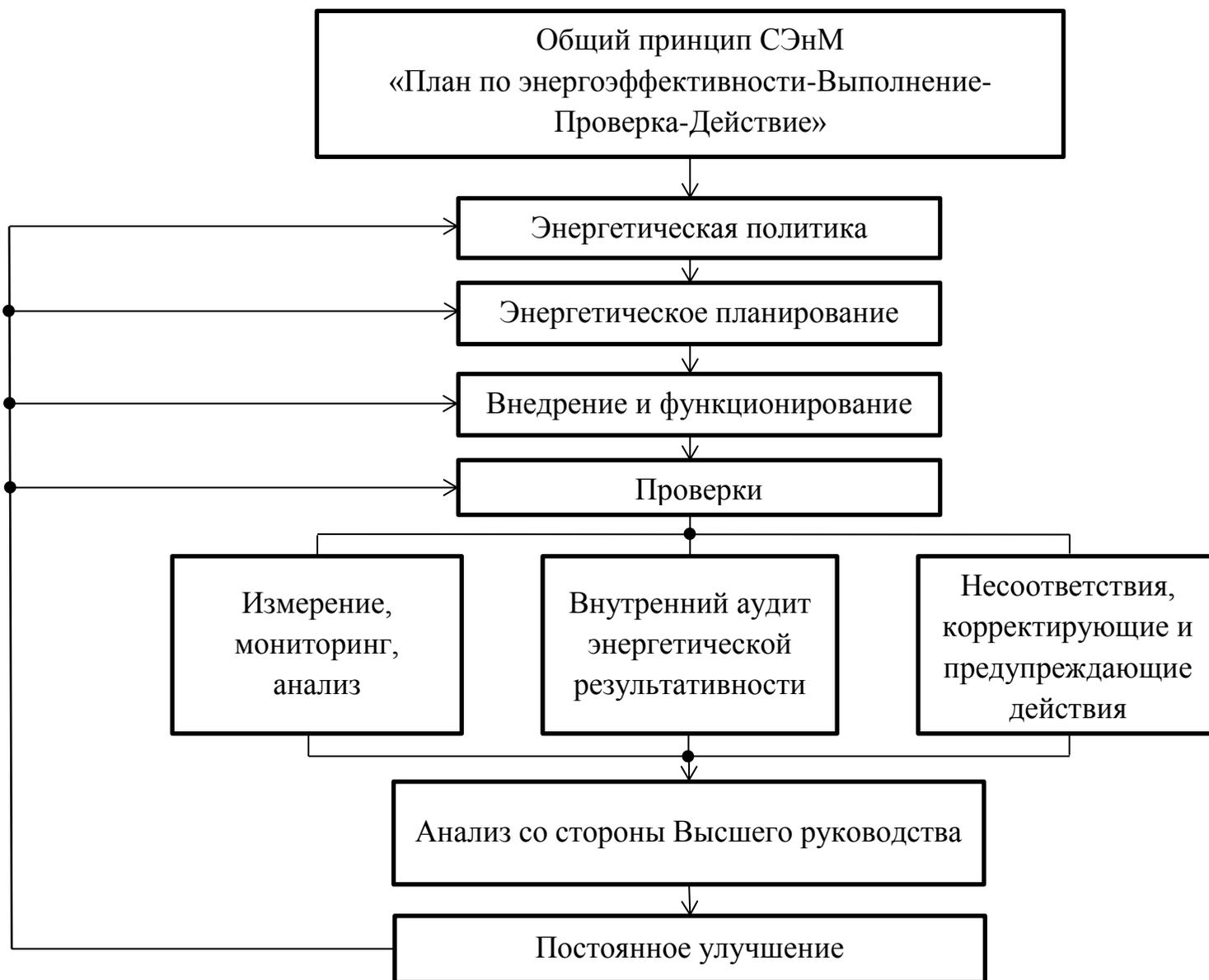


Рисунок 6.1 – Схема процесса «Энергетический менеджмент»

процедуры обновления и иные составляющие деятельности по улучшению энергетической результативности – блок «Энергетическая политика».

ПЭнМ включает планирование энергетической результативности и развития энергетического менеджмента – блок «Энергетическое планирование».

Блок «Внедрение и функционирование» включает стадии внедрения и эксплуатации. К числу основных операций на этих стадиях относятся: обеспечение энергетического менеджмента локальными нормативными актами, освоение контроля над энергоэффективностью, осуществление организационного, мотивационного, информационного, маркетингового и инвестиционного обеспечения управления энергоэффективностью.

Контроль результативности энергетического менеджмента осуществляется посредством проверок – блок «Проверки». Этот блок включает операции: измерения, мониторинг, анализ, внутренний аудит энергетической результативности; выявление несоответствий и разработку корректирующих и предупреждающих действий по обеспечению повышения энергоэффективности.

Блок «Анализ со стороны Высшего руководства» обеспечивает контроль и анализ, который охватывает все стороны деятельности предприятия по повышению энергоэффективности. По результатам анализа определяются направления дальнейшего совершенствования и развития энергетического менеджмента.

Блок «Постоянное улучшение». На основе результатов анализа со стороны Высшего руководства разрабатываются мероприятия по постоянному улучшению функционирования всех блоков для обеспечения и повышения энергетической результативности деятельности предприятия.

Реализация энергетического менеджмента может осуществляться с применением блок-схемы управления эффективностью процесса электропотребления, приведенной на рисунке 6.2.

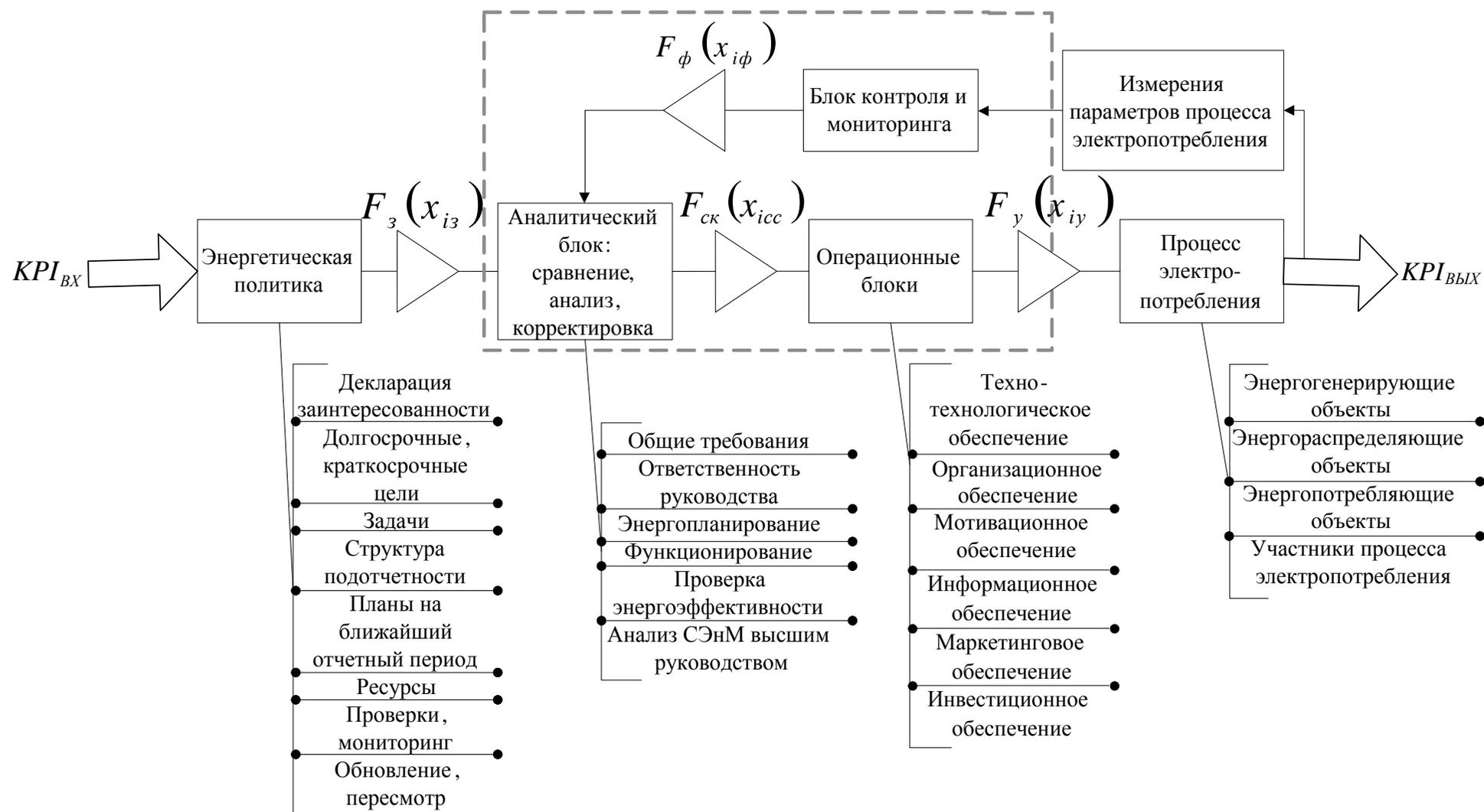


Рисунок 6.2 – Блок-схема управления эффективностью процесса электропотребления

Объектом управления является процесс электропотребления, включающий техно-технологическую компоненту в составе энергогенерирующих, энергораспределительных и энергопотребляющих объектов, а также управленческую компоненту, включающую персонал, участвующий в процессе электропотребления, для результативных действий по достижению энергоэффективности которого требуется организационное, мотивационное, информационно-аналитическое, маркетинговое и инвестиционное обеспечение.

Задающим элементом является энергетическая политика предприятия, определяющая на основе требуемых ключевых показателей энергоэффективности (KPI_{BX}): заинтересованность в эффективном управлении электропотреблением; основные положения в достижении энергоэффективности; долгосрочные цели в повышении энергоэффективности; ближайшие задачи; делегирование ответственности по обеспечению эффективного электропотребления; структуру подотчетности, взаимодействие персонала в деятельности повышения энергоэффективности; план действий на ближайший период; ресурсы на повышение энергоэффективности; процедуры проверок, мониторинга выполнения, пересмотра энергетической политики.

На основании требуемых KPI и положений энергетической политики определяются задачи, функционалы по управлению электропотреблением с целью повышения энергоэффективности $F_3 = \{f_1, f_2 \dots f_n\}$.

В качестве задач функционалов задаются: объемы электропотребления, удельное электропотребление на определенные виды работ, выпуск продукции; качественные параметры управления процессом электропотребления как эргатическим процессом, обеспечивающие организационные, мотивационные, информационно-аналитические, маркетинговые и инвестиционные аспекты управления.

Задачи, функционалы F_3 поступают в аналитический блок, в который так же с выхода системы через блок контроля и мониторинга поступают фактические значения показателей эффективности электропотребления, результаты реализаций

заданных функционалов системы управления электропотреблением $F_{\phi} = \{f_{\phi 1}, f_{\phi 2} \dots f_{\phi n}\}$.

Фактические значения F_{ϕ} формируются в процессе потребления энергоресурсов и могут отличаться от значений F_3 на входе в систему.

В аналитическом блоке (АБ) на основании сравнения значений F_3 и F_{ϕ} , анализа их отклонений происходит корректировка и формирование скорректированных задач и функционалов $F_{ск} = \{f_{ск1}, f_{ск2} \dots f_{скn}\}$, которые поступают на вход операционного блока (ОБ).

В ОБ на базе скорректированных задач и функционалов формируются управляющие задачи и функционалы F_y по всем аспектам управления процессом электропотребления: техно-технологическому, организационному, мотивационному, информационно-аналитическому, маркетинговому, инновационному. Управляющие задачи и функционалы поступают на вход процесса электропотребления и производят соответствующую корректировку с целью обеспечения энергоэффективности.

Организационно-функциональная схема управления процессом электропотребления для реализации энергетического менеджмента приведена на рисунке 6.3.

Ответственный представитель ВРП по энергетическому менеджменту (ЭнМ) действует от его имени в вопросах обеспечения функционирования и развития системы энергетического менеджмента. С учетом важности вопроса повышения энергоэффективности ответственным представителем ВРП по ЭнМ целесообразно назначать главного инженера предприятия.

С учетом того, что процесс электропотребления является энергетическим процессом и включает в себя как электропотребляющие объекты различных технологических подразделений, так и персонал, управляющий указанными объектами, то для целей обеспечения содействия эффективному функционированию и развитию ЭнМ на предприятии целесообразно сформировать межотраслевую кросс-функциональную группу (КФРГ) по ЭнМ.



Рисунок 6.3 – Организационно-функциональная схема управления процессом электропотребления для реализации энергетического менеджмента

Основными задачами КФРГ должны являться содействие обеспечению: единых принципов, методов, способов деятельности предприятия в вопросах развития ЭНМ, энергосбережения и повышения энергоэффективности; повышения эффективности электропотребления производственных процессов; применения новых технологий, повышающих эффективность применения электроэнергии; совершенствования, развития систем учета и контроля электроэнергии; координации работ структурных подразделений для достижения запланированного энергосбережения и повышения энергоэффективности.

В кросс-функциональную группу целесообразно включить заместителей директора предприятия, руководителей основных электропотребляющих подразделений предприятия, а также руководителей и главных специалистов управленческих отделов и служб, ведающих техно-технологическими, энергетическими, планово-экономическими, кадровыми и иными вопросами, которые касаются функционирования ЭНМ. Руководителем КФРГ целесообразно назначать ответственного представителя ВРП по ЭНМ – главного инженера предприятия.

Ответственным за энергосбережение и повышение энергоэффективности предприятия целесообразно назначать главного энергетика, основной функцией которого в рамках ЭНМ является обеспечение активности деятельности предприятия с целью повышения энергоэффективности и развития ЭНМ.

Персонал, в ведении которого находятся электропотребляющие объекты, является персоналом, участвующим в управлении электропотреблением в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2.4.

Управленческие отделы и службы – это отделы и службы предприятия, в ведение которых входят технические, энергетические, планово-экономические, кадровые и иные вопросы, связанные с ЭНМ.

Процесс электропотребления, являющийся предметом управления с целью повышения энергоэффективности, включает техническую и управленческую компоненты и их составляющие.

Практическую реализацию системного управления в рамках системы энергетического менеджмента целесообразно вести с использованием программно-аналитических комплексов по управлению энергоресурсами (ПАКУЭ). Функции программно-аналитического комплекса должны позволять в автоматическом режиме в реальном времени обеспечивать мониторинг эффективности электропотребления и организационно-информационно-аналитическую поддержку управления процессом электропотребления как энергетическим процессом. К числу основных функций должны относиться:

- Сбор, систематизация, преобразование, распределение среди участников процесса электропотребления энерготехнологической информации (объемы выполняемых работ, расход электроэнергии, удельное электропотребление на эти работы) о функционировании электропотребляющих объектов.

- Моделирование энерготехнологических профилей электропотребляющих объектов (статистических зависимостей сменного удельного электропотребления от объемов выполняемых работ), аналогичных полученным в гл. 3.

- Визуализация построения графиков на дисплеях ПК соответствующих участников процесса электропотребления, в управлении которых находятся электропотребляющие объекты сменных объемов выполненных работ, расхода электроэнергии, удельного электропотребления по датам месяца.

- Обеспечение оперативной ежесменной возможности выдачи заданий персоналу по удельному электропотреблению в соответствии с заданными объемами работ, а также отчета персонала по выполнению этих заданий с использованием смоделированных энерготехнологических профилей для каждого значимого электропотребляющего объекта с учетом фактически выполненных объемов работ.

- Формирование с выводом на дисплеи ПК соответствующих участников процесса электропотребления таблиц энерготехнологической результативности работы электропотребляющих объектов с информацией о сменных плановых и фактических объемах выполненных работ, сменном расходе электроэнергии, а также о сменных плановом и фактическом удельном электропотреблении и их

отклонениях в сменном формате по датам месяца и в формате с накоплением информации по датам за текущий месяц.

Информация, выводимая на дисплеи ПК соответствующих участников процесса электропотребления, должна обеспечивать адресную мотивацию персонала в осуществлении вопросов по повышению энергоэффективности.

Программно-аналитический комплекс по управлению электропотреблением должен реализоваться в виде информационно-коммуникационной системы, интегрированной в существующие ИС предприятия, и объединяющей всех участников процесса электропотребления на базе единой организационно-технологической платформы для обеспечения и повышения энергоэффективности.

Блок-схема программно-аналитического комплекса, реализующего приведенные выше функции с использованием существующих на предприятиях угольной отрасли информационных систем, обеспечивающих данные по объемам работ и расходу электроэнергии, приведена на рисунке 6.4.

Приведенная схема рекомендуется для применения на предприятиях угледобывающей отрасли.

В сервер программно-аналитического комплекса из существующих информационных систем предприятия поступают данные о сменных объемах работ и расходе электроэнергии электропотребляющими объектами (ЭПО). В сервере происходит интеграция указанных данных с вычислением удельного электропотребления по каждому ЭПО. Таким образом, в сервере по каждому из n ЭПО формируется поток данных по сменным объемам работ, расходе электроэнергии и показателе, характеризующем эффективность использования электроэнергии – удельном электропотреблении.

Эта информация распределяется по производственным участкам в соответствии с работающими на этих участках ЭПО и выводится на дисплеи ПК соответствующих участников процесса электропотребления (начальников добычного комплекса, участков, сменных мастеров).

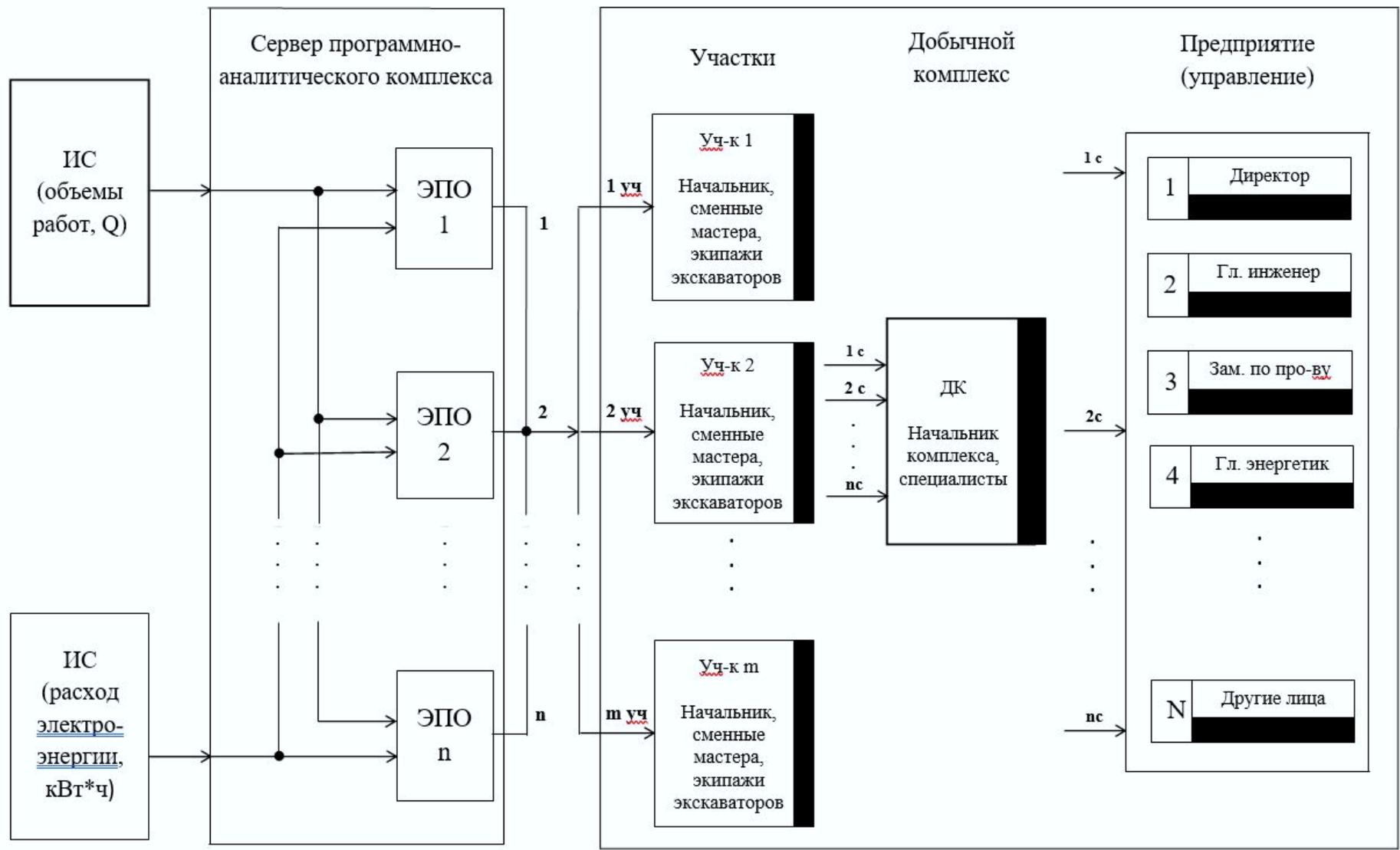


Рисунок 6.4 – Блок-схема программно-аналитического комплекса по управлению электропотреблением

Вместе с этим в сервере по данным за последний месяц работы (временным рядом) моделируются энерготехнологические профили каждого из ЭПО. Месячный период, за который моделируются энерготехнологические профили, формируется по «скользящему» методу. При отработке ЭПО следующей за месячным периодом, по которому смоделирована текущая модель энерготехнологического профиля декады, данные этой декады добавляются к временному ряду, по которому смоделирована текущая модель энерготехнологического профиля, а данные первой декады указанного временного ряда отсекаются. Таким образом формируется месячный временной ряд для моделирования следующей модели энерготехнологического профиля.

На дисплеях ПК соответствующих участников процесса электропотребления происходит визуализация графиков сменных объемов работ, расхода электроэнергии ЭПО. Визуализация удельного электропотребления строится в двух графиках – заданного (планового) и фактического сменного удельного электропотребления. Значения удельного электропотребления на этих графиках определяются с учетом зависимости удельного электропотребления от объема выполняемых работ, по смоделированным в ПАКУЭ энерготехнологическим профилям.

Вместе с этим на дисплеях ПК участников процесса электропотребления визуализируются соответствующие протоколы энерготехнологической результативности работы ЭПО.

В соответствии с вышеизложенным на предприятиях СУЭКа разработаны и внедрены программно-аналитические комплексы по управлению энергоресурсами. На скриншотах с дисплеев ПК участников процесса электропотребления (сменный мастер, начальник горного участка и др.) приведены изображения графиков объема выемочно-погрузочных работ экскаватора РС-3000 (рисунок 6.5) и заданного (планового) и фактического электропотребления на эти работы (рисунок 6.6), определенные по энерготехнологическим профилям $w_3 = f(Q_3)$ и $w_\phi = f(Q_\phi)$, аналогичным установленным в гл. 3. На дисплеях отражается также: окно выбора

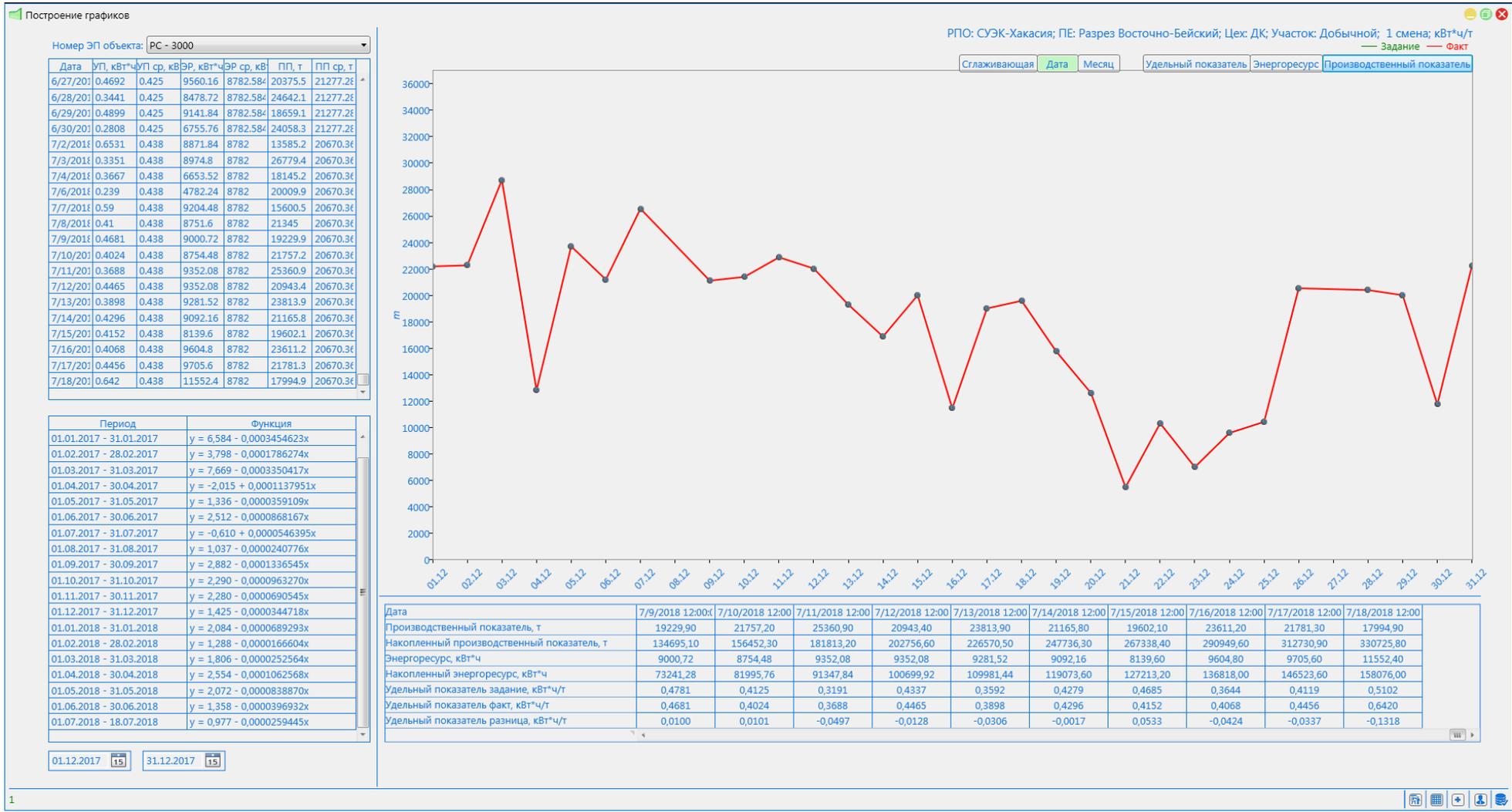


Рисунок 6.5 – Скриншот с дисплея ПК участника процесса электропотребления – график объема работ

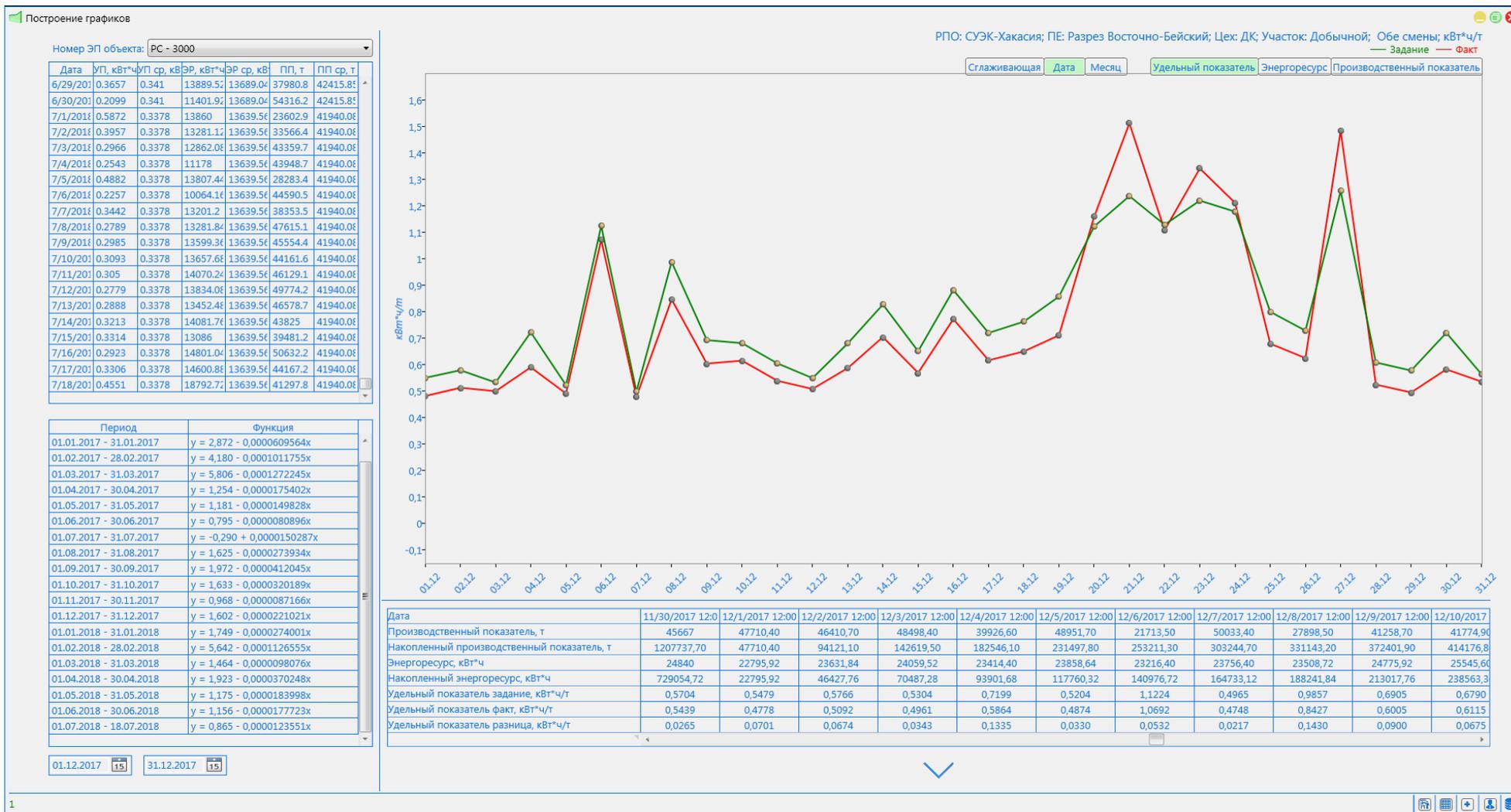


Рисунок 6.6 – Скриншот с дисплея ПК участника процесса электропотребления – графики заданного (планового) и фактического удельного электропотребления: — заданное (плановое) значение; — фактическое значение

соответствующего ЭПО – поле «Номер ЭП объекта» с выпадающим списком ЭПО (на скриншоте показан уже выбранный экскаватор РС-3000) с соответствующей таблицей энерготехнологических показателей – объема работ (ПП), расхода электроэнергии (ЭР) и удельного электропотребления (УП) по соответствующим датам; окна выбора периода просмотра данных из архива (на скриншоте слева внизу); таблица энергетической результативности работы ЭПО – РС-3000.

Вышеприведенная информация о энерготехнологических показателях работы ЭПО позволяет: вести мониторинг процесса электропотребления в соответствии с рекомендациями, приведенными в п. 6.2.; выполнить организационно-информационно-аналитическое обеспечение управления эффективностью электропотребления в соответствии с рекомендациями, приведенными в п. 6.3; обеспечить управление энергоэффективностью (мониторинг процесса электропотребления, включая показатель эффективности, адресную выдачу задания по удельному электропотреблению, адресную отчетность по выполнению задания с объединением участников процесса электропотребления на базе единой организационно-информационно-аналитической платформы (рекомендации п. 6.4).

Вместе с этим информация, получаемая из ПАКУЭ, является исходной для обеспечения адресной мотивации персонала в вопросах обеспечения и повышения эффективности процесса электропотребления, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 6.7.

Для адресной мотивации персонала в вопросах обеспечения и повышения эффективности процесса электропотребления требуется выполнение в соответствии со схемой следующих операций (операции 1-7 выполняются в ПАКУЭ автоматически):

1. Выдача ежесменного задания по удельному энергопотреблению персоналу, управляющему определенным энергопотребляющим объектом (ЭПО) (позиции 1 и 4). Задание выдается с использованием автоматически устанавливаемого ПАКУЭ энерготехнологического профиля i -того ЭПО,

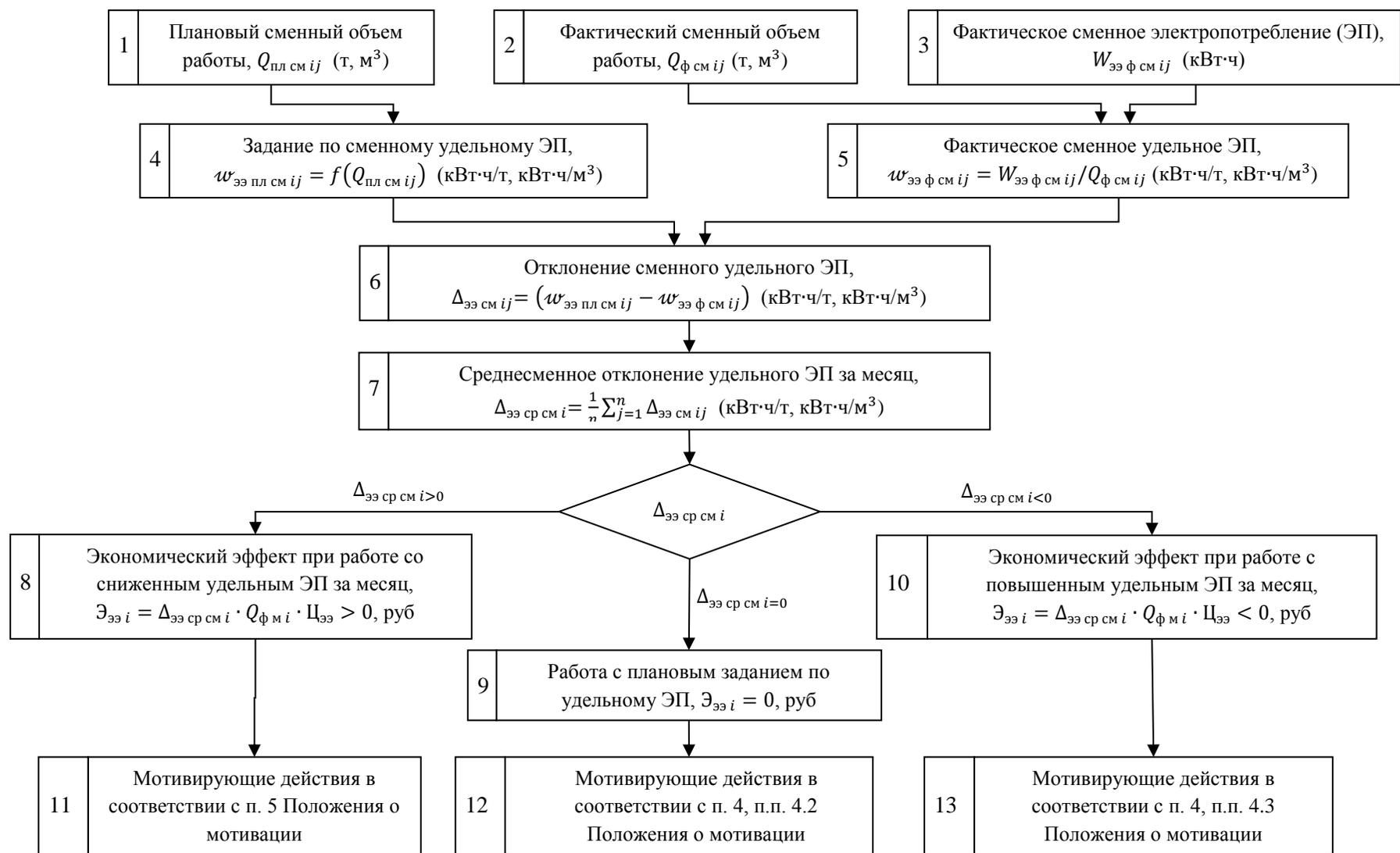


Рисунок 6.7 – Схема реализации адресной мотивации персонала в вопросах обеспечения и повышения эффективности процесса электропотребления

представляющего корреляционную зависимость удельного энергопотребления от объема выполняемых работ $w = f(Q)$. Задание по сменному удельному ЭП для i -того ЭПО на j -тую смену ($w_{пл см i j}$) вычисляется автоматически после набора значения планового сменного объема работ сменным мастером по выражению

$$w_{пл см i j} = f(Q_{пл см i j}) \quad (6.1)$$

2. На основании получаемых из ИС предприятия фактических сменных объема работ и объема ЭП определяется фактическое сменное удельное ЭП i -того ЭПО за j -тую смену (позиции 2, 3, 5) по выражению

$$w_{ф см i j} = \frac{W_{ф см i j}}{Q_{ф см i j}} \quad (6.2)$$

3. Определяется отклонение сменного фактического удельного ЭП от задания для i -того ЭПО за j -тую смену (позиция 6) по выражению

$$\Delta_{см i j} = (w_{пл см i j} - w_{ф см i j}) \quad (6.3)$$

4. Определяется среднесменное отклонение удельного ЭПО за отчётный месяц для i -того ЭПО (позиция 7) по выражению

$$\Delta_{ср см i j} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (w_{пл см i j} - w_{ф см i j}) \quad (6.4)$$

5. Определяются экономические эффекты по результатам энергоэффективности работы i -того ЭПО при условиях $\Delta_{ср см i} > 0$, $\Delta_{ср см} = 0$, $\Delta_{ср см} < 0$ (позиции 8-10) по выражению

$$\mathcal{E}_i = \Delta_{ср см i} \cdot Q_{ф м i} \cdot Ц_{ЭЭ}, \quad (6.5)$$

где $Q_{ф м i}$ – объем работы i -того ЭПО за месяц;

$Ц_{ЭЭ}$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии.

6. В дальнейшем в соответствии с Положением о мотивации осуществляются мотивирующие действия по поощрению (позиции 11, 12) или санкциям (позиция 13) персонала.

Выполнение приведенных рекомендаций позволит повысить уровень управления эффективностью электропотребления.

6.5. Выводы

По результатам главы 6 сформулированы следующие выводы:

1. Контроль над эффективностью электропотребления должен включать совокупный автоматический мониторинг сменных объема работ и расхода электроэнергии с целью получения показателя энергоэффективности – удельного электропотребления.

2. Автоматический совокупный мониторинг должен распространяться «вниз» по схемам электропотребления до мест значительного потребления электроэнергии, а также до крупных технологических потребителей производственных процессов.

3. Данные совокупного мониторинга должны автоматически преобразовываться с целью получения участниками процесса электропотребления информации о энергетической результативности работы энергопотребляющих объектов для принятия решений по управлению эффективностью электропотребления.

4. На основании совокупного мониторинга с применением программно-аналитического комплекса для повышения уровня аналитического описания требуется устанавливать энерготехнологические профили мест значительного потребления электроэнергии (комплексы) и крупных электропотребителей (экскаваторы) в требуемом временном масштабе: сменные энерготехнологические профили энергопотребляющих объектов – для экипажей экскаваторов, сменных мастеров, начальников участков, комплексов; месячные энерготехнологические профили – для сменных мастеров, начальников участков, комплексов, цехов и других участников процесса электропотребления.

5. Организационно-информационно-аналитическое обеспечение эффективности электропотребления целесообразно выполнять с использованием разработанного программно-аналитического комплекса по управлению энергоресурсами.

6. Ответственность за обеспечение энергоэффективности – выполнение плановых заданий по удельному электропотреблению в натуральных показателях

(кВт·ч/т) в соответствии с выполняемыми объемами работ целесообразно возложить на начальников участков, в ведении которых находятся электропотребляющие процессы, работы, с делегированием соответствующей ответственности сменным мастерам и персоналу, управляющему энергопотребляющими машинами, оборудованием, установками.

7. Ответственность за обеспечение энергоэффективности – выполнение плановых заданий по финансовым затратам на электроэнергию в соответствии с выполняемыми объемами работ целесообразно возложить на начальников подразделений (цехов, комплексов), в ведении которых находятся электропотребляющие процессы, работы.

8. Оперативная выдача ежесменных плановых заданий, отчеты по удельному электропотреблению персоналом, который управляет электропотребляющими объектами, следует проводить в реальном времени – по сменам с использованием разработанного программно-аналитического комплекса, позволяющего осуществлять эти действия в автоматизированном режиме.

9. Для адресной мотивации персонала в вопросах обеспечения и повышения эффективности процесса электропотребления целесообразно использовать энерготехнологическую информацию о работе энергопотребляющих объектов, генерируемую программно-аналитическим комплексом.

10. Реализация разработанных в настоящей главе рекомендаций позволит обеспечить повышение уровня управления процессом электропотребления с целью повышения энергоэффективности.

Заключение

В диссертационной работе выполнено решение актуального научного вопроса повышения эффективности процесса электропотребления предприятий, осуществляющих открытую добычу угля, заключающееся: в установлении вероятностных моделей энерготехнологических параметров, энерготехнологических профилей вскрышных, добычных, отгрузочных работ, с разработкой концептуальных принципов информационно-аналитического обеспечения повышения энергоэффективности и структуры программно-аналитического комплекса по управлению энергетическими ресурсами.

Основными результатами, полученными в диссертационной работе, являются:

1. Обоснованы концептуальные принципы и разработана методика исследования эффективности процесса электропотребления предприятий угольной отрасли, отличительной особенностью которой является учет как технических, так и управленческих аспектов повышения энергоэффективности.

2. Установлены вероятностные модели – законы распределения вероятностей энерготехнологических параметров (объемов работ, электропотребления, удельного электропотребления) различных технологических схем вскрышных работ (автотранспортной, бестранспортной вскрыши, вскрыши с погрузкой в железнодорожный транспорт и приемки вскрышных пород в отвалы), а также добычных работ для различных типов и марок экскаваторов.

3. Получены энерготехнологические профили в виде корреляционных зависимостей электропотребления и удельного электропотребления от объема вскрыши со статистически значимыми коэффициентами корреляции и детерминации, коэффициентом уравнений, с достаточно высокой математической точностью (в основном на уровне в 10% по шкале Чеддока).

Коэффициенты эластичности энерготехнологических профилей показывают:

- при увеличении объемов вскрышных работ на 1% электропотребление экскаваторов увеличивается на $(0,55 \div 0,70)\%$, а удельное электропотребление снижается на $(0,29 \div 0,78)\%$;
- при увеличении объемов добычных работ на 1% электропотребление увеличивается на $(0,6 \div 0,7)\%$, а удельное электропотребление снижается на $(0,30 \div 0,45)\%$.

4. Установлены обобщенные вероятностные модели – законы распределения вероятностей энерготехнологических параметров (среднесменного объема работ, среднесменного коэффициента технической производительности, среднесменного удельного электропотребления) вскрышных, добычных, отгрузочных работ для различных типов и марок экскаваторов.

5. Получены обобщенные энерготехнологические профили в виде корреляционных зависимостей удельного электропотребления от среднесменного объема работ и среднесменного коэффициента технической готовности. Обобщенные энерготехнологические профили описываются линейными, гиперболическими и логарифмическими уравнениями с достаточно высокой математической точностью (в основном на уровне в 10% по шкале Чеддока).

6. Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили повышают уровень аналитического описания процесса электропотребления для управления энергоэффективностью вскрышных, добычных и отгрузочных работ.

7. Получены оценки уровней развития составляющих управления процессом энергопотребления в виде технических и организационных профилей, которые показывают, что на предприятиях угольной отрасли имеется потенциал для повышения условий, обеспечивающих повышение энергоэффективности.

8. Обоснованы положения, концептуальные принципы информационно-аналитического обеспечения энергоэффективности и разработана структура программно-аналитического комплекса для управления энергетическими ресурсами, который позволяет объединить участников процесса электропотребления на базе единой информационно-аналитической платформы.

Результаты диссертационной работы в виде методических положений исследования эффективности процесса электропотребления, энерготехнологических профилей, оценок уровня развития составляющих управления процессом электропотребления, принципов и структуры программно-аналитических комплексов использованы на ряде предприятий Сибирской угольной энергетической компании при разработке систем энергетического менеджмента.

Список литературы

1. Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ.
2. Государственная программа РФ «Развитие угольной промышленности до 2030 г.». – М., 2014.
3. Государственная программа РФ «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период 2020 г.». – М.: Минэнерго РФ, 2010.
4. Государственная программа РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики». – М., 2014
5. Авилов-Карнаухов Б.Н. Приложение энергетических характеристик агрегатов для нормирования и анализа потребления электроэнергии // Нормирование потребления электроэнергии и энергобалансы предприятий. – М.: МДНТП, 1979. – с. 62-65.
6. Авилов-Карнаухов Б.Н., Зюбровский Л.Г. Экономия электроэнергии на рудообогатительных фабриках. – М.: Недра, 1987. – 160 с.
7. Алексеев В.В., Гланц А.А. Экономия топливно-энергетических ресурсов в геологических организациях. – М.: Недра, 1986. – 223 с.
8. Алексеев В.В., Наугольнов С.И., Егоров С.Ю. Расчет энергозатрат на проведение горизонтальных выработок. Передовой научно-производственный опыт геологоразведочных организаций. Вып. 18. – М.: ВИЭМС, 1984.
9. Андрижевский А.А., Володин В.И. Энергосбережение и энергетический менеджмент. – Минск: Высшая школа, 2005. – 294 с.
10. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Метод определения энергоэффективности технологий и механизации горных работ по добыче полезных ископаемых открытым способом. – М.: РГГУ им. Серго Орджоникидзе, 2011. – 117 с.
11. Анчарова Т.В., Гамазин С.И., Шевченко В.В. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. – М., 1990.

12. Анчарова Т.В., Пищур А.П. Проблемы и пути решения анализа и нормирования электропотребления промышленных предприятий с многономенклатурным производством // Электро. – 2003. – №6. – С. 22-26.
13. Аракелов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономии энергоресурсов. – М., Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
14. Бабокин Г.И. Технические средства и методы энергосбережения. Энергоаудит предприятий. – Тула, 2003.
15. Батищев В.Е., Мартыненко Б.Г., Сысков С.Л., Щелоков Я.М. Энергосбережение: справочное пособие. Издание 2-е. – Екатеринбург: Экс-Пресс, 2000. – 340 с.
16. Белан А.В., Гордеев В.И. Прогнозирование электропотребления на основе многофакторного, регрессионного и корреляционного анализов // Проблемы энергосбережения. Вып.7. – К.: Наукова думка, 1991. – С. 54-59.
17. Белых Б.П. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1971. – 440 с.
18. Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К., Электрические нагрузки электропотребления на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1971. – 247 с.
19. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Изд-во «Статистика», 1980. – 265 с.
20. Бирюлин В.И., Ларин О.М., Хорошилов Н.В. Особенности и методические принципы разработки человеко-машинных систем энергетического менеджмента на промышленных предприятиях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника информатика. Медицинское приборостроение. – Курск, 2013. – №3. – С. 20-22.
21. Богоявленский А.И., Бернер М.С., Матюнин Ю.В. Информационное обеспечение энергетического менеджмента // Промышленная энергетика. – 2013. – №8. – С. 12-15.
22. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 415 с.
23. Боровиков А.А. Математическая статистика. – М.: Наука, 1984. – 472 с.

24. Боровиков В.П. СТАТИСТИКА. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – СПб: Питер, 2003. – 698 с.
25. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. Изд. 2-е. – М.: Филинь, 1998. – 608 с.
26. Вагин Г.Я. К вопросу о повышении энергоэффективности промышленных предприятий // Промышленная энергетика. – 2013. – №5. – С. 2-6.
27. Вагин Г.Я., Дудников Л.В., Зенютич Е.А. и др. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях. Справочно-методическое пособие. Под ред. С.К. Сергеева – Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. – 296 с.
28. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. – Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. – 296 с.
29. Вейц В.И. Экономия электроэнергии в промышленности. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947. – 208 с.
30. Венецкий И.Г. Основы теории вероятности и математической статистики. – М.: Изд-во «Статистика», 1968. – 360 с.
31. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные решения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
32. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1976. – 127 с.
33. Волошин С.М. Система мониторинга и управление энергопотреблением // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №2 (12). – С. 9-16.
34. Гладилин А.В., Герасимов А.Н., Громов Е.Н. Эконометрика. – М.: Кнорус, 2006. – 232 с.
35. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.
36. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
37. Гордеев В.И., Васильев И.Е., Щуцкий В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. – Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1991. – 104 с.

38. Горлов А.Н. Управление энергопотреблением на промышленных предприятиях с использованием системного энергоменеджмента. – Курск.: Известия Юго-западного государственного университета, 2014.
39. ГОСТ 30166-95. Ресурсосбережение. Основные понятия.
40. ГОСТ Р 51541-99. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав показателей. Общие положения.
41. ГОСТ Р ИСО 50001-2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.
42. Гофман В.М., Миновский Ю.П. Регулирование электропотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах. – М.: Недра, 1988. – 190 с.
43. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. – М.Л.: Энергия, 1966. – 320 с.
44. Гунин В.М., Копцев Л.А., Никифоров Г.В. Опыт нормирования и прогнозирования электропотребления промышленного предприятия на основе математической обработки статистической отчетности // Промышленная энергетика. – 2000. – №2. – С. 2-6.
45. Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 151 с.
46. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
47. Дьяков А.Ф., Жуков В.В., Б.К. Максимов, И.И. Левченко. Менеджмент в электроэнергетике. – М.: Изд-во МЭП, 2000. – 446 с.
48. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Логика прикладного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 191 с.
49. Жернаков А.П., Акимов В.Д., Алексеев В.В. Экономия топливно-энергетических ресурсов при геологоразведочных работах. – М.: ЗАО «Геоинформмак», 2000. – 317 с.
50. Закиров Д.Г., Рыбин А.А. Опыт организации и внедрения системы управления энергетической эффективностью в условиях модернизации экономики региона // Промышленная энергетика. – 2014. – №2. – С. 2-5.

51. Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на горных предприятиях цветной металлургии РТМ 48.19-6.02-89. / Гойхман В.М., Щуцкий В.И., Ляхомский А.В. и др. – М.: ЦНИИ цветной металлургии экономики и информации, 1989. – 112 с.

52. Ключев Ю.Б. Планирование электропотребления на промышленном предприятии. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.

53. Константинов Б.А. О применении математических методов при нормировании электроэнергии в промышленности // Электричество. – 1964. – № 1. – С. 66.

54. Копцев Л.А. Обоснованное нормирование потребления энергоресурсов – инструмент повышения экономической эффективности работы промышленного предприятия // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2012. – № 1. – С. 19-24.

55. Копцев Л.А. Управление загрузкой технологических агрегатов с целью сокращения энергозатрат // Сталь. – 2011. – № 9. – С. 73-77.

56. Копцев Л.А., Копцев А.Л. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии на промышленном предприятии // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 18-23.

57. Копытов Ю.В., Чуланов Б.А. Экономия электроэнергии в промышленности: Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.

58. Кудрин Б.И. О теоретических основах и практике нормирования и энергосбережения // Промышленная энергетика. – 2006. – № 6. – С. 33-36.

59. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия по энергосбережению. Книга 1. – М.: “Теплоэнергетик”, 2002. – 688 с.

60. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия по энергосбережению. Книга 2. – М.: “Теплоэнергетик”, 2002. – 670 с.

61. Ляхомский А.В. Исследование электрических нагрузок на базе многоуровневой кластеризации // Изв. вузов. «Электромеханика». – 1989. – №5. – С. 126-128.

62. Ляхомский А.В. Математическое моделирование электропотребления горных предприятий // Изв. вузов. Электромеханика. – 1986. – №12 – с.15-17.

63. Ляхомский А.В. Сезонные модели электропотребления горных предприятий // Изв. вузов «Горный журнал». – 1988. – №2. – С. 81-84.

64. Ляхомский А.В., Вахрушев С.В., Петров М.Г. Моделирование поверхности показателей энергоэффективности обогатительных производств горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 10. – С. 313-316.

65. Ляхомский А.В., Малявин Б.Я. Принципы построения системы управления потреблением энергетических ресурсов. Вопросы регулирования ТЭК: регионы и Федерация. – М., 2002, № 1, стр. 49-50.

66. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Исследование эффективности управления энергетическими ресурсами горных предприятий методом экспертных оценок // Наука и новейшие технологии при поисках, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых / Мат-лы конференции. – М.: 2006. – С. 173.

67. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Методические принципы исследования энергоэффективности горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 8. – С. 340-342.

68. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Моделирование оценок энергетического менеджмента на промышленных предприятиях // Проблемы энергосбережения безопасности экологии в промышленности и коммунальной энергетике / Мат-лы XXI международной конференции. – Ялта: 2006. – С. 26-28.

69. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Обоснование положений и разработка системы энергетического менеджмента на промпредприятиях // Проблемы энергосбережения безопасности экологии в промышленности и коммунальной энергетике / Мат-лы XXI международной конференции. – Ялта: 2007. – С. 24-27.

70. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Оценка уровня управления энергоресурсами горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 306-308.

71. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Дьячков Н.Б., Петухов С.В., Миновский Ю.П. Интегрированная система управления энергоресурсами предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – №3. Препринт.

72. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Петухов С.В. Прогнозирование энергообеспечения предприятий минерально-сырьевого комплекса // Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка - 2016» Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) №1 (специальный выпуск 1). – М.: Издательство «Горная книга». 2016. – С. 450-460.

73. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Петухов С.В. Энерготехнологические характеристики экскаваторов на открытых горных работах // Вестник Энергоэффективности. – 2013. – №2. – С. 25-29.

74. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Петухов С.В., Коробкина Г.З. Энергетический менеджмент - инновационный путь повышения энергоэффективности // Материалы XI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике». – Пермь, 2015. – С. 7-16.

75. Ляхомский А.В., Петров М.Г., Дьячков Н.Б., Перфильева Е.Н. Концептуальные основы и разработка программно-аналитического комплекса «Управление энергоресурсами промпредприятий». // Проблемы энергосбережения безопасности экологии в промышленности и коммунальной энергетике / Мат-лы XXI международной конференции. – Ялта: 2007. – С. 28-30.

76. Ляхомский А.В., Петухов С.В., Кузнецов А.И. Энергетические профили экскаваторных работ при разработке угольных месторождений // Горная электромеханика и электрооборудование. – 2017.

77. Ляхомский А.В., Сергеев А.Ю. Методика исследования электробалансов горных предприятий по добыче полиметаллических руд // Сб. «Вопросы электроснабжения и автоматизированного электропривода промышленных предприятий». – Калинин: КПИ, 1988. – С. 99-106.

78. Ляхомский А.В., Синявский А.Н., Скоробогатов А.В. О влиянии состояния рынка производства, передачи и потребления электрической энергии на повышение энергоэффективности горных предприятий // Горные машины и автоматика. – 2001. – №7. – С. 3-4.

79. Ляхомский А.В., Скоробогатов А.В. Энергоменеджмент на горных предприятиях // Сб. «Энергосбережение на промышленных предприятиях». – Магнитогорск, 2000. – с. 232-233.

80. Методика определения нормы расхода электроэнергии по производственному объединению угольной промышленности (при подземной добыче угля). – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. – 76 с.

81. Методика оценки энергозатрат на процессы горного производства в цветной металлургии. РТМ 48.19-6.01-89. / Гойхман В.М., Щуцкий В.И., Ляхомский А.В. и др. – М.: ЦНИИ цветной экономики и информации, 1989. – С. 93-97, с. 139-157.

82. Методика технико-экономического обоснования мероприятий по экономии топлива, тепловой и электрической энергии, планируемая к внедрению в промышленности. – М., НИИПиН, 1976. – 16 с.

83. Миновский Ю.П. Экономия и нормирование электроэнергии в угольной промышленности // Уголь. – 1986. – № 4. – С. 17-19.

84. Миновский Ю.П. Эффективность мероприятий по снижению потребления электроэнергии на шахтах // Уголь. – 1983. – № 5. – С. 14-15.

85. Миновский Ю.П. Эффективность электроснабжения угольных шахт. – М.: Недра, 1990. – 158 с.

86. Михайлов В.В., Гудков Л.В., Терещенко А.В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. – М.: Энергия, 1978. – 224 с.

87. Михалевич А.А. Введение в энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент. – Минск: БГТУ, 2002. – 267 с.

88. Никифоров Г.В., Заславец Б.И. Энергосбережение на металлургических предприятиях. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 283 с.

89. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец Б.И. Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 480 с.

90. Никифоров Г.В., Олейников В.К., Заславец Б.И., Шеметов А.Н. Управление режимами энергопотребления промышленного предприятия с использованием современных информационных технологий // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – №2. – С. 12-21.

91. Олейников В.К. Анализ и планирование электропотребления на горных предприятиях. – М.: Недра, 1983. – 192 с.

92. Орлов А.И. Прикладная статистика. Учебник. – М.: Экзамен, 2004. – 656 с.

93. Основы энергетического менеджмента. Библиотека энергоменеджера. – М.: АСЭМ. Энизан, 1997. – 88 с.

94. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М., Недра, 1985. – 232 с.

95. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 495 с.

96. Резник А.Д., Резник Д.А. Элементарное введение в статистику (от практики к теории). – М.: Горячая линия - Телеком, 2016. – 358 с.

97. Руководящий технический материал РТМ 48.19-6.02-89. Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на горных предприятиях цветной металлургии. – М., 1989. – 124 с.

98. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Изд-во «Наука», 1971. – 192 с.

99. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. – М.: «Высш. школа», 1973. – 287 с.

100. Сальников А.Х., Шевченко Л.А. Нормирование потребления и экономии топливно-энергетических ресурсов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.

101. Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций. Под. ред. Свешникова А.А. – М.: Наука, 1965. – 632 с.

102. Ставцев В.А., Бабокин Г.И. Технические средства и методы энергосбережения. Энергоаудит предприятий. – Тула: Гриф и К, 2003. – 237 с.
103. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 256 с.
104. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
105. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Статистические характеристики сменных нагрузок электроприемников при разработке россыпных месторождений // Изв. вузов «Горный журнал». – 1985. – №3. – С. 76-80.
106. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Егоров Д.А. Повышение точности определения расчетных параметров нагрузок электроустановок полиметаллических рудников // Изв. вузов. «Электромеханика». – 1989. – №3. – С. 109-112.
107. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Определение перспективных нагрузок в условиях неполной информации // Колыма. – 1985. – № 4-5. – С. 45-49.
108. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Режимы нагрузок электроприемников приисков // Колыма. – 1984. – №9. – С. 27-29.
109. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Крицевый Ю.Ф. Прогнозирование электропотребления с учетом климато-метеорологических условий // Изв. вузов «Энергетика». – 1989. – №10. – С. 34-36.
110. Эренберг А. Анализ и интерпретация статистических данных. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 406 с.
111. <https://minenergo.gov.ru/>
112. <https://gisee.ru/>
113. <http://portal-energo.ru/>
114. <http://www.energsovet.ru/>

**Приложение 1. Расчетные значения характеристик и показателей
исследования процесса электропотребления экскаваторных работ
(индивидуальные статистические характеристики, вероятностные модели,
энерготехнологические профили)**

Таблица П.1.1 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей различных технологических схем вскрышных экскаваторных работ

№ п/п	Экскаватор		Статистики					
	Тип	Номер	Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экссесс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вскрыша автотранспортная								
Разрез «Бородинский»								
1	ЭКГ-12,5	1	Объем, м ³	8978,806	1773,918	0,19	-0,045	-0,813
			Электропотребление, кВт*ч	3870,048	673,822	0,17	0,083	0,107
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,437	0,056	0,12	0,268	-0,236
2	ЭКГ-12,5	2	Объем, м ³	8990,516	1837,450	0,20	-0,091	-0,668
			Электропотребление, кВт*ч	3823,161	647,183	0,16	0,027	0,013
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,432	0,057	0,13	0,066	-0,631
3	ЭКГ-12,5	87	Объем, м ³	9047,758	1833,300	0,20	0,007	-0,547
			Электропотребление, кВт*ч	3860,565	659,821	0,17	-0,146	0,120
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,433	0,055	0,12	0,005	-0,701
4	ЭКГ-10	262	Объем, м ³	7586,968	1591,965	0,20	-0,063	-0,787
			Электропотребление, кВт*ч	3190,242	532,634	0,16	-0,140	0,403
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,427	0,050	0,11	0,123	-1,168
Разрез «Восточно-Бейский»								
5	РС-3000	2	Объем, м ³	15884,94	5245,33	0,33	-0,574	-0,051
			Электропотребление, кВт*ч	11553,63	2361,42	0,20	-0,665	0,102
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,793	0,253	0,31	3,015	11,877

Продолжение таблицы П.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	РС-3000	3	Объем, м ³	17822,6	2864,32	0,16	-1,502	3,913
			Электропотребление, кВт*ч	12079,6	2265,99	0,18	-3,542	15,718
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,689	0,14	0,20	-1,746	12,875
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт								
Разрез «Бородинский»								
7	ЭКГ-8ус	21	Объем, м ³	6012,210	1165,703	0,19	-0,209	-0,880
			Электропотребление, кВт*ч	2609,355	408,999	0,15	0,009	0,688
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,441	0,061	0,13	0,444	-0,509
8	ЭКГ-8ус	22	Объем, м ³	6041,548	1168,402	0,19	0,008	-0,876
			Электропотребление, кВт*ч	2587,823	454,266	0,17	0,067	0,382
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,433	0,053	0,12	0,247	-0,648
9	ЭКГ-8ус	28	Объем, м ³	6058,097	1260,234	0,20	0,081	-0,852
			Электропотребление, кВт*ч	2584,919	426,358	0,16	-0,048	0,291
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,434	0,060	0,13	0,588	-0,210
Вскрыша бестранспортная								
Разрез «Бородинский»								
10	ЭШ-10/70	307	Объем, м ³	7563,435	1579,706	0,20	0,046	-0,694
			Электропотребление, кВт*ч	3200,242	545,169	0,17	-0,020	0,412
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,429	0,052	0,12	0,215	-0,901
Разрез «Восточно-Бейский»								
11	ЭШ-10/70	301	Объем, м ³	7895,0	2023,66	0,25	-0,844	0,800
			Электропотребление, кВт*ч	7742,02	1712,120	0,22	-2,458	7,385
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	1,002	0,231	0,23	-0,909	3,418

Продолжение таблицы П.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	ЭШ-10/70	338	Объем, м ³	8519,9	1966,606	0,23	-1,664	2,366
			Электропотребление, кВт*ч	7785,00	1505,71	0,19	-2,456	9,194
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,94	0,252	0,26	3,392	17,462
Приемка вскрышных пород в отвалы								
Разрез «Бородинский»								
13	ЭКГ-8и	775	Объем, м ³	6036,32	1224,105	0,20	-0,160	-0,755
			Электропотребление, кВт*ч	2566,226	412,010	0,16	-0,158	0,644
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,432	0,056	0,12	0,580	-0,459
14	ЭКГ-10	167	Объем, м ³	7562,952	1517,719	0,20	-0,188	-0,762
			Электропотребление, кВт*ч	3222,581	530,056	0,16	0,163	0,454
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,433	0,057	0,13	0,378	-0,476
15	ЭКГ-10	287	Объем, м ³	7458,837	1476,900	0,19	-0,212	-0,882
			Электропотребление, кВт*ч	3237,871	567,434	0,17	-0,101	0,160
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,440	0,061	0,13	0,482	-0,333
16	ЭШ-10/70	51	Объем, м ³	7507,242	1528,076	0,20	-0,081	-0,920
			Электропотребление, кВт*ч	3232,984	501,579	0,15	-0,232	-0,082
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,438	0,055	0,12	0,290	-0,794
17	ЭШ-13/50	18	Объем, м ³	2501,532	495,139	0,19	-0,219	-0,306
			Электропотребление, кВт*ч	1198,065	213,039	0,17	-0,062	-0,094
			Удельное электропотребление, кВт*ч/м ³	0,485	0,060	0,12	0,398	-0,824

Таблица П.1.2 – Проверка коэффициентов корреляции R_{wQ} и детерминации R^2_{wQ} на статистическую значимость энерготехнологических профилей электропотребления для вскрышных экскаваторных работ W_{cm} , кВт·ч = $f(Q_{cm}, м^3)$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологический профиль	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		R_{wQ}	R^2_{wQ}	$t_{расч}$	$t_{крит}$	$F_{расч}$	$F_{крит}$	r_{min}	r_{max}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вскрыша автотранспортная											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭКГ-12,5	1	$W_{cm} = 1223,1 + 0,295 \cdot Q_{cm}$	0,776	0,602	32,690	1,963	1068,654	3,855	0,775	0,777
2	ЭКГ-12,5	2	$W_{cm} = 1352,0 + 0,275 \cdot Q_{cm}$	0,780	0,608	33,119	1,963	1096,860	3,855	0,779	0,781
3	ЭКГ-12,5	87	$W_{cm} = 1284,3 + 0,284 \cdot Q_{cm}$	0,791	0,626	34,352	1,963	1180,092	3,855	0,790	0,792
4	ЭКГ-10	262	$W_{cm} = 1056,9 + 0,281 \cdot Q_{cm}$	0,840	0,706	41,135	1,963	1692,098	3,855	0,839	0,841
Разрез «Восточно-Бейский»											
5	РС-3000	2	$W_{cm} = 5159,2 + 0,402 \cdot Q_{cm}$	0,894	0,799	13,235	2,015	175,163	4,062	0,890	0,898
6	РС-3000	3	$W_{cm} = 5015,45 + 0,396 \cdot Q_{cm}$	0,501	0,251	3,796	2,017	14,410	4,067	0,493	0,509
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт											
Разрез «Бородинский»											
7	ЭКГ-8ус	21	$W_{cm} = 1088,7 + 0,252 \cdot Q_{cm}$	0,720	0,518	27,567	1,963	759,947	3,855	0,718	0,722
8	ЭКГ-8ус	22	$W_{cm} = 733,2 + 0,307 \cdot Q_{cm}$	0,789	0,623	34,122	1,963	1164,303	3,855	0,788	0,790
9	ЭКГ-8ус	28	$W_{cm} = 1030,3 + 0,256 \cdot Q_{cm}$	0,758	0,575	30,878	1,963	953,474	3,855	0,756	0,760
Вскрыша бестранспортная											
Разрез «Бородинский»											
10	ЭШ-10/70	307	$W_{cm} = 1089,5 + 0,279 \cdot Q_{cm}$	0,808	0,653	36,439	1,963	1327,785	3,855	0,807	0,809
Разрез «Восточно-Бейский»											
11	ЭШ-10/70	301	$W_{cm} = 3015,069 + 0,598 \cdot Q_{cm}$	0,708	0,501	6,650	2,015	44,223	4,062	0,701	0,715
12	ЭШ-10/70	338	$W_{cm} = 2857,64 + 0,578 \cdot Q_{cm}$	0,755	0,570	7,462	2,018	55,680	4,073	0,749	0,761

Продолжение таблицы П.1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Приемка вскрышных пород в отвалы											
Разрез «Бородинский»											
13	ЭКГ-8и	775	$W_{\text{CM}} = 938,8 + 0,269 \cdot Q_{\text{CM}}$	0,801	0,642	35,551	1,963	1263,872	3,855	0,800	0,802
14	ЭКГ-10	167	$W_{\text{CM}} = 1185,4 + 0,269 \cdot Q_{\text{CM}}$	0,771	0,594	32,168	1,963	1034,807	3,855	0,769	0,773
15	ЭКГ-10	287	$W_{\text{CM}} = 1067,1 + 0,291 \cdot Q_{\text{CM}}$	0,757	0,573	30,783	1,963	947,586	3,855	0,755	0,759
16	ЭШ-10/70	51	$W_{\text{CM}} = 1266,6 + 0,261 \cdot Q_{\text{CM}}$	0,798	0,637	35,183	1,963	1237,854	3,855	0,797	0,799
17	ЭШ-13/50	18	$W_{\text{CM}} = 340,9 + 0,342 \cdot Q_{\text{CM}}$	0,796	0,634	34,942	1,963	1220,940	3,855	0,795	0,797

Таблица П.1.3 – Проверка коэффициентов корреляции R_{wQ} и детерминации R^2_{wQ} на статистическую значимость энерготехнологических профилей удельного электропотребления для вскрышных экскаваторных работ w_{cm} , кВт·ч/м³ = $f(Q_{cm}, m^3)$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологический профиль	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		R_{wQ}	R^2_{wQ}	$t_{расч}$	$t_{крит}$	$F_{расч}$	$F_{крит}$	Γ_{min}	Γ_{max}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вскрыша автотранспортная											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭКГ-12,5	1	$w_{cm} = 0,581 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,508	0,258	-15,670	1,963	245,565	3,855	-0,510	-0,506
2	ЭКГ-12,5	2	$w_{cm} = 0,595 - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,591	0,349	-19,467	1,963	378,954	3,855	-0,593	-0,589
3	ЭКГ-12,5	87	$w_{cm} = 0,579 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,543	0,295	-17,182	1,963	295,204	3,855	-0,545	-0,541
4	ЭКГ-10	262	$w_{cm} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,618	0,382	-20,887	1,963	436,254	3,855	-0,620	-0,616
Разрез «Восточно-Бейский»											
5	РС-3000	2	$w_{cm} = 1,411 - 3,89 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,806	0,650	-9,032	2,015	81,584	4,062	-0,812	-0,800
6	РС-3000	3	$w_{cm} = 1,136 - 2,51 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,517	0,267	-3,961	2,017	15,686	4,067	-0,525	-0,509
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт											
Разрез «Бородинский»											
7	ЭКГ-8ус	21	$w_{cm} = 0,633 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,615	0,378	-20,723	1,963	429,459	3,855	-0,617	-0,613
8	ЭКГ-8ус	22	$w_{cm} = 0,556 - 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,451	0,203	-13,426	1,963	180,268	3,855	-0,453	-0,449
9	ЭКГ-8ус	28	$w_{cm} = 0,606 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,598	0,358	-19,824	1,963	393,011	3,855	-0,600	-0,596
Вскрыша бестранспортная											
Разрез «Бородинский»											
10	ЭШ-10/70	307	$w_{cm} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,580	0,336	-18,918	1,963	357,894	3,855	-0,582	-0,578
Разрез «Восточно-Бейский»											
11	ЭШ-10/70	301	$w_{cm} = 1,328 - 4,139 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,362	0,131	-2,576	2,015	6,635	4,062	-0,371	-0,353
12	ЭШ-10/70	338	$w_{cm} = 1,441 - 5,88 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,459	0,211	-3,348	2,018	11,210	4,073	-0,468	-0,450
Приемка вскрышных пород в отвалы											
Разрез «Бородинский»											
13	ЭКГ-8и	775	$w_{cm} = 0,602 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,617	0,381	-20,832	1,963	433,977	3,855	-0,619	-0,615
14	ЭКГ-10	167	$w_{cm} = 0,605 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{cm}$	-0,611	0,373	-20,508	1,963	420,574	3,855	-0,613	-0,609

Продолжение таблицы П.1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	ЭКГ-10	287	$w_{CM} = 0,595 - 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,508	0,258	-15,670	1,963	245,565	3,855	-0,510	-0,506
16	ЭШ-10/70	51	$w_{CM} = 0,616 - 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,656	0,430	-23,094	1,963	533,327	3,855	-0,658	-0,654
17	ЭШ-13/50	18	$w_{CM} = 0,637 - 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	-0,499	0,249	-15,300	1,963	234,081	3,855	-0,501	-0,497

Таблица П.1.4 – Оценка качества энерготехнологических профилей электропотребления вскрышных экскаваторных работ $W_{CM}, \text{кВт} \cdot \text{ч} = f(Q_{CM}, \text{м}^3)$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологический профиль	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		$\bar{A}, \%$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вскрыша автотранспортная											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭКГ-12,5	1	$W_{CM} = 1223,1 + 0,295 \cdot Q_{CM}$	9,70	1068,65	3,85	1223,1	0,295	15,271	37,413	1,963
2	ЭКГ-12,5	2	$W_{CM} = 1352,0 + 0,275 \cdot Q_{CM}$	10,06	1096,86	3,85	1352	0,275	15,762	32,513	1,963
3	ЭКГ-12,5	87	$W_{CM} = 1284,3 + 0,284 \cdot Q_{CM}$	10,11	1180,09	3,85	1284,3	0,284	15,206	34,043	1,963
4	ЭКГ-10	262	$W_{CM} = 1056,9 + 0,281 \cdot Q_{CM}$	10,63	1692,10	3,85	1056,9	0,281	13,395	29,906	1,963
Разрез «Восточно-Бейский»											
5	РС-3000	2	$W_{CM} = 5159,2 + 0,402 \cdot Q_{CM}$	7,56	175,16	4,06	5159,2	0,402	10,295	13,285	2,015
6	РС-3000	3	$W_{CM} = 5015,45 + 0,396 \cdot Q_{CM}$	6,17	14,41	4,07	5015,45	0,396	2,662	3,793	2,017
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт											
Разрез «Бородинский»											
7	ЭКГ-8ус	21	$W_{CM} = 1088,7 + 0,252 \cdot Q_{CM}$	10,11	759,95	3,85	1088,7	0,252	18,745	29,357	1,963
8	ЭКГ-8ус	22	$W_{CM} = 733,2 + 0,307 \cdot Q_{CM}$	9,62	1164,30	3,85	733,2	0,307	13,863	39,169	1,963
9	ЭКГ-8ус	28	$W_{CM} = 1030,3 + 0,256 \cdot Q_{CM}$	10,43	953,47	3,85	1030,3	0,256	17,036	28,645	1,963
Вскрыша бестранспортная											
Разрез «Бородинский»											
10	ЭШ-10/70	307	$W_{CM} = 1089,5 + 0,279 \cdot Q_{CM}$	9,97	1327,79	3,85	1089,5	0,279	14,755	31,850	1,963
Разрез «Восточно-Бейский»											
11	ЭШ-10/70	301	$W_{CM} = 3015,069 + 0,598 \cdot Q_{CM}$	31,85	44,22	4,06	3015,07	0,599	4,286	6,701	2,015
12	ЭШ-10/70	338	$W_{CM} = 2857,64 + 0,578 \cdot Q_{CM}$	15,89	55,68	4,07	2857,648	0,578	4,191	7,396	2,018
Приемка вскрышных пород в отвалы											
Разрез «Бородинский»											
13	ЭКГ-8и	775	$W_{CM} = 938,8 + 0,269 \cdot Q_{CM}$	10,33	1263,87	3,85	938,8	0,269	15,286	29,542	1,963

Продолжение таблицы П.1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	ЭКГ-10	167	$W_{CM} = 1185,4 + 0,269 \cdot Q_{CM}$	10,30	1034,81	3,85	1185,4	0,269	15,868	30,343	1,963
15	ЭКГ-10	287	$W_{CM} = 1067,1 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	9,77	947,59	3,85	1067,1	0,291	15,686	36,003	1,963
16	ЭШ-10/70	51	$W_{CM} = 1266,6 + 0,261 \cdot Q_{CM}$	10,08	1237,85	3,85	1266,6	0,261	17,667	30,775	1,963
17	ЭШ-13/50	18	$W_{CM} = 340,9 + 0,342 \cdot Q_{CM}$	9,11	1220,94	3,85	340,9	0,342	16,350	47,191	1,963

Таблица П.1.5 – Оценка качества энерготехнологических профилей удельного электропотребления вскрышных экскаваторных работ $w_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		\bar{A} , %	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вскрыша автотранспортная											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭКГ-12,5	1	$w_{\text{см}} = 0,581 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,99	245,56	3,85	0,581	-1,6E-05	68,493	19,160	1,963
2	ЭКГ-12,5	2	$w_{\text{см}} = 0,595 - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,42	378,95	3,85	0,595	-1,8E-05	65,778	20,180	1,963
3	ЭКГ-12,5	87	$w_{\text{см}} = 0,579 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,24	295,20	3,85	0,579	-1,6E-05	66,549	18,618	1,963
4	ЭКГ-10	262	$w_{\text{см}} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,70	436,25	3,85	0,574	-1,9E-05	61,317	17,043	1,963
Разрез «Восточно-Бейский»											
5	РС-3000	2	$w_{\text{см}} = 1,411 - 3,89 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	11,41	81,58	4,06	1,411	-3,9E-05	19,923	9,096	2,015
6	РС-3000	3	$w_{\text{см}} = 1,136 - 2,51 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	6,81	15,69	4,07	1,136	-2,5E-05	9,919	3,939	2,017
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт											
Разрез «Бородинский»											
7	ЭКГ-8ус	21	$w_{\text{см}} = 0,633 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,74	429,46	3,85	0,633	-3,2E-05	66,833	22,860	1,963
8	ЭКГ-8ус	22	$w_{\text{см}} = 0,556 - 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,67	180,27	3,85	0,556	-0,00002	67,986	16,502	1,963
9	ЭКГ-8ус	28	$w_{\text{см}} = 0,606 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,56	393,01	3,85	0,606	-2,8E-05	66,340	20,743	1,963
Вскрыша бестранспортная											
Разрез «Бородинский»											
10	ЭШ-10/70	307	$w_{\text{см}} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,16	357,89	3,85	0,574	-1,9E-05	64,131	17,895	1,963
Разрез «Восточно-Бейский»											
11	ЭШ-10/70	301	$w_{\text{см}} = 1,328 - 4,139 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	22,93	6,64	4,06	1,328	-4,1E-05	10,546	2,563	2,015
12	ЭШ-10/70	338	$w_{\text{см}} = 1,441 - 5,88 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	12,72	11,21	4,07	1,441	-5,8E-05	11,696	4,108	2,018
Приемка вскрышных пород в отвалы											
Разрез «Бородинский»											
13	ЭКГ-8и	775	$w_{\text{см}} = 0,602 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,64	433,98	3,85	0,602	-2,8E-05	63,069	19,785	1,963
14	ЭКГ-10	167	$w_{\text{см}} = 0,605 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,36	420,57	3,85	0,605	-2,2E-05	67,438	20,664	1,963

Продолжение таблицы П.1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
15	ЭКГ-10	287	$w_{CM} = 0,595 - 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	10,24	245,56	3,85	0,595	-2,1E-05	67,201	19,962	1,963
16	ЭШ-10/70	51	$w_{CM} = 0,616 - 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	10,21	533,33	3,85	0,616	-2,3E-05	70,414	22,225	1,963
17	ЭШ-13/50	18	$w_{CM} = 0,637 - 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	9,99	234,08	3,85	0,637	-6,1E-05	77,324	21,304	1,963

Таблица П.1.6 – Оценка среднего значения остатков, критерия Дарбина-Уотсона и коэффициента эластичности энерготехнологических профилей электропотребления для вскрышных экскаваторных работ $W_{CM} = f(Q_{CM})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	$\bar{\varepsilon}$	d	$\bar{\Xi}$
	Тип	Номер				
1	2	3	4	5	6	7
Вскрыша автотранспортная						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭКГ-12,5	1	$W_{CM} = 1223,1 + 0,295 \cdot Q_{CM}$	1,49	1,47	0,68
2	ЭКГ-12,5	2	$W_{CM} = 1352,0 + 0,275 \cdot Q_{CM}$	2,17	1,24	0,63
3	ЭКГ-12,5	87	$W_{CM} = 1284,3 + 0,284 \cdot Q_{CM}$	2,10	1,46	0,65
4	ЭКГ-10	262	$W_{CM} = 1056,9 + 0,281 \cdot Q_{CM}$	2,24	1,20	0,64
Разрез «Восточно-Бейский»						
5	РС-3000	2	$W_{CM} = 5159,2 + 0,402 \cdot Q_{CM}$	1,93	2,02	0,55
6	РС-3000	3	$W_{CM} = 5015,45 + 0,396 \cdot Q_{CM}$	1,64	1,88	0,58
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт						
Разрез «Бородинский»						
7	ЭКГ-8ус	21	$W_{CM} = 1088,7 + 0,252 \cdot Q_{CM}$	1,20	1,32	0,58
8	ЭКГ-8ус	22	$W_{CM} = 733,2 + 0,307 \cdot Q_{CM}$	1,18	1,45	0,70
9	ЭКГ-8ус	28	$W_{CM} = 1030,3 + 0,256 \cdot Q_{CM}$	1,58	1,26	0,58
Вскрыша бестранспортная						
Разрез «Бородинский»						
10	ЭШ-10/70	307	$W_{CM} = 1089,5 + 0,279 \cdot Q_{CM}$	2,01	1,23	0,64
Разрез «Восточно-Бейский»						
11	ЭШ-10/70	301	$W_{CM} = 3015,069 + 0,598 \cdot Q_{CM}$	-1,79	1,38	0,61
12	ЭШ-10/70	338	$W_{CM} = 2857,64 + 0,578 \cdot Q_{CM}$	-5,47	1,07	0,63
Приемка вскрышных пород в отвалы						
Разрез «Бородинский»						
13	ЭКГ-8и	775	$W_{CM} = 938,8 + 0,269 \cdot Q_{CM}$	1,61	1,24	0,61
14	ЭКГ-10	167	$W_{CM} = 1185,4 + 0,269 \cdot Q_{CM}$	1,85	1,34	0,62
15	ЭКГ-10	287	$W_{CM} = 1067,1 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	1,29	1,50	0,66
16	ЭШ-10/70	51	$W_{CM} = 1266,6 + 0,261 \cdot Q_{CM}$	1,66	1,28	0,60
17	ЭШ-13/50	18	$W_{CM} = 340,9 + 0,342 \cdot Q_{CM}$	1,16	1,43	0,70

Таблица П.1.7 – Оценка среднего значения остатков, критерия Дарбина-Уотсона и коэффициента эластичности энерготехнологических профилей удельного электропотребления для вскрышных экскаваторных работ $w_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	$\bar{\varepsilon}$	d	$\bar{\Xi}$
	Тип	Номер				
1	2	3	4	5	6	7
Вскрыша автотранспортная						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭКГ-12,5	1	$w_{\text{см}} = 0,581 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,017	1,40	-0,36
2	ЭКГ-12,5	2	$w_{\text{см}} = 0,595 - 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,023	1,23	-0,40
3	ЭКГ-12,5	87	$w_{\text{см}} = 0,579 - 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,020	1,48	-0,35
4	ЭКГ-10	262	$w_{\text{см}} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,024	1,31	-0,35
Разрез «Восточно-Бейский»						
5	РС-3000	2	$w_{\text{см}} = 1,411 - 3,89 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,0026	1,76	-0,78
6	РС-3000	3	$w_{\text{см}} = 1,136 - 2,51 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	-0,0014	1,73	-0,65
Вскрыша с погрузкой в ж/д транспорт						
Разрез «Бородинский»						
7	ЭКГ-8ус	21	$w_{\text{см}} = 0,633 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,019	1,27	-0,47
8	ЭКГ-8ус	22	$w_{\text{см}} = 0,556 - 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,018	1,50	-0,29
9	ЭКГ-8ус	28	$w_{\text{см}} = 0,606 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,021	1,35	-0,41
Вскрыша бестранспортная						
Разрез «Бородинский»						
10	ЭШ-10/70	307	$w_{\text{см}} = 0,574 - 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,024	1,29	-0,35
Разрез «Восточно-Бейский»						
11	ЭШ-10/70	301	$w_{\text{см}} = 1,328 - 4,139 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	-0,0033	1,21	-0,32
12	ЭШ-10/70	338	$w_{\text{см}} = 1,441 - 5,88 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	-0,0298	1,52	-0,53
Приемка вскрышных пород в отвалы						
Разрез «Бородинский»						
13	ЭКГ-8и	775	$w_{\text{см}} = 0,602 - 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,024	1,24	-0,41
14	ЭКГ-10	167	$w_{\text{см}} = 0,605 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,018	1,42	-0,40
15	ЭКГ-10	287	$w_{\text{см}} = 0,595 - 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,020	1,37	-0,39
16	ЭШ-10/70	51	$w_{\text{см}} = 0,616 - 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,014	1,37	-0,42
17	ЭШ-13/50	18	$w_{\text{см}} = 0,637 - 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	0,023	1,18	-0,34

Таблица П.1.8 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей добычных экскаваторных работ

№ п/п	Экскаватор		Статистики					
	Тип	Номер	Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Асимметрия	Экссесс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Добыча								
Разрез «Бородинский»								
1	ЭРП-2500	3	Объем, т	4228,371	860,773	0,20	0,122	-0,375
			Электропотребление, кВт*ч	2038,613	343,243	0,16	-0,195	0,009
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,490	0,070	0,14	0,434	-0,729
2	ЭРП-2500	4	Объем, т	4266,242	831,961	0,19	-0,088	-0,388
			Электропотребление, кВт*ч	2061,645	345,243	0,16	-0,038	-0,013
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,491	0,071	0,14	0,338	-0,461
3	ЭРП-2500	90	Объем, т	4287,968	847,714	0,19	0,112	-0,151
			Электропотребление, кВт*ч	2062,871	353,807	0,17	-0,184	0,066
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,486	0,056	0,05	0,335	-0,450
4	ЭРП-1600	5	Объем, т	2132,629	423,122	0,19	-0,037	-0,444
			Электропотребление, кВт*ч	1028,452	183,222	0,17	-0,070	0,142
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,488	0,064	0,13	0,312	-0,535
5	ЭРП-1600	7	Объем, т	2834,403	566,183	0,19	0,142	-0,215
			Электропотребление, кВт*ч	1376,065	236,348	0,17	-0,075	0,298
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,493	0,069	0,13	0,153	-0,975
6	ЭР-1250	72	Объем, т	2118,081	406,333	0,19	-0,176	-0,645
			Электропотребление, кВт*ч	1014,274	169,566	0,16	-0,193	-0,084
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,485	0,063	0,13	0,125	-0,942
7	ЭР-1250	94	Объем, т	2107,371	416,257	0,19	-0,016	-0,013
			Электропотребление, кВт*ч	1027,435	174,496	0,16	0,164	-0,120
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,495	0,067	0,13	0,486	-0,786
8	ЭКГ-4у	19	Объем, т	1781,419	349,808	0,19	-0,111	-0,603
			Электропотребление, кВт*ч	853,661	144,949	0,16	0,011	-0,085
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,485	0,056	0,11	0,255	-0,215
9	ЭКГ-4у	339	Объем, т	1769,645	339,203	0,19	-0,093	-0,138
			Электропотребление, кВт*ч	855,565	150,029	0,17	0,116	0,197
			Удельное электропотребление, кВт*ч/т	0,489	0,061	0,12	0,224	-0,778

Таблица П.1.9 – Проверка коэффициентов корреляции R_{wQ} и коэффициентов детерминации R^2_{wQ} на статистическую значимость энерготехнологических профилей электропотребления для добычных экскаваторных работ W_{cm} , кВт · ч = $f(Q_{cm}, T)$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологический профиль	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		R_{wQ}	R^2_{wQ}	$t_{расч}$	$t_{крит}$	$F_{расч}$	$F_{крит}$	Γ_{min}	Γ_{max}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добыча											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭРП-2500	3	$W_{cm} = 804,4 + 0,291 \cdot Q_{cm}$	0,732	0,536	28,487	1,963	811,512	3,855	0,730	0,734
2	ЭРП-2500	4	$W_{cm} = 816,7 + 0,291 \cdot Q_{cm}$	0,703	0,494	26,209	1,963	686,902	3,855	0,701	0,705
3	ЭРП-2500	90	$W_{cm} = 608,4 + 0,339 \cdot Q_{cm}$	0,812	0,659	36,887	1,963	1360,665	3,855	0,811	0,813
4	ЭРП-1600	5	$W_{cm} = 326,2 + 0,329 \cdot Q_{cm}$	0,760	0,578	31,005	1,963	961,299	3,855	0,758	0,762
5	ЭРП-1600	7	$W_{cm} = 531,5 + 0,298 \cdot Q_{cm}$	0,713	0,508	26,962	1,963	726,934	3,855	0,711	0,715
6	ЭР-1250	72	$W_{cm} = 363,7 + 0,307 \cdot Q_{cm}$	0,736	0,542	28,826	1,963	830,916	3,855	0,734	0,738
7	ЭР-1250	94	$W_{cm} = 370,0 + 0,312 \cdot Q_{cm}$	0,744	0,554	29,523	1,963	871,595	3,855	0,742	0,746
8	ЭКГ-4у	19	$W_{cm} = 247,6 + 0,340 \cdot Q_{cm}$	0,816	0,666	37,428	1,963	1400,883	3,855	0,815	0,817
9	ЭКГ-4у	339	$W_{cm} = 257,3 + 0,338 \cdot Q_{cm}$	0,764	0,584	31,395	1,963	985,670	3,855	0,762	0,766

Таблица П.1.10 – Проверка коэффициентов корреляции R_{wQ} и детерминации R^2_{wQ} на статистическую значимость энерготехнологических профилей удельного электропотребления для добычных экскаваторных работ $w_{см}$, кВт·ч/т = $f(Q_{см}, T)$

№ п/п	Экскаватор		Энерготехнологический профиль	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		R_{wQ}	R^2_{wQ}	$t_{расч}$	$t_{крит}$	$F_{расч}$	$F_{крит}$	r_{min}	r_{max}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добыча											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭРП-2500	3	$w_{см} = 0,681 - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,561	0,315	-17,968	1,963	322,860	3,855	-0,563	-0,559
2	ЭРП-2500	4	$w_{см} = 0,695 - 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,563	0,317	-18,062	1,963	326,236	3,855	-0,565	-0,561
3	ЭРП-2500	90	$w_{см} = 0,624 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,482	0,232	-14,586	1,963	212,751	3,855	-0,484	-0,480
4	ЭРП-1600	5	$w_{см} = 0,641 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,478	0,228	-14,429	1,963	208,193	3,855	-0,480	-0,476
5	ЭРП-1600	7	$w_{см} = 0,674 - 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,529	0,280	-16,528	1,963	273,173	3,855	-0,531	-0,527
6	ЭР-1250	72	$w_{см} = 0,661 - 8,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,532	0,283	-16,659	1,963	277,507	3,855	-0,534	-0,530
7	ЭР-1250	94	$w_{см} = 0,684 - 8,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,559	0,312	-17,875	1,963	319,517	3,855	-0,561	-0,557
8	ЭКГ-4у	19	$w_{см} = 0,634 - 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,526	0,277	-16,398	1,963	268,902	3,855	-0,528	-0,524
9	ЭКГ-4у	339	$w_{см} = 0,642 - 8,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{см}$	-0,482	0,232	-14,586	1,963	212,751	3,855	-0,484	-0,480

Таблица П.1.11 – Оценка качества энерготехнологических профилей электропотребления добычных экскаваторных работ $W_{CM}, \text{кВт} \cdot \text{ч} = f(Q_{CM}, \text{м}^3)$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		$\bar{A}, \%$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добыча											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭРП-2500	3	$W_{CM} = 804,4 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	9,77	811,51	3,85	804,4	0,291	19,012	33,109	1,963
2	ЭРП-2500	4	$W_{CM} = 816,7 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	9,38	686,90	3,85	816,7	0,291	19,430	33,292	1,963
3	ЭРП-2500	90	$W_{CM} = 608,4 + 0,339 \cdot Q_{CM}$	9,19	1360,67	3,85	608,4	0,339	15,542	41,539	1,963
4	ЭРП-1600	5	$W_{CM} = 326,2 + 0,329 \cdot Q_{CM}$	9,13	961,30	3,85	326,2	0,329	16,997	41,314	1,963
5	ЭРП-1600	7	$W_{CM} = 531,5 + 0,298 \cdot Q_{CM}$	9,50	726,93	3,85	531,5	0,298	19,499	35,118	1,963
6	ЭР-1250	72	$W_{CM} = 363,7 + 0,307 \cdot Q_{CM}$	9,17	830,92	3,85	363,7	0,307	17,729	35,907	1,963
7	ЭР-1250	94	$W_{CM} = 370,0 + 0,312 \cdot Q_{CM}$	9,49	871,60	3,85	370	0,312	17,001	34,339	1,963
8	ЭКГ-4у	19	$W_{CM} = 247,6 + 0,340 \cdot Q_{CM}$	9,01	1400,88	3,85	247,6	0,34	15,393	42,272	1,963
9	ЭКГ-4у	339	$W_{CM} = 257,3 + 0,338 \cdot Q_{CM}$	9,17	985,67	3,85	257,3	0,338	15,486	40,810	1,963

Таблица П.1.12 – Оценка качества энерготехнологических профилей удельного электропотребления добычных экскаваторных работ $w_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	Расчетные и табличные величины							
	Тип	Номер		$\bar{A}, \%$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добыча											
Разрез «Бородинский»											
1	ЭРП-2500	3	$w_{\text{см}} = 0,681 - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,07	322,86	3,85	0,695	-4,5E-05	76,289	23,779	1,963
2	ЭРП-2500	4	$w_{\text{см}} = 0,695 - 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,88	326,24	3,85	0,695	-4,7E-05	73,788	23,996	1,963
3	ЭРП-2500	90	$w_{\text{см}} = 0,624 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,25	212,75	3,85	0,624	-3,2E-05	72,656	17,871	1,963
4	ЭРП-1600	5	$w_{\text{см}} = 0,641 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,44	208,19	3,85	0,641	-7,1E-05	75,276	20,095	1,963
5	ЭРП-1600	7	$w_{\text{см}} = 0,674 - 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,91	273,17	3,85	0,674	-6,4E-05	73,795	22,509	1,963
6	ЭР-1250	72	$w_{\text{см}} = 0,661 - 8,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,72	277,51	3,85	0,661	-8,3E-05	72,197	21,752	1,963
7	ЭР-1250	94	$w_{\text{см}} = 0,684 - 8,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	10,02	319,52	3,85	0,684	-8,9E-05	70,058	21,835	1,963
8	ЭКГ-4у	19	$w_{\text{см}} = 0,634 - 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,44	268,90	3,85	0,634	-8,4E-05	71,532	18,954	1,963
9	ЭКГ-4у	339	$w_{\text{см}} = 0,642 - 8,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{\text{см}}$	9,49	212,75	3,85	0,642	-8,6E-05	73,113	19,648	1,963

Таблица П.1.13 – Оценка среднего значения остатков, критерия Дарбина-Уотсона и коэффициента эластичности энерготехнологических профилей электропотребления для добычных экскаваторных работ $W_{CM} = f(Q_{CM})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	$\bar{\varepsilon}$	d	$\bar{\Xi}$
	Тип	Номер				
1	2	3	4	5	6	7
Добыча						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭРП-2500	3	$W_{CM} = 804,4 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	0,93	1,29	0,60
2	ЭРП-2500	4	$W_{CM} = 816,7 + 0,291 \cdot Q_{CM}$	0,77	1,32	0,60
3	ЭРП-2500	90	$W_{CM} = 608,4 + 0,339 \cdot Q_{CM}$	0,77	1,47	0,70
4	ЭРП-1600	5	$W_{CM} = 326,2 + 0,329 \cdot Q_{CM}$	0,34	1,45	0,68
5	ЭРП-1600	7	$W_{CM} = 531,5 + 0,298 \cdot Q_{CM}$	0,43	1,41	0,62
6	ЭР-1250	72	$W_{CM} = 363,7 + 0,307 \cdot Q_{CM}$	0,48	1,25	0,63
7	ЭР-1250	94	$W_{CM} = 370,0 + 0,312 \cdot Q_{CM}$	0,36	1,29	0,64
8	ЭКГ-4у	19	$W_{CM} = 247,6 + 0,340 \cdot Q_{CM}$	0,35	1,59	0,70
9	ЭКГ-4у	339	$W_{CM} = 257,3 + 0,338 \cdot Q_{CM}$	0,30	1,50	0,69

Таблица П.1.14 – Оценка среднего значения остатков, критерия Дарбина-Уотсона и коэффициента эластичности энерготехнологических профилей удельного электропотребления для добычных экскаваторных работ $w_{CM} = f(Q_{CM})$

№ п/п	Экскаватор		Зависимость	$\bar{\varepsilon}$	d	$\bar{\Xi}$
	Тип	Номер				
1	2	3	4	5	6	7
Добыча						
Разрез «Бородинский»						
1	ЭРП-2500	3	$w_{CM} = 0,681 - 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,005	1,43	-0,42
2	ЭРП-2500	4	$w_{CM} = 0,695 - 4,7 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,013	1,33	-0,45
3	ЭРП-2500	90	$w_{CM} = 0,624 - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,018	1,49	-0,30
4	ЭРП-1600	5	$w_{CM} = 0,641 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,015	1,50	-0,34
5	ЭРП-1600	7	$w_{CM} = 0,674 - 6,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,015	1,45	-0,40
6	ЭР-1250	72	$w_{CM} = 0,661 - 8,3 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,023	1,25	-0,39
7	ЭР-1250	94	$w_{CM} = 0,684 - 8,9 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,016	1,28	-0,42
8	ЭКГ-4у	19	$w_{CM} = 0,634 - 8,4 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,021	1,49	-0,33
9	ЭКГ-4у	339	$w_{CM} = 0,642 - 8,6 \cdot 10^{-5} \cdot Q_{CM}$	0,017	1,56	-0,34

**Приложение 2. Расчетные значения характеристик и показателей
исследования процесса электропотребления экскаваторных работ
(обобщенные статистические характеристики, вероятностные модели,
энерготехнологические профили)**

Таблица П.2.1 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей механических лопат, выполняющих вскрышные работы: среднесменных – производительности ($Q_{ср.см}$), коэффициента технической производительности ($k_{тп.ср.см}$), удельного электропотребления ($w_{ср.см}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Статистические характеристики						
			Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент ^{*)} вариации	Коэффициент ^{*)} асимметрии	Коэффициент ^{*)} эксцесса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЭКГ-4У	$Q_{ср.см}, M^3$	1968,313	2374,269	Multiple	979,14	0,49	-1,837	3,392
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,489	0,286	Multiple	0,417	0,85	1,995	3,983
		$k_{тп.ср.см}$	0,650	0,784	Multiple	0,323	0,49	-1,837	3,391
2	ЭКГ-5А	$Q_{ср.см}, M^3$	1495,759	1518,130	Multiple	435,214	0,29	-1,107	1,556
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,551	0,482	0,480	0,222	0,40	2,534	5,468
		$k_{тп.ср.см}$	0,366	0,371	Multiple	0,106	0,29	-1,107	1,556
3	ЭКГ-8И	$Q_{ср.см}, M^3$	2861,192	2909,162	Multiple	911,84	0,31	-0,658	0,0467
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,556	0,508	0,452	0,165	0,29	2,293	5,844
		$k_{тп.ср.см}$	0,420	0,427	Multiple	0,134	0,31	-0,658	0,0467
4	ЭКГ-10	$Q_{ср.см}, M^3$	3133,88	2842,79	Multiple	441,41	0,14	0,648	-1,678
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,614	0,643	Multiple	0,0441	0,7	-0,569	-1,902
		$k_{тп.ср.см}$	0,357	0,323	Multiple	0,0502	0,14	0,648	-1,678
5	ЭКГ-12,5	$Q_{ср.см}, M^3$	4055,21	3927,50	Multiple	368,65	0,9	0,394	-0,988
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,670	0,678	Multiple	0,0285	0,4	-0,147	-1,096
		$k_{тп.ср.см}$	0,399	0,390	Multiple	0,0357	0,8	0,491	-0,768
6	ЭКГ-15	$Q_{ср.см}, M^3$	4668,0	4517,0	Multiple	767,72	0,16	0,851	767,72
		$w_{ср.см}, кВт * ч/м^3$	0,767	0,762	Multiple	0,0392	0,05	0,528	0,0392
		$k_{тп.ср.см}$	0,380	0,370	Multiple	0,0656	0,17	0,670	0,0656

^{*)} коэффициенты – безразмерные величины

Таблица П.2.2 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей драглайнов, выполняющих вскрышные работы: среднесменных – производительности ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Статистические характеристики						
			Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент ^{*)} вариации	Коэффициент ^{*)} асимметрии	Коэффициент ^{*)} эксцесса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЭШ-10/70	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	3548,81	3459,12	Multiple	896,05	0,25	-0,457	1,119
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,840	0,822	Multiple	0,112	0,13	2,52	6,55
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,837	0,815	Multiple	0,211	0,25	-0,457	1,12
2	ЭШ-11/70	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	3881,2	3788,8	Multiple	305,7	0,07	0,432	-1,826
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,873	0,878	Multiple	0,021	0,02	-0,321	-2,077
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,826	0,807	Multiple	0,065	0,07	0,431	-1,827
3	ЭШ-13/50	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	3200,0	3511,0	Multiple	1359,86	0,42	-0,400	-1,249
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	1,180	1,063	Multiple	0,261	0,22	1,512	1,957
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,492	0,540	Multiple	0,208	0,42	-0,421	-1,187
4	ЭШ-15/80	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	4237,0	4406,0	Multiple	1268,14	0,29	-0,381	-3,600
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	1,183	1,154	Multiple	0,118	0,09	0,917	-0,905
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,865	0,905	Multiple	0,270	0,31	-0,365	-3,881
5	ЭШ-20/90	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	6093,00	6144,50	Multiple	967,85	0,15	-0,055	-2,52
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	1,42	1,41	Multiple	0,051	0,03	0,137	-2,41
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,916	0,925	Multiple	0,145	0,15	-0,068	-2,53

^{*)} коэффициенты – безразмерные величины

Таблица П.2.3 – Проверка на статистическую значимость коэффициентов корреляции R_{wQ} , детерминации R_{wQ}^2 обобщенных энерготехнологических профилей $w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$ и $w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$ экскаваторов, выполняющих вскрышные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	R	R^2	$t_{расч}$	$t_{крит}$	$F_{расч}$	$F_{крит}$	R_{min}	R_{max}
Механические лопаты										
1	ЭКГ-4У	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,990	0,980	-9,98	4,30	99,51	18,51	-0,997	-0,983
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,990	0,980	-9,98	4,30	99,51	18,51	-0,997	-0,983
2	ЭКГ-5А	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,895	0,801	-8,03	2,12	64,41	4,49	-0,902	-0,888
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,895	0,801	-8,03	2,12	64,41	4,49	-0,902	-0,888
3	ЭКГ-8И	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,916	0,839	-6,46	2,31	41,71	5,32	-0,925	-0,907
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,916	0,839	-9,13	2,12	83,41	4,49	-0,922	-0,910
4	ЭКГ-10	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,999	0,996	-44,65	2,31	1994,00	5,32	-0,999	-0,997
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,999	0,997	-72,95	2,12	5321,34	4,49	-0,999	-0,998
5	ЭКГ-12,5	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,997	0,993	-42,53	2,18	1809,19	4,75	-0,998	-0,995
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,991	0,982	-25,36	2,18	643,19	4,75	-0,993	-0,988
Драглайны										
6	ЭШ-10/70	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,907	0,823	-10,33	2,07	106,69	4,28	-0,913	-0,901
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,907	0,823	-10,33	2,07	106,69	4,28	-0,913	-0,901
7	ЭШ-11/70	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,999	0,998	-49,96	2,57	2496,25	6,61	-1,000	-0,998
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,999	0,998	-49,96	2,57	2496,25	6,61	-1,000	-0,998
8	ЭШ-13/50	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,946	0,895	-10,09	2,18	101,78	4,75	-0,952	-0,940
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,948	0,899	-10,33	2,18	106,69	4,75	-0,954	-0,942
9	ЭШ-15/80	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,985	0,970	-8,02	4,30	64,29	18,51	-0,993	-0,976
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,980	0,961	-7,02	4,30	49,27	18,51	-0,990	-0,970
10	ЭШ-20/90	$w_{ср.см.} = f(Q_{ср.см.})$	-0,998	0,996	-38,67	2,45	1495,50	5,99	-1,000	-0,996
		$w_{ср.см.} = f(k_{тп.ср.см.})$	-0,999	0,998	-49,95	2,45	2495,50	5,99	-1,000	-0,997

Таблица П.2.4 – Оценка качества обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих вскрышные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	\bar{A}	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
Механические лопаты										
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	14,901	99,51	18,51	1,319	-0,0004	10,77	7,00	4,30
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	13,95	99,51	18,51	1,319	-1,277	14,546	9,965	4,30
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	10,88	64,41	4,49	1,234	-0,0005	19,31	4,06	2,12
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	12,70	64,41	4,49	1,234	-1,868	32,527	6,246	2,12
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	14,680	41,71	5,32	1,030	-0,0002	11,12	3,30	2,31
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	5,05	83,41	4,49	1,030	-1,130	40,823	7,474	2,12
4	ЭКГ-10	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,206	1994,00	5,32	0,927	-1E-04	130,86	28,10	2,31
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,17	5321,34	4,49	0,927	-0,876	1005,36	160,95	2,12
5	ЭКГ-12,5	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,197	1809,19	4,75	0,983	-7,7E-05	185,45	44,58	2,18
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,49	643,19	4,75	0,985	-0,791	96,599	23,364	2,18
Драглайны										
6	ЭШ-10/70	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,528	106,69	4,28	1,243	-0,0001	20,99	6,17	2,07
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	1,75	106,69	4,28	1,243	-0,482	30,924	10,342	2,07
7	ЭШ-11/70	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,099	2496,2	6,61	1,135	-6,8E-05	190,01	44,02	2,57
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,10	2496,2	6,61	1,135	-0,317	190,933	44,224	2,57
8	ЭШ-13/50	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,544	101,78	4,75	1,761	-0,0002	72,20	16,78	2,18
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	2,00	106,69	4,75	1,767	-1,192	96,226	20,407	2,18
9	ЭШ-15/80	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	1,170	64,29	18,51	1,572	-9,2E-05	31,35	8,01	4,30
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	1,48	49,27	18,51	1,554	-0,429	28,391	7,019	4,30
10	ЭШ-20/90	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,160	1495,50	5,99	1,73	-5,2E-05	230,29	42,77	2,45
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,14	2495,50	5,99	1,74	-0,349	266,55	49,653	2,45

Таблица П.2.5 – Значения критерия Дарбина-Уотсона (d), средние значения остатков ($\bar{\varepsilon}$) для обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих вскрышные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Критерий Дарбина-Уотсона	Среднее значение остатков
Механические лопаты				
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	1,87	-0,0423
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	2,787	-0,000003
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,75	0,0649
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,00	0,000008
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,67	0,0980
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,00	-0,000003
4	ЭКГ-10	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,00	-0,0001
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,00	-0,000019
5	ЭКГ-12,5	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	1,45	0,0007
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,004	-1,381
Драглайны				
6	ЭШ-10/70	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,84	-0,0486
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,571	0,000049
7	ЭШ-11/70	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,89	0,00001
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	2,894	-0,000036
8	ЭШ-13/50	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	1,28	0,0211
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,707	-1,486
9	ЭШ-15/80	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,12	0,000002
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,078	-0,512
10	ЭШ-20/90	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	1,96	-0,0004
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см.}})$	0,015	-0,383

Таблица П.2.6 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих добычные работы: среднесменных – производительности ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Статистические характеристики						
			Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Коэффициент эксцесса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЭКГ-4У	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	746,4	805,6	Multiple	196,064	26,269	-1,188	0,429
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,70	0,63	Multiple	0,190	27,109	1,621	2,452
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,2	0,3	Multiple	0,065	26,269	-1,188	0,429
2	ЭКГ-5А	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	1619,0	1737,0	Multiple	626,554	38,700	0,140	-1,121
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,51	0,44	0,436	0,163	32,250	0,883	-0,724
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,4	0,4	Multiple	0,152	37,774	0,001	-1,105
3	ЭКГ-8И	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	2472	2399,5	Multiple	303,17	12,26	0,866	-1,152
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,545	0,535	Multiple	0,0387	7,106	1,377	2,355
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,363	0,350	0,33	0,0427	11,78	1,042	-0,323

Таблица П.2.7 – Проверка на статистическую значимость коэффициентов корреляции R_{wQ} , детерминации R^2_{wQ} обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих добычные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	R	R^2	$t_{\text{расч}}$	$t_{\text{крит}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	R_{min}	R_{max}
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,989	0,978	-9,456	4,303	89,412	18,513	-0,996	-0,982
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,989	0,978	-9,456	4,303	89,412	18,513	-0,996	-0,982
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,929	0,863	-7,531	2,262	56,713	5,117	-0,937	-0,921
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,950	0,903	-9,127	2,262	83,308	5,117	-0,957	-0,943
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,789	0,623	-4,82	4,30	23,30	18,51	-0,820	-0,758
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,756	0,572	-4,63	4,30	22,67	18,51	-0,789	-0,723

Таблица П.2.8 – Оценка качества обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих добычные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	\bar{A}	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b_0}	t_{b_1}	$t_{\text{крит}}$
Механические лопаты										
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	5,577	89,412	18,51	1,417	-0,0010	11,331	6,121	4,303
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	2,984	89,412	18,51	1,417	-2,906	18,647	9,660	4,303
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	18,52	56,713	5,117	0,898	-0,0002	10,087	3,877	2,262
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	8,97	83,308	5,117	0,917	-1,020	19,215	9,149	2,262
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	10,964	23,30	18,51	0,794	-7,7E-05	11,90	10,46	4,30
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	3,31	22,67	18,51	0,793	-0,685	5,18	4,63	4,30

Таблица П.2.9 – Значения критерия Дарбина-Уотсона (d) и средние значения остатков ($\bar{\varepsilon}$) для обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих добычные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Критерий Дарбина-Уотсона	Среднее значение остатков
Механические лопаты				
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,0004	0,030
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,001	-0,0002
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,006	-0,068
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,002	0,0002
3	ЭКГ-8И	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,11	-0,0585
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,678	0,000

Таблица П.2.10 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы: среднесменных – производительности ($Q_{\text{ср.см}}$), коэффициента технической производительности ($k_{\text{тп.ср.см}}$), удельного электропотребления ($w_{\text{ср.см}}$)

№ п/п	Марка экскаватора	Показатель	Статистические характеристики						
			Среднее значение	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Коэффициент ^{*)} вариации	Коэффициент ^{*)} асимметрии	Коэффициент ^{*)} эксцесса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЭКГ-4У	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	1443,1	1461,7	Multiple	98,929	6,856	-0,950	0,656
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,40	0,39	Multiple	0,021	5,153	1,206	1,292
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,5	0,5	Multiple	0,033	6,837	-0,938	0,709
2	ЭКГ-5А	$Q_{\text{ср.см}}, \text{м}^3$	1144,1	1074,5	Multiple	638,692	55,824	0,967	0,671
		$w_{\text{ср.см}}, \text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$	0,68	0,53	Multiple	0,343	50,222	0,512	-1,995
		$k_{\text{тп.ср.см}}$	0,3	0,3	0,13	0,156	55,624	1,002	0,701

^{*)} коэффициенты – безразмерные величины

Таблица П.2.11 – Проверка на статистическую значимость коэффициентов корреляции R_{wQ} , детерминации R_{wQ}^2 обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$ экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	R	R^2	$t_{\text{расч}}$	$t_{\text{крит}}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	R_{min}	R_{max}
Механические лопаты										
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,998	0,996	-22,327	4,303	498,501	18,513	-1,001	-0,995
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,998	0,996	-22,327	4,303	498,501	18,513	-1,001	-0,995
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см}})$	-0,853	0,728	-4,003	2,447	16,027	5,987	-0,867	-0,839
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{тп.ср.см}})$	-0,847	0,717	-3,903	2,447	15,232	5,987	-0,861	-0,833

Таблица П.2.12 – Оценка качества обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	\bar{A}	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{крит}}$	b_0	b_1	t_{b0}	t_{b1}	$t_{\text{крит}}$
Механические лопаты										
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	2,493	498,50	18,51	0,697	-0,0002	5,854	2,428	4,303
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,312	498,50	18,51	0,698	-0,629	46,059	19,794	4,303
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	27,97	16,027	5,987	1,208	-0,0005	7,779	4,156	2,447
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	30,18	15,232	5,987	1,207	-1,867	7,990	3,901	2,447

Таблица П.2.13 – Значения критерия Дарбина-Уотсона (d) и средние значения остатков ($\bar{\varepsilon}$) для обобщенных энерготехнологических профилей $w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$ и $w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$ экскаваторов, выполняющих отгрузочные работы

№, п/п	Марка экскаватора	Энерготехнологические профили	Критерий Дарбина-Уотсона	Среднее значение остатков
1	ЭКГ-4У	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,00001	-0,010
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,0000003	-0,0001
2	ЭКГ-5А	$w_{\text{ср.см.}} = f(Q_{\text{ср.см.}})$	0,068	0,048
		$w_{\text{ср.см.}} = f(k_{\text{ТП.ср.см.}})$	0,043	-0,0005

**Приложение 3. Материалы, подтверждающие использование результатов
диссертационной работы**

Для АО «СУЭК-Красноярск»

Справка

**о использовании результатов диссертации Петухова Степана Викторовича
«Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению
энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Результаты диссертации, касающиеся: положений исследования потребления электроэнергии, зависимостей электропотребления и удельного электропотребления от объемов выемочно-погрузочных работ, положения о интеграции технических и управленческих вопросов повышения энергоэффективности – использованы при разработке нормативно-технической документации систем энергетического менеджмента, которые внедрены в организациях Сибирской угольной энергетической компании в Красноярском крае.

Заместитель генерального директора –
технический директор АО «СУЭК-Красноярск»



/Евтушенко Е.М./

Главный энергетик АО «СУЭК-Красноярск»



/Кустицкий И.Н./


СУЭК

 ОБЩЕСТВО
 С ОГРАНИЧЕННОЙ
 ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
 «СУЭК-ХАКАСИЯ»

 РОССИЯ, 655162, РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ,
 Г. ЧЕРНОГОРСК, УЛ. СОВЕТСКАЯ, Д. 40
 ТЕЛ. (39031) 5-58-70, 5-58-71
 ФАКС (39031) 5-58-76, 5-58-77
 E-MAIL: SmimovGA@mek.ru

WWW.SUEK.RU

 12.12.2018 г. 

на № _____ от _____

Справка

Об использовании результатов диссертационной работы инж. Петухова Степана Викторовича «Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Результаты диссертационной работы инж. Петухова С.В., а именно: методические положения исследования электропотребления, энерготехнологические профили выемочно-погрузочных работ, оценка развития управления электропотреблением, принципы и структура программно-аналитического комплекса по управлению энергетическими ресурсами – использованы при разработке систем энергетического менеджмента, внедренных в организациях Сибирской угольной энергетической компании в Республике Хакасия.

Генеральный директор ООО «СУЭК-Хакасия»



/Жилин А.Б./

Главный энергетик ООО «СУЭК-Хакасия»



/Кудряшов А.П./