

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС»**

На правах рукописи

Шадрин Андрей Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ  
ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Специальность 2.4.2 - «Электротехнические комплексы и системы»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
профессор, доктор технических наук Ляхомский Александр Валентинович

Москва – 2025

## Содержание

Введение.....	7
1 Состояние энергетической эффективности промышленных предприятий .	13
1.1 Исходные положения.....	13
1.2 Обзор исследований по управлению энергопотреблением, энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятий...	13
1.3. Анализ управления энергоэффективностью на предприятиях угольной отрасли.....	17
1.4 Постановка задач диссертационного исследования.....	18
2 Методика исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли.....	20
2.1 Общие положения.....	20
2.2 Методика исследования энерготехнологических показателей производственных процессов.....	22
2.2.1 Методика экспериментального исследования вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов.....	22
2.2.2 Методика аналитического описания энерготехнологических показателей производственных процессов.....	24
2.3 Методика исследования энерготехнологической результативности производственных процессов.....	26
2.4 Выводы.....	28
3 Исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов.....	30
3.1 Исходные сведения.....	30
3.2 Вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей производственных процессов.....	31
3.2.1 Открытые горные работы.....	31
3.2.2 Обоганительные работы.....	35

3.3 Аналитическое энерготехнологическое описание производственных процессов .....	38
3.3.1 Открытые горные работы.....	38
3.3.2 Обоганительные работы .....	44
3.4 Выводы.....	49
4 Исследование энерготехнологической результативности основных производственных процессов .....	52
4.1 Исходные положения.....	52
4.2 Исследование энерготехнологической результативности открытых горных работ.....	52
4.2.1 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля.....	52
4.2.1.1 Энерготехнологический анализ добычных работ .....	52
4.2.1.2 Энерготехнологический анализ электропотребления добычных работ .....	54
4.2.2 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ циклической технологии транспортной вскрыши .....	58
4.2.2.1 Энерготехнологический анализ объемов работ транспортной вскрыши .....	58
4.2.2.2 Энерготехнологический анализ электропотребления вскрышных работ .....	59
4.2.2.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления вскрышных работ .....	61
4.2.3 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ циклической технологии при приемке вскрышных пород в отвалы.....	63
4.2.3.1 Энерготехнологический анализ объемов работ при приемке вскрышных пород в отвалы .....	63

4.2.3.2	Энерготехнологический анализ электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы .....	65
4.2.3.3	Энерготехнологический анализ удельного электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы.....	66
4.3	Исследование энерготехнологической результативности обогатительных работ.....	68
4.3.1	Исследование энерготехнологической результативности производства угольного концентрата .....	68
4.3.1.1	Энерготехнологический анализ объемов производства угольного концентрата .....	68
4.3.1.2	Энерготехнологический анализ электропотребления производства угольного концентрата .....	70
4.3.1.3	Энерготехнологический анализ удельного электропотребления производства угольного концентрата .....	71
4.3.2	Исследование энерготехнологической результативности погрузочно-разгрузочных работ .....	73
4.3.2.1	Энерготехнологический анализ объемов погрузочно-разгрузочных работ.....	73
4.3.2.2	Энерготехнологический анализ электропотребления погрузочно-разгрузочных работ .....	75
4.3.2.3	Энерготехнологический анализ удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ .....	76
4.4	Выводы .....	78
5	Разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности предприятий угольной отрасли .....	81
5.1	Исходные положения.....	81
5.2	Оценка сменной энерготехнологической результативности машинистов экскаваторов .....	83
5.3	Оценка энерготехнологической результативности персонала, в ведении которого выемочно-погрузочные работы.....	86

5.4 Цифровая поддержка анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов.....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	89
Список литературы .....	91
Приложение П1 Проверка исходных статистических рядов энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления) .....	101
Приложение П2 Упорядоченные статистические ряды энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ.....	103
Приложение П3 Вероятностные законы распределения объемов работ и удельного электропотребления выемочно-погрузочных добычных, вскрышных работ и приемки вскрышных пород в отвалы.....	107
Приложение П4 Проверка исходных статистических рядов энерготехнологических показателей обогатительных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления) .....	111
Приложение П5 Упорядоченные статистические ряды энерготехнологических показателей обогатительных работ .....	113
Приложение П6 Вероятностные законы распределения объемов и удельного электропотребления производства угольного концентрата и погрузочно- разгрузочных работ.....	116
Приложение П7 Энерготехнологические зависимости полного и удельного электропотребления от объема выполняемых выемочно-погрузочных добычных, вскрышных работ и приемки вскрышных пород в отвалы.....	119
Приложение П8 Энерготехнологические зависимости полного и удельного электропотребления от объема производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ .....	123
Приложение П9 Методика вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов горных предприятий .....	126

Приложение П10 Потенциалы повышения сменной производительности и снижения удельного электропотребления выемочно-погрузочных добычных, вскрышных работ и приемки вскрышных пород в отвалы.....	158
Приложение П11 Потенциалы повышения сменной производительности и снижения удельного электропотребления производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ .....	162
Приложение П12 Программный код для анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов.....	165
Приложение П13 Справка о практическом использовании результатов в ООО «СУЭК-Хакасия».....	176

## **Введение**

**Актуальность темы.** В числе стратегических задач РФ является задача развития энергосбережения и повышения энергоэффективности в отраслях топливно-энергетического комплекса.

Существующие темпы снижения энергоемкости ВВП РФ, несмотря на прикладываемые усилия, не соответствуют целевым (не менее чем 1,5% в год) показателям законодательных и нормативных документов.

Расширяющееся применение энергии, сопровождающееся увеличением стоимости и тарифов на энергоресурсы, обуславливает значительную долю энергетических затрат в себестоимости продукции промышленных предприятий. Особенно это характерно для предприятий отраслей минерально-сырьевого комплекса. Так, доля затрат на энергетические ресурсы в себестоимости продукции предприятий угольной отрасли достигает 15-20%, горнорудной – 20-30%.

Энергоэффективность в значительной мере обусловлена энерготехнологической результативностью основных производственных процессов, на долю которых приходится 75-90% потребления энергетических ресурсов промышленных предприятий.

Поэтому исследования, направленные на повышение энергоэффективности предприятий угольной отрасли на основе управления энерготехнологической результативностью производственных процессов, являются актуальными.

**Степень разработанности темы исследования.** В разработку вопросов теории и практики повышения энергоэффективности существенный вклад внесли исследования Б. Н. Авилова-Карнаухова, В. В. Алексеева, Г. И. Бабокина, Б. П. Белых, С. Д. Волобринского, М. С. Ершова, Б. И. Заславца, Е. А. Зенютича, Б. А. Константинова, Н. А. Ковальчука, М. Г. Ладыгичева, В. Г. Лисиенко, А. В. Ляхомского, С.А. Малофеева, Ю. П. Миновского, Г. В. Никифорова, В. К. Олейникова, Е.Н. Перфильевой, А.Б. Петроченкова, С.В.

Петухова, Л. А. Плащанского, Ю. В. Шевырева, Я. М. Щелокова, В. И. Щуцкого и др.

В работах указанных авторов, в основном, рассматривались вопросы, касающиеся: оптимизации режимов энергопотребления, развития теории, разработки методов, научно-технических решений по повышению энергоэффективности. Однако, в проведённых исследованиях не в полной мере учитывается энерготехнологический аспект повышения энергоэффективности.

**Объектом исследования** диссертационной работы является электропотребление производственных процессов вскрыши, добычи, обогащения предприятий угольной отрасли.

**Предметом исследования** является энерготехнологическая результативность производственных процессов вскрыши, добычи, обогащения предприятий угольной отрасли.

**Идея работы** состоит в том, что улучшение энерготехнологической результативности производственных процессов обеспечит повышение энергоэффективности предприятий угольной отрасли.

**Целью диссертационной работы** является повышение энергетической эффективности предприятий угольной отрасли на основе улучшения энерготехнологической результативности производственных процессов.

**Задачами** диссертационного исследования являются:

1. Разработка методики исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли, обеспечивающую выполнение исследований: энерготехнологических показателей с определением их статистических характеристик, вероятностных моделей; энерготехнологической результативности производственных процессов.

2. Проведение исследования вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов.

3. Разработка вероятностно-статистического подхода и проведение исследования энерготехнологической результативности производственных



процессов с определением потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления.

4. Разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности предприятий угольной отрасли.

#### **Методология и методы исследования.**

Для решения поставленных задач использовались методы теории электроснабжения промышленных предприятий, электропотребления, вероятностей, математической статистики, энергетического менеджмента. При проведении исследований использовались методы корреляционно-регрессионного анализа, наименьших квадратов, Граббса, Шапиро-Уилка, Дарбина-Уотсона, Чеддока. При обработке экспериментальных данных использовались пакет прикладных программ Excel, локальная веб-программа Jupyter Notebook для языка программирования Python.

**Научная новизна диссертационной работы** заключается в: обосновании вероятностно-статистического подхода к исследованию энерготехнологической результативности производственных процессов; разработке методических принципов исследования энергоэффективности с учетом энерготехнологической результативности производственных процессов; разработке метода исследования энерготехнологической результативности с оценкой потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления производственных процессов; установлении вероятностных моделей и энерготехнологических профилей циклично-поточной и циклической технологий выемочно-погрузочных и обогатительных работ.

#### **Научные положения, выносимые на защиту.**

1 Вероятностно-статистический подход к исследованию энерготехнологической результативности производственных процессов.

2. Методические принципы исследования энергоэффективности с учетом энерготехнологической результативности производственных процессов.

3. Метод исследования энерготехнологической результативности с оценкой потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления.

4. Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили циклично-поточной, циклической технологий выемочно-погрузочных работ и обогатительных работ по производству угольного концентрата.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается научным обоснованием постановки задач исследования, корректным использованием общепризнанных теорий и методов, статистической значимостью и высоким уровнем сходимости (до 10%) теоретических результатов с данными экспериментальных исследований, внедрением результатов работ в производственную и учебную практику.

**Значение полученных результатов работы:**

**для теории** – в разработке вероятностно-статистического подхода к исследованию энерготехнологической результативности производственных процессов; метода исследования энерготехнологической результативности с оценкой потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления; методических принципов исследования энергоэффективности с учетом энерготехнологической результативности основных производственных процессов; установлении вероятностных моделей и энерготехнологических профилей циклично-поточной и циклической технологий выемочно-погрузочных работ, а также обогатительных работ по производству угольного концентрата.

**для практики** – в разработке методики исследования энергоэффективности с учетом энерготехнологической результативности производственных процессов; получении оценок статистических

характеристик энерготехнологических показателей производственных процессов; определении значений потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ, выполняемых по циклично-поточной и циклической технологиям, а также обогатительных работ по выпуску угольного концентрата; разработке рекомендаций, обеспечивающих повышение энергоэффективности.

### **Реализация результатов работы.**

Вероятностно-статистический подход, методические принципы и методика анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов внедрены и используются в региональном производственном объединении «СУЭК-Хакасия».

Основные научные результаты диссертации используются в учебном процессе НИТУ МИСИС при подготовке бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», специалистов по направлению 21.05 «Горное дело», магистров по направлению 13.03 «Электроэнергетика и электротехника».

**Личный вклад** автора состоит в определении статистических характеристик и вероятностных моделей энерготехнологических показателей производственных процессов, установлении зависимостей полного и удельного электропотребления от объемов выемочно-погрузочных и обогатительных работ, установлении вероятностных распределений количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале энерготехнологических показателей основных производственных процессов, определении потенциалов повышения сменной производительности и повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления выемочно-погрузочных и обогатительных работ.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: 81-я международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы

современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023 г.); XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет, 2023 г.); IV Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика будущего – цифровая трансформация» (г. Липецк, ФГБОУ ВО «ЛГТУ», 2023 г.); Ежегодные научные симпозиумы «Неделя-горняка» (г. Москва, НИТУ МИСИС, 2021-2024 гг.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 6 печатных работах, в числе которых 3 научные статьи, входящие в Перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК РФ, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка, включающего 91 наименование, 13 приложений. Общий объем работы 176 стр., из которых 100 стр. основного текста, включая 33 рисунка, 39 таблиц.

# **1 Состояние энергетической эффективности промышленных предприятий**

## **1.1 Исходные положения**

Развитие энергосбережения и повышение энергоэффективности, в том числе в отраслях топливно-энергетического комплекса, является одной из приоритетной стратегической задачи Российской Федерации [1].

Одним из ключевых направлений реализации данной стратегии выступает внедрение систем энергетического менеджмента, способствующих совершенствованию управления энергопотреблением и обеспечению роста энергоэффективности [2].

Несмотря на предпринимаемые меры, темпы снижения энергоемкости ВВП РФ остаются ниже установленных законодательными и нормативными актами показателей (не менее 1,5% ежегодно) [3-6].

Увеличение объемов энергопотребления, сопровождающееся ростом стоимости и тарифов на энергоресурсы, приводит к высокой доле энергетических затрат в себестоимости промышленной продукции. Особенно это характерно для предприятий минерально-сырьевого комплекса. В частности, в угольной промышленности затраты на энергоресурсы составляют 15–20% себестоимости продукции, а в горнорудной отрасли — 20–30%.

Минимизация затрат на энергетические ресурсы представляет собой сложную задачу, содержащую научные, технические и практические аспекты.

В этой связи целесообразно выполнить обзор исследований по управлению энергопотреблением, энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятий, а также анализ состояния управления энергетической эффективностью на предприятиях угольной отрасли.

## **1.2 Обзор исследований по управлению энергопотреблением, энергосбережением и повышением энергоэффективности предприятий**

Вклад отечественных ученых в разработку методов повышения эффективности использования электроэнергии является значительным. Так, в исследованиях В. И. Вейца установлены взаимосвязи между уровнем

электропотребления и технологическими параметрами производственных процессов [23].

Существенное развитие методов нормирования электропотребления обеспечили работы Б. А. Константинова [43] и С. Д. Волобринского [26]. Их исследования основывались на вероятностно-статистическом подходе к нормированию расхода электроэнергии.

В рамках исследований А. В. Праховника, В. П. Розина и В. В. Дегтярева [77] разработаны рекомендации по созданию технических средств вычислительной техники, предназначенных для контроля, учета и управления электропотреблением.

В исследованиях В.Е. Аракелова и А.И. Кремера [10] рассматривается методическое обеспечение экономии энергоресурсов, которое заключается в «применении и внедрении экономически выгодных новых инженерных решений и технологий производства, а также внедрении системы управления энергозатратами и адаптации предприятия к новым условиям рынка энергоресурсов».

Б.П. Белых, В.К. Олейников и И.С. Свердель выполнили анализ факторов, влияющих на электропотребление с установлением энергетических характеристик [11, 12, 13].

Ф.Г. Гусейнов и О.С. Мамедяров [34] установили влияние качества электроэнергии на экономичность работы электроприемников.

Исследования по вопросам повышения энергоэффективности были проведены В исследованиях В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоковым, М.Г. Ладыгичевым, Л.А. Шевченко [49, 50, 83] разработаны методы и методики анализа эффективности энергосбережения, предложены рекомендации по повышению энергоэффективности на предприятиях различных отраслей экономики.

Исследования, выполненные В.И. Щуцким, А.В. Ляхомским, Н.А. Ковальчуком и др. [7, 8, 30, 51-62, 64-66, 68, 69, 71-74, 85-89 и др.], позволили: установить статистическую неоднородность режимов электропотребления

горно-обогатительных предприятий; повысить точность прогнозирования и расчетов режимов потребления электроэнергии; применять более адекватные модели для эффективного управления электропотреблением.

Исследования, проведенные Ю.И. Анистратовым и К.Ю. Анистратовым, посвящены: разработке метода анализа энергозатрат при открытой добыче полезных ископаемых; энергетической оценке систем открытой разработки; анализу энергетических аспектов развития техники и технологических процессов на карьерах [9].

В работах В.М. Гофмана и Ю.П. Миновского [32, 33] рассмотрены вопросы нормирования электропотребления; внедрение энергосберегающих мероприятий.

В исследованиях Г.Я. Вагина, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютича, А.Б. Лоскутова [20-22] выполнен анализ программных нормативных документов по повышению энергоэффективности на промышленных предприятиях.

В.И. Бирюлин, А.Н. Горлов, О.М. Ларин, Н.В. Хорошилов в своих исследованиях рассматривают особенности разработки систем энергетического менеджмента на промышленных предприятиях, направленных на эффективное управление энергосбережением [14, 31].

В исследованиях А.В. Ляхомского обоснованы научно-методические принципы и разработаны способы управления процессом электропотребления на основе программно-аналитических комплексов [69].

В работе Е.Н. Перфильевой [75] при исследовании процесса электропотребления: с применением метода главных компонент разработана методика оценки и установлено влияние управленческих и технических факторов производства на управление электропотреблением в условиях неопределенности и неполноты информации.

В работе Н.Б. Дьячкова проведено: изучение процесса потребления электроэнергии обогатительными фабриками как случайного явления с анализом его вероятностных характеристик и распределительных закономерностей; разработаны технологические модели режимов работы оборудования, используемого в энерготехнологических процессах;

предложены рекомендации и создан программно-аналитический комплекс для управления энергетическими ресурсами с целью повышения энергетической эффективности [37].

С.В. Петуховым выполнен анализ потребления электроэнергии и установления энерготехнологических характеристики выемочно-погрузочных работ на угольных разрезах [76].

Однако в данных исследованиях не проведен вероятностно-статистический анализ энерготехнологической результативности основных производственных процессов, который играет важную роль в управлении обеспечением и повышением энергоэффективности предприятий.

В работе С.М. Волошина рассмотрено создание системы мониторинга электропотребления для обеспечения и повышения энергоэффективности [27].

Однако, при мониторинге не учитываются технологические показатели для определения удельного электропотребления производственных процессов с целью управления энергоэффективностью.

В исследовании А.И. Богоявленского, М.С. Бернера и Ю.В. Матюнина рассмотрены аспекты информационного обеспечения энергетического менеджмента на производственных предприятиях [15].

Однако следует заметить, что в предложенной системе не рассматривается взаимосвязь между натуральными и финансовыми показателями энерготехнологической результативности, что ограничивает мотивационный потенциал управления энергоэффективностью.

В работе Д.Г. Закирова и А.А. Рыбина [40] анализируется внедрение системы управления энергоэффективностью на промышленных предприятиях, основанной на международном стандарте ISO-50001[91]. Авторы предлагают многослойную динамическую систему управления энергопотреблением, которая ориентирована на эффективное сокращение энергозатрат, снижение энергоемкости производственных процессов и уменьшение экологической нагрузки.

Стоит отметить, что в этих исследованиях не рассматриваются мотивационные и информационно-аналитические аспекты энергетического



менеджмента, которые имеют важную роль в повышении энергоэффективности предприятий.

Вышеприведенный обзор исследований показывает научно-техническую и практическую актуальность вопросов управления энергопотреблением, энергосбережением и повышением энергоэффективности.

### **1.3. Анализ управления энергоэффективностью на предприятиях угольной отрасли**

Анализ управления энергоэффективностью на предприятиях угольной отрасли основан на оценке выполнения требований, направленных на обеспечение и повышение энергоэффективности. Методика оценки, использующая трехуровневую шкалу, включает следующие этапы:

1. Оценка проводится как для всех групп требований в целом, так и для отдельных их категорий, с применением качественной трехуровневой шкалы:

«Полное выполнение» — 100 баллов;

«Частичное выполнение» — 50 баллов;

«Не выполняется» — 0 баллов.

2. Определение общей оценки выполнения требований по выражению

$$\text{Общая оценка} = \frac{\text{Сумма баллов по всем требованиям}}{\text{Количество требований}}. \quad (1.1)$$

3. Оценка по степени выполнения требований (в %):

- для полностью выполненных требований:

$$\begin{aligned} \text{Процент полностью выполненных} &= \\ &= \frac{\text{Кол} - \text{во полностью выполненных требований}}{\text{Общее кол} - \text{во требований}} \cdot 100. \end{aligned} \quad (1.2)$$

- для частично выполненных требований:

$$\begin{aligned} \text{Процент частично выполненных} &= \\ &= \frac{\text{Кол} - \text{во частично выполненных требований}}{\text{Общее кол} - \text{во требований}} \cdot 100. \end{aligned} \quad (1.3)$$

- для невыполненных требований:

$$\text{Процент невыполненных} = \frac{\text{Кол} - \text{во невыполненных требований}}{\text{Общее кол} - \text{во требований}} \cdot 100. \quad (1.4)$$

Таким образом, данный метод позволит комплексно оценить уровень выполнения требований по обеспечению и повышению энергоэффективности, выявить сильные и слабые стороны, а также оценить общее положение по обеспечению энергоэффективности на предприятии угольной отрасли.

Результаты применения вышеуказанного метода по оценке выполнения требований обеспечения и повышения энергоэффективности приведены в работе Ляхомского А.В., Кутепова А.Г., Перфильевой Е.Н. по оценке деятельности предприятий угольной отрасли, на долю которых приходится 69,8% угледобычи РФ [63]. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что доля требований особенно в аспектах информационного и мотивационного обеспечения остаются на низком уровне.

Это указывает на необходимость улучшения информативной работы и повышения мотивации сотрудников в целях более эффективного выполнения установленных требований. Наличие низкой доли полностью выполненных требований может привести к снижению общей эффективности работы предприятий угольной отрасли, что в свою очередь негативно скажется на устойчивом развитии и достижении экологических целей.

Недостаточность выполнения требований по информационному и мотивационному обеспечению затрудняет проводить управление энерготехнологической результативностью основных производственных процессов с целью повышения энергоэффективности предприятий угольной отрасли.

#### **1.4 Постановка задач диссертационного исследования**

Обзор исследований в области управления энергопотреблением, энергосбережением и повышением энергоэффективности показывает, что исследований вопросов, рассматривающих комплексный энерготехнологический подход к аспектам, связанным с процессом обеспечения и повышения энергоэффективности на предприятиях угольной отрасли, выполнено недостаточно. В вопросах повышения энергоэффективности практически отсутствуют исследования управления энерготехнологической результативностью производственных процессов.

Это обуславливает целесообразность проведения исследований процесса обеспечения и повышения энергоэффективности с учетом управления энерготехнологической результативностью производственных процессов.

Учитывая, что электроэнергия является одним из основных видов энергии на предприятиях угольной отрасли, исследование управления энерготехнологической результативностью производственных процессов, потребляющих электрическую энергию, для повышения энергоэффективности представляется актуальной научной темой.

На основании вышеизложенного в диссертационном исследовании сформулированы следующие задачи:

1. Разработать вероятностно-статистический подход к анализу и улучшению энерготехнологической результативности производственных процессов.

2. Разработать методику и провести исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей с установлением вероятностных моделей и определением энерготехнологических профилей циклично-поточной и циклической технологий выемочно-погрузочных работ, а также обогатительных работ по производству угольного концентрата.

3. Выполнить с применением вероятностно-статистического подхода исследования энерготехнологической результативности с определением потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления производственных процессов.

4. Разработать рекомендации по повышению энергоэффективности предприятий угольной отрасли.

## **2 Методика исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли**

### **2.1 Общие положения**

Энергетическая эффективность характеризуется удельным энергопотреблением горно-обогачительных работ, технологических процессов, выпуска продукции. Повышение энергетической эффективности предприятий угольной отрасли позволяет: снижать финансовые затраты на энергоресурсы; повышать конкурентоспособность; минимизировать риски увеличения энергопотребления из-за ухудшения горно-геологических условий (углубление работ, повышение водообводненности и др.), а также постоянного роста тарифов и цен на энергоресурсы.

Исследование энергоэффективности требует проведения оценки и анализа энерготехнологических показателей (объемов работ, полного и удельного энергопотребления) основных производственных процессов, на долю которых приходится 75–90% потребляемых предприятием энергоресурсов.

Одним из основных энергетических ресурсов предприятий угольной отрасли является электроэнергия, в балансе которой 75–85% приходится на основные производственные процессы.

Основные производственные процессы предприятий угольной отрасли протекают в условиях и обстоятельствах под влиянием факторов, характеризующихся случайными, вероятностными свойствами, и являются вероятностными процессами.

В этой связи исследование энергоэффективности должно опираться на следующие методические принципы:

1. Энерготехнологические показатели основных производственных процессов – объемы работ, полное и удельное электропотребление – являются случайными величинами, обусловленные вероятностным влиянием горно-геологических, климато-метеорологических, производственно-технологических, организационно-управленческих и иных факторов. Это

требует для анализа и оценки энерготехнологических показателей применение методов теории вероятностей и математической статистики.

2. Энерготехнологическая результативность основных производственных процессов характеризуется комплексным показателем – удельным электропотреблением, интегрирующим технологический показатель производственных процессов – объемы работ, с энергетическим показателем – потреблением электроэнергии.

3. Энерготехнологическая результативность определяется как разность между плановым (заданным) и фактическим удельным электропотреблением.

4. Анализ и оценка энерготехнологической результативности основных производственных процессов должны быть связаны с отчетными временными периодами деятельности предприятий – сменой, сутками, месяцем, кварталом, годом.

5. Оперативное управление энерготехнологической результативностью как технических (машины, оборудование), так и организационно-производственных (смена, участок) энергопотребляющих объектов должно проводиться в сменном формате времени.

6. Исходные фактические энерготехнологические данные - объемы работ ( $Q_i$ ), полное ( $W_i$ ) и удельное электропотребление ( $w_i$ ) - для анализа и оценки управления энерготехнологической результативностью определяются на основе результатов энерготехнологического мониторинга.

Вышеизложенные методические принципы позволяют разработать методику исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли, включающую исследование как вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей, так и энерготехнологической результативности основных производственных процессов.

## **2.2 Методика исследования энерготехнологических показателей производственных процессов**

### **2.2.1 Методика экспериментального исследования вероятностно- статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов**

Исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов опирается на данные энерготехнологического мониторинга объемов работ ( $Q_i$ ), полного ( $W_i$ ) и удельного электропотребления ( $w_i$ ).

Учитывая случайный характер энерготехнологических показателей производственных процессов, проводится оценка статистических характеристик: среднего значения, медианы, моды, дисперсии, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации, асимметрии и эксцесса.

Вместе с этим для проведения энерготехнологического анализа основных производственных процессов необходимо установить вероятностные законы распределения значений вышеуказанных энерготехнологических показателей.

На основании данных мониторинга энерготехнологических показателей основных производственных процессов формируются исходные статистические ряды:

$$X_i = X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n \quad (2.1)$$

где  $X_i$  – значение энерготехнологического показателя;

$n$  – число наблюдаемых значений энерготехнологических показателей,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

При мониторинге и формировании статистических выборок энерготехнологических показателей могут возникать аномальные условия, когда влияние некоторых из вышеуказанных факторов (п.2.1) начинает преобладать. Это может вызвать аномальные отклонения значений энерготехнологических показателей от среднего значения статистического

ряда. В этом случае требуется определить, являются ли эти значения "выбросами".

Проверка статистических рядов на наличие «выбросов» выполнялась по критерию Граббса.

На основании корректировки («очищение») исходных статистических рядов формировались упорядоченные ряды энерготехнологических показателей - объемов работ ( $Q_y$ ), полного ( $W_y$ ) и удельного электропотребления ( $w_y$ ) – для первой, второй смен и суток.

Для упорядоченных рядов определялись статистические характеристики энерготехнологических показателей для циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля, циклических технологий транспортной вскрыши и приемки вскрышных пород в отвалы.

На основе упорядоченных статистических рядов формировались интервальные вариационные ряды энерготехнологических показателей, для которых определялись: оптимальная величина интервала ( $h(X)$ ), число интервалов ( $l$ ) в интервальном ряду.

На основании интервальных вариационных рядов строились гистограммы экспериментальных распределений плотности вероятностей  $P(X)$  анализируемых энерготехнологических показателей.

Анализ гистограмм позволял: определять характер распределений вероятностей значений анализируемых энерготехнологических показателей (симметрию, моно- или полимодальность, остро- или плосковершинность); провести оценку физической сущности условий формирования значений энерготехнологического показателя как случайной величины.

При ведении производственных процессов значения энерготехнологических показателей, в большинстве случаев, формируются в условиях:

1. Существует значительное число горно-геологических, климато-метеорологических, организационно-управленческих и иных факторов, оказывающих влияние на значение энерготехнологические показатели.

2. Факторы влияют на значения энерготехнологических показателей случайным образом.

3. Ни один из факторов не оказывает доминирующего влияния на энерготехнологические показатели.

В этом случае можно сделать предположение и сформулировать нулевую гипотезу ( $H_0$ ) о том, что распределение вероятностей значений энерготехнологических показателей (объемов работ, полного и удельного электропотребления) подчиняется нормальному закону распределения.

Подтверждение нулевой гипотезы выполнено по критерию согласия Шапиро-Уилка ( $W_{кр}$ ), который при доверительной вероятности 0,95 позволил определить область принятия нулевой гипотезы.

Вместе с этим для оперативного управления энерготехнологической результативностью требуется установление аналитических зависимостей энергетических показателей производственных процессов – полного и удельного электропотребления от технологического показателя – объема выполняемых работ.

### **2.2.2 Методика аналитического описания энерготехнологических показателей производственных процессов**

Аналитическое описание энерготехнологических показателей производственных процессов содержит установление корреляционных зависимостей энергетических показателей от объемов выполняемых работ. Объем работ представляет собой обобщенный информационный показатель, кумулятивно включающим в себя влияние указанных в п.2.1 факторов.

Установленные с применением корреляционно-регрессионного анализа статистические зависимости полного и удельного электропотребления от объема работ ( $W=f(Q)$ ,  $w=f(Q)$ ) характеризуют энерготехнологические профили основных производственных процессов.

Предварительный анализ диаграмм рассеяния корреляционных полей в осях – «объем работ»-«электропотребление», «объем работ»-«удельное электропотребление» позволяет сделать предположение о виде



энерготехнологических зависимостей полного и удельного электропотребления от объема выполняемых работ, соответствующих линейным выражениям:

$$W = a_0 + a_1 Q, \quad w = a_0 - a_1 Q, \quad (2.2)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  – коэффициенты соответствующего уравнения.

В соответствии с методом наименьших квадратов определялись значения коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  вышеуказанных зависимостей.

Проверка значимости коэффициентов корреляции ( $R$ ) выполнялась по  $t$ -критерию Стьюдента.

Доля изменчивости электропотребления  $W_i$  от объема выполняемых работ  $Q_i$  осуществлялась с применением коэффициентов детерминации  $R^2$ , проверка значимости которых проводилась по  $F$ -критерию Фишера.

Точность уравнений (2.2) выполнялась по средней относительной ошибке аппроксимации с применением шкалы Чеддока [78, 79, 82, 84]:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{W_i - \bar{W}_i}{W_i} \right| \times 100\%. \quad (2.3)$$

Статистическая значимость коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  зависимостей (2.2) определялась по  $t$ -критерию Стьюдента.

Полученные по зависимостям (2.2) значения  $\bar{W}_i$  отличаются от фактических значений  $W_i$  на величину остатков  $\varepsilon_i$  [80, 84, 85, 89]

$$\varepsilon_i = W_i - \bar{W}_i. \quad (2.4)$$

Для выполнения условий определения значимости коэффициентов зависимостей (2.2), определенных по методу наименьших квадратов, выполнялась проверка требований теоремы Гаусса-Маркова для математического ожидания остатков  $M(\varepsilon_i)$ . В практических целях допустимо считать наличие среднего значения остатков  $\bar{\varepsilon}$  близкого к нулю [81, 85, 87, 90]. Таким образом, проверялось выполнение требования

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon_i}{n} \approx 0. \quad (2.5)$$

Вместе с этим значения  $W_i$  и  $\varepsilon_i$  проверялись на требование некоррелированности (независимости) в соответствии с  $d$ -критерием Дарбина-Уотсона (о наличии в остатках автокорреляции первого порядка) [82, 86, 90] путем расчета статистики  $d_{\text{расч}}$  по выражению

$$d_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum \varepsilon_i^2}. \quad (2.6)$$

Критерий Дарбина-Уотсона должен находиться в диапазоне  $0 \leq d_{\text{расч}} \leq 4$ .

Степень влияния технологического фактора – объема выполняемых работ ( $Q_i$ ) на полное ( $W_i$ ) и удельное электропотребление ( $w_i$ ) определяется по средним коэффициентам эластичности ( $\bar{\varepsilon}_W, \bar{\varepsilon}_{w_i}$ ), которые показывают, на сколько процентов изменяется среднее полное ( $\bar{W}_i$ ) и удельное электропотребление ( $\bar{w}_i$ ) при изменении среднего объема выполняемых работ ( $\bar{Q}_i$ ) на один процент [81, 85, 86, 89]:

$$\bar{\varepsilon}_W = a_1 \frac{\bar{Q}_i}{\bar{W}_i}; \quad \bar{\varepsilon}_{w_i} = a_1 \frac{\bar{Q}_i}{\bar{w}_i}. \quad (2.7)$$

Вышеизложенные положения, методы и процедуры обеспечивают установление энерготехнологических зависимостей (2.2), которые являются энерготехнологическими профилями выемочно-погрузочных и обогатительных работ.

### **2.3 Методика исследования энерготехнологической результативности производственных процессов**

Алгоритм методики исследования энерготехнологической результативности основных производственных процессов приведен на рис.2.1.

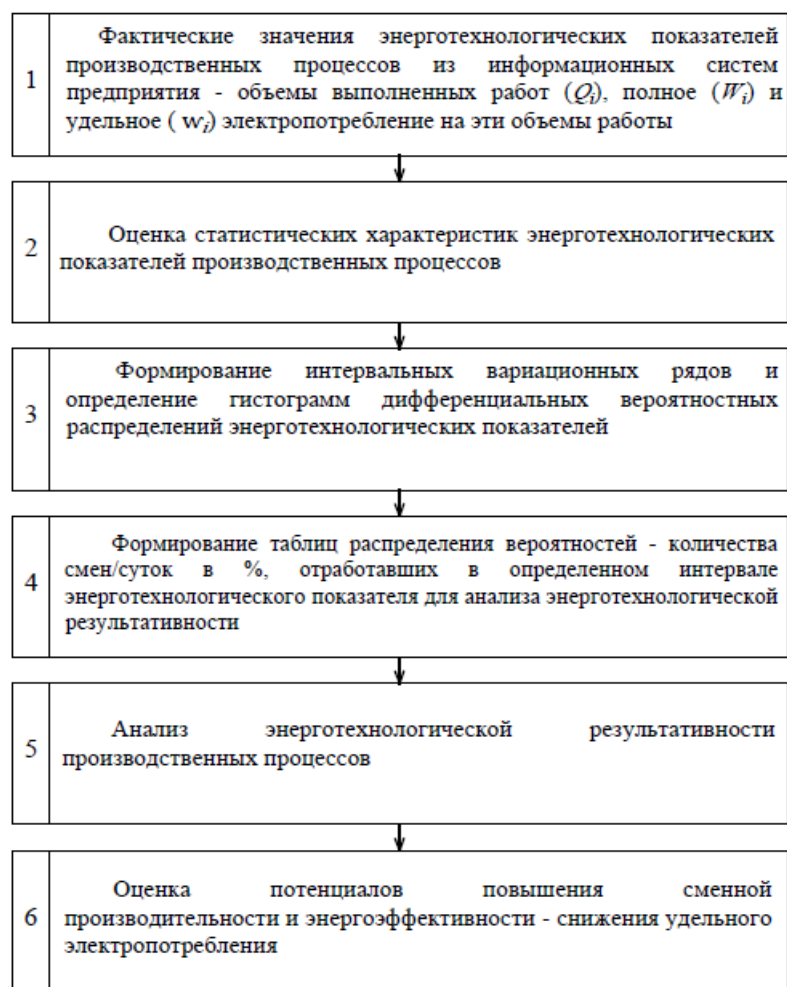


Рис. 2.1 - Алгоритм методики исследования энерготехнологической результативности основных производственных процессов

С применением интервальных статистических рядов формировались таблицы распределения вероятностей - количества смены/суток в %, отработавших в определенном интервале энерготехнологического показателя (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Количество смен/суток (в %), отработавших в определенном интервале энерготехнологического показателя

Показатель	Количество смен/суток (%), отработавших в определенном интервале энерготехнологического показателя			
	$X_{\min 1} \div X_{\max 1}$	$X_{\min 2} \div X_{\max 2}$	...	$X_{\min j} \div X_{\max j}$
Количество смен/суток, %	$m'_1$	$m'_2$	...	$m'_j$

В соответствии с данными табл. 2.1, строятся гистограммы дифференциальных вероятностных распределений энерготехнологических показателей.

Дифференциальные распределения показывают вероятность – количество смен/суток (в %), отработавших в определенном интервале энерготехнологического показателя в течение анализируемого месяца.

На основании анализа данных табл.2.1 определяются потенциалы повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления.

Потенциал повышения сменной производительности определялся по выражению

$$Q_{\text{пов.см.пр.}} = \bar{Q}_{\text{см}} - Q_{\text{см.ср.взв.мин}}, \quad (2.8)$$

где  $\bar{Q}_{\text{см}}$  – среднесменный объем работ за месяц;

$Q_{\text{см.ср.взв.мин}}$  – средневзвешенный объем работ смен, отработавших в интервалах меньше среднесменного за месяц.

Потенциал повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления

$$w_{\text{сниж.см.}} = w_{\text{ср.взв.мах}} - \bar{w}_{\text{см}}, \quad (2.9)$$

где  $\bar{w}_{\text{см}}$  – среднесменное удельное электропотребление за месяц;

$w_{\text{ср.взв.мах}}$  – средневзвешенное удельное электропотребление смен, отработавших в интервалах больше среднесменного за месяц.

Методика исследования повышения энергоэффективности обеспечивает выполнение исследований: энерготехнологических показателей с определением их статистических характеристик, установлением вероятностных моделей и энерготехнологических профилей; энерготехнологической результативности производственных процессов.

## 2.4 Выводы

1. Разработана комплексная методика исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли, включающая:

- методику экспериментального исследования вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов;

- методику аналитического описания энерготехнологических

показателей производственных процессов;

- методику исследования энерготехнологической результативности производственных процессов с обоснованием вероятностно-статистического подхода к энерготехнологическому анализу, определением потенциалов повышения сменной производительности, повышения энергоэффективности - снижения удельного электропотребления.

2. Разработанная комплексная методика позволила выполнить исследование энергоэффективности предприятий угольной отрасли с оценкой вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей, аналитическим описанием энерготехнологических показателей, а также анализом энерготехнологической результативности основных производственных процессов.

3. Применение вышеуказанной методики позволило:

- установить вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей циклично-поточных и циклических выемочно-погрузочных процессов открытых горных работ, а также энерготехнологических показателей обогатительных и погрузочно-разгрузочных работ производства угольного концентрата;

- определить аналитическое описание энерготехнологических показателей циклично-поточных и циклических процессов выемочно-погрузочных работ, а также обогатительных и погрузочно-разгрузочных работ производства угольного концентрата;

- провести энерготехнологический анализ обогатительных и погрузочно-разгрузочных работ производства концентрата.

### **3 Исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов**

#### **3.1 Исходные сведения**

Исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов проведено в соответствии с методическими положениями, изложенными во второй главе.

Исходными данными для исследования являлись фактические значения энерготехнологических показателей – объемов работ, полного и удельного электропотребления, полученные из информационных систем предприятий.

Исследования проведены для предприятий с открытой разработкой и обогащения угля.

На предприятии с открытой разработкой угля исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей выполнено для производственных процессов:

1. Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии с экскаваторным парком в составе: ЭР-2500 – 2 ед., ЭР-1600 – 2 ед., ЭР-1250 – 4 ед.

2. Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии с экскаваторным парком в составе: ЭКГ-15 – 1 ед., ЭКГ-12.5 – 4 ед., ЭКГ-10 – 1 ед., ЭКГ-8ус – 3 ед.

3. Приемка вскрышных пород в отвалы по циклической технологии с экскаваторным парком в составе: ЭШ-13/50 – 1 ед., ЭШ-10/70 – 1 ед., ЭКГ-10 – 2 ед., ЭКГ-8и – 2 ед., ЭКГ-8ус – 1 ед., ЭКГ-6.3ус – 1 ед.

На предприятии по обогащению угля исследование вероятностно-статистических свойств энерготехнологических показателей производственных процессов выполнено для обогатительных и погрузочно-разгрузочных работ производства угольного концентрата.

## **3.2 Вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей производственных процессов**

### **3.2.1 Открытые горные работы**

На основании энерготехнологического мониторинга информационных систем предприятия сведены в табличную форму исходные статистические ряды сменных/суточных объемов выемочно-погрузочных работ, полного и удельного электропотребления для циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических технологий транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт и приемки вскрышных пород в отвалы.

В соответствии с критерием Граббса (п.2.2.1) проведена проверка и исключение «выбросов» из исходных статистических рядов.

Результаты проверки исходных статистических рядов энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления) сведены в таблицу (Приложение П1):

1. Для циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля в ж/д транспорт – в исходных статистических рядах удельного электропотребления первой смены «выбросы» отсутствовали, т.к. условия Граббса  $G_1 < G_T$ ,  $G_2 < G_T$  выполнены в первом приближении; в исходных статистических рядах удельного электропотребления второй смены «выбросы» присутствовали, т.к. условия Граббса выполнены во втором приближении после исключения «выбросов» по результатам первого приближения.

2. Для транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии - в исходных статистических рядах удельного электропотребления первой и второй смен «выбросы» отсутствовали, т.к. условия Граббса выполнены в первом приближении.

3. Для приемки вскрышных пород в отвалы по циклической технологии - в исходных статистических рядах удельного электропотребления первой и второй смен «выбросы» присутствовали, т.к. условия Граббса выполнены

только во втором приближении после исключения «выбросов» по результатам первого приближения.

4. В исходных статистических рядах суточного удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ «выбросы» отсутствовали, т.к. условия Граббса выполнены в первом приближении.

В Приложении 2 на основании проверки исходных статистических рядов на «выбросы» созданы таблицы с упорядоченными статистическими рядами энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ, для которых определены статистические характеристики, приведенные в табл. 3.1.

Исследуемые энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ характеризуются: близкими оценками среднего и медианы; коэффициенты вариации для процессов добычи и транспортной вскрыши находятся в диапазоне (8,26-15,9%); для приемки вскрышных пород в отвалы – (13,55-26,7%); асимметрия имеет незначительные положительные и отрицательные значения; эксцесс показывает незначительную положительную и отрицательную островершинность.

Коэффициенты вариации имеют относительно невысокие значения и характеризуют производственные процессы выемочно-погрузочных работ как процессы с невысоким «разбросом» значений объемов работ, полного и удельного электропотребления относительно средних значений.

Статистические характеристики дают возможность выдвинуть гипотезу о распределении вероятностей анализируемых энерготехнологических показателей по нормальному закону.

С применением критерия Шапиро-Уилка установлено, что со статистической значимостью 0,05 допустимо принять нормальные законы распределения вероятностей, приведенные в таблице 3.2. Графический вид гистограмм и вероятностных моделей распределения приведены в Приложении ПЗ.



Таблица 3.1 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ – добыча и погрузка угля, вскрыша, приемка в отвалы горной породы

Статистические характеристики	Объемы работ ( $Q_i$ ), м <sup>3</sup> (т) <sup>1)</sup>			Потребление электроэнергии ( $W_i$ ), кВт·ч			Удельное электропотребление ( $w_i$ ), кВт·ч/м <sup>3</sup> (кВт·ч/т) <sup>1)</sup>		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии									
Среднее значение, $\bar{X}$	24970,8	27904,1	52829,7	20204,1	21638,1	41919,8	0,81	0,78	0,79
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_x$	3970,9	3559,4	5884,0	2271,3	2613,5	4187,3	0,12	0,08	0,09
Срединное значение ряда (Me)	24467,0	27232,0	52440,0	19628,0	21004,0	41955,0	0,8	0,77	0,78
Мода (Mo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации, $V$ , %	15,9	12,76	11,14	11,24	12,08	9,99	14,45	9,76	10,93
Коэффициент асимметрии, $A$	0,81	0,4	0,58	0,56	0,16	0,1	0,4	0,69	0,65
Коэффициент эксцесса, $E$	1,64	-0,26	0,63	0,11	0,54	-0,04	0,08	0,16	0,16
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии									
Среднее значение, $\bar{X}$	22962,8	27443,3	50406,1	26392,1	28547,3	54939,4	1,15	1,04	1,09
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_x$	2334,0	3387,1	4163,1	2589,7	3020,3	4980,7	0,13	0,14	0,12
Срединное значение ряда (Me)	23096,0	27166,0	50294,0	27183,7	28622,8	54726,6	1,15	1,05	1,13
Мода (Mo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации, $V$ , %	10,16	12,34	8,26	9,81	10,58	9,07	11,22	13,59	11,03
Коэффициент асимметрии, $A$	-0,2	3,38	2,12	-0,22	0,15	0,24	0,35	-0,29	-0,38
Коэффициент эксцесса, $E$	-0,32	15,85	7,59	-0,02	-0,14	0,04	-0,06	1,69	0,44

Продолжение табл. 3.1

Статистические характеристики	Объемы работ ( $Q_i$ ), м <sup>3</sup> (т) <sup>1)</sup>			Потребление электроэнергии ( $W_i$ ), кВт·ч			Удельное электропотребление ( $w_i$ ), кВт·ч/м <sup>3</sup> (кВт·ч/т) <sup>1)</sup>		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии									
Среднее значение, $\bar{X}$	18034,6	22044,2	40509,9	16707,9	17549,9	34194,0	0,93	0,80	0,84
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_x$	3020,1	5880,8	9988,3	2539,2	2550,1	4612,8	0,17	0,18	0,19
Срединное значение ряда (Me)	18076,5	21062,5	40449,0	17154,8	18118,0	34585,6	0,95	0,84	0,89
Мода (Mo)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации, $V$ , %	16,75	26,68	24,66	15,2	14,53	13,49	17,58	22,21	21,84
Коэффициент асимметрии, $A$	-0,24	2,63	2,35	-1,95	-1,38	-2,12	-0,04	-0,56	-0,09
Коэффициент эксцесса, $E$	-0,5	7,9	8,41	5,56	2,87	6,48	-0,79	0,17	1,05

<sup>1)</sup> Размерность процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии в тоннах. Размерность транспортной вскрыши и приемки вскрышных пород в отвалы - м<sup>3</sup>.

Таблица 3.2 – Вероятностные модели распределения сменных/суточных энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ

№	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	Энерготехнологические показатели	Вероятностные модели распределения	Критерий согласия Шапиро-Уилка	
				$W_{набл}$	$W_{кр}$
<b>Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии</b>					
1	Смена 1	$Q_i, \text{т}$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-24970,8)^2}{31536729,0}}$	0,933	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$	$f^*(w) = 3,32 \times e^{-\frac{(w-0,81)^2}{0,03}}$	0,975	0,929
2	Смена 2	$Q_i, \text{т}$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-27904,1)^2}{25337944,8}}$	0,976	0,926
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$	$f^*(w) = 4,99 \times e^{-\frac{(w-0,78)^2}{0,01}}$	0,956	0,926
3	Сутки	$Q_i, \text{т}$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-52829,7)^2}{69242912,0}}$	0,967	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}$	$f^*(w) = 4,43 \times e^{-\frac{(w-0,79)^2}{0,02}}$	0,967	0,929
<b>Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии</b>					
4	Смена 1	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{-\frac{(Q-22962,8)^2}{10895485,4}}$	0,970	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 3,07 \times e^{-\frac{(w-1,15)^2}{0,03}}$	0,984	0,929
5	Смена 2	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-27443,3)^2}{22944757,3}}$	0,968	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 2,85 \times e^{-\frac{(w-1,04)^2}{0,04}}$	0,956	0,929
6	Сутки	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-50406,1)^2}{34662636,7}}$	0,933	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 3,32 \times e^{-\frac{(w-1,09)^2}{0,03}}$	0,971	0,929
<b>Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии</b>					
7	Смена 1	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-18034,6)^2}{18242491,2}}$	0,968	0,927
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 2,35 \times e^{-\frac{(w-0,93)^2}{0,06}}$	0,977	0,927
8	Смена 2	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-22044,2)^2}{69168323,0}}$	0,934	0,927
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 2,22 \times e^{-\frac{(w-0,80)^2}{0,06}}$	0,957	0,927
9	Сутки	$Q_i, \text{м}^3$	$f^*(Q) = 0,00004 \times e^{-\frac{(Q-40509,9)^2}{199533072,8}}$	0,983	0,929
		$w_i, \text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$	$f^*(w) = 2,10 \times e^{-\frac{(w-0,84)^2}{0,07}}$	0,978	0,929

Установленные вероятностные модели позволяют повысить уровень аналитического описания сменных/суточных энерготехнологических показателей для формирования устойчивых уровней объемов выемочно-погрузочных работ и удельного электропотребления смен и участков.

### 3.2.2 Обогащительные работы

На основании энерготехнологического мониторинга информационных систем предприятия сведены в табличную форму исходные статистические ряды сменных/суточных объемов обогащительных работ, полного и удельного электропотребления для производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ.

В соответствии с критерием Граббса (п.2.2.1) проведена проверка и исключение «выбросов» из исходных статистических рядов.

Результаты проверки исходных статистических рядов энерготехнологических показателей обогатительных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления) сведены в таблицу (Приложение П4):

1. Для производства угольного концентрата – в исходных статистических рядах сменного/суточного удельного электропотребления «выбросы» отсутствовали, т.к. условия Граббса выполнены в первом приближении.

2. Для погрузочно-разгрузочных работ - в исходных статистических рядах удельного электропотребления первой и второй смен, а также суток присутствовали «выбросы», т.к. условия Граббса выполнены только во втором приближении после исключения «выбросов» по результатам первого приближения.

В Приложении 5 на основании проверки исходных статистических рядов на «выбросы» созданы таблицы с упорядоченными статистическими рядами энерготехнологических показателей обогатительных работ, для которых определены статистические характеристики, приведенные в табл. 3.3.

Исследуемые энерготехнологические показатели обогатительных работ характеризуются: близкими оценками среднего и медианы; коэффициенты вариации для производства угольного концентрата незначительно превышает значение 33%; для погрузочно-разгрузочных работ находится в диапазоне – (10,39-23,08%); асимметрия имеет незначительные положительные и отрицательные значения; эксцесс показывает незначительную положительную и отрицательную островершинность.

Коэффициенты вариации, имея относительно невысокие значения, характеризуют производственные процессы обогатительных работ как процессы с невысоким «разбросом» значений объемов работ, полного и удельного электропотребления относительно средних значений.

Таблица 3.3 – Статистические характеристики энерготехнологических показателей обогатительных работ – производство угольного концентрата и погрузочно-разгрузочные работы

Статистические характеристики	Объемы работ ( $Q_i$ ), т			Потребление электроэнергии ( $W_i$ ), кВт·ч			Удельное электропотребление ( $w_i$ ), кВт·ч/т		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
Производство угольного концентрата									
Среднее значение, $\bar{X}$	7012,2	5818,1	12830,2	35771,2	39631,7	75402,9	5,10	6,81	5,88
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_x$	1156,5	2138,6	2798,5	10176,2	5298,3	10969,0	1,77	3,99	1,34
Срединное значение ряда ( $Me$ )	7355,0	6505,0	13156,0	40741,0	41231,0	79874,0	5,38	5,97	5,73
Мода ( $Mo$ )	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации, $V$ , %	16,49	36,76	21,81	28,45	13,37	14,55	31,82	29,16	21,98
Коэффициент асимметрии, $A$	-0,69	-0,28	-0,31	-1,28	-2,4	-1,08	-0,25	0,90	1,25
Коэффициент эксцесса, $E$	-0,44	-1,58	-1,28	0,49	5,24	0,26	-0,12	-0,53	0,74
Погрузочно-разгрузочные работы									
Среднее значение, $\bar{X}$	12083,0	11214,4	22808,9	2486,1	2878,8	5265,8	0,21	0,26	0,23
Среднеквадратическое отклонение, $\sigma_x$	2350,1	1816,1	4042,1	503,6	479,7	940,2	0,05	0,04	0,02
Срединное значение ряда ( $Me$ )	12593,0	11038,0	23863,5	2582,0	3043,5	5456,5	0,21	0,26	0,22
Мода ( $Mo$ )	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Коэффициент вариации, $V$ , %	19,45	16,19	17,72	20,26	16,66	17,85	23,08	15,53	10,39
Коэффициент асимметрии, $A$	-0,49	-0,31	-0,45	-0,66	-0,93	-0,7	0,79	0,39	0,65
Коэффициент эксцесса, $E$	-0,36	0,51	-0,67	0,89	0,12	0,08	3,09	-0,31	0,16

Статистические характеристики дают возможность выдвинуть гипотезу о распределении вероятностей анализируемых энерготехнологических показателей по нормальному закону.

С применением критерия Шапиро-Уилка установлено, что со статистической значимостью 0,05 допустимо принять нормальные законы распределения вероятностей, приведенные в таблице 3.4. Графический вид гистограмм и вероятностных моделей распределения приведены в Приложении Пб.

Таблица 3.4 – Вероятностные модели распределения сменных/суточных энерготехнологических показателей обогатительных работ

№	Обогатительные работы, смена/сутки	Показатель	Вероятностные модели распределения	Критерий согласия Шапиро-Уилка	
				$W_{набл}$	$W_{кр}$
<b>Производство угольного концентрата</b>					
1	Смена 1	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0003 \times e^{-\frac{(Q-7012,2)^2}{2674799,5}}$	0,931	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 0,23 \times e^{-\frac{(w-5,10)^2}{6,27}}$	0,965	0,929
2	Смена 2	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{-\frac{(Q-5818,1)^2}{9147562,1}}$	0,973	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 0,10 \times e^{-\frac{(w-6,81)^2}{31,84}}$	0,933	0,929
3	Сутки	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-12830,2)^2}{15662756,7}}$	0,931	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 0,30 \times e^{-\frac{(w-5,88)^2}{3,59}}$	0,953	0,929
<b>Погрузочно-разгрузочные работы</b>					
4	Смена 1	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{-\frac{(Q-12083,0)^2}{11045752,0}}$	0,956	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 7,98 \times e^{-\frac{(w-0,21)^2}{0,01}}$	0,969	0,929
5	Смена 2	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0002 \times e^{-\frac{(Q-11214,4)^2}{6596656,4}}$	0,975	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 9,97 \times e^{-\frac{(w-0,26)^2}{0,0032}}$	0,973	0,929
6	Сутки	$Q_i, Т$	$f^*(Q) = 0,0001 \times e^{-\frac{(Q-22808,9)^2}{32677468,2}}$	0,959	0,929
		$w_i, кВт\cdotч/ Т$	$f^*(w) = 19,95 \times e^{-\frac{(w-0,23)^2}{0,0008}}$	0,945	0,929

Установленные вероятностные модели позволяют повысить уровень аналитического описания сменных/суточных энерготехнологических показателей для формирования устойчивых уровней объемов обогатительных работ и удельного электропотребления смен и участков.

### 3.3 Аналитическое энерготехнологическое описание производственных процессов

#### 3.3.1 Открытые горные работы

Для аналитического энерготехнологического описания производственных процессов открытых горных работ целесообразно

установить энерготехнологические профили полного и удельного электропотребления от объемов выполняемых выемочно-погрузочных работ по сменам  $W_{см} = f(Q_{см})$ ,  $w_{см} = f(Q_{см})$  и суткам  $W_c = f(Q_c)$ ,  $w_c = f(Q_c)$ .

В соответствии с методикой (гл.2) по выражению 2.2 для выемочно-погрузочных работ установлены энерготехнологические корреляционные профили полного и удельного электропотребления от объемов работ, приведенные в табл. 3.5. Графический вид энерготехнологических зависимостей приведен в Приложении П7.

Таблица 3.5 – Энерготехнологические профили полного и удельного электропотребления от объемов выемочно-погрузочных работ

№ п/п	Выемочно- погрузочные работы, смена/сутки	Энерготехнологическая зависимость	Коэффициент	
			Корреляции, $R$	Детерминации, $R^2$
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии (т)				
1	Смена 1	$W_{см} = 13487 + 0,27 \cdot Q_{см}$	0,470	0,221
2		$w_{см} = 1,35 - 0,00002 \cdot Q_{см}$	-0,707	0,499
3	Смена 2	$W_{см} = 7558 + 0,50 \cdot Q_{см}$	0,687	0,472
4		$w_{см} = 1,03 - 0,00001 \cdot Q_{см}$	-0,423	0,179
5	Сутки	$W_c = 23706 + 0,34 \cdot Q_c$	0,484	0,235
6		$w_c = 1,24 - 0,000008 \cdot Q_c$	-0,560	0,314
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии ( $M^3$ )				
7	Смена 1	$W_{см} = 16231 + 0,44 \cdot Q_{см}$	0,399	0,159
8		$w_{см} = 1,89 - 0,00003 \cdot Q_{см}$	-0,577	0,332
9	Смена 2	$W_{см} = 26677 + 0,068 \cdot Q_{см}$	0,376	0,141
10		$w_{см} = 1,77 - 0,00003 \cdot Q_{см}$	-0,623	0,388
11	Сутки	$W_c = 50752 + 0,08 \cdot Q_c$	0,369	0,136
12		$w_c = 1,96 - 0,00002 \cdot Q_c$	-0,591	0,349
Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии ( $M^3$ )				
13	Смена 1	$W_{см} = 9419 + 0,40 \cdot Q_{см}$	0,481	0,231
14		$w_{см} = 1,46 - 0,00003 \cdot Q_{см}$	-0,526	0,277
15	Смена 2	$W_{см} = 16503 + 0,05 \cdot Q_{см}$	0,410	0,168
16		$w_{см} = 1,32 - 0,00002 \cdot Q_{см}$	-0,712	0,507
17	Сутки	$W_c = 31522 + 0,07 \cdot Q_c$	0,443	0,196
18		$w_c = 1,44 - 0,00001 \cdot Q_c$	-0,720	0,519

Результаты проверки коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления на статистическую значимость приведены в табл. 3.6 и 3.7.

Таблица 3.6 – Статистическая значимость коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей  $W$ , кВт·ч =  $f(Q, м^3)^1$

№, п/п	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	$R$	$R^2$	$t_{расч}$	$t_{табл}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$R_{min}$	$R_{max}$
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии									
1	Смена 1	0,470	0,221	2,869	2,045	8,233	4,183	0,131	0,703
2	Смена 2	0,687	0,472	4,915	2,052	24,159	4,210	0,419	0,838
3	Сутки	0,484	0,235	2,982	2,045	8,893	4,183	0,149	0,712
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии									
4	Смена 1	0,399	0,159	2,342	2,045	5,485	4,183	0,045	0,656
5	Смена 2	0,376	0,141	2,413	2,045	5,170	4,183	0,087	0,418
6	Сутки	0,369	0,136	2,375	2,045	5,140	4,183	0,093	0,413
Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии									
7	Смена 1	0,481	0,231	2,901	2,048	8,414	4,196	0,138	0,713
8	Смена 2	0,410	0,168	2,583	2,048	8,340	4,196	0,163	0,450
9	Сутки	0,443	0,196	2,777	2,045	8,603	4,183	0,125	0,471

<sup>1)</sup> Размерность процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии в тоннах. Размерность транспортной вскрыши и приемки вскрышных пород в отвалы - м<sup>3</sup>.

Таблица 3.7 - Статистическая значимость коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей  $w$ , кВт·ч/м<sup>3</sup> =  $f(Q, м^3)^1$

№, п/п	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	$R$	$R^2$	$t_{расч}$	$t_{табл}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$R_{min}$	$R_{max}$
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии									
1	Смена 1	-0,707	0,499	5,376	2,045	28,907	4,183	-0,845	-0,461
2	Смена 2	-0,423	0,179	2,424	2,052	5,877	4,210	-0,679	-0,059
3	Сутки	-0,560	0,314	3,643	2,045	13,629	4,183	-0,759	-0,248
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии									
4	Смена 1	-0,577	0,332	3,800	2,045	14,443	4,183	-0,769	-0,270
5	Смена 2	-0,623	0,388	4,292	2,045	18,424	4,183	-0,797	-0,336
6	Сутки	-0,591	0,349	3,942	2,045	15,537	4,183	-0,778	-0,290
Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии									
7	Смена 1	-0,526	0,277	3,274	2,048	10,718	4,196	-0,741	-0,196
8	Смена 2	-0,712	0,507	5,367	2,048	28,804	4,196	-0,850	-0,464
9	Сутки	-0,720	0,519	5,591	2,045	31,255	4,183	-0,853	-0,482

<sup>1)</sup> Размерность процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии в тоннах. Размерность транспортной вскрыши и приемки вскрышных пород в отвалы - м<sup>3</sup>.



Результаты анализа табл. 3.6 и 3.7 показывают:

1. Статистическая значимость коэффициентов корреляции энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления по критерию Стьюдента ( $t$ ) для циклично-поточного процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических процессов транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт и приемки вскрышных пород в отвалы при вероятности 0,95 статистически значимы.

2. Статистическая значимость коэффициентов детерминации энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления по критерию Фишера ( $F$ ) для циклично-поточного процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических процессов транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт и приемки вскрышных пород в отвалы при вероятности 0,95 статистически значимы.

Качество энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления от объемов работ приведены в табл. 3.8 и 3.9.

Таблица 3.8 - Оценка качества сменных/суточных энерготехнологических профилей электропотребления выемочно-погрузочных работ  $W = f(Q)$

№, п/п	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	$\bar{A}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$a_0$	$a_1$	$t_{a0}$	$t_{a1}$	$t_{табл}$
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии									
1	Смена 1	8,09	8,233	4,183	13487	0,269	5,693	2,869	2,045
2	Смена 2	6,87	24,160	4,210	7558	0,505	2,618	4,915	2,052
3	Сутки	6,76	8,893	4,183	23706	0,345	3,859	2,982	2,045
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии									
4	Смена 1	7,82	5,485	4,183	16231	0,442	3,723	2,342	2,045
5	Смена 2	8,42	5,170	4,183	26677	0,068	5,845	2,413	2,045
6	Сутки	7,20	5,140	4,183	50752	0,083	4,528	2,375	2,045
Приемка вскрышных пород в отвалы по циклической технологии									
7	Смена 1	12,00	8,414	4,196	9419	0,404	3,699	2,901	2,048
8	Смена 2	12,54	8,340	4,196	16503	0,047	8,890	2,583	2,048
9	Сутки	10,82	8,604	4,183	31522	0,066	8,909	2,777	2,045

Таблица 3.9 - Оценка качества сменных/суточных энерготехнологических профилей удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ  $w = f(Q)$

№, п/п	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	$\bar{A}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$a_0$	$a_1$	$t_{a0}$	$t_{a1}$	$t_{табл}$
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии									
1	Смена 1	8,74	28,910	4,183	1,35	-0,00002	13,586	5,376	2,045
2	Смена 2	6,79	5,877	4,210	1,03	-0,00001	9,839	2,424	2,052
3	Сутки	6,91	13,270	4,183	1,24	-0,000008	10,204	3,643	2,045
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии									
4	Смена 1	7,80	14,443	4,183	1,89	-0,00003	9,724	3,800	2,045
5	Смена 2	8,20	18,424	4,183	1,77	-0,00003	10,469	4,292	2,045
6	Сутки	6,96	15,537	4,183	1,96	-0,00002	8,910	3,942	2,045
Приемка вскрышных пород в отвалы по циклической технологии									
7	Смена 1	11,68	10,718	4,196	1,46	-0,00003	9,079	3,274	2,048
8	Смена 2	12,64	28,804	4,196	1,32	-0,00002	13,948	5,367	2,048
9	Сутки	11,53	31,255	4,183	1,44	-0,00001	13,950	5,591	2,045

Анализ табл. 3.8 и 3.9 показывает:

1. Точность энерготехнологических профилей по средней относительной ошибке аппроксимации ( $\bar{A}$ ).

1.1. По процессам добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт точность установленных энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ по шкале Чеддока является высокой ( $\bar{A} < 10\%$ ).

1.2. По процессу приемки вскрышных пород в отвалы точность установленных энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ по шкале Чеддока находится на хорошем уровне ( $10\% < \bar{A} < 20\%$ ).

2. Статистическая значимость коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  энерготехнологических профилей по критерию Стьюдента для циклично-поточного процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических процессов транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт

и приемки вскрышных пород в отвалы при вероятности 0,95 статистически значимы.

Среднее значения остатков ( $\bar{\epsilon}$ ), значения критерия Дарбина-Уотсона ( $d_{расч}$ ) и коэффициенты эластичности ( $\bar{\epsilon}$ ) энерготехнологических профилей для циклично-поточного процесса добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических процессов транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт и приемки вскрышных пород в отвалы приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10 - Значения остатков ( $\bar{\epsilon}$ ), критерия Дарбина-Уотсона ( $d_{расч}$ ) и коэффициента эластичности ( $\bar{\epsilon}$ ) энерготехнологических профилей  $W = f(Q)$ ,  $w = f(Q)$

№, п/п	Выемочно-погрузочные работы, смена/сутки	$d_{расч}$	$\bar{\epsilon}$	$\bar{\epsilon}$
Энерготехнологические профили полного электропотребления, $W = f(Q)$				
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии				
1	Смена 1	1,508	-0,0003	0,332
2	Смена 2	1,265	-0,0003	0,651
3	Сутки	1,284	0,0006	0,205
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии				
4	Смена 1	1,018	-0,0003	0,385
5	Смена 2	0,989	0,0003	0,066
6	Сутки	0,823	-0,00002	0,035
Приемка вскрышных пород в отвалы по циклической технологии				
7	Смена 1	0,768	0,0003	0,436
8	Смена 2	0,966	0,00001	0,060
9	Сутки	0,637	0,0003	0,035
Энерготехнологические профили удельного электропотребления, $w = f(Q)$				
Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии				
10	Смена 1	1,656	0,0006	-0,644
11	Смена 2	1,256	0,0003	-0,289
12	Сутки	1,202	0,0004	-0,260
Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии				
13	Смена 1	1,055	0,00002	-0,635
14	Смена 2	1,008	0,0003	-0,575
15	Сутки	0,795	0,0002	-0,358
Приемка вскрышных пород в отвалы по циклической технологии				
16	Смена 1	0,615	0,0003	-0,553
17	Смена 2	0,704	-0,0003	-0,485
18	Сутки	0,666	-0,0002	-0,283

Анализ табл. 3.10 показывает:

1. Средние значения остатков ( $\bar{\varepsilon}$ ) по всем выемочно-погрузочным работам находятся в пределах ( $\bar{\varepsilon} \approx 0$ ), при которых можно признать выполнимыми условия для применения теоремы Гаусса-Маркова.

2. Значения критерия Дарбина-Уотсона по всем выемочно-погрузочным работам находятся в пределах ( $0 \leq d_{\text{расч}} \leq 4$ ), что показывает отсутствие в остатках автокорреляции первого порядка - остатки не зависят от значений удельного электропотребления.

3. Значения коэффициентов эластичности ( $\bar{\varepsilon}$ ) показывают.

3.1. При увеличении/уменьшении сменных объемов выемочно-погрузочных работ на 1% полное электропотребление повышается/снижается: процесса добычи и погрузки угля на (0,205 ÷ 0,651)%; процесса транспортной вскрыши горной породы на (0,035 ÷ 0,385)%; процесса приемки вскрышных пород в отвалы на (0,035 ÷ 0,436)%.

3.2. При увеличении/уменьшении сменных объемов выемочно-погрузочных работ на 1% удельное электропотребление снижается/повышается: процесса добычи и погрузки угля на (0,260 ÷ 0,644)%; процесса транспортной вскрыши горной породы на (0,358 ÷ 0,635)%; процесса приемки вскрышных пород в отвалы на (0,283 ÷ 0,553)%.

Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили повышают уровень аналитического описания для принятия управленческих решений по улучшению энерготехнологической результативности производственных процессов.

### 3.3.2 Обоганительные работы

Для аналитического энерготехнологического описания производственных процессов обогащения целесообразно установить энерготехнологические профили полного и удельного электропотребления от объемов выполняемых обоганительных работ по сменам  $W_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$ ,  $w_{\text{см}} = f(Q_{\text{см}})$  и суткам  $W_{\text{с}} = f(Q_{\text{с}})$ ,  $w_{\text{с}} = f(Q_{\text{с}})$ .

В соответствии с методикой (гл.2) по выражению 2.2 для обогатительных работ установлены энерготехнологические корреляционные профили полного и удельного электропотребления от объемов обогатительных работ, приведенные в табл. 3.11. Графический вид энерготехнологических профилей приведен в Приложении П8.

Таблица 3.11 – Энерготехнологические профили полного и удельного электропотребления от объемов обогатительных работ

№ п/п	Обогатительные работы	Зависимость	Коэффициент	
			Корреляции, $R$	Детерминации, $R^2$
Производство угольного концентрата				
1	Смена 1	$W_{см} = 30957 + 0,69 \cdot Q_{см}$	0,478	0,228
2		$w_{см} = 10,58 - 0,0008 \cdot Q_{см}$	-0,497	0,247
3	Смена 2	$W_{см} = 40922 + 0,22 \cdot Q_{см}$	0,490	0,240
4		$w_{см} = 18,08 - 0,0017 \cdot Q_{см}$	-0,918	0,842
5	Сутки	$W_c = 48340 + 2,11 \cdot Q_c$	0,538	0,290
6		$w_c = 10,53 - 0,0004 \cdot Q_c$	-0,725	0,525
Погрузочно-разгрузочные работы				
7	Смена 1	$W_{см} = 1253 + 0,102 \cdot Q_{см}$	0,476	0,227
8		$w_{см} = 0,35 - 0,00001 \cdot Q_{см}$	-0,537	0,289
9	Смена 2	$W_{см} = 1015 + 0,166 \cdot Q_{см}$	0,629	0,396
10		$w_{см} = 0,36 - 0,00001 \cdot Q_{см}$	-0,406	0,165
11	Сутки	$W_c = 718 + 0,199 \cdot Q_c$	0,857	0,735
12		$w_c = 0,26 - 0,000001 \cdot Q_c$	-0,415	0,172

Результаты проверки коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления на статистическую значимость приведены в табл. 3.12 и 3.13.

Таблица 3.12 - Статистическая значимость коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей  $W$ , кВт·ч =  $f(Q, \tau)$

№, п/п	Обогатительные работы	$R$	$R^2$	$t_{расч}$	$t_{табл}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$R_{min}$	$R_{max}$
Производство угольного концентрата									
1	Смена 1	0,478	0,228	2,421	2,045	8,198	4,183	0,085	0,482
2	Смена 2	0,490	0,240	2,484	2,045	8,234	4,183	0,075	0,499
3	Сутки	0,538	0,290	3,438	2,045	11,821	4,183	0,219	0,746
Погрузочно-разгрузочные работы									
4	Смена 1	0,476	0,227	2,864	2,048	8,204	4,196	0,132	0,710
5	Смена 2	0,629	0,396	4,124	2,056	17,011	4,225	0,324	0,808
6	Сутки	0,857	0,735	8,804	2,048	77,514	4,196	0,712	0,928

Таблица 3.13 - Статистическая значимость коэффициентов корреляции  $R$  и детерминации  $R^2$  энерготехнологических профилей  $w$ , кВт·ч/т =  $f(Q, \tau)$

№, п/п	Обогатительные работы	$R$	$R^2$	$t_{расч}$	$t_{табл}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$R_{min}$	$R_{max}$
Производство угольного концентрата									
1	Смена 1	-0,497	0,247	3,084	2,045	9,508	4,183	-0,720	-0,165
2	Смена 2	-0,918	0,843	12,469	2,045	55,487	4,183	-0,959	-0,831
3	Сутки	-0,725	0,525	5,667	2,045	32,110	4,183	-0,855	-0,489
Погрузочно-разгрузочные работы									
4	Смена 1	-0,537	0,289	3,371	2,048	11,364	4,196	-0,748	-0,211
5	Смена 2	-0,406	0,165	2,267	2,056	5,138	4,225	-0,673	-0,032
6	Сутки	-0,415	0,172	2,277	2,048	4,831	4,196	-0,546	-0,141

Результаты анализа табл. 3.12 и 3.13 показывают:

1. Статистическая значимость коэффициентов корреляции энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления по критерию Стьюдента ( $t$ ) для производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ при вероятности 0,95 статистически значимы.

2. Статистическая значимость коэффициентов детерминации энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления по критерию Фишера ( $F$ ) для производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ при вероятности 0,95 статистически значимы.

Качество энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления от объемов работ приведены в табл. 3.14 и 3.15.

Таблица 3.14 - Оценка качества сменных/суточных энерготехнологических профилей полного электропотребления обогатительных работ  $W = f(Q)$

№, п/п	Обогатительные работы	$\bar{A}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$a_0$	$a_1$	$t_{a0}$	$t_{a1}$	$t_{табл}$
Производство угольного концентрата									
1	Смена 1	36,41	8,198	4,183	30957	0,686	2,675	2,421	2,045
2	Смена 2	10,56	8,234	4,183	40922	0,222	14,436	2,484	2,045
3	Сутки	9,94	11,821	4,183	48340	2,109	6,005	3,438	2,045
Погрузочно-разгрузочные работы									
4	Смена 1	15,60	8,204	4,196	1253	0,102	2,861	2,864	2,048
5	Смена 2	11,64	17,011	4,225	1015	0,166	2,221	4,124	2,056
6	Сутки	8,13	77,514	4,196	719	0,199	1,371	8,804	2,048

Таблица 3.15 - Оценка качества сменных/суточных энерготехнологических профилей удельного электропотребления обогатительных работ  $w = f(Q)$

№, п/п	Обогатительные работы	$\bar{A}$	$F_{расч}$	$F_{табл}$	$a_0$	$a_1$	$t_{a0}$	$t_{a1}$	$t_{табл}$
Производство угольного концентрата									
1	Смена 1	36,77	9,508	4,183	10,58	-0,0008	6,032	3,084	2,045
2	Смена 2	17,53	55,487	4,183	18,08	-0,0017	21,277	12,469	2,045
3	Сутки	10,84	32,110	4,183	10,53	-0,0003	13,122	5,667	2,045
Погрузочно-разгрузочные работы									
4	Смена 1	16,17	11,364	4,196	0,35	-0,00001	8,448	3,371	2,048
5	Смена 2	11,76	5,138	4,225	0,36	-0,00001	7,947	2,267	2,056
6	Сутки	8,11	4,831	4,196	0,26	-0,000001	10,354	2,277	2,048

Анализ табл. 3.14 и 3.15 показывает:

1. Точность энерготехнологических профилей по средней относительной ошибке аппроксимации ( $\bar{A}$ ).

1.1. Производство угольного концентрата - по первой смене точность установленных энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления от обогатительных работ по шкале Чеддока является удовлетворительной ( $20\% < \bar{A} < 50\%$ ), по второй смене – находится на хорошем уровне ( $10\% < \bar{A} < 20\%$ ), по суткам – на высоком уровне ( $\bar{A} < 10\%$ ).

1.2. Погрузочно-разгрузочные работы - по первой и второй смене точность установленных энерготехнологических профилей полного и удельного электропотребления обогатительных работ по шкале Чеддока является хорошей ( $10\% < \bar{A} < 20\%$ ), по суткам – на высоком уровне ( $\bar{A} < 10\%$ ).

2. Статистическая значимость коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  энерготехнологических профилей по критерию Стьюдента производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ при вероятности 0,95 статистически значимы.

Среднее значения остатков ( $\bar{\epsilon}$ ), значения критерия Дарбина-Уотсона ( $d_{расч}$ ) и коэффициенты эластичности ( $\bar{\epsilon}$ ) энерготехнологических профилей производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ приведены в табл. 3.16.

Таблица 3.16 - Значения остатков ( $\bar{\varepsilon}$ ), критерия Дарбина-Уотсона ( $d_{расч}$ ) и коэффициента эластичности ( $\bar{\varepsilon}$ ) энерготехнологических профилей  $W = f(Q)$ ,  $w = f(Q)$

№, п/п	Обогатительные работы	$d_{расч}$	$\bar{\varepsilon}$	$\bar{\varepsilon}$
Энерготехнологические профили полного электропотребления, $W = f(Q)$				
Производство угольного концентрата				
1	Смена 1	2,361	0,0006	0,135
2	Смена 2	2,355	0,0003	0,033
3	Сутки	2,510	0,00002	0,196
Погрузочно-разгрузочные работы				
4	Смена 1	1,642	0,001	0,496
5	Смена 2	1,979	0,0004	0,647
6	Сутки	2,011	0,0003	0,458
Энерготехнологические профили удельного электропотребления, $w = f(Q)$				
Производство угольного концентрата				
1	Смена 1	2,295	-0,0010	-1,019
2	Смена 2	2,109	-0,0016	-1,481
3	Сутки	2,607	-0,00001	-0,400
Погрузочно-разгрузочные работы				
4	Смена 1	1,699	0,0013	-0,647
5	Смена 2	1,977	0,0014	-0,421
6	Сутки	2,036	0,0002	-0,074

Анализ табл. 3.16 показывает:

1. Средние значения остатков ( $\bar{\varepsilon}$ ) по обогатительным работам находятся в пределах ( $\bar{\varepsilon} \approx 0$ ), при которых можно признать выполнимыми условия для применения теоремы Гаусса-Маркова.

2. Значения критерия Дарбина-Уотсона по обогатительным работам находятся в пределах ( $0 \leq d_{расч} \leq 4$ ), что показывает отсутствие в остатках автокорреляции первого порядка - остатки не зависят от значений удельного электропотребления.

3. Значения коэффициентов эластичности ( $\bar{\varepsilon}$ ) показывают.

3.1. При увеличении/уменьшении сменных объемов обогатительных работ на 1% полное электропотребление повышается/снижается:



производства угольного концентрата на  $(0,033 \div 0,196)\%$ ; погрузочно-разгрузочных работ на  $(0,458 \div 0,647)\%$ .

3.2. При увеличении/уменьшении сменных объемов обогатительных работ на 1% удельное электропотребление снижается/повышается: производства угольного концентрата на  $(0,400 \div 1,481)\%$ ; погрузочно-разгрузочных работ на  $(0,074 \div 0,647)\%$ .

Установленные вероятностные модели и энерготехнологические профили повышают уровень аналитического описания для принятия управленческих решений по улучшению энерготехнологической результативности производственных процессов.

### **3.4 Выводы**

1. Вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей производственных процессов – добычи и погрузки угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии, транспортной вскрыши с погрузкой вскрышных пород в ж/д транспорт по циклической технологии, приемки вскрышных пород в отвалы по циклической технологии – характеризуются:

- статистическими характеристиками, приведенными в табл. 3.1;

- вероятностными моделями сменных/суточных энерготехнологических показателей – объемов выемочно-погрузочных работ и удельного электропотребления, приведенными в табл.3.2.

2. Вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей производственных процессов обогащения – производства угольного концентрата, погрузочно-разгрузочных работ – характеризуются:

- статистическими характеристиками и вероятностными моделями, приведенными в табл. 3.3 и 3.4;

3. Аналитическое описание выемочно-погрузочных работ представлено в виде энерготехнологических профилей, приведенных в таблице 3.5.

Установленные энерготехнологические зависимости характеризуются по шкале Чеддока высокой и хорошей точностью, статистической

значимостью коэффициентов корреляции и детерминации по критериям Стьюдента и Фишера, а также статистической значимостью коэффициентов, входящих в эти зависимости по критерию Стьюдента.

4. Аналитическое описание обогатительных работ представлено в виде энерготехнологических профилей, приведенных в табл.3.11.

Установленные энерготехнологические зависимости характеризуются по шкале Чеддока высокой и хорошей точностью, статистической значимостью коэффициентов корреляции и детерминации по критериям Стьюдента и Фишера, а также статистической значимостью коэффициентов, входящих в эти зависимости по критерию Стьюдента.

5. Эластичность энерготехнологических зависимостей выемочно-погрузочных работ отражает следующие закономерности:

5.1. При увеличении/уменьшении сменных объемов выемочно-погрузочных работ на 1% полное электропотребление повышается/снижается: процесса добычи и погрузки угля на  $(0,205 \div 0,651)\%$ ; процесса транспортной вскрыши горной породы на  $(0,035 \div 0,385)\%$ ; процесса приемки вскрышных пород в отвалы на  $(0,035 \div 0,436)\%$ .

5.2. При увеличении/уменьшении сменных объемов выемочно-погрузочных работ на 1% удельное электропотребление снижается/повышается: процесса добычи и погрузки угля на  $(0,260 \div 0,644)\%$ ; процесса транспортной вскрыши горной породы на  $(0,358 \div 0,635)\%$ ; процесса приемки вскрышных пород в отвалы на  $(0,283 \div 0,553)\%$ .

6. Эластичность энерготехнологических зависимостей обогатительных работ показывает:

6.1. При увеличении/уменьшении сменных объемов обогатительных работ на 1% полное электропотребление повышается/снижается: производства угольного концентрата на  $(0,033 \div 0,196)\%$ ; погрузочно-разгрузочных работ на  $(0,458 \div 0,647)\%$ .

6.2. При увеличении/уменьшении сменных объемов обогатительных работ на 1% удельное электропотребление снижается/повышается:

производства угольного концентрата на  $(0,400 \div 1,481)\%$ ; погрузочно-разгрузочных работ на  $(0,074 \div 0,647)\%$ .

7. Вероятностно-статистические свойства энерготехнологических показателей и энерготехнологические профили полного и удельного электропотребления производственных процессов открытых горных работ и обогащения повышают уровень аналитического описания для обеспечения оперативного управления повышением энергетической эффективности.

## **4 Исследование энерготехнологической результативности основных производственных процессов**

### **4.1 Исходные положения**

Энергоэффективность предприятий угольной отрасли в значительной степени обусловлена энерготехнологической результативностью основных производственных процессов, в которых потребляется до 80–90% энергетических ресурсов предприятий.

Выемочно-погрузочные работы потребляют 75–85% электроэнергии предприятий с открытой разработкой угля.

С учетом того, что энерготехнологические показатели основных производственных процессов являются случайными величинами, то исследование энерготехнологической результативности проводится с применением вероятностно-статистических методов (гл.2).

В третьей главе определены статистические характеристики (табл.3.1), экспериментальные (в виде гистограмм) и теоретические (в виде аналитических выражений) распределения плотности вероятностей энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ, приведенные в табл.3.2 и Приложении ПЗ – на примере первой смены.

Вероятностные модели интерпретируют распределение количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале энерготехнологического показателя – объема работ, полного и удельного электропотребления.

### **4.2 Исследование энерготехнологической результативности открытых горных работ**

#### **4.2.1 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля**

##### **4.2.1.1 Энерготехнологический анализ добычных работ**

Энерготехнологический анализ сменных/суточных выемочно-погрузочных работ циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля в

ж/д транспорт проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема добычных работ, приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема добычных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема добычных работ					
Первая смена						
Интервал объема работ, (т)	17461 - 20578	20578 - 23695	23695 - 26812	26812 - 29928	29928 - 33045	33045 - 36181
Количество первых смен, %	12,9%	19,35%	48,39%	9,68%	3,23%	6,45%
Вторая смена						
Интервал объема работ, (т)	21105 - 23546	23546 - 25988	25988 - 28429	28429 - 30870	30870 - 33312	33312 - 35768
Количество вторых смен, %	6,9%	27,59%	20,69%	27,59%	6,9%	10,34%
Сутки						
Интервал объема работ, (т)	41368 - 45675	45675 - 49983	49983 - 54290	54290 - 58597	58597 - 62905	62905 - 67238
Количество суток, %	9,68%	19,35%	32,26%	25,81%	6,45%	6,45%

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 32,25% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 20886,0 т, что меньше на 4084,8 т среднесменного объема работ, равного 24970,8 т (табл. 3.1) [Приложение П9, 53]. При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 19,36% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 30967,0 т, что больше на 5996,2 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 34,49% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 24277,0 т, что меньше на 3627,1 т среднесменного объема работ, равного 27904,1 т (табл. 3.1).

средневзвешенный объем работ 44,83% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 31152,0 т, что больше на 3247,9 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 29,03% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 46388,0 т, что меньше на 6441,7 т среднесуточного объема работ, равного 52829,7 т (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 38,71% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 58597,0 т, что больше на 5767,3 т среднесуточного объема работ.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8): для первой смены 4084,8 т, для второй смены 3627,1 т.

Потенциал повышения сменной производительности добычи и погрузки угля в ж/д транспорт на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.1).

Реализация потенциала повышения сменной производительности приведет к улучшению энерготехнологической результативности, в том числе на основе снижения удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.

#### **4.2.1.2 Энерготехнологический анализ электропотребления добычных работ**

Энерготехнологический анализ электропотребления добычных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления добычных работ, приведено в табл. 4.2.

Таблица 4.2 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления добычных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления					
	Первая смена					
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	15599 - 17271	17271 - 18943	18943 - 20614	20614 - 22286	22286 - 23958	23958 - 25640
Количество первых смен, %	3,23%	35,48%	22,58%	19,35%	12,9%	6,45%
Вторая смена						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	15339 - 17467	17467 - 19594	19594 - 21722	21722 - 23850	23850 - 25977	25977 - 28118
Количество вторых смен, %	3,45%	20,69%	31,03%	24,14%	17,24%	3,45%
Сутки						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	32749 - 35756	35756 - 38764	38764 - 41771	41771 - 44778	44778 - 47786	47786 - 50811
Количество суток, %	6,45%	12,9%	29,03%	25,81%	16,13%	9,68%

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 38,70% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 17968,1 кВт·ч, что меньше на 2236,0 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 20204,1 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 38,8% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 22566,4 кВт·ч, что больше на 2362,3 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 24,14% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 18225,0 кВт·ч, что меньше на 3413,1 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 21638,1 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 44,83% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 23931,8 кВт·ч, что больше на 2293,7 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 48,38% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 38662,8 кВт·ч, что меньше на 3257,0 кВт·ч среднесуточного электропотребления, равного 41919,8 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 25,81% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 47410,1 кВт·ч, что больше на 5490,3 кВт·ч среднесуточного электропотребления.

#### 4.2.1.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления добычных работ

Энерготехнологический анализ удельного электропотребления добычных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 приложения П2 (табл. П2.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления добычных работ, приведено в табл. 4.3.

Таблица 4.3 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления добычных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Первая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,59 - 0,68	0,68 - 0,76	0,76 - 0,84	0,84 - 0,93	0,93 - 1,02	1,02 - 1,1
Количество первых смен, %	9,68%	22,58%	25,81%	25,81%	9,68%	6,45%
	Вторая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,66 - 0,71	0,71 - 0,76	0,76 - 0,81	0,81 - 0,86	0,86 - 0,91	0,91 - 0,96
Количество вторых смен, %	20,69%	27,59%	27,59%	6,9%	10,34%	6,9%
	Сутки					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,64 - 0,7	0,7 - 0,77	0,77 - 0,83	0,83 - 0,89	0,89 - 0,96	0,96 - 1,02
Количество суток, %	9,68%	32,26%	22,58%	19,35%	9,68%	6,45%

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 32,26% первых смен, отработавших в диапазоне ниже



интервала со средним значением за смену, составляет 0,70 кВт·ч/т, что меньше на 0,11 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 0,81 кВт·ч/т (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 41,94% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 0,93 кВт·ч/т, что больше на 0,12 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 48,28% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,71 кВт·ч/т, что меньше на 0,07 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 0,78 кВт·ч/т (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 24,14% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 0,89 кВт·ч/т, что больше на 0,11 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 41,94% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 0,72 кВт·ч/т, что меньше на 0,07 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления, равного 0,79 кВт·ч/т (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 35,48% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 0,9 кВт·ч/т, что больше на 0,11 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления, определенный в соответствии с выражением (2.9): для первой смены 0,12 кВт·ч/т, для второй смены 0,11 кВт·ч/т.

Потенциал снижения удельного электропотребления добычи и погрузки угля в ж/д транспорт на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.2).

## 4.2.2 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ цикличной технологии транспортной вскрыши

### 4.2.2.1 Энерготехнологический анализ объемов работ транспортной вскрыши

Энерготехнологический анализ сменных/суточных объемов выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ транспортной вскрыши, приведено в табл. 4.4.

Таблица 4.4 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ транспортной вскрыши

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ транспортной вскрыши					
Первая смена						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	18450 - 19947	19947 - 21444	21444 - 22942	22942 - 24439	24439 - 25936	25936 - 27442
Количество первых смен, %	12,9%	9,68%	25,81%	29,03%	12,9%	9,68%
Вторая смена						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	22374 - 25837	25837 - 29299	29299 - 32762	32762 - 36225	36225 - 39687	39687 - 43171
Количество вторых смен, %	25,81%	64,52%	6,45%	0,0%	0,0%	3,23%
Сутки						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	43832 - 47682	47682 - 51532	51532 - 55382	55382 - 59232	59232 - 63082	63082 - 66955
Количество суток, %	25,81%	45,16%	22,58%	3,23%	0,0%	3,23%

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 48,39% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 21094,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 1868,8 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ, равного 22962,8 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 22,58% первых смен,

отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 25829,0 м<sup>3</sup>, что больше на 2866,2 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 25,81% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 24095,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 3348,3 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ, равного 27443,3 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 9,68% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 34496,0 м<sup>3</sup>, что больше на 7052,7 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 25,81% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 45746,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 4660,1 м<sup>3</sup> среднесуточного объема работ, равного 50406,1 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 29,04% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 55170,0 м<sup>3</sup>, что больше на 4763,9 м<sup>3</sup> среднесуточного объема работ.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8): для первой смены 1868,8 м<sup>3</sup>, для второй смены 3348,3 м<sup>3</sup>.

Потенциал повышения сменной производительности транспортной вскрыши горной породы на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.3).

Реализация потенциала повышения сменной производительности приведет к улучшению энерготехнологической результативности, в том числе на основе снижения удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.

#### **4.2.2.2 Энерготехнологический анализ электропотребления вскрышных работ**

Энерготехнологический анализ электропотребления вскрышных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложение П2 (табл. П2.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления вскрышных работ, приведено в табл. 4.5.

Таблица 4.5 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления вскрышных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления					
Первая смена						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	20582 - 22534	22534 - 24486	24486 - 26438	26438 - 28390	28390 - 30342	30342 - 32306
Количество первых смен, %	6,45%	19,35%	16,13%	38,71%	16,13%	3,23%
Вторая смена						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	22521 - 24696	24696 - 26871	26871 - 29045	29045 - 31220	31220 - 33395	33395 - 35583
Количество вторых смен, %	12,9%	16,13%	25,81%	25,81%	12,9%	6,45%
Сутки						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	45430 - 48929	48929 - 52428	52428 - 55928	55928 - 59427	59427 - 62927	62927 - 66447
Количество суток, %	9,68%	16,13%	32,26%	25,81%	9,68%	6,45%

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 25,90% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 23018,7 кВт·ч, что меньше на 3373,4 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 26392,1 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 58,0% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 28171,2 кВт·ч, что больше на 1779,1 кВт·ч среднесменного электропотребления [Приложение П9].

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 29,03% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 24814,4 кВт·ч, что меньше на 3732,9 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 28547,3 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 45,16% вторых смен,

отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 31374,9 кВт·ч, что больше на 2827,6 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 25,81% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 49362,0 кВт·ч, что меньше на 5577,4 кВт·ч среднесуточного электропотребления, равного 54939,4 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 41,94% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 59561,8 кВт·ч, что больше на 4622,4 кВт·ч среднесуточного электропотребления.

#### 4.2.2.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления вскрышных работ

Энерготехнологический анализ удельного электропотребления вскрышных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном интервале, приведено в табл. 4.6.

Таблица 4.6 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления вскрышных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Первая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,9 - 0,99	0,99 - 1,09	1,09 - 1,18	1,18 - 1,27	1,27 - 1,37	1,37 - 1,46
Количество первых смен, %	6,45%	22,58%	32,26%	16,13%	16,13%	6,45%
Вторая смена						
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,66 - 0,79	0,79 - 0,92	0,92 - 1,04	1,04 - 1,17	1,17 - 1,3	1,3 - 1,43
Количество вторых смен, %	3,23%	9,68%	35,48%	38,71%	9,68%	3,23%
Сутки						
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,78 - 0,88	0,88 - 0,97	0,97 - 1,07	1,07 - 1,17	1,17 - 1,26	1,26 - 1,36
Количество суток, %	3,23%	12,9%	19,35%	41,94%	19,35%	3,23%

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 29,03% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 1,02 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,13 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления, равного 1,15 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 38,71% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 1,3 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 12,91% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,83 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,21 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления, равного 1,04 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 12,91% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 1,26 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,22 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 35,48% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 0,97 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,12 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесуточного удельного электропотребления, равного 1,09 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 22,58% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 1,22 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,13 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесуточного удельного электропотребления.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления, определенный в соответствии с выражением (2.9): для первой смены 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup>, для второй смены 0,22 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Потенциал снижения удельного электропотребления транспортной вскрыши горной породы на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.4).

#### **4.2.3 Исследование энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ цикличной технологии при приемке вскрышных пород в отвалы**

##### **4.2.3.1 Энерготехнологический анализ объемов работ при приемке вскрышных пород в отвалы**

Энерготехнологический анализ сменных/суточных объемов выемочно-погрузочных работ цикличной технологии при приемке вскрышных пород в отвалы проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.3).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ при приемке вскрышных пород в отвалы, приведено в табл. 4.7.

Таблица 4.7 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ при приемке вскрышных пород в отвалы

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ					
<b>Первая смена</b>						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	11556 - 13417	13417 - 15279	15279 - 17140	17140 - 19001	19001 - 20863	20863 - 22735
Количество первых смен, %	10,0%	10,0%	10,0%	33,33%	16,67%	20,0%
<b>Вторая смена</b>						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	16247 - 20899	20899 - 25551	25551 - 30203	30203 - 34855	34855 - 39507	39507 - 44187
Количество вторых смен, %	46,67%	43,33%	3,33%	0,0%	3,33%	3,33%
<b>Сутки</b>						
Интервал объема работ, (м <sup>3</sup> )	24647 - 33957	33957 - 43267	43267 - 52578	52578 - 61888	61888 - 71198	71198 - 80564
Количество суток, %	16,13%	64,52%	12,9%	3,23%	0,0%	3,23%

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 30,00% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 14346,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 3688,6 м<sup>3</sup>

среднесменного объема работ, равного 18034,6 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 36,67% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 20948,0 м<sup>3</sup>, что больше на 2913,4 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 46,67% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 18559,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 3485,2 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ, равного 22044,2 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 9,99% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 35630,0 м<sup>3</sup>, что больше на 13585,8 м<sup>3</sup> среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 16,13% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 29274,0 м<sup>3</sup>, что меньше на 11235,9 м<sup>3</sup> среднесуточного объема работ, равного 40509,9 м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 19,36% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 54135,0 м<sup>3</sup>, что больше на 13625,1 м<sup>3</sup> среднесуточного объема работ.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8): для первой смены 3688,6 м<sup>3</sup>, для второй смены 3485,2 м<sup>3</sup>.

Потенциал повышения сменной производительности приемки вскрышных пород в отвалы на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.5).

Реализация потенциала повышения сменной производительности приведет к улучшению энерготехнологической результативности, в том числе на основе снижения удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.



#### 4.2.3.2 Энерготехнологический анализ электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы

Энерготехнологический анализ электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложение П2 (табл. П2.3).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы, приведено в табл. 4.8.

Таблица 4.8 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления					
	Первая смена					
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	7528 - 9727	9727 - 11926	11926 - 14126	14126 - 16325	16325 - 18524	18524 - 20736
Количество первых смен, %	3,33%	3,33%	3,33%	20,0%	53,33%	16,67%
	Вторая смена					
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	9089 - 11116	11116 - 13143	13143 - 15170	15170 - 17197	17197 - 19224	19224 - 21263
Количество вторых смен, %	3,33%	0,0%	13,33%	13,33%	46,67%	23,33%
	Сутки					
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	16617 - 20517	20517 - 24417	24417 - 28318	28318 - 32218	32218 - 36118	36118 - 40041
Количество суток, %	3,23%	0,0%	6,45%	6,45%	48,39%	35,48%

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 29,90% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 13768,1 кВт·ч, что меньше на 2939,8 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 16707,9 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 16,7% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 19623,4 кВт·ч, что больше на 2915,5 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 29,99% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 14606,6 кВт·ч, что меньше на 2943,3 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 17549,9 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 23,33% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 20238,0 кВт·ч, что больше на 2688,1 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 16,13% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 26363,2 кВт·ч, что меньше на 7830,8 кВт·ч среднесуточного электропотребления, равного 34194,0 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 35,48% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 38068,0 кВт·ч, что больше на 3874,0 кВт·ч среднесуточного электропотребления.

#### **4.2.3.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы**

Энерготехнологический анализ удельного электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П2 (табл. П2.3).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы, приведено в табл. 4.9.

Таблица 4.9 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления при приемке вскрышных пород в отвалы

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Первая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,63 - 0,73	0,73 - 0,84	0,84 - 0,94	0,94 - 1,04	1,04 - 1,15	1,15 - 1,25
Количество первых смен, %	10,0%	23,33%	16,67%	16,67%	26,67%	6,67%

Продолжение табл.4.9

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Вторая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,4 - 0,52	0,52 - 0,64	0,64 - 0,76	0,76 - 0,89	0,89 - 1,01	1,01 - 1,13
Количество вторых смен, %	6,67%	6,67%	13,33%	36,67%	20,0%	16,67%
Сутки						
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/ м <sup>3</sup> )	0,4 - 0,56	0,56 - 0,72	0,72 - 0,88	0,88 - 1,05	1,05 - 1,21	1,21 - 1,37
Количество суток, %	3,23%	19,35%	25,81%	35,48%	12,9%	3,23%

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 33,33% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,75 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,18 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления, равного 0,93 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1) [Приложение П9]. При этом средневзвешенное удельное электропотребление 50,01% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 1,08 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 26,67% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,61 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,19 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления, равного 0,8 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 36,67% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 1,0 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,20 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 22,58% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 0,62 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что меньше на 0,22 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесуточного удельного электропотребления, равного 0,84 кВт·ч/м<sup>3</sup> (табл. 3.1). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 51,61% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним

значением за сутки, составляет 1,03 кВт·ч/м<sup>3</sup>, что больше на 0,19 кВт·ч/м<sup>3</sup> среднесуточного удельного электропотребления [Приложение П9].

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления, определенный в соответствии с выражением (2.9): для первой смены 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup>, для второй смены 0,20 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Потенциал снижения удельного электропотребления приемки вскрышных пород в отвалы на примере первой смены приведен в Приложении 10 (рис. П10.6).

### **4.3 Исследование энерготехнологической результативности обогачительных работ**

#### **4.3.1 Исследование энерготехнологической результативности производства угольного концентрата**

##### **4.3.1.1 Энерготехнологический анализ объемов производства угольного концентрата**

Энерготехнологический анализ сменных/суточных объемов производства угольного концентрата проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема производства угольного концентрата, приведено в табл. 4.10.

Таблица 4.10 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема производства угольного концентрата

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ					
	<b>Первая смена</b>					
Интервал объема работ, (т)	4486 - 5224	5224 - 5962	5962 - 6700	6700 - 7438	7438 - 8176	8176 - 8918
Количество первых смен, %	12,9%	9,68%	9,68%	22,58%	32,26%	12,9%
<b>Вторая смена</b>						
Интервал объема работ, (т)	2449 - 3440	3440 - 4430	4430 - 5421	5421 - 6412	6412 - 7402	7402 - 8399
Количество вторых смен, %	22,58%	9,68%	12,9%	3,23%	16,13%	35,48%
<b>Сутки</b>						
Интервал объема работ, (т)	7833 - 9308	9308 - 10782	10782 - 12257	12257 - 13732	13732 - 15206	15206 - 16690
Количество суток, %	16,13%	16,13%	6,45%	16,13%	16,13%	29,03%

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 32,26% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 5519,0 т, что меньше на 1493,2 т среднесменного объема работ, равного 7012,2 т (табл. 3.3) [Приложение П9]. При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 45,16% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 8018,0 т, что больше на 1005,8 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 45,16% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 3722,0 т, что меньше на 2096,1 т среднесменного объема работ, равного 5818,1 т (табл. 3.3). средневзвешенный объем работ 51,61% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 7588,0 т, что больше на 1769,9 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 38,71% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 9674,0 т, что меньше на 3156,2 т среднесуточного объема работ, равного 12830,2 т (табл. 3.3). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 45,16% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 15417,0 т, что больше на 2586,8 т среднесуточного объема работ.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8): для первой смены 1493,2 т, для второй смены 2096,1 т.

Потенциал повышения сменной производительности производства угольного концентрата на примере первой смены приведен в Приложении 11 (рис. П11.1).

Реализация потенциала повышения сменной производительности приведет к улучшению энерготехнологической результативности, в том числе

на основе снижения удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.

#### 4.3.1.2 Энерготехнологический анализ электропотребления производства угольного концентрата

Энерготехнологический анализ электропотребления производства угольного концентрата проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления производства угольного концентрата, приведено в табл. 4.11.

Таблица 4.11 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления производства угольного концентрата

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления					
<b>Первая смена</b>						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	9384 - 15233	15233 - 21081	21081 - 26930	26930 - 32779	32779 - 38627	38627 - 44511
Количество первых смен, %	6,45%	6,45%	9,68%	6,45%	6,45%	64,52%
<b>Вторая смена</b>						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	22048 - 25690	25690 - 29331	29331 - 32973	32973 - 36615	36615 - 40256	40256 - 43920
Количество вторых смен, %	6,45%	3,23%	0,0%	3,23%	16,13%	70,97%
<b>Сутки</b>						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	48357 - 54851	54851 - 61345	61345 - 67839	67839 - 74333	74333 - 80827	80827 - 87360
Количество суток, %	9,68%	0,0%	12,9%	12,9%	19,35%	45,16%

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 29,20% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 21397,9 кВт·ч, что меньше на 14373,3 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 35771,2 кВт·ч (табл. 3.3). При этом средневзвешенное электропотребление 64,5% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 41551,6 кВт·ч, что больше на 5780,4 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 12,91% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним

значением за смену, составляет 27507,8 кВт·ч, что меньше на 12123,9 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 39631,7 кВт·ч (табл. 3.3). При этом средневзвешенное электропотребление 70,97% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 42077,0 кВт·ч, что больше на 2445,3 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 35,48% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 63404,2 кВт·ч, что меньше на 11998,7 кВт·ч среднесуточного электропотребления, равного 75402,9 кВт·ч (табл. 3.3). При этом средневзвешенное электропотребление 45,16% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 84074,0 кВт·ч, что больше на 8671,1 кВт·ч среднесуточного электропотребления.

#### **4.3.1.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления производства угольного концентрата**

Энерготехнологический анализ удельного электропотребления производства угольного концентрата проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.1).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления производства угольного концентрата, приведено в табл. 4.12.

Таблица 4.12 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления производства угольного концентрата

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Первая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	1,46 - 2,62	2,62 - 3,77	3,77 - 4,92	4,92 - 6,07	6,07 - 7,22	7,22 - 8,37
Количество первых смен, %	9,68%	12,9%	16,13%	35,48%	9,68%	16,13%

Продолжение табл. 4.12

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Вторая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	2,89 - 5,07	5,07 - 7,24	7,24 - 9,41	9,41 - 11,57	11,57 - 13,74	13,74 - 15,91
Количество вторых смен, %	22,58%	32,26%	12,9%	12,9%	3,23%	16,13%
Сутки						
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	4,35 - 5,24	5,24 - 6,11	6,11 - 6,98	6,98 - 7,86	7,86 - 8,74	8,74 - 9,61
Количество суток, %	22,58%	48,39%	6,45%	6,45%	9,68%	6,45%

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 37,71% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 3,38 кВт·ч/т, что меньше на 1,72 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 5,1 кВт·ч/т (табл. 3.3) [Приложение П9]. При этом средневзвешенное удельное электропотребление 25,81% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 7,36 кВт·ч/т, что больше на 2,26 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 22,58% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 3,98 кВт·ч/т, что меньше на 2,83 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 6,81 кВт·ч/т (табл. 3.3). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 45,16% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 11,57 кВт·ч/т, что больше на 4,76 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 21,58% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 4,80 кВт·ч/т, что меньше на 1,08 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления, равного 5,88 кВт·ч/т (табл. 3.3). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 29,03% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за



сутки, составляет 7,91 кВт·ч/т, что больше на 2,03 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления [Приложение П9].

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.9): для первой смены 2,26 кВт·ч/т, для второй смены 4,76 кВт·ч/т.

Потенциал снижения удельного электропотребления производства угольного концентрата на примере первой смены приведен в Приложении П1 (рис. П11.2).

### 4.3.2 Исследование энерготехнологической результативности погрузочно-разгрузочных работ

#### 4.3.2.1 Энерготехнологический анализ объемов погрузочно-разгрузочных работ

Энерготехнологический анализ объемов погрузочно-разгрузочных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема погрузочно-разгрузочных работ, приведено в табл. 4.13.

Таблица 4.13 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема погрузочно-разгрузочных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале объема работ					
	Первая смена					
Интервал объема работ, (т)	7385 - 8892	8892 - 10398	10398 - 11905	11905 - 13412	13412 - 14918	14918 - 16434
Количество первых смен, %	13,33%	6,67%	23,33%	23,33%	23,33%	10,0%
	Вторая смена					
Интервал объема работ, (т)	6526 - 7846	7846 - 9167	9167 - 10488	10488 - 11808	11808 - 13128	13128 - 14457
Количество вторых смен, %	3,57%	7,14%	21,43%	35,71%	21,43%	10,71%
	Сутки					
Интервал объема работ, (т)	14300 - 16849	16849 - 19399	19399 - 21948	21948 - 24497	24497 - 27047	27047 - 29611
Количество суток, %	13,33%	10,0%	20,0%	16,67%	26,67%	13,33%

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 43,33% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 9992,0 т, что меньше на 2091,0 т среднесменного объема работ, равного 12083,0 т (табл. 3.3). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 33,33% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 14617,0 т, что больше на 2534,0 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 32,14% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 9240,0 т, что меньше на 1974,4 т среднесменного объема работ, равного 11214,4 т (табл. 3.3). средневзвешенный объем работ 32,14% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 12908,0 т, что больше на 1693,6 т среднесменного объема работ.

За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ 43,33% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 18514,0 т, что меньше на 4294,9 т среднесуточного объема работ, равного 22808,9 т (табл. 3.3). При этом средневзвешенный объем выполняемых работ 40,0% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 26622,0 т, что больше на 3813,1 т среднесуточного объема работ.

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8): для первой смены 2091,0 т, для второй смены 1974,4 т.

Потенциал повышения сменной производительности погрузочно-разгрузочных работ на примере первой смены приведен в Приложении 11 (рис. П11.3).

Реализация потенциала повышения сменной производительности приведет к улучшению энерготехнологической результативности, в том числе

на основе снижения удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.

#### 4.3.2.2 Энерготехнологический анализ электропотребления погрузочно-разгрузочных работ

Энерготехнологический анализ электропотребления погрузочно-разгрузочных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления погрузочно-разгрузочных работ, приведено в табл. 4.14.

Таблица 4.14 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления погрузочно-разгрузочных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале электропотребления					
Первая смена						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	1126 - 1522	1522 - 1918	1918 - 2314	2314 - 2709	2709 - 3105	3105 - 3503
Количество первых смен, %	6,67%	3,33%	26,67%	26,67%	26,67%	10,0%
Вторая смена						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	1659 - 1982	1982 - 2304	2304 - 2626	2626 - 2949	2949 - 3272	3272 - 3596
Количество вторых смен, %	3,57%	14,29%	7,14%	14,29%	46,43%	14,29%
Сутки						
Интервал электропотребления, (кВт·ч)	3058 - 3711	3711 - 4364	4364 - 5016	5016 - 5669	5669 - 6322	6322 - 6979
Количество суток, %	10,0%	10,0%	6,67%	36,67%	30,0%	6,67%

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 36,70% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 1935,3 кВт·ч, что меньше на 550,8 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 2486,1 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 36,7% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 3015,1 кВт·ч, что больше на 529,0 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 25,00% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 2188,8 кВт·ч, что меньше на 690,0 кВт·ч среднесменного электропотребления, равного 2878,8 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 60,72% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 3186,0 кВт·ч, что больше на 307,2 кВт·ч среднесменного электропотребления.

За рассматриваемый период средневзвешенное электропотребление 26,67% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 3955,1 кВт·ч, что меньше на 1310,7 кВт·ч среднесуточного электропотребления, равного 5265,8 кВт·ч (табл. 3.1). При этом средневзвешенное электропотребление 36,67% суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 6114,6 кВт·ч, что больше на 848,8 кВт·ч среднесуточного электропотребления.

#### **4.3.2.3 Энерготехнологический анализ удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ**

Энерготехнологический анализ удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ проведен в соответствии с положениями п.2.3 и приложения П5 (табл. П5.2).

Распределение вероятностей - количества смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ, приведено в табл. 4.15.

Таблица 4.15 - Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Первая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,09 - 0,14	0,14 - 0,18	0,18 - 0,22	0,22 - 0,27	0,27 - 0,32	0,32 - 0,36
Количество первых смен, %	3,33%	20,0%	40,0%	30,0%	0,0%	6,67%

Продолжение табл. 4.15

Показатель	Количество смен/суток в %, отработавших в определенном интервале удельного электропотребления					
	Вторая смена					
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,19 - 0,22	0,22 - 0,24	0,24 - 0,27	0,27 - 0,3	0,3 - 0,32	0,32 - 0,35
Количество вторых смен, %	17,86%	25,0%	21,43%	14,29%	14,29%	7,14%
Сутки						
Интервал удельного электропотребления, (кВт·ч/т)	0,19 - 0,21	0,21 - 0,22	0,22 - 0,24	0,24 - 0,26	0,26 - 0,27	0,27 - 0,29
Количество суток, %	6,67%	46,67%	20,0%	6,67%	13,33%	6,67%

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 22,33% первых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,15 кВт·ч/т, что меньше на 0,06 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 0,21 кВт·ч/т (табл. 3.3). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 35,67% первых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 0,26 кВт·ч/т, что больше на 0,05 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления [Приложение П9].

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 42,86% вторых смен, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет 0,22 кВт·ч/т, что меньше на 0,04 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления, равного 0,26 кВт·ч/т (табл. 3.3). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 34,72% вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за смену, составляет 0,31 кВт·ч/т, что больше на 0,05 кВт·ч/т среднесменного удельного электропотребления [Приложение П9].

За рассматриваемый период средневзвешенное удельное электропотребление 52,34% суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет 0,22 кВт·ч/т, что меньше на 0,01 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления, равного 0,23 кВт·ч/т (табл. 3.3). При этом средневзвешенное удельное электропотребление 26,67%

суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет 0,26 кВт·ч/т, что больше на 0,03 кВт·ч/т среднесуточного удельного электропотребления [Приложение П9].

В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.9): для первой смены 0,05 кВт·ч/т, для второй смены 0,05 кВт·ч/т.

Потенциал снижения удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ на примере первой смены приведен в Приложении П11 (рис. П11.4).

#### 4.4 Выводы

1. В соответствии с разработанным вероятностно-статистическим подходом и методикой исследования энергоэффективности проведено исследование энерготехнологической результативности основных производственных процессов предприятий с открытой разработкой и обогащения угля, включая:

- добычу и отгрузку угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии, выполняемую роторными экскаваторами ЭР-2500, ЭР-1600, ЭР-1250;

- транспортную вскрышу горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по циклической технологии, выполняемую экскаваторами ЭКГ-15, ЭКГ-12,5, ЭКГ-10, ЭКГ-8;

- приемку вскрышных пород в отвалы по циклической технологии, выполняемую экскаваторами ЭШ-13/50, ЭШ-10/70, ЭКГ-10, ЭКГ-8, ЭКГ-6,3;

- производство угольного концентрата;

- погрузочно-разгрузочные работы обогатительного производства.

2. Для вышеуказанных производственных процессов определен потенциал повышения сменной производительности, составивший:

- для добычных выемочно-погрузочных работ – первая смена 4084,8 т, вторая смена 3627,1 т;

- для выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши – первая смена - 1868,8 м<sup>3</sup>, вторая смена 3348,3 м<sup>3</sup>;

- для выемочно-погрузочных работ по приемке вскрышных пород в отвалы – первая смена 3688,6 м<sup>3</sup>, вторая смена 3485,2 м<sup>3</sup>;

- для производства угольного концентрата – первая смена - 1493,2 т, вторая смена 2096,1 т;

- для погрузочно-разгрузочных работ – первая смена - 2091,0 т, вторая смена 1974,4 т.

Вышеуказанные объемы потенциала повышения сменной производительности составляют от среднемесячной производительности:

- для добычных выемочно-погрузочных работ – первая смена 16,4%, вторая смена 13,0%;

- для выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши – первая смена 8,1%, вторая смена 12,2%;

- для выемочно-погрузочных работ по приемке вскрышных пород в отвалы – первая смена 20,5%, вторая смена 15,8%;

- для производства угольного концентрата – первая смена – 21,3%, вторая смена 36,0%;

- для погрузочно-разгрузочных работ – первая смена – 17,3%, вторая смена 17,6%.

Повышение производительности обеспечит, наряду с другими выгодами, снижение удельного электропотребления за счет условно-постоянных затрат электроэнергии.

3. Определен потенциал повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления, составивший:

- для добычных выемочно-погрузочных работ – первая смена 0,12 кВт·ч/т, вторая смена 0,11 кВт·ч/т;

- для выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши – первая смена - 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup>, вторая смена 0,22 кВт·ч/м<sup>3</sup>;

- для выемочно-погрузочных работ по приемке вскрышных пород в отвалы – первая смена 0,15 кВт·ч/м<sup>3</sup>, вторая смена 0,20 кВт·ч/м<sup>3</sup>;

- для производства угольного концентрата – первая смена - 2,26 кВт·ч/т, вторая смена 4,76 кВт·ч/т;

- для погрузочно-разгрузочных работ – первая смена - 0,05 кВт·ч/т, вторая смена 0,05 кВт·ч/т.

Вышеуказанные объемы потенциала повышения энергоэффективности – снижения удельного электропотребления составляют от среднемесячного удельного электропотребления:

- для добычных выемочно-погрузочных работ – первая смена 14,8%, вторая смена 14,1%;

- для выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши – первая смена 13,0%, вторая смена 21,2%;

- для выемочно-погрузочных работ по приемке вскрышных пород в отвалы – первая смена 16,1%, вторая смена 25,0%;

- для производства угольного концентрата – первая смена – 44,3%, вторая смена 69,9%;

- для погрузочно-разгрузочных работ – первая смена – 23,8%, вторая смена 19,2%.

Результаты исследования, выполненные в четвертой главе, создают условия для поддержки работы по обеспечению и повышению энергетической эффективности, в том числе на основе улучшения оперативного управления энерготехнологической результативности основных производственных процессов предприятий угольной отрасли с открытой разработкой и по обогащению угля.



## **5 Разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности предприятий угольной отрасли**

### **5.1 Исходные положения**

Энергетическая эффективность в значительной степени обусловлена энерготехнологической результативностью основных производственных процессов, на которые приходится 75-85% потребляемых предприятиями угольной отрасли энергетических ресурсов.

Энерготехнологическая результативность характеризуется удельным энергопотреблением и определяется как разность между плановым и фактическим удельным энергопотреблением.

Управление энерготехнологической результативностью с целью ее улучшения и повышения энергоэффективности осуществляется персоналом, управляющим как техническими энергопотребляющими объектами (машинами, установками), так и организационно-производственными энергопотребляющими объектами (смены, участки).

Для повышения уровня управления энерготехнологической результативностью требуется применение процессного подхода «Планируй-Выполни-Отчитывайся-Анализируй-Улучшай», блок-схема которого приведена на рис.5.1.

Применение процессного подхода обеспечивает постоянное улучшение энерготехнологической результативности на основе повторяющегося в сменном формате указанного процесса, приводящего к повышению энергоэффективности.

Для применения вышеуказанного процессного подхода требуется оценка персонифицированной энерготехнологической результативности персонала, управляющего как техническими, так и организационно-производственными энергопотребляющими объектами.

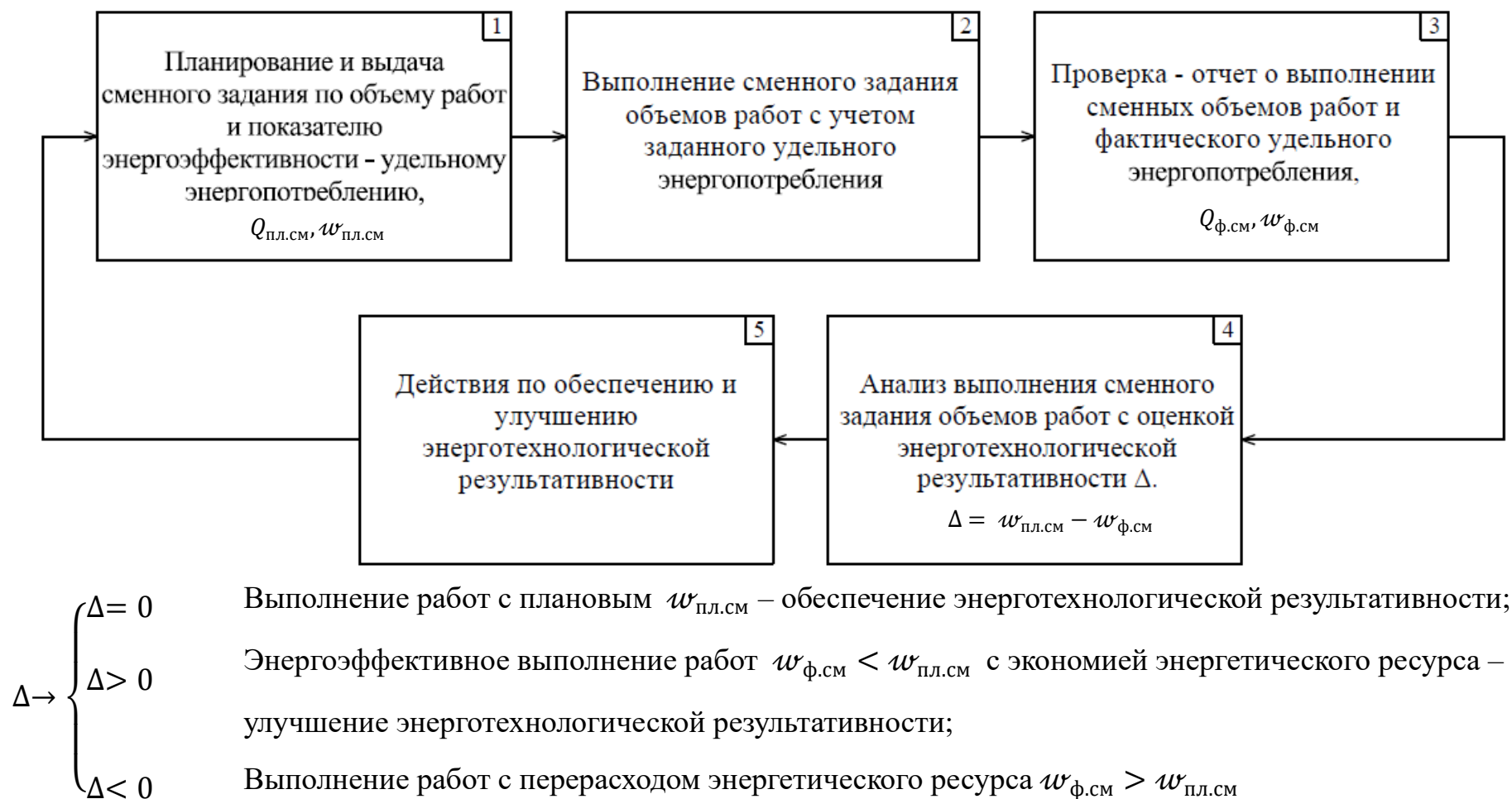


Рис. 5.1 – Блок-схема процессного подхода к управлению энерготехнологической результативности по алгоритму «Планируй-Выполняй-Отчитывайся-Анализируй-Улучшай»

## 5.2 Оценка сменной энерготехнологической результативности машинистов экскаваторов

1. Сменная энерготехнологическая результативность ( $\Delta$ ) определяется по выражению

$$\Delta w_{\text{см}} = w_{\text{пл.см}} - w_{\text{ф.см}} \quad (5.1)$$

где  $w_{\text{пл.см}}$ ,  $w_{\text{ф.см}}$  – соответственно плановое и фактическое сменное удельное электропотребление.

Энерготехнологическая результативность сменной работы машиниста экскаватора электрического оценивается в следующем порядке:

- при  $\Delta w_{\text{см}} \approx 0$  машинист экскаватора обеспечил выполнение сменной работы с плановым удельным электропотреблением - плановой энерготехнологической результативностью;

- при  $\Delta w_{\text{см}} > 0$  машинист экскаватора обеспечил выполнение сменной работы со сниженным, относительно планового, удельным электропотреблением - повышенной энерготехнологической результативностью;

- при  $\Delta w_{\text{см}} < 0$  машинист экскаватора допустил выполнение сменной работы с повышенным, относительно планового, удельным электропотреблением - пониженной энерготехнологической результативностью.

2. Алгоритм определения экономии/перерасхода финансовых затрат на электроэнергию приведен на рис.5.2.

Оценка сменной энерготехнологической результативности  $i$ -того машиниста экскаватора по экономии/перерасходу электроэнергии ( $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ см } i}$ ) в натуральном выражении определяется по выражениям для 1-й или 2-й смены

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ см } i}^1 = \Delta w_{\text{см } i}^1 \cdot Q_{\text{см ф } i}^1 = (w_{\text{пл } j} - w_{\text{см ф } i}^1) \cdot Q_{\text{см ф } i}^1, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5.2)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ см } i}^2 = \Delta w_{\text{см } i}^2 \cdot Q_{\text{см ф } i}^2 = (w_{\text{пл } j} - w_{\text{см ф } i}^2) \cdot Q_{\text{см ф } i}^2, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (5.3)$$

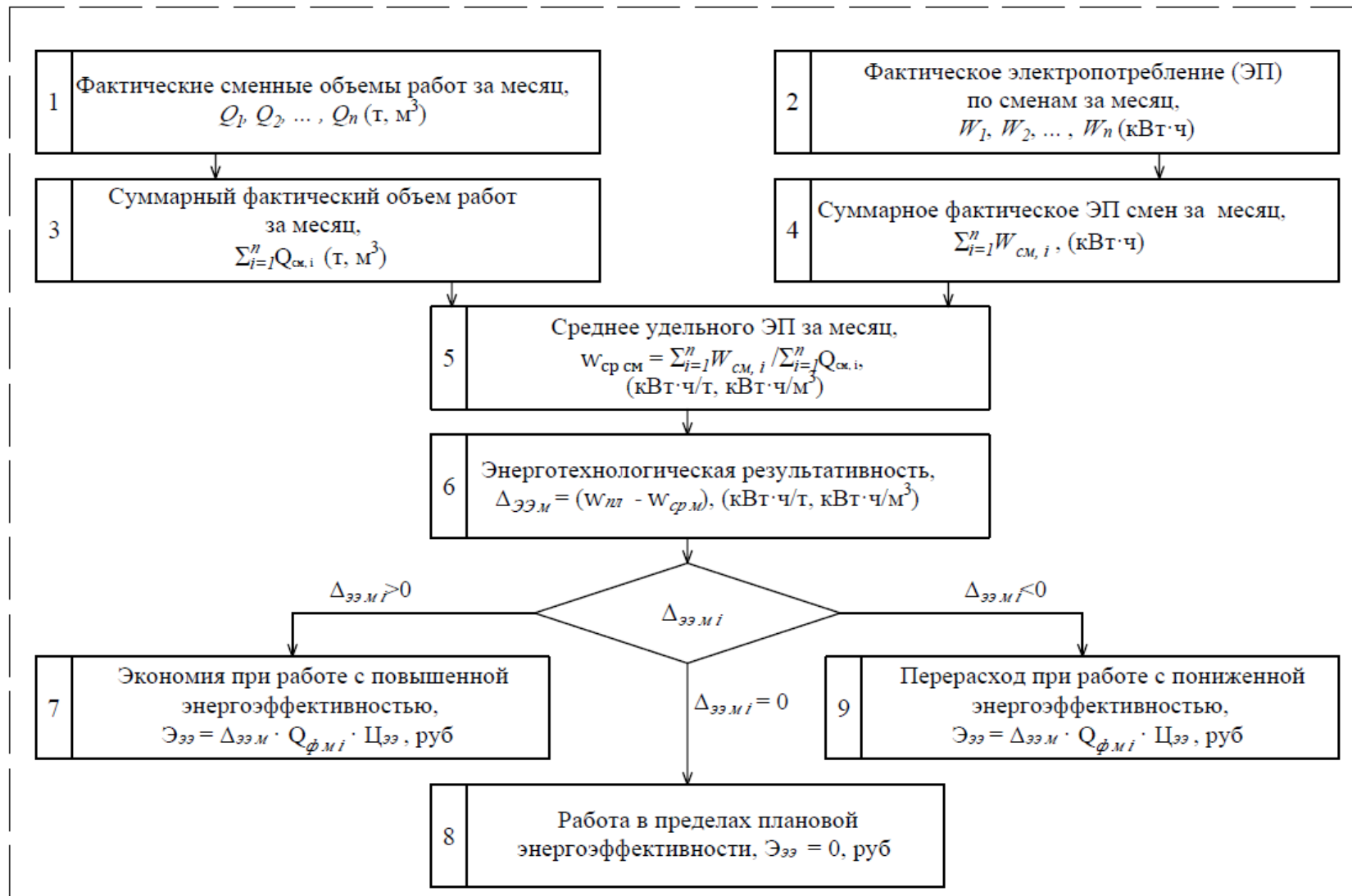


Рис. 5.2 – Алгоритм определения экономии/перерасхода финансовых затрат на электроэнергию выемочно-погрузочных работ производственных процессов

где:  $Q_{см\ \phi\ i}^1, Q_{см\ \phi\ i}^2$  – фактический объем работы, выполненный  $i$ -тым машинистом экскаватора в 1-ю или 2-ю смену, ( $м^3$ );

$w_{пл\ j}$  – плановое удельное электропотребление  $j$ -го экскаватора, на котором отработал в 1-ю или 2-ю смену  $i$ -тый машинист,  $кВт\cdotч/м^3$ ;

$w_{см\ \phi\ i}^1, w_{см\ \phi\ i}^2$  – фактическое удельное электропотребление, с которым  $i$ -тый машинист отработал в 1-ю или 2-ю смену,  $кВт\cdotч/м^3$ .

3. Оценка сменной энерготехнологической результативности  $i$ -того машиниста экскаватора по экономии/перерасходу электроэнергии ( $\mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi\ см\ i}$ ) в финансовом выражении определяется по выражениям для 1-й или 2-й смены

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi\ см\ i}^1 = \mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi\ см\ i}^1 \cdot \mathcal{C}_{\mathcal{E}\mathcal{E}}, \text{ руб,} \quad (5.4)$$

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi\ см\ i}^2 = \mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi\ см\ i}^2 \cdot \mathcal{C}_{\mathcal{E}\mathcal{E}}, \text{ руб,} \quad (5.5)$$

где  $\mathcal{C}_{\mathcal{E}\mathcal{E}}$  – тариф на электроэнергию,  $руб/кВт\cdotч$ .

Энерготехнологическая результативность машинистов экскаваторов электрических, отработавших в 1-ю или 2-ю смену, по экономии/перерасходу электроэнергии в натуральном и финансовом выражении определяется по формулам (5.2)-(5.5).

4. Обеспечение и повышение энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ.

На основе показателей сменной энерготехнологической результативности  $i$ -го машиниста экскаватора, ответственный персонал, управляющий выемочно-погрузочными работами (например, сменный мастер или начальник участка), для смен, где наблюдается снижение энерготехнологической результативности ( $\Delta < 0$ ), проводит детальный анализ. В ходе данного анализа выявляются факторы, условия и обстоятельства, которые способствовали увеличению удельного электропотребления по сравнению с запланированными нормами.

Кроме того, разрабатываются и реализуются мероприятия, направленные на устранение или минимизацию воздействия этих факторов, с

целью достижения запланированной или улучшенной энерготехнологической результативности в последующих сменах.

Действия персонала на основе вышеприведенного процессного подхода обеспечивают в сменном формате плановую или улучшенную энерготехнологическую результативность ВПР, приводящую к повышению энергоэффективности.

### **5.3 Оценка энерготехнологической результативности персонала, в ведении которого выемочно-погрузочные работы**

1. К персоналу, в ведении которого ВПР, относятся сменные горные мастера и начальники горных участков.

2. Энерготехнологическая результативность ВПР, выполняемых экскаваторами в 1-ю или 2-ю смену, которой руководит сменный горный мастер, по экономии/перерасходу электроэнергии за месяц ( $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м } p}^{1,2}$ ) в натуральном выражении определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м}}^{1,2} = \sum_1^{n^{1,2}} [(w_{\text{пл } j} - w_{\text{ф м } j}^{1,2}) \cdot Q_{\text{ф м } j}^{1,2}], \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (5.6)$$

где  $w_{\text{пл } j}$  – плановое удельное электропотребление  $j$ -го экскаватора, кВт·ч/м<sup>3</sup>;

$w_{\text{ф м } j}^{1,2}$  – фактическое удельное электропотребление  $j$ -го экскаватора в 1-ю или 2-ю смену за месяц, кВт·ч/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{ф м } j}^{1,2}$  – фактический объем работы  $j$ -го экскаватора в 1-ю или во 2-ю смену за месяц, (м<sup>3</sup>);

$n^{1,2}$  – количество экскаваторов в 1-й или 2-й смене  $p$ -того участка,

$$j = 1, 2, \dots, n.$$

3. Энерготехнологическая результативность ВПР, выполняемых экскаваторами в 1-ю или 2-ю смену, которой руководит сменный горный мастер, по экономии/перерасходу электроэнергии за месяц ( $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ ф м } p}^{1,2}$ ) в финансовом выражении определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}_m}^{1,2} = \sum_1^{n^{1,2}} [(w_{\text{пл } j} - w_{\text{ф } m j}^{1,2}) \cdot Q_{\text{ф } m j}^{1,2}] \cdot \text{Ц}_{\text{ЭЭ}}, \text{ руб}, \quad (5.7)$$

где  $\text{Ц}_{\text{ЭЭ}}$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Энерготехнологическая результативность сменных горных мастеров, ведущих ВПР, за месяц по экономии/перерасходу электроэнергии в натуральном и финансовом выражении определяется по формулам (5.6), (5.8).

4. Энерготехнологическая результативность ВПР начальника  $p$ -того горного участка за месяц по экономии/перерасходу электроэнергии в натуральном выражении определяется на основании (5.6) по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ}_m p} = \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}_m}^1 + \mathcal{E}_{\text{ЭЭ}_m}^2, \text{ кВт}\cdot\text{ч}. \quad (5.8)$$

Энерготехнологическая результативность ВПР начальника  $p$ -того горного участка за месяц по экономии/перерасходу электроэнергии в финансовом выражении определяется на основании (5.8) по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}_m p} = \mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}_m}^1 + \mathcal{E}_{\text{ЭЭФ}_m}^2, \text{ руб}. \quad (5.9)$$

Энерготехнологическая результативность начальников горных участков, ведущих ВПР, за месяц по экономии/перерасходу электроэнергии в натуральном и финансовом выражении, определяется по формулам (5.9), (5.10).

5. Приведенные оценки поддерживают работу по обеспечению и улучшению энерготехнологической результативности ВПР для повышения энергоэффективности.

6. Для сменных мастеров и начальников участков обогатительных работ оценка энерготехнологической результативности проводится по аналогии с оценкой энерготехнологической результативности для горных мастеров и начальников горных участков.

#### **5.4 Цифровая поддержка анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов**

Цифровая поддержка (Приложение П12) анализа энерготехнологической результативности обеспечивается разработанным программным кодом для:

- проверки исходных статистических рядов энерготехнологических показателей на наличие «выбросов» по критерию Граббса выражение (2.2);
- формирования таблиц упорядоченных статистических рядов энерготехнологических показателей основных производственных процессов (табл.2.1);
- формирования таблиц статистических характеристик энерготехнологических показателей;
- анализа энерготехнологической результативности объемов, полного и удельного электропотребления выемочно-погрузочных работ.

Цифровая поддержка анализа энерготехнологической результативности обогатительных работ проводится с применением программного кода по аналогии с ВПР.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Разработаны методические принципы исследования энергоэффективности с учетом энерготехнологической результативности производственных процессов.

2. Разработана методика исследования энергоэффективности предприятий угольной отрасли, обеспечивающая выполнение исследований: энерготехнологических показателей с определением их статистических характеристик, установлением вероятностных моделей и получением энерготехнологических профилей; энерготехнологической результативности производственных процессов.

3. Определены статистические характеристики, установлены вероятностные модели энерготехнологических показателей, получены энерготехнологические профили циклично-поточной технологии добычи и погрузки угля в ж/д транспорт, циклических технологий транспортной вскрыши и приемки вскрышных пород в отвалы.

4. Определены статистические характеристики, установлены вероятностные модели энерготехнологических показателей, получены энерготехнологические профили производства угольного концентрата и погрузочно-разгрузочных работ.

5. Для выемочно-погрузочных и обогатительных работ на основании полученных коэффициентов эластичности зависимостей электропотребления от объемов работ определены значения: повышения/уменьшения электропотребления в % при повышении/уменьшении объема работ на 1%; снижения/повышения удельного электропотребления при повышении/уменьшении объема работ на 1%.

6. Обоснован и применен вероятностно-статистический подход к исследованию энерготехнологической результативности производственных процессов.

7. Разработан метод анализа энерготехнологической результативности с оценкой потенциалов повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления.

8. Определены потенциалы повышения сменной производительности и энергоэффективности – снижения удельного электропотребления выемочно-погрузочных и обогатительных работ.

9. Внедрение основных результатов работы приводят к следующим эффектам: повышению энергоэффективности предприятий по добыче и обогащению угля (Приложение П13); разработке учебно-методических материалов для подготовки бакалавров, специалистов и магистров по направлениям «Электроэнергетика и электротехника», «Горное дело».

Перспективы дальнейшей разработки темы исследований связаны с разработкой научно-технических и организационных решений по переводу повышения энергоэффективности с существующего инерционного на инновационный сценарий.

## Список литературы

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р). [Электронный ресурс]. url: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (дата обращения: 15.10.2023).
2. Отечественный стандарт ИСО 50001-2023 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению». [Электронный ресурс]. url: <https://docs.cntd.ru/document/1200195836/> (дата обращения: 15.10.2023).
3. 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 (последняя редакция). [Электронный ресурс]. url: <https://docs.cntd.ru/document/902186281/> (дата обращения: 15.10.2023).
4. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 09 сентября 2023 г. №1473 с изменениями на 13 октября 2022 года). [Электронный ресурс]. url: <https://docs.cntd.ru/document/565123539/> (дата обращения: 15.10.2023).
5. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 июня 2020 г. № 1582-р). [Электронный ресурс]. url: <https://docs.cntd.ru/document/565123539/> (дата обращения: 15.10.2023).
6. Комплексный план мероприятий по повышению энергетической эффективности экономики Российской Федерации (утвержден распоряжением Правительства РФ от 19 апреля 2018 г. № 703-р). [Электронный ресурс]. url: <https://docs.cntd.ru/document/557244354/> (дата обращения: 15.10.2023).
7. 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.

8. Авилов-Карнаухов Б.Н., Зюбровский Л.Г. Экономия электроэнергии на рудообогатительных фабриках. – М.: Недра, 1987. – 160 с.

9. 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.

10. Аракелов В.Е., Кремер А.И. Методические вопросы экономии энергоресурсов. – М., Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.

11. Белых Б.П. Электрические нагрузки и электропотребление на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1971. – 440 с.

12. Белых Б.П., Свердель И.С., Олейников В.К., Электрические нагрузки электропотребления на горнорудных предприятиях. – М.: Недра, 1971. – 247 с.

13. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Изд-во «Статистика», 1980. – 265 с.

14. 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.

15. Богоявленский А.И., Бернер М.С., Матюнин Ю.В. Информационное обеспечение энергетического менеджмента // Промышленная энергетика. – 2013. – №8. – С. 12-15.

16. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 415 с.

17. Боровиков А.А. Математическая статистика. – М.: Наука, 1984. – 472 с.

18. Боровиков В.П. STATISTIKA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. – СПб: Питер, 2003. – 698 с.
19. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA - Статистический анализ и обработка данных в среде Windows. Изд. 2-е. – М.: Филинь, 1998. – 608 с.
20. Вагин Г.Я. К вопросу о повышении энергоэффективности промышленных предприятий // Промышленная энергетика. – 2013. – №5. – С. 2-6.
21. 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.
22. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. – Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. – 296 с.
23. Вейц В.И. Экономия электроэнергии в промышленности. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1947. – 208 с.
24. Венецкий И.Г. Основы теории вероятности и математической статистики. – М.: Изд-во «Статистика», 1968. – 360 с.
25. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные решения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
26. Волобринский С.Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1976. – 127 с.
27. Волошин С.М. Система мониторинга и управление энергопотреблением // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – №2 (12). – С. 9-16.
28. Гладилин А.В., Герасимов А.Н., Громов Е.Н. Эконометрика. – М.: Кнорус, 2006. – 232 с.
29. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.

30. Гордеев В.И., Васильев И.Е., Щуцкий В.И. Управление электропотреблением и его прогнозирование. – Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 1991. – 104 с.
31. Горлов А.Н. Управление энергопотреблением на промышленных предприятиях с использованием системного энергоменеджмента. – Курск.: Известия Юго-западного государственного университета, 2014.
32. Гофман В.М., Миновский Ю.П. Регулирование электропотребления и экономия электроэнергии на угольных шахтах. – М.: Недра, 1988. – 190 с.
33. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. – М.Л.: Энергия, 1966. – 320 с.
34. Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 151 с.
35. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
36. Дьяков А.Ф., Жуков В.В., Б.К. Максимов, И.И. Левченко. Менеджмент в электроэнергетике. – М.: Изд-во МЭП, 2000. – 446 с.
37. Дьячков Н. Б. Повышение энергоэффективности алмазодобывающих предприятий на основе программно-аналитического управления энергоресурсами: дис. – М.: : автореф. дис.... канд. техн. наук, 2012.
38. Елисеева И.И., Рукавишников В.О. Логика прикладного статистического анализа. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 191 с.
39. Жернаков А.П., Акимов В.Д, Алексеев В.В. Экономия топливно-энергетических ресурсов при геологоразведочных работах. – М.: ЗАО «Геоинформмак», 2000. – 317 с.
40. 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.

41. 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.
42. Ключев Ю.Б. Планирование электропотребления на промышленном предприятии. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.
43. Константинов Б.А. О применении математических методов при нормировании электроэнергии в промышленности // Электричество. – 1964. – №1. – С. 66.
44. Копцев Л.А. Обоснованное нормирование потребления энергоресурсов –инструмент повышения экономической эффективности работы промышленного предприятия // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2012. – № 1. – С. 19-24.
45. Копцев Л.А. Управление загрузкой технологических агрегатов с целью сокращения энергозатрат // Сталь. – 2011. – № 9. – С. 73-77.
46. Копцев Л.А., Копцев А.Л. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии на промышленном предприятии // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – С. 18-23.
47. Копытов Ю.В., Чуланов Б.А. Экономия электроэнергии в промышленности: Справочник. – М.: Энергия, 1978. – 120 с.
48. Кудрин Б.И. О теоретических основах и практике нормирования и энергосбережения // Промышленная энергетика. – 2006. – № 6. – С. 33-36.
49. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия по энергосбережению. Книга 1. – М.: “Теплоэнергетик”, 2002. – 688 с.
50. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия по энергосбережению. Книга 2. – М.: “Теплоэнергетик”, 2002. – 670 с.
51. Ляхомский А.В. Исследование электрических нагрузок на базе многоуровневой кластеризации // Изв. вузов. «Электромеханика». – 1989. – №5. – С. 126-128.

52. 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.

53. Ляхомский А. В., Кутепова Е. Н., Шадрин А. А. Вероятностно-статистический анализ энерготехнологической результативности производственных процессов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2025. – №. 1. – С. 45-50.

54. 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.

55. Ляхомский А.В. Математическое моделирование электропотребления горных предприятий // Изв. вузов. Электромеханика. – 1986. – №12 – с.15-17.

56. 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.

57. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Методические принципы исследования энергоэффективности предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 8. – С. 340-342.

58. 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.

59. 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.

60. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н. Оценка уровня управления энергоресурсами горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 306-308.

61. 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.

62. Ляхомский А. В., Перфильева Е. Н., Кутепов А. Г. Анализ деятельности организаций угольной отрасли по обеспечению повышения энергоэффективности // Уголь. – 2021. – №. 4 (1141). – С. 32-36.

63. 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.

64. Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Петухов С.В. Энерготехнологические характеристики экскаваторов на открытых горных работах // Вестник Энергоэффективности. – 2013. – №2. – С. 25-29.

65. 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.

66. 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.

67. Ляхомский А. В., Петухов С. В., Перфильева Е. Н. Прогнозирование энергообеспечения предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №. S1. – С. 430-434.

68. Ляхомский А.В., Петухов С.В., Кузнецов А.И. Энергетические профили экскаваторных работ при разработке угольных месторождений // Горная электромеханика и электрооборудование. – 2017.

69. Ляхомский А. В. Развитие теории и совершенствование методов повышения эффективности применения электроэнергии на горных предприятиях : дис. – М. : Автореф. дис.... докт. техн. наук, 1990.

70. Ляхомский А.В. Сезонные модели электропотребления горных предприятий // Изв. вузов «Горный журнал». – 1988. – №2. – С. 81-84.

71. 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.

72. 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.

73. Ляхомский А.В., Скоробогатов А.В. Энергоменеджмент на горных предприятиях // Сб. «Энергосбережение на промышленных предприятиях». – Магнитогорск, 2000. – с. 232-233.

74. 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.

75. Перфильева Е. Н. Повышение энергоэффективности горных предприятий на основе управления энергетическими ресурсами: дисс.... канд. техн. наук //М.: Московский гос. горный ун-т. – 2007.
76. Петухов С. В. Исследование электропотребления и разработка рекомендаций по повышению энергоэффективности горных работ предприятий с открытой разработкой угля: дисс.... канд. техн. наук //М.: ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС». – 2019.
77. Праховник А.В., Розен В.П., Дегтярев В.В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. – М., Недра, 1985. – 232 с.
78. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 495 с.
79. Резник А.Д., Резник Д.А. Элементарное введение в статистику (от практики к теории). – М.: Горячая линия - Телеком, 2016. – 358 с.
80. Руководящий технический материал РТМ 48.19-6.02-89. Инструкция по нормированию расхода электроэнергии на горных предприятиях цветной металлургии. – М., 1989. – 124 с.
81. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Изд-во «Наука», 1971. – 192 с.
82. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. – М.: «Высш. школа», 1973. – 287 с.
83. Сальников А.Х., Шевченко Л.А. Нормирование потребления и экономии топливно-энергетических ресурсов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
84. Шторм Р. Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
85. 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.

86. 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.

87. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Определение перспективных нагрузок в условиях неполной информации // Колыма. – 1985. – №4-5. – С. 45-49.

88. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Ковальчук Н.А. Режимы нагрузок электроприемников приисков // Колыма. – 1984. – №9. – С. 27-29.

89. Щуцкий В.И., Ляхомский А.В., Крицевый Ю.Ф. Прогнозирование электропотребления с учетом климато-метеорологических условий // Изв. вузов «Энергетика». – 1989. – №10. – С. 34-36.

90. Эренберг А. Анализ и интерпретация статистических данных. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 406 с.

91. ISO 50001:2018 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по их применению».

## **Приложение П1**

**Проверка исходных статистических рядов энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления)**

Таблица – Результаты проверки на наличие «выбросов» по критерию Граббса в исходных статистических рядах удельного электропотребления

<b>Добыча и погрузка угля в ж/д транспорт по циклично-поточной технологии</b>								
<b>№ п/п</b>	<b>Приближение</b>	$\bar{w}$	$\sigma$	$w_{max}$	$w_{min}$	$G_1$	$G_2$	$G_T$
Смена 1								
1	Первое	0,81	0,12	1,10	0,59	2,35	2,02	2,92
Смена 2								
2	Первое	0,80	0,12	1,15	0,66	3,08	1,28	2,92
3	Второе	0,78	0,08	0,96	0,66	2,44	1,62	2,89
Сутки								
4	Первое	0,79	0,09	1,02	0,64	2,59	1,8	2,92
<b>Транспортная вскрыша горной породы с погрузкой в ж/д транспорт по цикличной технологии</b>								
<b>№ п/п</b>	<b>Приближение</b>	$\bar{w}$	$\sigma$	$w_{max}$	$w_{min}$	$G_1$	$G_2$	$G_T$
Смена 1								
5	Первое	1,15	0,13	1,46	0,90	2,39	2,02	2,92
Смена 2								
6	Первое	1,04	0,14	1,43	0,66	2,67	2,77	2,92
Сутки								
7	Первое	1,09	0,12	1,36	0,78	2,24	2,63	2,92
<b>Приемка вскрышных пород в отвалы по цикличной технологии</b>								
<b>№ п/п</b>	<b>Приближение</b>	$\bar{w}$	$\sigma$	$w_{max}$	$w_{min}$	$G_1$	$G_2$	$G_T$
Смена 1								
8	Первое	0,92	0,19	1,25	0,35	1,72	2,99	2,92
9	Второе	0,94	0,17	1,25	0,63	1,90	1,90	2,91
Смена 2								
10	Первое	0,85	0,22	1,54	0,40	3,15	2,10	2,92
11	Второе	0,83	0,18	1,13	0,40	1,63	2,39	2,91
Сутки								
12	Первое	0,88	0,19	1,37	0,40	2,63	2,52	2,92

**Приложение П2**  
**Упорядоченные статистические ряды энерготехнологических**  
**показателей выемочно-погрузочных работ**

Таблица П2.1 – Упорядоченные исходные статистические ряды энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ добычи угля

№ п/п	Энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ добычи угля								
	Объемы работ, т			Потребление электроэнергии, кВт·ч			Удельное электропотребление, кВт·ч/т		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	17461,0	21105,0	41368,0	15599,0	15339,0	32749,0	0,59	0,66	0,64
2	18257,0	22857,0	44070,0	17410,0	18657,0	34256,0	0,66	0,67	0,67
3	19971,0	23907,0	45578,0	18029,0	18894,0	36985,0	0,67	0,69	0,7
4	20274,0	24277,0	46744,0	18091,0	19357,0	37589,0	0,69	0,7	0,71
5	21133,0	24288,0	47203,0	18232,0	19393,0	37964,0	0,71	0,71	0,72
6	22368,0	24694,0	47316,0	18289,0	19426,0	38429,0	0,71	0,71	0,72
7	23085,0	25304,0	48088,0	18581,0	19537,0	38779,0	0,71	0,72	0,72
8	23291,0	25548,0	48633,0	18587,0	19675,0	39520,0	0,72	0,73	0,74
9	23476,0	25779,0	49734,0	18629,0	20033,0	39661,0	0,75	0,73	0,74
10	23580,0	25813,0	50128,0	18686,0	20107,0	40010,0	0,76	0,74	0,75
11	23714,0	26066,0	50212,0	18780,0	20109,0	40208,0	0,78	0,75	0,75
12	23887,0	26123,0	50251,0	18892,0	20527,0	40325,0	0,78	0,75	0,76
13	24128,0	26818,0	50845,0	18947,0	20740,0	40508,0	0,78	0,75	0,76
14	24146,0	26955,0	51049,0	19225,0	20919,0	40774,0	0,79	0,76	0,77
15	24349,0	27232,0	51483,0	19353,0	21004,0	41539,0	0,8	0,77	0,78
16	24467,0	27907,0	52440,0	19628,0	21429,0	41955,0	0,8	0,79	0,78
17	24664,0	28681,0	52611,0	19855,0	22479,0	41965,0	0,81	0,79	0,79
18	24665,0	28714,0	53048,0	20216,0	22524,0	42199,0	0,84	0,8	0,8
19	25040,0	28952,0	54042,0	20241,0	22853,0	42346,0	0,85	0,8	0,8
20	25141,0	28964,0	54862,0	20815,0	23150,0	42600,0	0,85	0,8	0,8
21	25501,0	30034,0	55378,0	21195,0	23399,0	42724,0	0,88	0,81	0,84
22	26110,0	30328,0	55535,0	21438,0	23545,0	42770,0	0,89	0,81	0,84
23	26148,0	30407,0	55739,0	21829,0	23774,0	43391,0	0,91	0,82	0,84
24	26426,0	30473,0	55875,0	21848,0	23971,0	45234,0	0,91	0,83	0,86
25	26514,0	31211,0	56704,0	22223,0	24137,0	45619,0	0,91	0,87	0,87
26	27006,0	33124,0	56733,0	22553,0	24333,0	46556,0	0,92	0,88	0,89
27	28334,0	33442,0	57479,0	22617,0	24350,0	47527,0	0,94	0,9	0,9
28	29740,0	34463,0	60220,0	22688,0	25738,0	47567,0	0,96	0,94	0,91
29	31451,0	35753,0	60573,0	23177,0	28105,0	48154,0	0,96	0,96	0,93
30	33606,0	-	66569,0	25043,0	-	48817,0	1,08	-	0,96
31	36162,0	-	67212,0	25630,0	-	50793,0	1,1	-	1,02
Итого	774095,0	809219,0	1637722,0	626326,0	627504,0	1299513,0	-	-	-



Таблица П2.2 – Упорядоченные исходные статистические ряды энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши горной породы

№ п/п	Энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши горной породы								
	Объемы работ, м <sup>3</sup>			Потребление электроэнергии, кВт·ч			Удельное электропотребление, кВт·ч/м <sup>3</sup>		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	18450,0	22374,0	43832,0	20582,0	22520,9	45429,5	0,90	0,66	0,78
2	18612,0	24277,0	46019,0	21870,4	24309,0	46453,6	0,97	0,82	0,92
3	19241,0	24743,0	46044,0	22867,0	24583,1	47475,0	1,00	0,85	0,93
4	19555,0	24863,0	46639,0	22908,6	24608,0	49304,8	1,00	0,85	0,94
5	20219,0	24944,0	46698,0	23369,0	25157,0	49568,0	1,02	0,92	0,94
6	20352,0	25129,0	46777,0	23898,7	25209,8	50221,0	1,03	0,95	0,99
7	20536,0	25204,0	47653,0	23950,0	25273,0	50871,4	1,04	0,97	1,00
8	21642,0	25667,0	47674,0	24358,2	25578,5	52164,0	1,05	0,97	1,00
9	21896,0	26167,0	48133,0	24642,5	26589,0	52433,7	1,06	0,98	1,01
10	22376,0	26478,0	48566,0	24995,8	26921,4	52826,6	1,11	0,99	1,04
11	22658,0	26581,0	48630,0	25409,3	27857,0	52886,0	1,11	1,02	1,07
12	22709,0	26602,0	49060,0	25593,5	27911,6	53262,1	1,12	1,02	1,08
13	22710,0	26982,0	49260,0	26237,6	28255,2	53266,3	1,12	1,03	1,09
14	22719,0	26992,0	49449,0	26471,4	28453,8	53343,0	1,13	1,04	1,09
15	22872,0	27138,0	49692,0	26867,9	28535,0	54216,3	1,14	1,04	1,11
16	23096,0	27166,0	50294,0	27183,7	28622,8	54726,6	1,15	1,05	1,13
17	23282,0	27198,0	50317,0	27211,0	28760,0	55287,3	1,16	1,07	1,13
18	23362,0	27418,0	50503,0	27310,8	29272,0	55776,8	1,17	1,10	1,14
19	23782,0	27449,0	50541,0	27323,0	29402,9	56070,8	1,17	1,12	1,15
20	23839,0	27515,0	50589,0	27375,7	29505,3	56270,8	1,19	1,12	1,15
21	24114,0	27594,0	51144,0	27729,0	29581,6	56455,7	1,19	1,13	1,15
22	24194,0	27784,0	51362,0	27927,7	29974,0	57662,5	1,20	1,13	1,16
23	24227,0	28086,0	51709,0	27989,1	30101,0	58028,7	1,22	1,13	1,16
24	24403,0	28165,0	52033,0	28108,0	30497,0	58035,0	1,24	1,14	1,16
25	24563,0	28411,0	52483,0	28157,2	30824,0	58605,0	1,29	1,14	1,17
26	24867,0	28551,0	52665,0	28390,5	31301,9	59410,1	1,29	1,15	1,18
27	25034,0	28567,0	52794,0	28426,6	31582,0	59728,5	1,30	1,17	1,22
28	25460,0	28892,0	53445,0	29328,6	31790,0	60180,5	1,30	1,18	1,24
29	26499,0	30083,0	54425,0	29550,7	32287,0	61837,7	1,33	1,19	1,24
30	27145,0	30573,0	57228,0	29828,5	34132,0	64898,6	1,40	1,21	1,26
31	27433,0	43150,0	66932,0	32294,0	35570,0	66426,0	1,46	1,43	1,36
Итого	711847,0	850743,0	1562590,0	818155,8	884965,8	1703121,6	-	-	-

Таблица П2.3 – Упорядоченные исходные статистические ряды энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ приемки вскрышных работ в отвалы

№ п/п	Энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ приемки вскрышных работ в отвалы								
	Объемы работ, м <sup>3</sup>			Потребление электроэнергии, кВт·ч			Удельное электропотребление, кВт·ч/м <sup>3</sup>		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	11556,0	16247,0	24647,0	7528,0	9089,0	16617,0	0,63	0,40	0,40
2	13078,0	16826,0	28819,0	10930,0	13634,0	24564,0	0,65	0,46	0,58
3	13243,0	17263,0	30538,0	14050,0	14147,0	28239,0	0,71	0,53	0,58
4	13675,0	17288,0	31479,0	14726,0	14189,0	30886,0	0,74	0,56	0,66
5	14653,0	17460,0	33121,0	14863,0	14799,0	31779,0	0,78	0,65	0,67
6	15133,0	17740,0	34238,0	15492,0	15394,0	32330,0	0,78	0,68	0,68
7	15802,0	17928,0	34943,0	15735,0	15870,6	32340,0	0,79	0,71	0,71
8	16103,0	19141,0	35700,0	16084,0	16136,0	32809,0	0,80	0,74	0,80
9	16874,0	19319,0	35736,0	16275,0	17099,0	32884,0	0,82	0,77	0,80
10	17187,0	19439,0	36285,0	16444,0	17372,1	33838,0	0,83	0,80	0,80
11	17292,0	19555,0	36611,0	16488,0	17484,0	34029,6	0,86	0,81	0,83
12	17376,0	19733,0	36931,0	16748,0	17604,0	34160,0	0,87	0,82	0,85
13	17401,0	20388,0	37076,0	16981,0	17622,0	34232,0	0,92	0,83	0,85
14	17586,0	20563,0	38467,0	17061,0	17966,0	34472,0	0,93	0,84	0,87
15	17996,0	20973,0	40299,0	17096,0	18088,0	34508,0	0,94	0,84	0,88
16	18157,0	21152,0	40449,0	17213,5	18148,0	34585,6	0,95	0,84	0,89
17	18412,0	21354,0	40608,0	17290,0	18166,0	34648,0	0,97	0,86	0,90
18	18602,0	21677,0	40903,0	17628,0	18204,0	34654,0	0,98	0,86	0,92
19	18622,0	21710,0	41054,0	17632,0	18253,0	35234,0	0,99	0,88	0,92
20	19095,0	21900,0	41168,0	17669,0	18737,0	35931,0	1,01	0,89	0,93
21	19458,0	22694,0	41651,0	17844,0	19047,0	36171,0	1,06	0,92	0,95
22	19833,0	22962,0	41733,0	17900,9	19075,0	36337,0	1,07	0,92	0,95
23	20535,0	23022,0	41829,0	18010,0	19180,7	36989,0	1,09	0,93	0,97
24	20539,0	23227,0	42332,0	18159,0	19399,0	37243,0	1,09	0,95	0,99
25	20876,0	23494,0	42987,0	18447,0	19645,0	37600,9	1,09	0,98	1,00
26	21464,0	23867,0	43570,0	18767,0	19700,0	37665,0	1,12	1,03	1,03
27	22569,0	25205,0	45531,0	18860,0	20037,0	38433,0	1,13	1,08	1,06
28	22599,0	26571,0	47106,0	18901,0	20397,0	38689,0	1,14	1,08	1,10
29	22599,0	38468,0	47929,0	19691,0	20764,0	38871,7	1,23	1,12	1,10
30	22724,0	44159,0	61560,0	20723,0	21251,0	39257,0	1,25	1,13	1,13
31	-	-	80508,0	-	-	40018,0	-	-	1,37
Итого	541039,0	661325,0	1255808,0	501236,5	526497,4	1060014,8	-	-	-

## **Приложение ПЗ**

**Вероятностные законы распределения объемов работ и удельного  
электропотребления выемочно-погрузочных добычных, вскрышных  
работ и приемки вскрышных пород в отвалы**

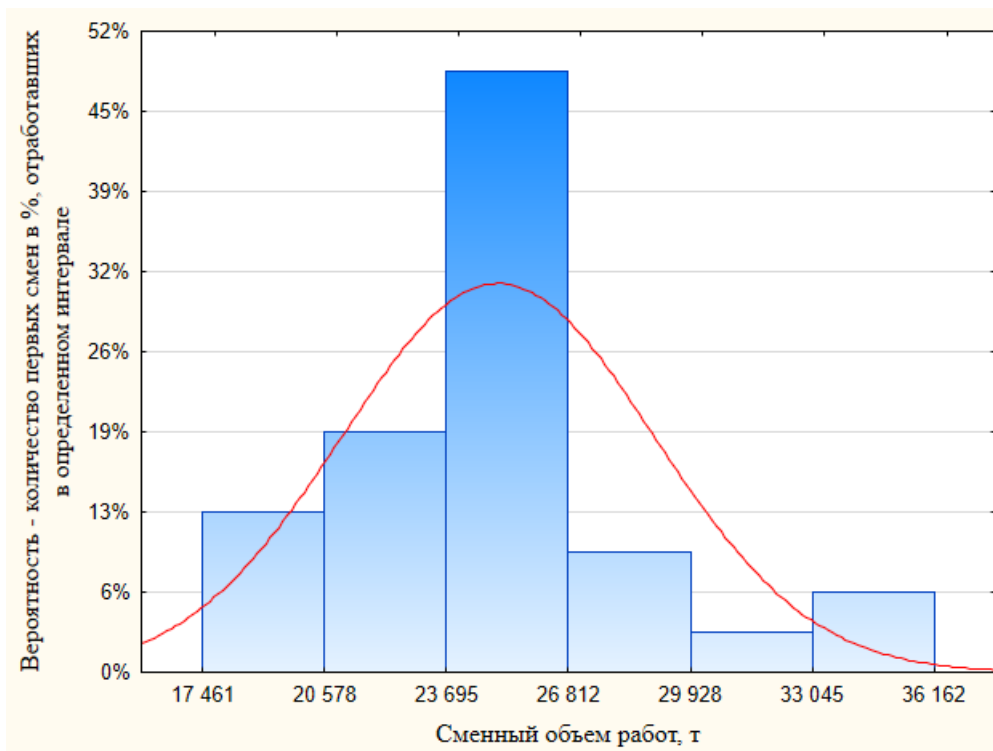


Рис. ПЗ.1 - Количество первых смен в %, отработавших с объемом работ добычи и погрузки угля в определенном интервале

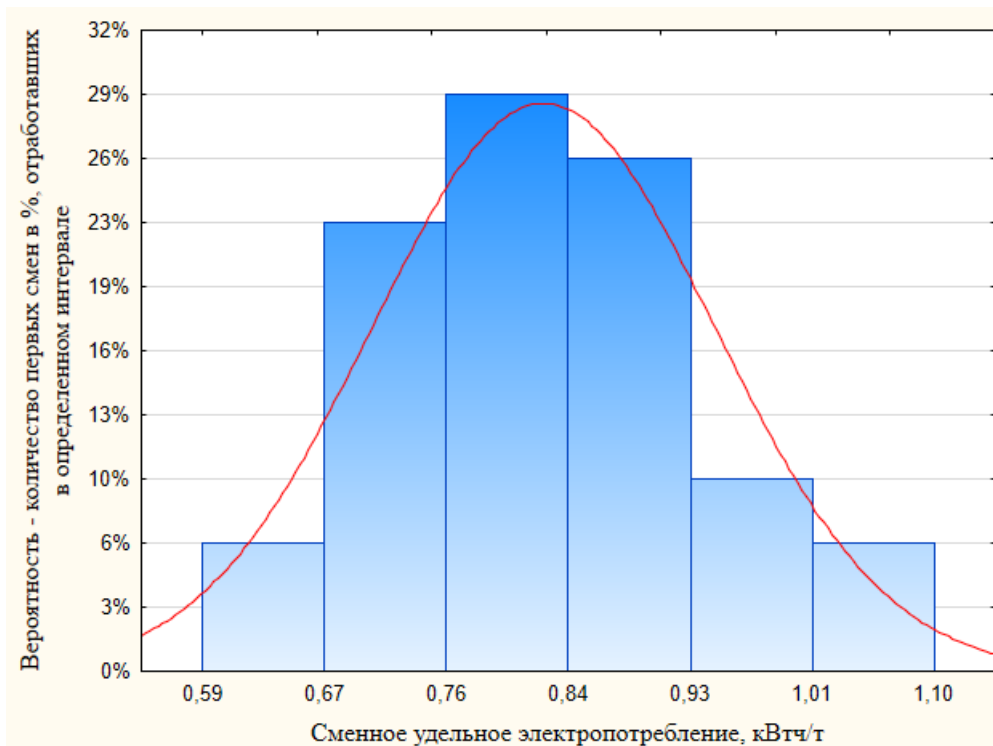


Рис. ПЗ.2 - Количество первых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением добычи и погрузки угля в определенном интервале

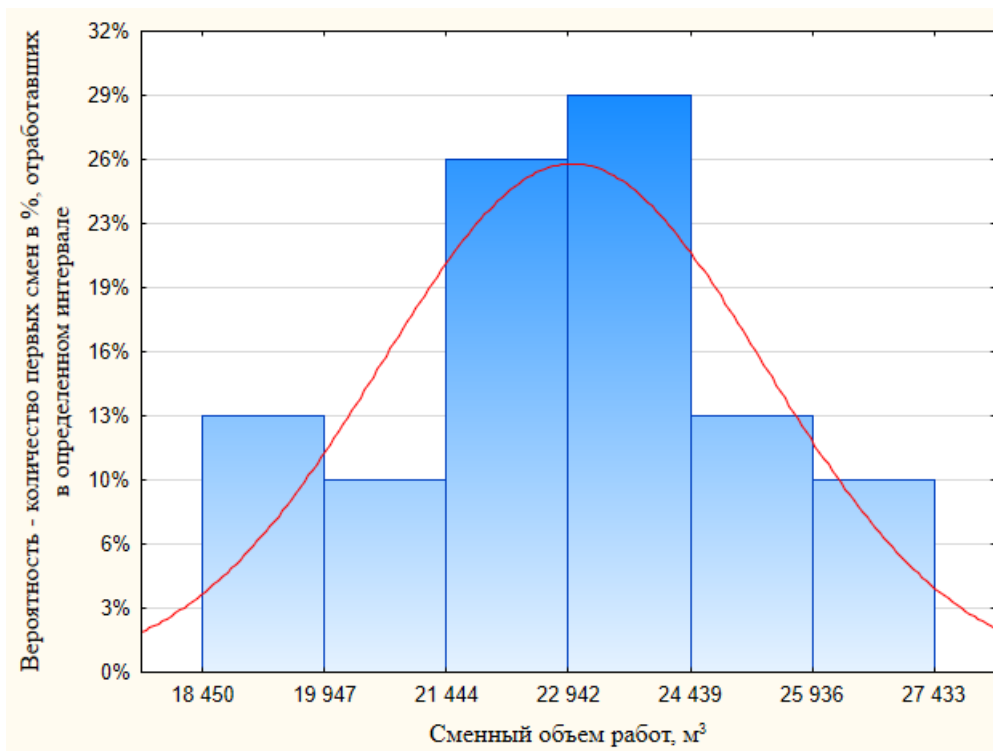


Рис. ПЗ.3 - Количество первых смен в %, отработавших с объемом работ транспортной вскрыши горной породы в определенном интервале

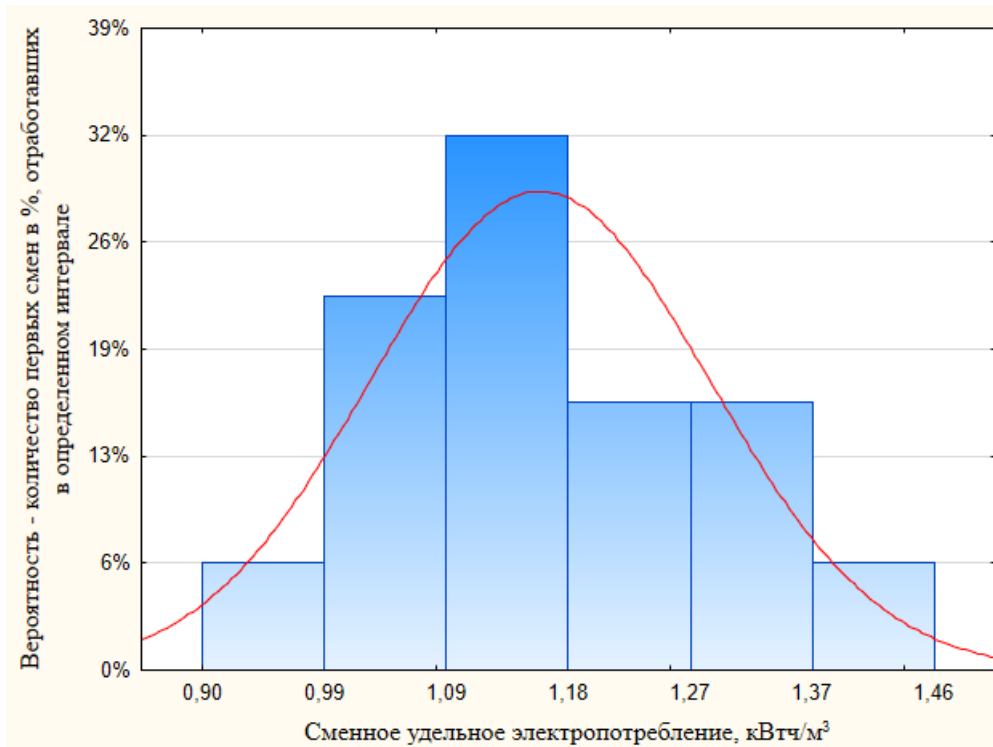


Рис. ПЗ.4 - Количество первых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением транспортной вскрыши горной породы в определенном интервале

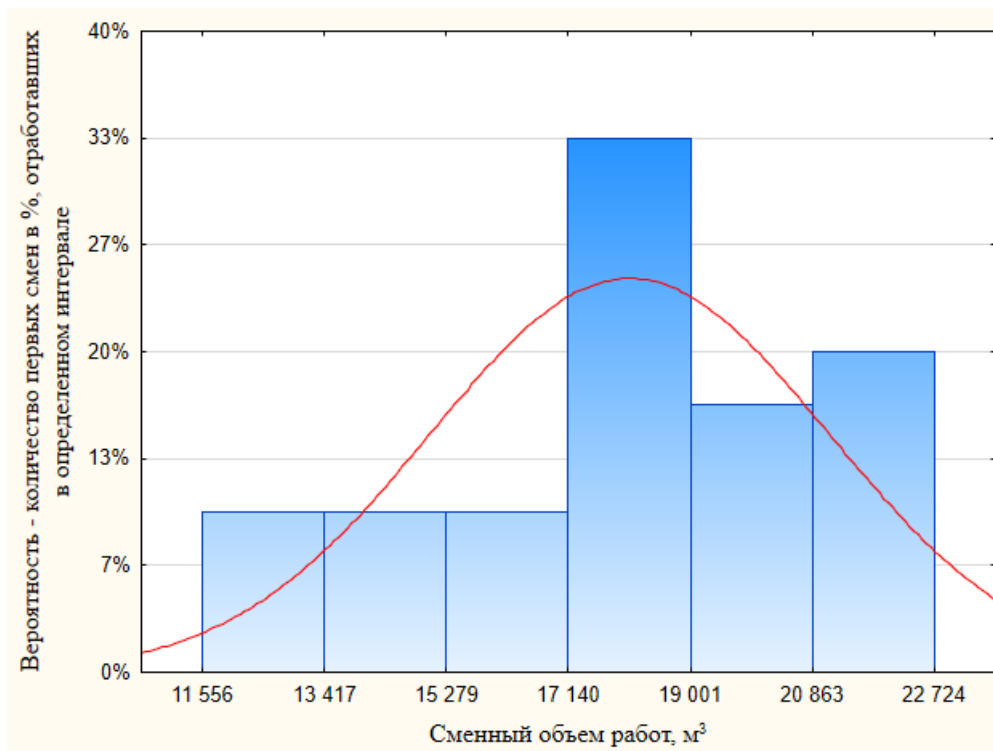


Рис. ПЗ.5 - Количество первых смен в %, отработавших с объемом работ приемки вскрышных пород в отвалы в определенном интервале

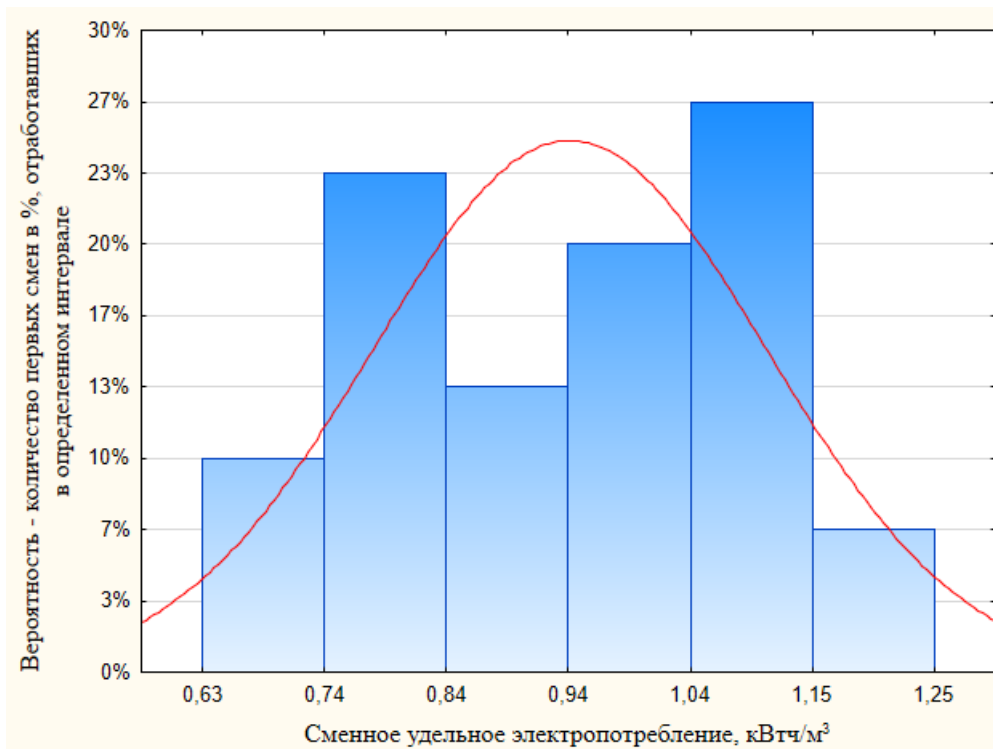


Рис. ПЗ.6 - Количество первых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением приемки вскрышных пород в отвалы в определенном интервале

## **Приложение П4**

**Проверка исходных статистических рядов энерготехнологических показателей обогатительных работ на наличие «выбросов» (на примере удельного электропотребления)**

Таблица – Результаты проверки на наличие «выбросов» по критерию Граббса в исходных статистических рядах удельного электропотребления

<b>Производство угольного концентрата</b>								
<b>№ п/п</b>	<b>Приближение</b>	$\bar{w}$	$\sigma$	$w_{max}$	$w_{min}$	$G_1$	$G_2$	$G_T$
Смена 1								
1	Первое	5,10	1,77	8,37	1,47	1,79	2,16	2,92
Смена 2								
2	Первое	6,81	3,99	15,91	2,90	1,99	1,33	2,92
Сутки								
3	Первое	5,88	1,34	9,61	4,36	2,68	1,31	2,92
<b>Погрузочно-разгрузочные работы</b>								
<b>№ п/п</b>	<b>Приближение</b>	$\bar{w}$	$\sigma$	$w_{max}$	$w_{min}$	$G_1$	$G_2$	$G_T$
Смена 1								
4	Первое	0,20	0,06	0,36	0,03	2,68	3,02	2,92
5	Второе	0,21	0,05	0,36	0,09	2,85	2,51	2,91
Смена 2								
6	Первое	0,29	0,11	0,70	0,19	3,98	0,98	2,92
	Второе	0,26	0,04	0,35	0,19	2,36	1,82	2,88
Сутки								
7	Первое	0,23	0,03	0,33	0,19	3,15	1,73	2,92
8	Второе	0,23	0,02	0,29	0,19	2,33	1,95	2,91



**Приложение П5**  
**Упорядоченные статистические ряды энерготехнологических**  
**показателей обогатительных работ**

Таблица П5.1 – Упорядоченные исходные статистические ряды энерготехнологических показателей обогатительных работ производства угольного концентрата

№ п/п	Энерготехнологические показатели производства угольного концентрата								
	Объемы работ, т			Потребление электроэнергии, кВт·ч			Удельное электропотребление, кВт·ч/т		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	4486,00	2449,00	7833,00	9384,00	22048,00	48357,00	1,47	2,90	4,36
2	4909,00	2620,00	8119,00	12315,00	24418,00	51979,00	1,71	4,44	4,54
3	5000,00	2763,00	8815,00	19714,00	28906,00	52671,00	2,55	4,88	4,90
4	5188,00	2831,00	8929,00	20810,00	33135,00	62619,00	2,98	4,89	5,04
5	5418,00	2833,00	9188,00	22368,00	38549,00	64322,00	3,27	4,90	5,06
6	5610,00	3319,00	9691,00	26592,00	38973,00	65217,00	3,39	4,92	5,07
7	5857,00	3336,00	9820,00	26714,00	39608,00	65358,00	3,49	4,92	5,13
8	6357,00	3633,00	10141,00	27034,00	39993,00	68344,00	4,45	5,08	5,25
9	6366,00	4237,00	10488,00	27561,00	40055,00	69201,00	4,47	5,29	5,26
10	6635,00	4286,00	10708,00	33916,00	40356,00	69314,00	4,82	5,29	5,27
11	6898,00	4503,00	11457,00	36710,00	40483,00	71858,00	4,84	5,31	5,28
12	6975,00	4662,00	11936,00	39688,00	40657,00	75678,00	4,90	5,32	5,31
13	7071,00	4723,00	12280,00	39885,00	40821,00	77094,00	5,16	5,34	5,36
14	7099,00	4851,00	12499,00	40266,00	41042,00	78035,00	5,19	5,43	5,44
15	7200,00	6258,00	13151,00	40638,00	41169,00	78434,00	5,26	5,71	5,49
16	7355,00	6505,00	13156,00	40741,00	41231,00	79874,00	5,38	5,97	5,73
17	7361,00	7034,00	13604,00	41734,00	41249,00	80796,00	5,45	6,03	5,75
18	7618,00	7116,00	14187,00	42341,00	41325,00	80919,00	5,59	7,32	5,85
19	7633,00	7223,00	14223,00	42439,00	41630,00	81680,00	5,76	8,61	5,87
20	7650,00	7248,00	14519,00	42543,00	41786,00	83322,00	5,83	8,72	5,90
21	7661,00	7451,00	14667,00	42665,00	41833,00	83590,00	5,86	9,26	5,97
22	7725,00	7590,00	14959,00	42731,00	42026,00	83608,00	6,03	9,71	6,08
23	7745,00	7598,00	15212,00	42849,00	42167,00	83651,00	6,05	9,75	6,28
24	7761,00	7652,00	15459,00	42849,00	42223,00	83670,00	6,14	10,08	6,47
25	7807,00	7884,00	15469,00	42952,00	42722,00	83957,00	6,17	11,37	7,00
26	7968,00	8136,00	15736,00	43107,00	42905,00	84117,00	6,50	12,70	7,75
27	8121,00	8212,00	15957,00	43169,00	42990,00	84517,00	7,30	15,17	7,89
28	8246,00	8304,00	15965,00	43423,00	43178,00	84940,00	7,83	15,37	8,24
29	8288,00	8329,00	16297,00	43634,00	43512,00	86502,00	8,08	15,40	8,34
30	8455,00	8381,00	16591,00	43658,00	43695,00	86544,00	8,18	15,53	9,01
31	8914,00	8393,00	16681,00	44476,00	43898,00	87321,00	8,37	15,91	9,61
Итого	217377,00	180360,00	397737,00	1108906,00	1228583,00	2337489,00	-	-	-

Таблица П5.2 – Упорядоченные исходные статистические ряды энерготехнологических показателей погрузочно-разгрузочных работ

№ п/п	Энерготехнологические показатели погрузочно-разгрузочных работ								
	Объемы работ, т			Потребление электроэнергии, кВт·ч			Удельное электропотребление, кВт·ч/т		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	7385,00	6526,00	14300,00	1126,00	1659,00	3058,00	0,09	0,19	0,19
2	7733,00	8320,00	15770,00	1494,00	2113,00	3456,00	0,16	0,21	0,20
3	7774,00	8871,00	16256,00	1777,00	2123,00	3652,00	0,16	0,21	0,21
4	8072,00	9244,00	16503,00	1986,00	2167,00	3799,00	0,17	0,21	0,21
5	9496,00	9895,00	17953,00	1993,00	2291,00	4109,00	0,17	0,21	0,21
6	10121,00	10099,00	19152,00	2056,00	2305,00	4361,00	0,18	0,22	0,21
7	10699,00	10206,00	19365,00	2101,00	2361,00	4586,00	0,18	0,24	0,21
8	10832,00	10286,00	20540,00	2207,00	2777,00	4822,00	0,19	0,24	0,22
9	10952,00	10334,00	20662,00	2248,00	2781,00	5077,00	0,19	0,24	0,22
10	11124,00	10566,00	21051,00	2295,00	2916,00	5127,00	0,19	0,24	0,22
11	11399,00	10644,00	21410,00	2313,00	2920,00	5158,00	0,19	0,24	0,22
12	11430,00	10775,00	21474,00	2435,00	2982,00	5191,00	0,19	0,24	0,22
13	11445,00	10795,00	21651,00	2482,00	2993,00	5263,00	0,20	0,25	0,22
14	12415,00	10910,00	22309,00	2544,00	3043,00	5269,00	0,20	0,25	0,22
15	12572,00	11166,00	23846,00	2559,00	3044,00	5438,00	0,21	0,26	0,22
16	12614,00	11283,00	23881,00	2605,00	3047,00	5475,00	0,21	0,26	0,22
17	12663,00	11654,00	24162,00	2622,00	3083,00	5482,00	0,22	0,26	0,23
18	12885,00	11742,00	24317,00	2655,00	3090,00	5554,00	0,22	0,26	0,23
19	13120,00	11773,00	24960,00	2676,00	3125,00	5669,00	0,22	0,28	0,23
20	13280,00	12270,00	25296,00	2716,00	3142,00	5764,00	0,23	0,28	0,24
21	13518,00	12294,00	25403,00	2768,00	3177,00	5798,00	0,23	0,29	0,24
22	13581,00	12807,00	25845,00	2774,00	3213,00	5851,00	0,23	0,29	0,24
23	13804,00	12831,00	25851,00	2775,00	3254,00	5951,00	0,23	0,30	0,25
24	13986,00	12881,00	26166,00	2777,00	3271,00	6046,00	0,23	0,30	0,25
25	14165,00	12960,00	26693,00	2875,00	3283,00	6059,00	0,23	0,31	0,26
26	14424,00	14142,00	26802,00	2960,00	3378,00	6108,00	0,24	0,32	0,26
27	14508,00	14280,00	27400,00	3015,00	3474,00	6158,00	0,24	0,33	0,26
28	14920,00	14449,00	27708,00	3122,00	3594,00	6165,00	0,27	0,35	0,27
29	15147,00		27946,00	3126,00		6554,00	0,32		0,28
30	16425,00		29596,00	3501,00		6975,00	0,36		0,29
31									
Итого	362489,00	314003,00	684268,00	74583,00	80606,00	157975,00	-		

## **Приложение П6**

**Вероятностные законы распределения объемов и удельного  
электропотребления производства угольного концентрата и погрузочно-  
разгрузочных работ**

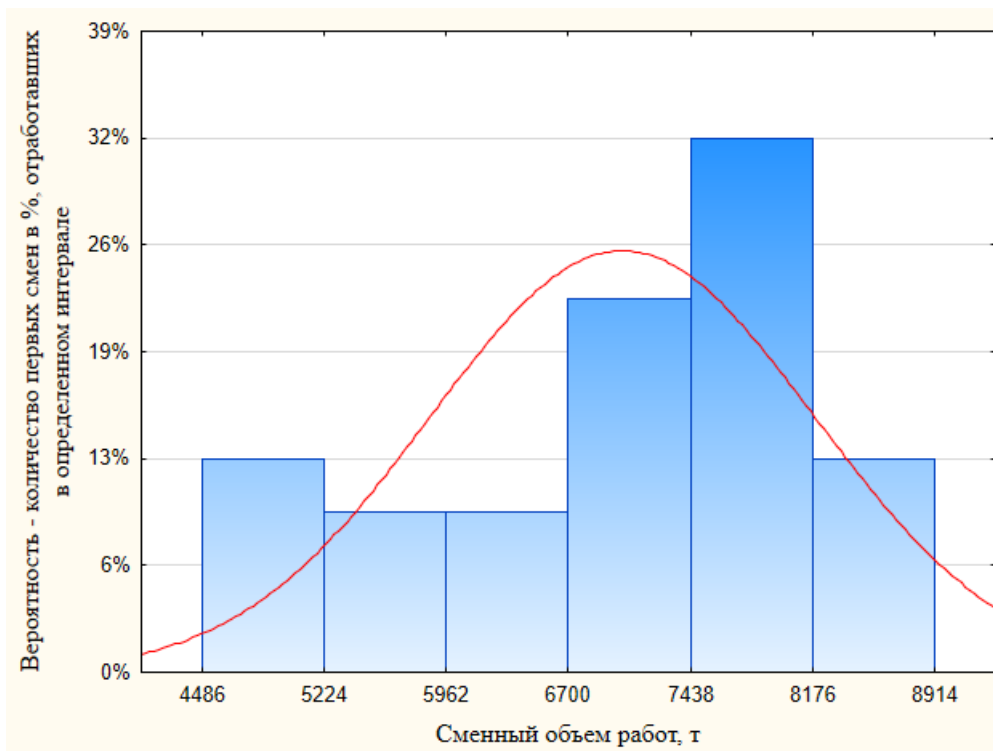


Рис. Пб.1 – Процент первых смен с объемом работ производства угольного концентрата в определенном интервале

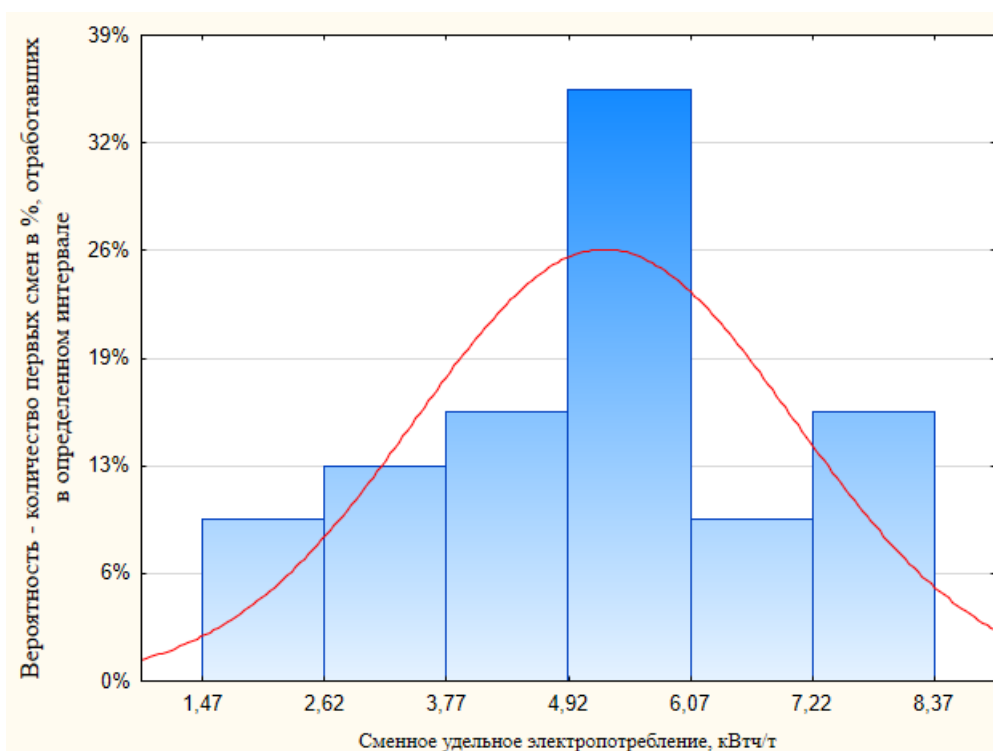


Рис. Пб.2 - Процент первых смен в % с удельным электропотреблением производства угольного концентрата в определенном интервале

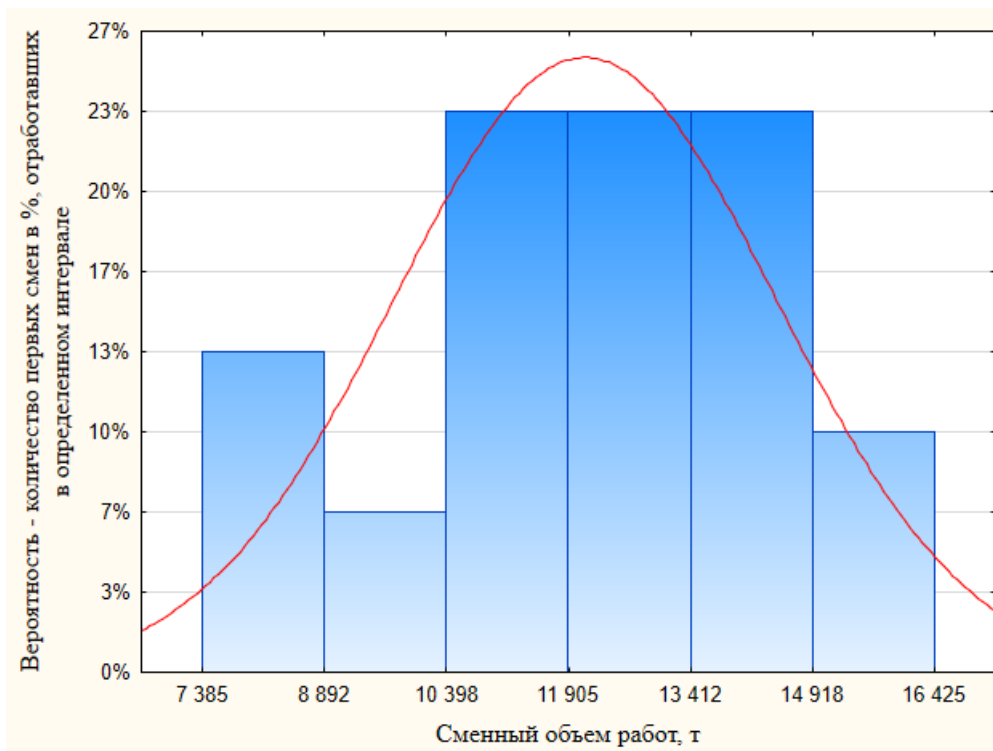


Рис. Пб.3 - Процент первых смен в % с объемом погрузочно-разгрузочных работ в определенном интервале

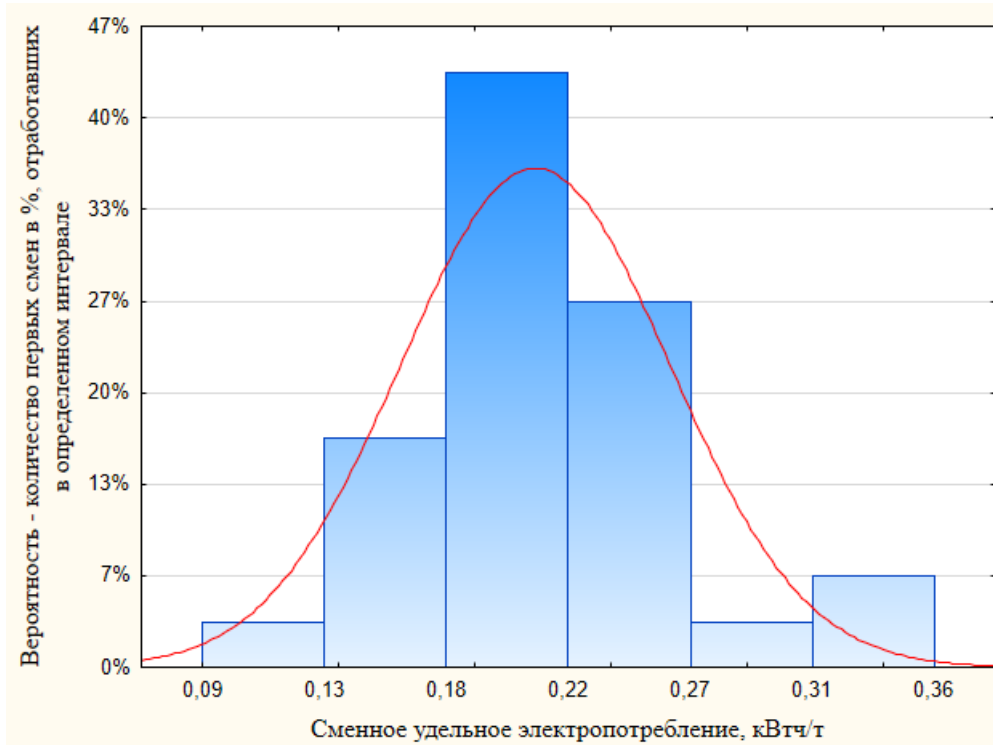


Рис. Пб.4 - Процент первых смен в % с удельным электропотреблением погрузочно-разгрузочных работ в определенном интервале

## **Приложение П7**

**Энерготехнологические зависимости полного и удельного  
электропотребления от объема выполняемых выемочно-погрузочных  
добычных, вскрышных работ и приемки вскрышных пород в отвалы**

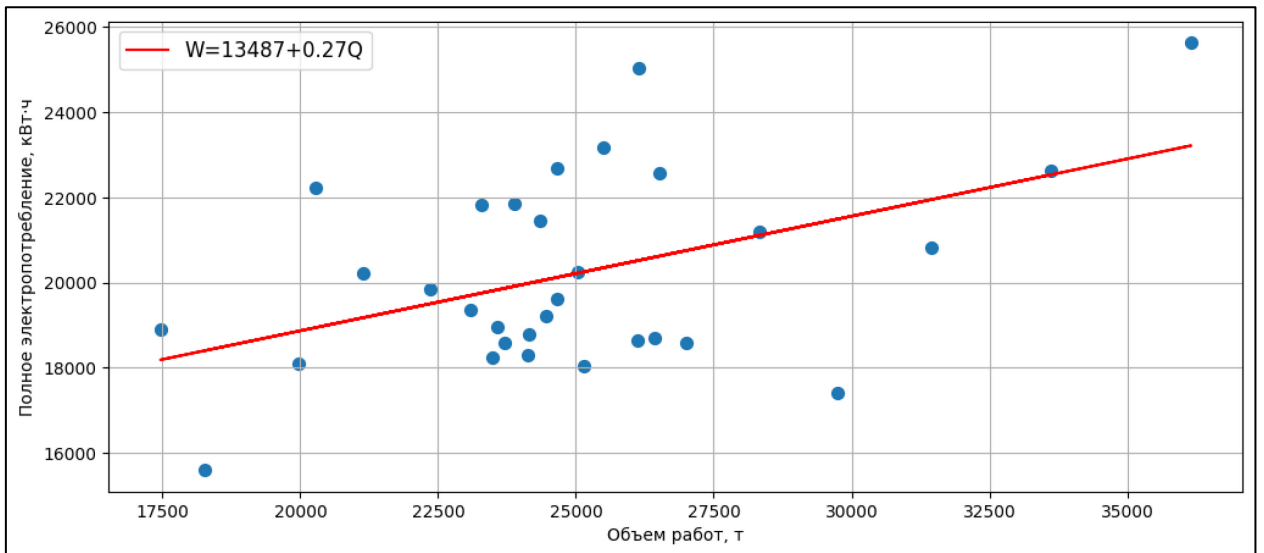


Рис. П7.1 – Энерготехнологическая зависимость полного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ добычи и погрузки угля (первая смена)

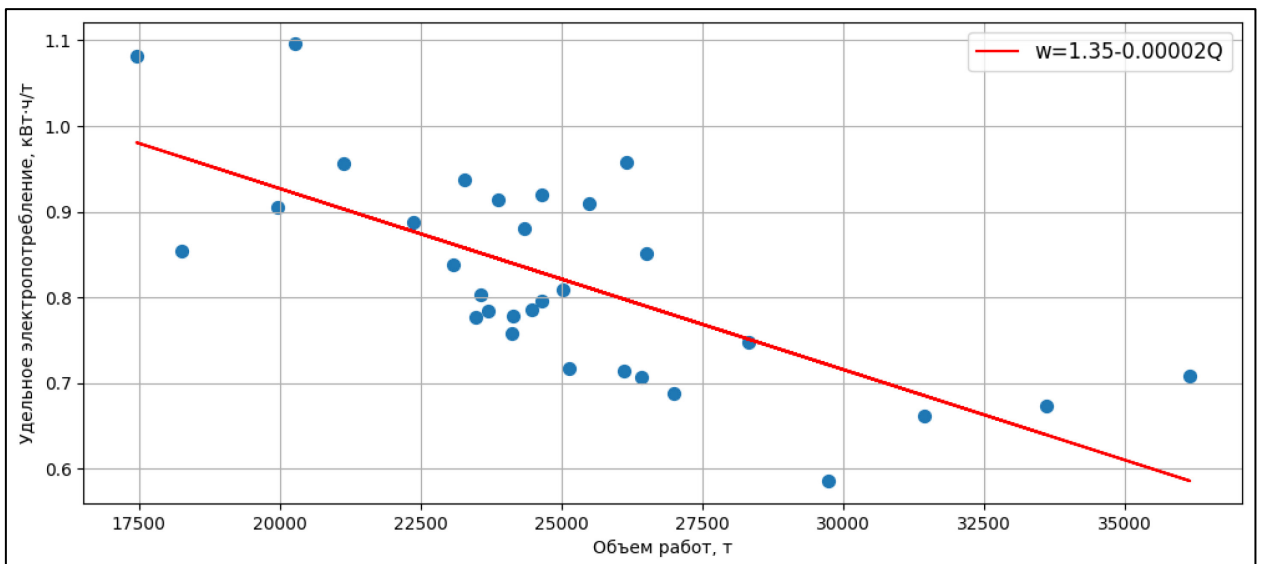


Рис. П7.2 – Энерготехнологическая зависимость удельного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ добычи и погрузки угля (первая смена)



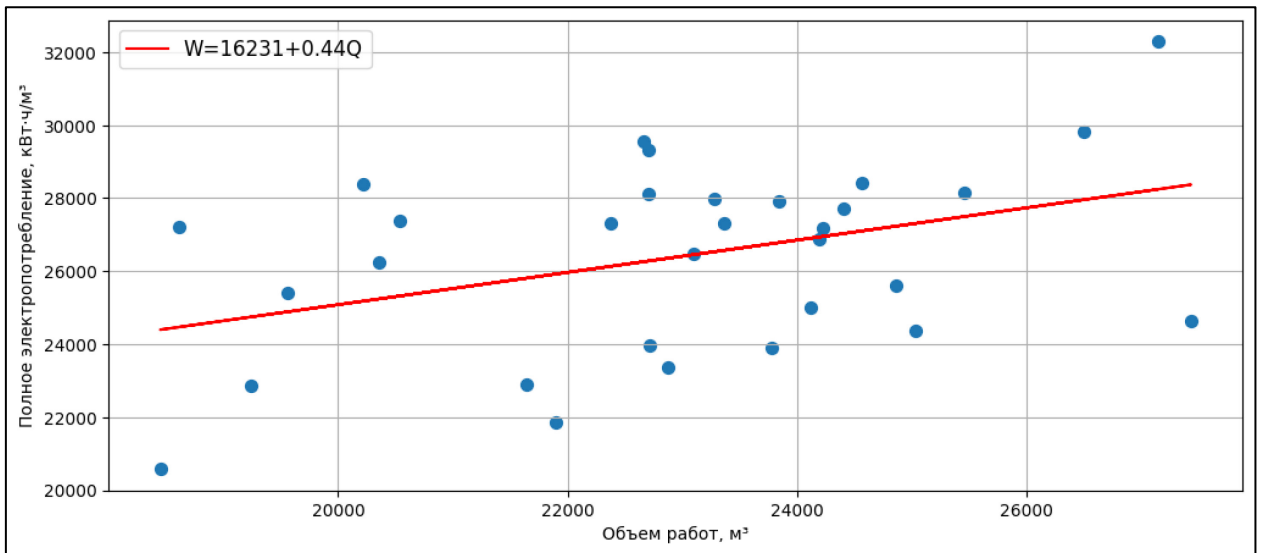


Рис. П7.3 – Энерготехнологическая зависимость полного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши горной породы (первая смена)

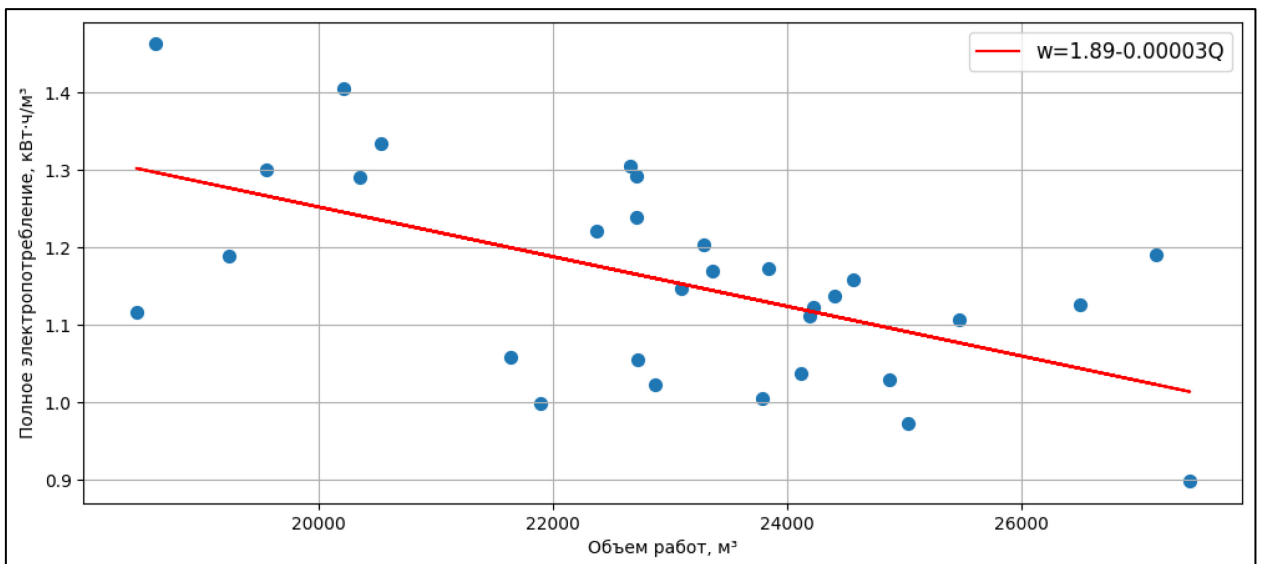


Рис. П7.4 – Энерготехнологическая зависимость удельного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ транспортной вскрыши горной породы (первая смена)

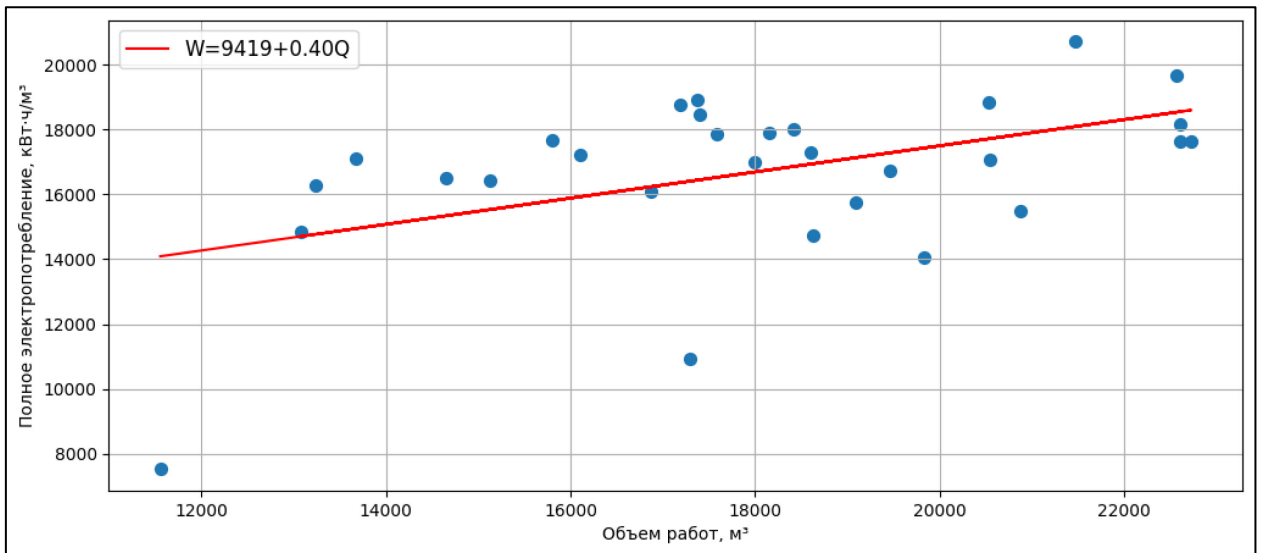


Рис. П7.5 – Энерготехнологическая зависимость полного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ приемки вскрышных пород в отвалы (первая смена)

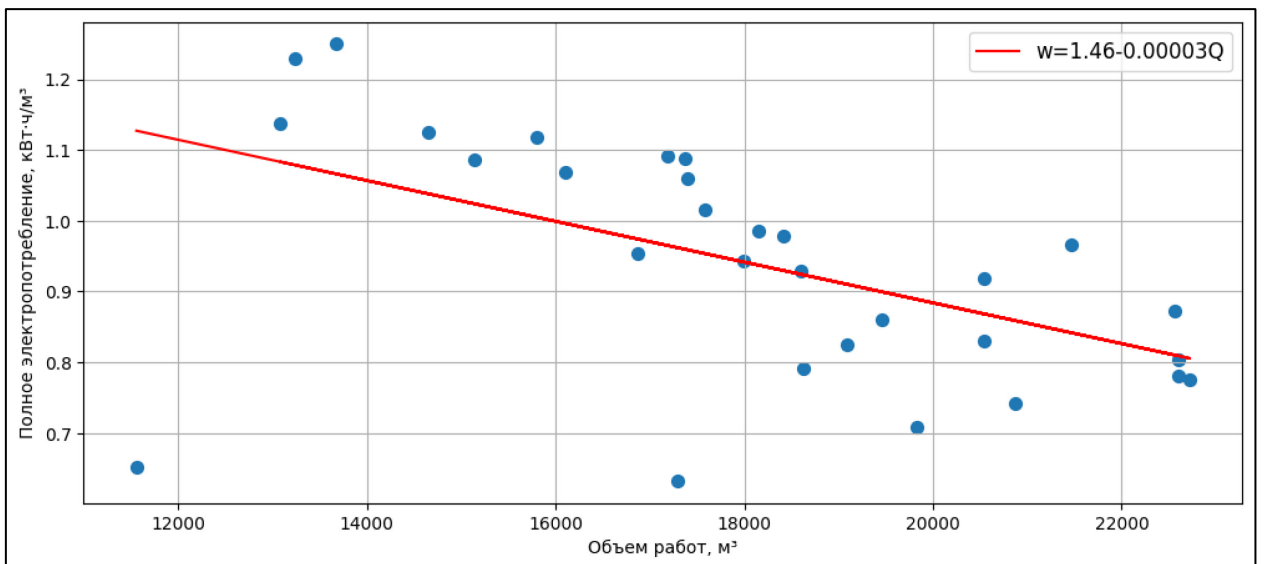


Рис. П7.6 – Энерготехнологическая зависимость удельного электропотребления от объема выемочно-погрузочных работ приемки вскрышных пород в отвалы (первая смена)

**Приложение П8**  
**Энерготехнологические зависимости полного и удельного  
электропотребления от объема производства угольного концентрата и  
погрузочно-разгрузочных работ**

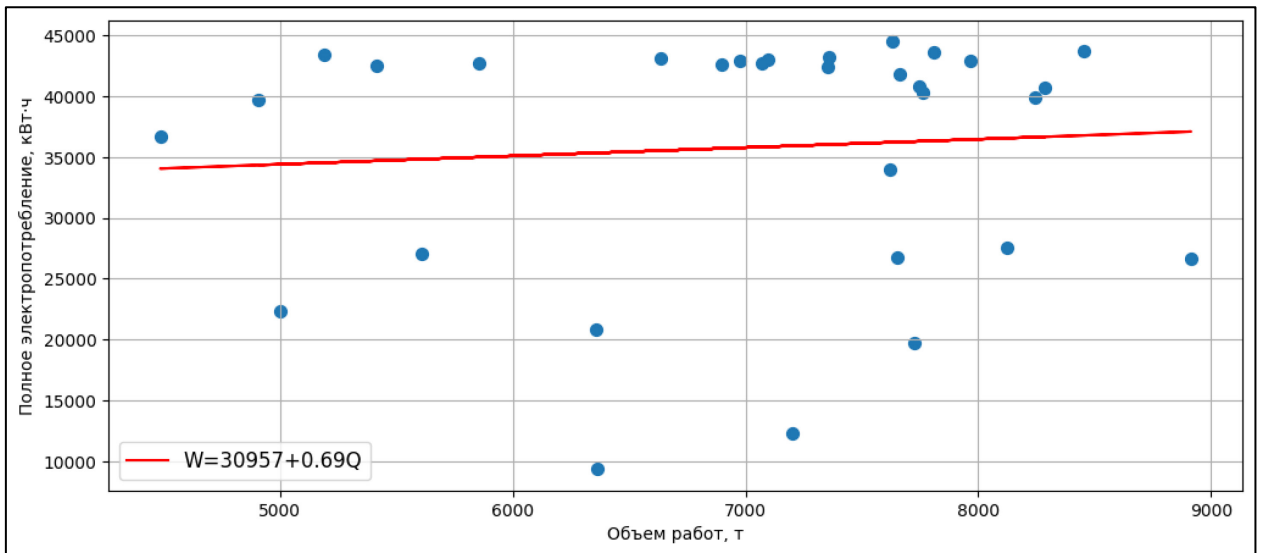


Рис. П8.1 – Энерготехнологическая зависимость полного электропотребления от объема производства угольного концентрата (первая смена)

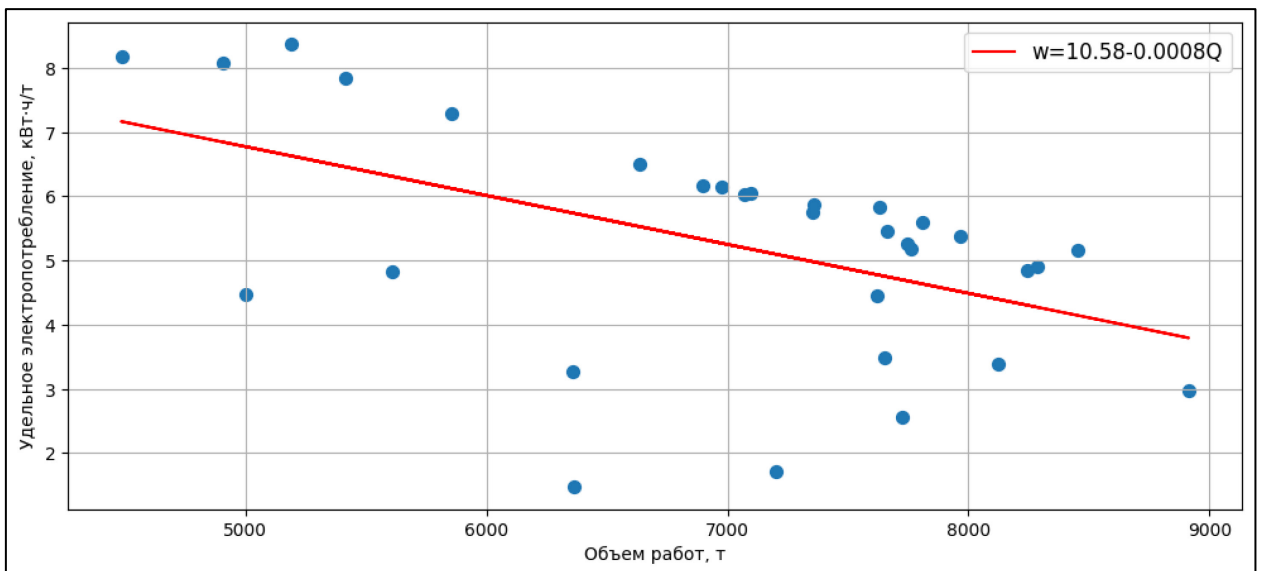


Рис. П8.2 – Энерготехнологическая зависимость удельного электропотребления от объема производства угольного концентрата (первая смена)

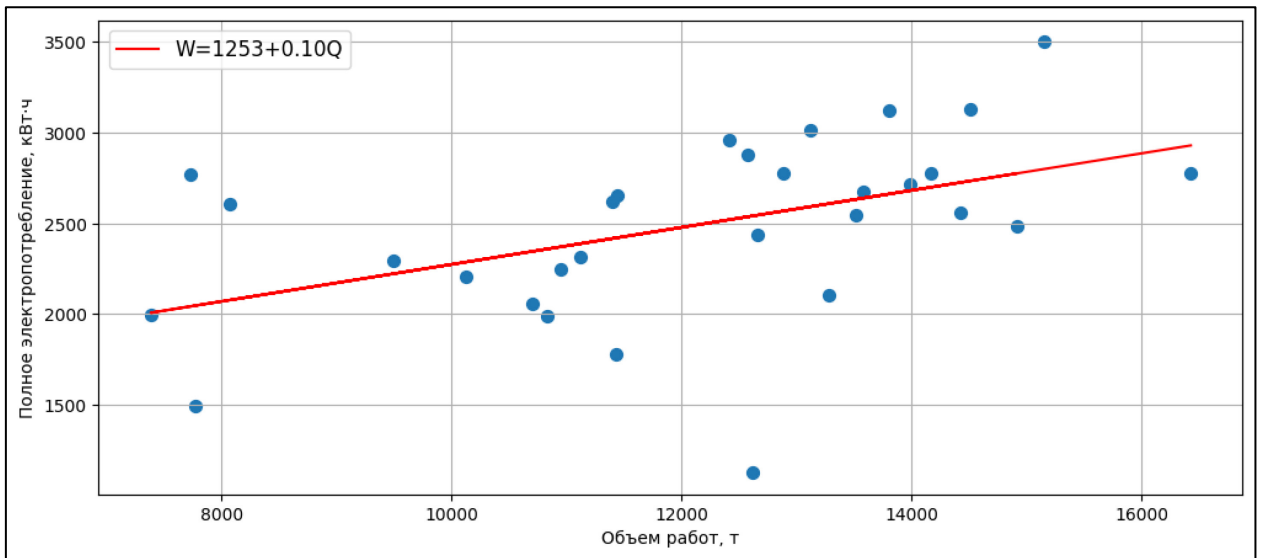


Рис. П8.3 – Энерготехнологическая зависимость полного электропотребления от объема погрузочно-разгрузочных работ (первая смена)

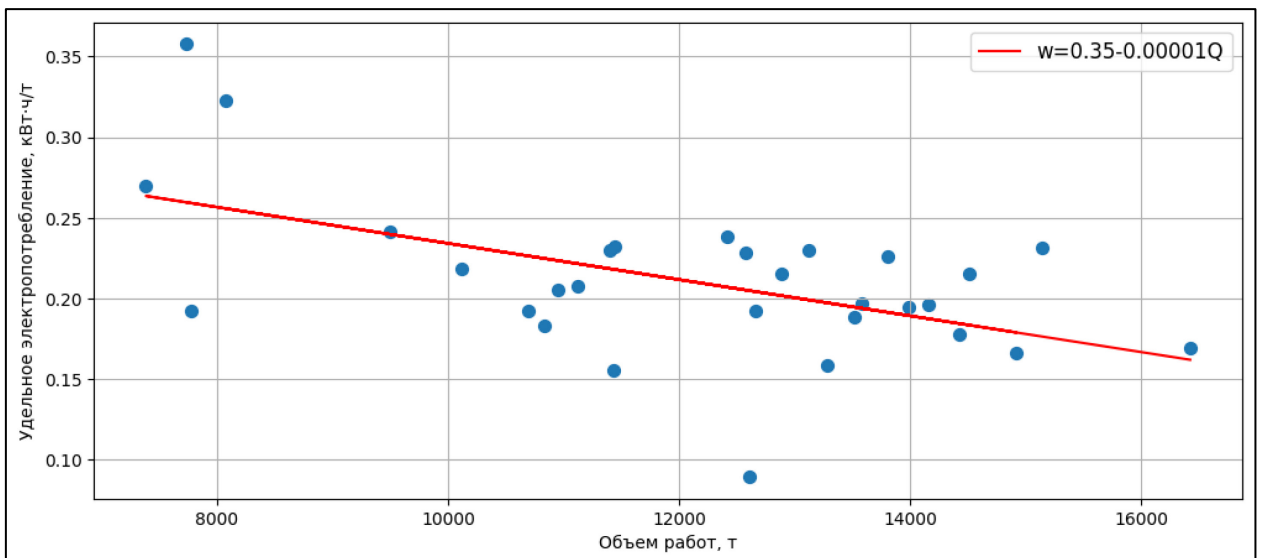


Рис. П8.4 – Энерготехнологическая зависимость удельного электропотребления от объема погрузочно-разгрузочных работ (первая смена)

**Приложение П9**  
**Методика вероятностно-статистического анализа**  
**энерготехнологической результативности производственных процессов**  
**горных предприятий**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

(НИТУ МИСИС)

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по науке и  
инновациям

(должность руководителя подразделения)



*[Handwritten signature]*  
М.Р. Филонов

МЕТОДИКА ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

И.о. Заведующего кафедрой ЭЭГП  
доцент, к.т.н.

*[Handwritten signature]*

Кутепов А.Г.

Авторы методики:

проф., д.т.н.

*[Handwritten signature]*

Ляхомский А.В.

доцент, к.т.н.

*[Handwritten signature]*

Кутепова Е.Н.

уч. мастер

*[Handwritten signature]*

Шадрин А.А.

аспирант

Слепнев П.А.

Москва 2025

Методика вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов горных предприятий. — М.: НИТУ МИСИС, 2025. — 31 с.

Методика вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов горных предприятий предназначена для инженерно-технических работников отдела Главного энергетика угольного разреза с целью обеспечения и повышения энергоэффективности. Кроме того, методика предназначена для научных работников, проводящих исследования в области повышения энергоэффективности промышленных предприятий.

В разработке Методики принимали участие: проф., д.т.н. Ляхомский А.В. (НИТУ МИСИС), доц., к.т.н. Перфильева Е.Н. (НИТУ МИСИС), уч. мастер Шадрин А.А. (НИТУ МИСИС), аспирант Слепнев П.А. (НИТУ МИСИС)



## Содержание

Введение.....	4
1 Основные определения и положения энергетического менеджмента.....	5
2 Методика вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов горных предприятий .....	6
Заключение .....	17
Список литературы .....	18
Приложение Пример применения анализа энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ циклично-поточного процесса добычи угля .....	19

## Введение

Затраты на энергетические ресурсы составляют значительную долю в себестоимости продукции предприятий отраслей минерально-сырьевого комплекса: угольной – 15-20%, горнорудной – 20-30%, цементной – 30-45%.

Затраты на энергетические ресурсы основных производственных процессов составляют 75-85% от потребляемых предприятиями энергетических ресурсов.

Процесс энергопотребления как предмет управления является «человеко-машинным» процессом и требует управления как техническими энергопотребляющими объектами, так и действиями персонала.

Процесс энергопотребления – вероятностный процесс и требует для анализа применения методов математической статистики.

Анализ энерготехнологической результативности обеспечивает получение персональной информации разработки и реализации мероприятий, действий с целью повышения энергетической эффективности производственных процессов.

## 1 Основные определения и положения энергетического менеджмента

**Энергетический менеджмент** – процесс управления энергетическими ресурсами с целью повышения энергетической эффективности – снижения удельного энергопотребления – с учетом не только техно-технологических, а также организационных, мотивационных, информационных, маркетинговых и инвестиционных аспектов.

**Система энергетического менеджмента (СЭнМ)** – совокупность взаимодействующих управленческих, организационных, технических, технологических и иных элементов организации/предприятия для осуществления энергетического менеджмента.

**Система энергетического менеджмента** – процессная организационно-производственная инновация повышения энергетической эффективности для снижения натуральных и финансовых затрат на энергетические ресурсы, снижения значительной части себестоимости продукции организации/предприятия.

Система энергетического менеджмента является наилучшей доступной технологией, включенной в соответствующие справочники.

Энергетическая эффективность – это отношение полезного эффекта (работы, процесса, выпуска продукции и иные) к энергии, затраченной на это полезное.

На предприятиях для оценки энергетической эффективности используют показатель – удельное энергопотребление. **Удельное энергопотребление** – это отношение затрат энергии к полезному эффекту, т.е. показатель, обратный к энергетической эффективности. Чем меньше удельное энергопотребление, тем больше энергетическая эффективность.

Удельное энергопотребление является комплексным показателем, связывающим потребление энергетических ресурсов и производственные показатели (объем работы, объем выпуска продукции и др.).

Показателем энерготехнологической результативности производственных процессов является удельное энергопотребление.

Энерготехнологическая результативность определяется как разность ( $\Delta w$ ) между плановым/заданным ( $w_{пл}$ ) и фактическим ( $w_{ф}$ ) удельным энергопотреблением

$$\Delta w = w_{пл} - w_{ф}. \quad (1)$$

Анализ энерготехнологической результативности производственных процессов произведен в п.2 настоящих методических указаний.

## **2 Методика вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов горных предприятий**

Энерготехнологические показатели производственных процессов горных предприятий - объем работ ( $Q_i$ ), полное ( $W_i$ ) и удельное энергопотребление ( $w_i$ ) - являются случайными величинами, изменяющимися под влиянием технических, технологических, организационных, климато-метеорологических и других факторов. В этой связи для анализа энерготехнологической результативности с целью оценки энергетической эффективности производства применены методы теории вероятности и математической статистики. Алгоритм методики вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности приведен на рис. 1. Методика анализа выполняется по 1-й и 2-й сменам, а также по суткам (две смены вместе) за отчетный период - месяц.

На основании данных об энерготехнологических показателях производственных процессов – объемах выполненных работ и энергопотреблении на эти работы, получаемых из информационных систем предприятия за  $i$ -тый день смены/суток месяца, формируются статистические ряды энерготехнологических параметров, включая удельное энергопотребление ( $w_i$ ), которое рассчитывается по формуле:

$$w_i = \frac{W_i}{Q_i}. \quad (2)$$

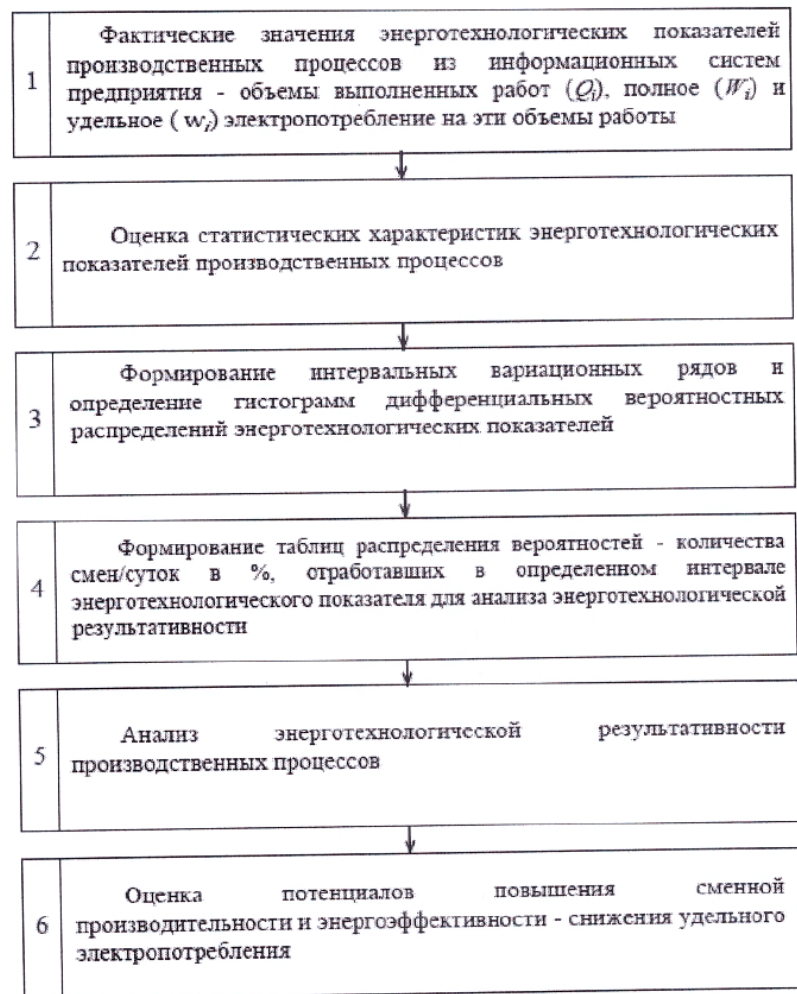


Рисунок 1 - Алгоритм вероятностно-статистического анализа энерготехнологической результативности производственных процессов

Значения статистических рядов энерготехнологических показателей

упорядочиваются по их возрастанию значения показателя согласно условиям:

- для объемов работ  $Q_{y1} \leq Q_{y2} \leq \dots \leq Q_{yi} \leq \dots \leq Q_{yn};$
- для полного энергопотребления  $W_{y1} \leq W_{y2} \leq \dots \leq W_{yi} \leq \dots \leq W_{yn};$  (3)
- для удельного энергопотребления  $w_{y1} \leq w_{y2} \leq \dots \leq w_{yi} \leq \dots \leq w_{yn};$

где  $Q_{yi}$  –  $i$ -ое значение объема работ упорядоченного статистического ряда;

$W_{yi}$  –  $i$ -ое значение полного энергопотребления упорядоченного статистического ряда;

$w_{yi}$  –  $i$ -ое значение удельного энергопотребления упорядоченного статистического ряда

$n$  – количество значений статистического ряда энерготехнологического показателя.

Результаты упорядоченных (по мере возрастания значений показателей) статистических рядов энерготехнологических показателей по каждой смене и общего за сутки оформляются в виде табл. 1.

Таблица 1 - Упорядоченные (по мере возрастания значений показателей) статистические ряды энерготехнологических показателей

№ п/п	Энерготехнологические показатели								
	Объемы работ (ПП) $Q_{yi}$ , ед. изм.			Потребление энергоресурса (ЭЭ) $W_{yi}$ , ед. изм.			Удельное энергопотребление $w_{yi}$ , ед. изм.		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	$Q_{1y1}$	$Q_{2y1}$	$Q_{cy1}$	$W_{1y1}$	$W_{2y1}$	$W_{cy1}$	$w_{1y1}$	$w_{2y1}$	$w_{cy1}$
2	$Q_{1y2}$	$Q_{2y2}$	$Q_{cy2}$	$W_{1y2}$	$W_{2y2}$	$W_{cy2}$	$w_{1y2}$	$w_{2y2}$	$w_{cy2}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	$Q_{1yn}$	$Q_{2yn}$	$Q_{cyn}$	$W_{1yn}$	$W_{2yn}$	$W_{cyn}$	$w_{1yn}$	$w_{2yn}$	$w_{cyn}$
Итого	$\sum_{i=1}^n Q_{1yi}$	$\sum_{i=1}^n Q_{2yi}$	$\sum_{i=1}^n Q_{cyi}$	$\sum_{i=1}^n W_{1yi}$	$\sum_{i=1}^n W_{2yi}$	$\sum_{i=1}^n W_{cyi}$	$\frac{\sum_{i=1}^n W_{1yi}}{\sum_{i=1}^n Q_{1yi}}$	$\frac{\sum_{i=1}^n W_{2yi}}{\sum_{i=1}^n Q_{2yi}}$	$\frac{\sum_{i=1}^n W_{cyi}}{\sum_{i=1}^n Q_{cyi}}$

Для указанных упорядоченных рядов рассчитываются статистические характеристики для 1-й, 2-й смен и суток:

- среднее значение энерготехнологического показателя ( $\bar{X}_a$ ), где  $\bar{X}_a$  – соответственно среднее значение энерготехнологического показателя – объема выполняемых работ, полное и удельное энергопотребление, затраченное на эти работы. Среднее значение объема работ и полное энергопотребление определяется по формуле:

$$\bar{X}_a = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ayi}}{n}, \quad (4)$$

где  $X_{ayi}$  –  $i$ -ое значение энерготехнологического показателя - объема работ, полного и удельного энергопотребления, упорядоченного статистического ряда (табл. 1);

$a$  – индекс, соответственно, для 1-й смены - 1, для 2-й смены - 2, для суток - 3 (табл.1);

$n$  – количество значений статистического ряда энерготехнологического показателя.

Среднее значение удельного энергопотребления ( $\bar{w}_a$ ) определяется по формуле

$$\bar{w}_a = \frac{\sum_{i=1}^n W_{a yi}}{\sum_{i=1}^n Q_{a yi}}; \quad (5)$$

- среднеквадратическое отклонение отдельных значений от среднего значения ряда, характеризующее изменчивость показателя как случайной величины ( $\sigma_{ax}$ )

$$\sigma_{ax} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{a yi} - \bar{X}_a)^2}{n - 1}}; \quad (6)$$

- медианное значение (медиана), показывающее срединное значение ряда ( $Me_a$ )

$$Me_a = X_{med(min)} + h(X_{a yi}) \frac{\frac{\sum n_i}{2} - M_{med-1}}{m_{med}}, \quad (7)$$

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

$h(X_{a yi})$  - оптимальная величина интервала;

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

$m_{med}$  – частота медианного интервала;

- модальное значение (мода), показывающее наиболее часто встречающееся значение ряда (если в ряду несколько относительно наиболее часто встречающихся значений, то это означает, что такое значение отсутствует) ( $Mo_a$ )

$$Mo_a = X_{mod(min)} + h(X_{a yi}) \frac{m_{mod} - m_{mod-1}}{(m_{mod} - m_{mod-1}) + (m_{mod} - m_{mod+1})}, \quad (8)$$

где  $X_{mod(min)}$  - нижняя граница модального интервала;

$m_{mod}$  - частота модального интервала;

$m_{mod-1}$  - частота интервала, предшествующего модальному;

$m_{mod+1}$  - частота интервала, следующего за модальным;

- коэффициент вариации ( $V_{a\sigma}$ ), показывающий степень отклонений значений ряда от среднего, определяемый отношением среднеквадратического отклонения к среднему значению:

$$V_{a\sigma} = \frac{\sigma_{ax}}{\bar{X}_a}. \quad (9)$$

При выполнении работ могут возникнуть аномальные условия, когда один или несколько из указанных факторов начинают преобладать, что может вызвать резкие отклонения значения энерготехнологического показателя от среднего значения в выборке. В таком случае требуется определить, являются ли эти значения "выбросами" и соответствуют ли условиям нормального распределения.

Для исключения «выбросов» наблюдаемых величин применен критерий Граббса. Статистический критерий Граббса  $G_1$  и  $G_2$  предполагает, что наибольшее или наименьшее значение рассматриваемого показателя, вызвано грубыми погрешностями («выбросами»). Эти критерии сравниваются с теоретическим значением  $G_T$  критерия Граббса при выбранном уровне значимости  $q$ :

$$G_1 = \frac{|X_{max} - \bar{X}_a|}{\sigma_{ax}}; G_2 = \frac{|\bar{X}_a - X_{min}|}{\sigma_{ax}}, \quad (10)$$

где:  $\bar{X}_a$  – среднее значение наблюдаемого энерготехнологического показателя;  
 $X_{max}$ ,  $X_{min}$  – соответственно максимальное и минимальное значения наблюдаемого энерготехнологического показателя;

$\sigma_{ax}$  – среднеквадратическое отклонение;

$G_1$ ,  $G_2$  – соответственно наибольшее и наименьшее значение критерия Граббса.

Процедура проверки происходит путем сравнения полученных экспериментальных значений (10) с теоретическим значением  $G_T$  критерия Граббса. Если  $G_1(G_2) > G_T$ , то  $X_{max}$  ( $X_{min}$ ) считается «выбросом» и исключается, как маловероятное значение. Указанная процедура последовательно повторяется до тех пор, пока экспериментальные значения критерия Граббса не станут меньше теоретического.



В соответствии с вышеизложенным проводится корректировка («очищение») упорядоченных статистических рядов путем удаления установленных «выбросов».

Таким образом, скорректированные упорядоченные ряды будут более точно отражать вероятностные свойства энерготехнологических показателей основных производственных процессов.

На основе скорректированных упорядоченных статистических рядов формируются интервальные вариационные ряды энерготехнологических показателей. Для формирования интервальных вариационных рядов энерготехнологических показателей определяются следующие величины:

- оптимальная величина интервала:

$$h(X_{a yi}) = \frac{X_{max} - X_{min}}{1 + 3,2 \cdot \lg(n)}, \quad (11)$$

где  $X_{max}$  и  $X_{min}$  – соответственно максимальное и минимальное значение энерготехнологического показателя упорядоченного статистического ряда;

$n$  – количество значений упорядоченного статистического ряда;

- число интервалов  $j(X_{a yi})$  с округлением в большую сторону до целого числа определяется по выражению:

$$j(X_{a yi}) = \frac{X_{max} - X_{min}}{h(X)}. \quad (12)$$

- минимальные ( $X_{min j}$ ) и максимальные ( $X_{max j}$ ) значения энерготехнологических показателей интервала – верхняя и нижняя границы интервалов интервального ряда;

- середины интервалов ( $\bar{X}_{cpj}$ );

- определяются частоты интервалов ( $m_j$ ), а именно: число попаданий значений упорядоченного ряда в  $j$ -й интервал;

- накопленные частоты ( $M_j$ ) по интервалам с 1-го по  $j$ -й;

- частоты интервалов ( $m'_j$ ) по выражению  $m'_j = m_j/n$ ;

- накопленные частоты ( $M'_j$ ) интервалов с 1-го по  $j$ -й.

Результаты расчета вышеуказанных величин по каждому энерготехнологическому показателю заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Интервальный вариационный ряд энерготехнологического показателя

Номер интервала, $j$	$X_{\min j}$ , ед. изм.	$X_{\max j}$ , ед. изм.	Значение середины интервала $\bar{X}_{\text{ср}j}$ , ед. изм.	Частота, $m_j$	Накопленная частота, $M_j$	Частость, $m'_j$	Накопленная частость, $M'_j$
1	$X_{\min 1}$	$X_{\max 1}$	$\bar{X}_{\text{ср}1}$	$m_1$	$M_1$	$m'_1$	$M'_1$
2	$X_{\min 2}$	$X_{\max 2}$	$\bar{X}_{\text{ср}2}$	$m_2$	$M_2$	$m'_2$	$M'_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
$j$	$X_{\min j}$	$X_{\max j}$	$\bar{X}_{\text{ср}j}$	$m_j$	$M_j$	$m'_j$	$M'_j$
-	-	-	-	$n$	-	100%	-

На основании интервального вариационного ряда определенного энерготехнологического показателя ( $X_{a yi}$ ) формируется таблица распределения вероятностей - количество смены/суток в %, работающих в определенных диапазонах энерготехнологического показателя (табл. 3).

Таблица 3 - Распределение вероятностей - количество смен/суток (в %), отработавших в определенном диапазоне энерготехнологического показателя

Показатель	Количество смен/суток (%), отработавших в диапазоне энерготехнологического показателя			
	$X_{\min 1} \div X_{\max 1}$	$X_{\min 2} \div X_{\max 2}$	...	$X_{\min j} \div X_{\max j}$
Количество смен/суток, %	$m'_1$	$m'_2$	...	$m'_j$

Для графического представления результатов расчета, представленных в таблице 3, строятся гистограммы дифференциальных и интегральных вероятностных распределений (рис. 2, 3).

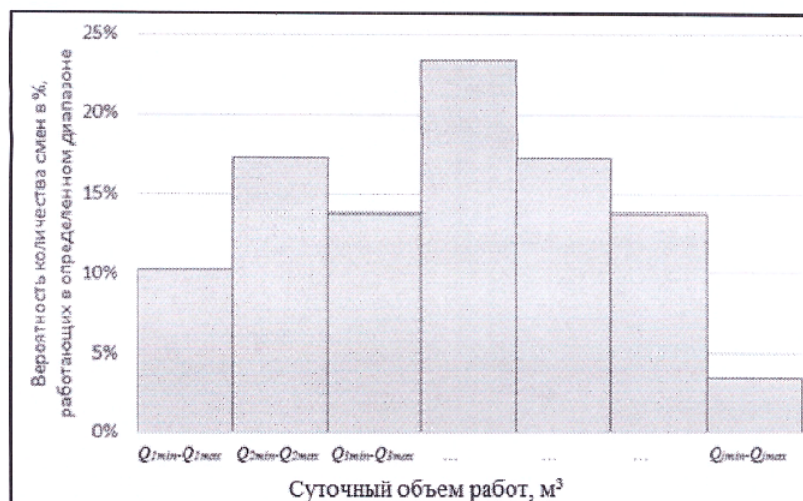


Рис. 2 - Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших в определенном диапазоне объема выемочно-погрузочных работ

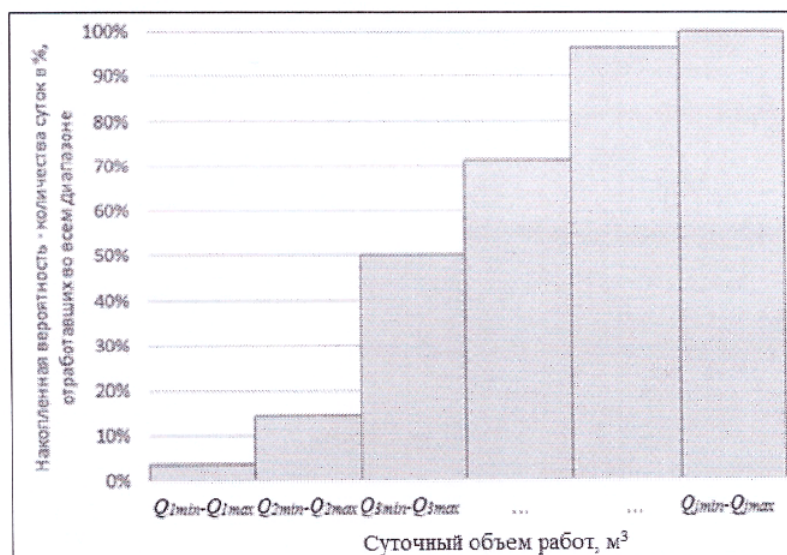


Рис. 3 - Накопленное распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших во всем диапазоне объема выемочно-погрузочных работ

Дифференциальные законы распределения показывают, какая вероятность сменной/суточной работы выполняется в определенном диапазоне энерготехнологического показателя, т. е. какой процент смен/суток за месяц работают в определенном диапазоне изменения энерготехнологического показателя.

Интегральные законы показывают накопленную вероятность сменной/суточной работы во всем диапазоне изменения энерготехнологического показателя.

Анализ распределения (табл. 3) показывает какой процент смен/суток отработало с меньшим и большим средневзвешенным значением энерготехнологического показателя относительно среднего значения этого показателя, рассчитанного для его упорядоченного статистического ряда. При этом интервал распределения, которому принадлежит среднее значение энерготехнологического показателя упорядоченного статистического ряда, берется за основу и в расчете средневзвешенного значения не участвует.

Для интервалов со средними значениями показателя меньше среднего значения показателя за месяц рассчитывается средневзвешенное по количеству смен (в %) значение по выражению:

$$\bar{X}_{\text{ср.вз.мен}} = \frac{\bar{X}_{c1} \cdot m'_1 + \bar{X}_{c2} \cdot m'_2 + \dots + \bar{X}_{c(k-1)} \cdot m'_{(k-1)}}{\sum(m'_1 + m'_2 + \dots + m'_{(k-1)})}, \quad (13)$$

где  $\bar{X}_{c1}, \bar{X}_{c2}, \dots, \bar{X}_{c(k-1)}$  – середины интервалов (табл. 3);

$k$  – номер интервала, в который входит среднее значение показателя за месяц.

Для интервалов со средними значениями показателя выше среднего значения показателя за месяц рассчитывается средневзвешенное по количеству смен (в %) значение по выражению:

$$\bar{X}_{\text{ср.вз.бол}} = \frac{\bar{X}_{c(k+1)} \cdot m'_{(k+1)} + \bar{X}_{c(k+2)} \cdot m'_{(k+2)} + \dots + \bar{X}_{cj} \cdot m'_j}{\sum(m'_{(k+1)} + m'_{(k+2)} + \dots + m'_j)}, \quad (14)$$

На основании рассчитанных по (12-13) средневзвешенных значений проводится анализ энерготехнологической результативности производственных процессов, а именно: какое количество смен/суток (в %) отработало со средневзвешенным значением энерготехнологического показателя меньше/больше среднего значения за месяц.

Следующим этапом анализа является оценка энерготехнологической результативности выполнения работ по рассматриваемому производственному процессу за месяц в натуральном и финансовом выражении.

Оценка энерготехнологической результативности в натуральном выражении ( $\mathcal{E}_{v \text{ м а нат}}$ ) по экономии/перерасходу (+/-) энергоресурса

проводится по отклонению среднего фактического удельного энергопотребления за месяц ( $\bar{w}_{a y i}$ ) от планового значения удельного энергопотребления ( $w_{пл}$ ) с учетом суммарных объемов работ в соответствии с выражением:

$$\mathcal{E}_{м а н а т} = (w_{пл} - \bar{w}_a) \cdot \sum_{i=1}^n Q_{a y i} \quad (15)$$

где  $w_{пл}$  – плановое месячное удельное энергопотребление;

$\bar{w}_a$  – среднесменное/среднесуточное фактическое удельное энергопотребление за месяц;

$v$  – индекс, соответственно, ЭЭ – электроэнергия, ДТ – дизельное топливо.

Устанавливается энерготехнологическая результативность работы организационно-производственного энергопотребляющего подразделения – смены, участка:

- если  $(w_{пл} - \bar{w}_a) > 0$ , то подразделение выполняло работу более энергоэффективно со сниженным относительно плана удельным энергопотреблением.

- если  $(w_{пл} - \bar{w}_a) = 0$ , то подразделение выполняло работу в пределах планового удельного энергопотребления.

- если  $(w_{пл} - \bar{w}_a) < 0$ , то подразделение выполняло работу менее энергоэффективно с повышенным относительно планового удельным энергопотреблением.

Оценка энерготехнологической результативности ( $\mathcal{E}_{v м а фин}$ ) по экономии/перерасходу (+/-) в финансовом выражении энергоресурса проводится в соответствии с выражением с учетом (15):

$$\mathcal{E}_{v м а фин} = \mathcal{E}_{v м а н а т} \cdot C_v \quad (16)$$

где  $C_v$  – цена единицы энергоресурса.

На основе оценок энерготехнологической результативности в натуральном и финансовом выражении проводится оценка обстоятельств, условий, которые обусловили выполнение работ в смене со сниженной

энергоэффективностью ( $w_{пл} - \bar{w}_a < 0$ ). На основании проведенной оценки определяются действия, мероприятия по устранению обстоятельств, условий, которые привели к сменной работе со сниженной энергетической эффективностью с целью обеспечения выполнения работ в следующие смены с заданной ( $w_{пл} - \bar{w}_a = 0$ ) или повышенной по сравнению с заданной ( $w_{пл} - \bar{w}_a > 0$ ) энергетической эффективностью. Реализация указанных действий, мероприятий приводит к экономии денежных средств – снижению себестоимости продукции предприятия. Таким образом, обеспечивается выполнение управлением энергоэффективностью – энерготехнологической результативностью – основных производственных процессов.

## **Заключение**

Анализа энерготехнологической результативности позволяет обеспечить:

1. **Вероятностно-статистическую оценку** энерготехнологических показателей производственных процессов, соответствующую вероятностной природе процесса энергопотребления.
2. **Адресность** анализа по организационно-производственным энергопотребляющим объектам – сменам, участкам.
3. **Объективность** анализа на основе данных ИС предприятия по сменным объемам работ, энергопотреблению, удельному энергопотреблению технических энергопотребляющих - машин, оборудования и др.
4. **Предоставление персоналу**, в ведении которого находятся производственные процессы, информации для управления энерготехнологической результативностью с целью повышения энергетической эффективности.

## Список литературы

1. А. В. Ляхомский, Е. Н. Перфильева, У. А. оглы Рзазаде, А. А. Шадрин. Энерготехнологический мониторинг производственных процессов для системного обеспечения и повышения энергетической эффективности // Энергобезопасность и энергосбережения. – 2023. – №. 6. – С. 14-21.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: «Наука», 2018. – 353 с.
3. ГОСТ Р ИСО 16269-4-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Статистическое представление данных. Часть 4. Выявление и обработка выбросов. М., 2017. 53 с.
4. Ляхомский А.В., Бабокин Г.И. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий. М, изд-во «Горная книга», 2011 г.
5. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2014 г. № 1099-р с изменениями на 5 апреля 2019 г.).
6. Рыжов П.А. Математическая статистика в горном деле. – М.: «Высш. школа», 1973. – 287 с.
7. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2023619961 РФ «Программа моделирования нейронной сети на основе генетического алгоритма выбора гиперпараметров с целью анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов горно-металлургических предприятий»/ А.В. Ляхомский; А.А. Шадрин заявитель и правообладатель НИТУ МИСИС. – №2023617680; заявл. 24.04.2023; опубл. 17.05.2023.
8. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ.
9. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р).
10. Эренберг А. Анализ и интерпретация статистических данных. М.: Финансы и статистика, 1999. – 406 с. //А. Yu. Trusova, AI Ilyina.



**Приложение**

**Пример применения анализа энерготехнологической результативности  
выемочно-погрузочных работ циклично-поточного процесса добычи  
угля**

## **1 Вероятностно-статистический анализ энерготехнологической результативности**

### **1.1 Статистические характеристики энерготехнологических показателей**

Упорядоченные по мере увеличения значений энерготехнологических показателей статистические ряды приведены в табл. П1.

Рассчитанные статистические характеристики упорядоченных статистических рядов, характеризующие энерготехнологический режим выемочно-погрузочных работ, приведены в табл. П2:

- среднее;
- среднеквадратическое отклонение, характеризующее изменчивость показателя как случайной величины;
- медианное значение (медиана), показывающее срединное значение ряда;
- модальное значение (мода), показывающее наиболее часто встречающееся значение ряда (если в ряду несколько относительно наиболее часто встречающихся значений, то ряд считается полимодальным);
- коэффициент вариации, определяемый отношением среднеквадратического отклонения к среднему значению.

Для упорядоченных статистических рядов (табл. П1) построены (в виде гистограмм) дифференциальные и интегральные вероятностные распределения энерготехнологических показателей (рис. П1 и П2).

Гистограммы дифференциального распределения показывают вероятность - количество смен/суток в %, отработавших за анализируемый месяц в определенном диапазоне энерготехнологического показателя.

Гистограммы интегрального распределения показывают накопленную вероятность – количество смен/суток в % во всем диапазоне изменения энерготехнологического показателя.

Таблица ПП – Упорядоченные (по мере возрастания значений показателей) статистические ряды энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ, выполняемых электрическими экскаваторами (добычной участок)

№ п/п	Энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ						Удельное электропотребление, кВт·ч/м³					
	Сменные объемы работ (ПП), м³			Потребление электроэнергии (ЭЭ), кВт·ч			смена 1			смена 2		
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
1	19067,00	20806,00	39970,00	9181,00	10200,00	22471,00	0,44	0,39	0,44	0,44	0,39	0,44
2	20914,00	20902,00	47490,00	11771,00	11475,00	24940,00	0,44	0,50	0,44	0,44	0,50	0,49
3	22102,00	21770,00	48047,00	12113,00	12805,00	25280,00	0,48	0,54	0,48	0,48	0,54	0,51
4	22256,00	23089,00	48982,00	12271,00	13168,00	25600,00	0,48	0,55	0,48	0,48	0,55	0,51
5	22760,00	23841,00	49006,00	13204,00	15759,00	26009,00	0,50	0,55	0,50	0,50	0,55	0,51
6	23491,00	24827,00	50071,00	14125,00	15863,00	28967,00	0,51	0,55	0,51	0,51	0,55	0,52
7	24315,00	25388,00	50158,00	14392,00	16394,00	30786,00	0,55	0,56	0,55	0,55	0,56	0,58
8	24934,00	25446,00	50173,00	14941,00	17196,00	34831,00	0,55	0,59	0,55	0,55	0,59	0,60
9	25142,00	26366,00	50681,00	16821,00	18610,00	36950,00	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,60
10	25344,00	26611,00	51215,00	17853,00	18819,00	38433,00	0,65	0,62	0,65	0,65	0,62	0,62
11	25491,00	26618,00	51458,00	17883,00	19375,00	38591,00	0,68	0,65	0,68	0,68	0,65	0,67
12	25934,00	26768,00	52552,00	18506,00	19661,00	38636,00	0,70	0,66	0,70	0,70	0,66	0,69
13	26012,00	27398,00	52978,00	18772,00	19756,00	38833,00	0,70	0,67	0,70	0,70	0,67	0,69
14	26278,00	27737,00	53228,00	18881,00	19890,00	38966,00	0,71	0,67	0,71	0,71	0,67	0,71
15	26367,00	27815,00	53604,00	19536,00	20327,00	39304,00	0,71	0,69	0,71	0,71	0,69	0,72
16	26582,00	28072,00	54486,00	19922,00	20739,00	40668,00	0,72	0,69	0,72	0,72	0,69	0,72
17	27850,00	28092,00	55838,00	20356,00	21207,00	40841,00	0,72	0,70	0,72	0,72	0,70	0,72
18	28126,00	29134,00	57468,00	20505,00	21366,00	41288,00	0,73	0,70	0,73	0,73	0,70	0,72
19	28334,00	30994,00	57663,00	20596,00	21593,00	42190,00	0,74	0,71	0,74	0,74	0,71	0,73
20	28777,00	32036,00	58618,00	21086,00	22365,00	43016,00	0,74	0,72	0,74	0,74	0,72	0,73
21	28836,00	32319,00	58988,00	21095,00	22420,00	43196,00	0,75	0,72	0,75	0,75	0,72	0,73
22	28904,00	32685,00	60626,00	21308,00	22483,00	43717,00	0,75	0,73	0,75	0,75	0,73	0,74
23	29070,00	32803,00	61521,00	21466,00	22622,00	43936,00	0,76	0,73	0,76	0,76	0,73	0,75
24	29240,00	32866,00	61789,00	21809,00	22727,00	44227,00	0,77	0,73	0,77	0,77	0,73	0,75
25	29242,00	32929,00	61833,00	21849,00	22741,00	44764,00	0,78	0,75	0,78	0,78	0,75	0,75
26	29333,00	33940,00	62108,00	21862,00	22888,00	44793,00	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,75

№ п/п	Энерготехнологические показатели выемочно-погрузочных работ											
	Сменные объемы работ (ПП), м <sup>3</sup>		Потребление электроэнергии (ЭЭ), кВт·ч		Удельное электропотребление, кВт·ч/м <sup>3</sup>		Потребление электроэнергии (ЭЭ), кВт·ч		Удельное электропотребление, кВт·ч/м <sup>3</sup>			
	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки
27	29366,00	34279,00	62136,00	22067,00	23326,00	45583,00	0,81	0,78	45583,00	0,81	0,78	0,78
28	30826,00	35692,00	63519,00	22256,00	23456,00	46093,00	0,83	0,78	46093,00	0,83	0,78	0,82
29	32386,00	37502,00	69889,00	23470,00	24400,00	46211,00	0,88	0,90	46211,00	0,88	0,90	0,83
30	37895,00	37914,00	78140,00	24642,00	25313,00	47084,00	0,89	0,95	47084,00	0,89	0,95	0,88
31	40226,00	41501,00	79396,00	24664,00	25588,00	47530,00	0,99	0,99	47530,00	0,99	0,99	0,97
Итого	845400,00	908140,00	1753541,00	579203,00	614532,00	1193734,00	-	-	1193734,00	-	-	-

Таблица П2 - Статистические характеристики энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ, выполняемых электрическими экскаваторами (добычной участок)

Статистические характеристики	Объемы работ (ПП), м <sup>3</sup>						Потребление электроэнергии (ЭЭ), кВт·ч						Удельное электропотребление, кВт·ч/м <sup>3</sup>								
	смена 1		смена 2		сутки		смена 1		смена 2		сутки		смена 1		смена 2		сутки				
	смена 1	смена 2	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	смена 1	смена 2	сутки	
Среднее значение	27271,0	29294,8	56565,8	18684,0	19823,6	38507,5	0,69	0,68	38507,5	0,69	0,68	0,69	0,68	38507,5	0,69	0,68	0,69	0,68	38507,5	0,69	0,68
Среднеквадратическое отклонение (СКО) <sup>1)</sup>	4303,8	5096,6	8413,2	4004,1	3943,9	7340,1	0,14	0,12	7340,1	0,14	0,12	0,14	0,12	7340,1	0,14	0,12	0,14	0,12	7340,1	0,14	0,12
Срединное значение ряда (Me) <sup>1)</sup>	26582,0	28072,0	54486,0	19922,0	20739,0	40668,0	0,72	0,69	40668,0	0,72	0,69	0,72	0,69	40668,0	0,72	0,69	0,72	0,69	40668,0	0,72	0,69
Наиболее часто встречающееся значение ряда (Mo) <sup>1)</sup>	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Коэффициент вариации, V	15,8%	17,4%	14,9%	21,4%	19,9%	19,1%	19,7%	18,3%	19,1%	19,7%	18,3%	19,7%	18,3%	19,1%	19,7%	18,3%	19,7%	18,3%	19,1%	19,7%	18,3%

<sup>1)</sup> Статистические характеристики показывают: СКО – среднеквадратическое отклонение отдельных значений ряда от среднего значения; Me – срединное значение ряда (не всегда совпадает с каким-то значением ряда); Me – наиболее часто встречающееся значение ряда (если в ряду несколько таких значений, то такого значения нет); V – коэффициент вариации, показывающий степень отклонений значений ряда от среднего, определяемый отношением СКО к среднему значению.

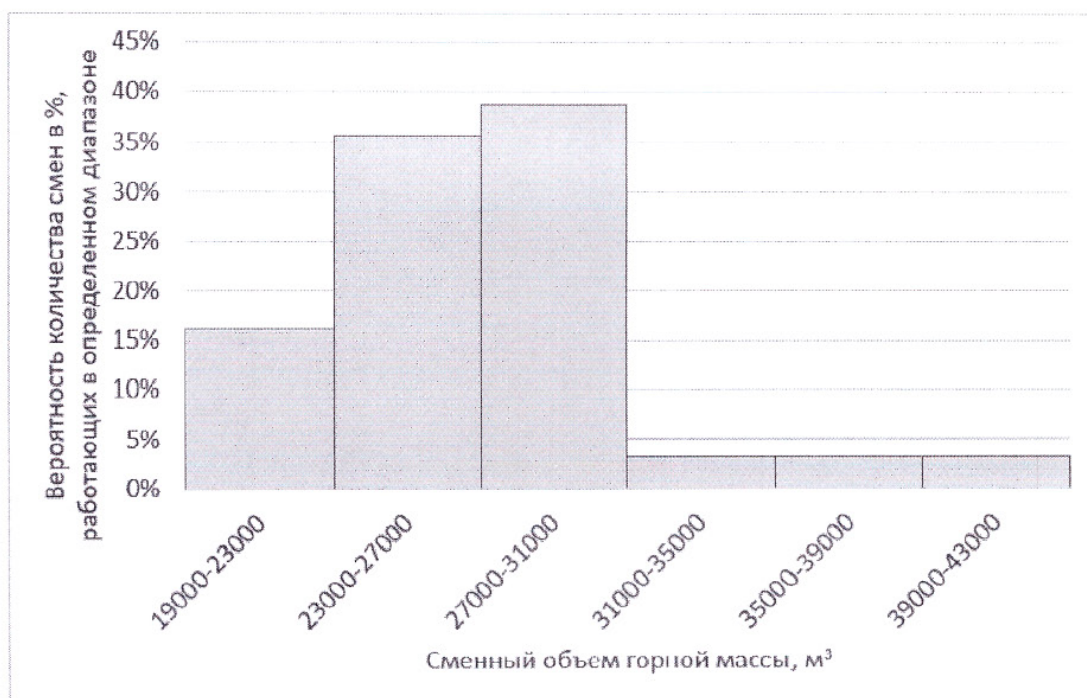


Рис. П1 - Распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших в определенном диапазоне объема выемочно-погрузочных работ



Рис. П2 - Накопленное распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших во всем диапазоне объема выемочно-погрузочных работ

### 1.1.1 Анализ объема выемочно-погрузочных работ

Анализ объема выемочно-погрузочных работ проводится на основе данных мониторинга энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ добычного участка.

На основе этих данных сформированы: упорядоченные (по мере возрастания значений энерготехнологических показателей) ряды, рассчитаны их статистические характеристики (табл. П1, П2); гистограммы дифференциальных и интегральных распределений объема выемочно-погрузочных работ (рис. П1, П2).

Распределение вероятности - количество первых смен в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне, приведено в табл. П3.

Таблица П3 - Распределение вероятности - количество первых смен в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (м <sup>3</sup> )					
	19000-23000	23000-27000	27000-31000	31000-35000	35000-39000	39000-43000
Количество первых смен, %	16,1%	35,6%	38,7%	3,2%	3,2%	3,2%

Анализ распределения объема выемочно-погрузочных работ первых смен показывает: 51,7% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 23754,4 м<sup>3</sup>, что меньше среднесменного объема работ, равного 27271,0 м<sup>3</sup> (табл. П2), на 3516,6 м<sup>3</sup> (12,9%); 9,6% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 37000,0 м<sup>3</sup>, что на 9729,0 м<sup>3</sup> (35,7%) выше среднесменного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал сменной производительности второй смены, составляющий 3516,6 м<sup>3</sup>.

Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне, приведено в табл. П4.

Таблица П4 - Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (м <sup>3</sup> )					
	19000-21800	21800-24600	24600-27400	27400-30200	30200-33000	33000-35800
Количество вторых смен, %	9,7%	12,9%	32,2%	19,4%	12,9%	12,9%

Анализ распределения объема выемочно-погрузочных работ вторых смен показывает: 48,4% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 24669,4 м<sup>3</sup>, что меньше среднесменного объема работ, равного 29294,8 м<sup>3</sup> (табл. П2), на 4625,4 м<sup>3</sup> (15,8%); 38,7% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 35333,3 м<sup>3</sup>, что на 6038,5 м<sup>3</sup> (20,6%) выше среднесменного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал суточной производительности, составляющий 4625,4 м<sup>3</sup>.

Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне, приведено в табл. П5.

Таблица П5 - Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с объемом выемочно-погрузочных работ в определенном диапазоне

Показатель	Количество суток (%), отработавших в диапазоне (м <sup>3</sup> )					
	39000-46000	46000-53000	53000-60000	60000-67000	67000-74000	74000-81000
Количество суток, %	3,2%	38,7%	25,8%	22,6%	3,2%	6,5%

Анализ распределения суточного объема выемочно-погрузочных работ показывает: 41,9% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 48965,4 м<sup>3</sup>, что меньше среднесуточного объема работ, равного 56565,8 м<sup>3</sup> (табл. П2), на 7600,4 м<sup>3</sup> (13,4%); 32,3% смен отработало со средневзвешенным объемом работ 67010,8 м<sup>3</sup>, что на 10445,0 м<sup>3</sup> (18,5%) выше среднесуточного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал суточной производительности, составляющий 7600,4 м<sup>3</sup>.

Анализ распределений показывает, что на добычном участке имеется потенциал повышения сменной/суточной производительности выемочно-

погрузочных работ, реализация которого приведет к повышению энергоэффективности - снижению удельного электропотребления за счет условно постоянных затрат электроэнергии.

### 1.1.2 Анализ электропотребления

Анализ электропотребления проводится на основе данных мониторинга энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ добычного участка.

На основе этих данных сформированы упорядоченные (по мере возрастания значений энерготехнологических показателей) ряды, рассчитаны их статистические характеристики (табл. П1, П2). С использованием гистограмм распределения полного энергопотребления, аналогичных гистограммам распределения объемов выемочно-погрузочных работ, сформированы таблицы для анализа полного электропотребления.

Распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П6.

Таблица П6 - Распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (кВт·ч)					
	9000-12000	12000-15000	15000-18000	18000-21000	21000-24000	24000-27000
Количество первых смен, %	6,5%	19,4%	9,7%	25,6%	32,3%	6,5%

Анализ распределения электропотребления первой смены показывает: 35,6% смен отработало со средневзвешенным электропотреблением 13769,7 кВтч, что меньше среднесменного электропотребления, равного 18684,0 кВтч (табл. П2), на 4914,3 кВтч (26,3%); 38,8% смен отработало со средневзвешенным электропотреблением 23002,6 кВтч, что на 4318,6 кВтч (23,1%) выше среднесменного.



Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П7.

Таблица П7 - Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (кВт·ч)					
	10000-13000	13000-16000	16000-19000	19000-22000	22000-25000	25000-28000
Количество вторых смен, %	9,7%	9,7%	12,9%	29,0%	32,2%	6,5%

Анализ распределения электропотребления второй смены показывает: 32,3% смен отработало со средневзвешенным электропотреблением 14797,2 кВтч, что меньше среднесменного электропотребления, равного 19823,6 кВтч (табл. П2), на 5026,4 кВтч (25,4%); 38,7% смен отработало со средневзвешенным электропотреблением 24003,9 кВтч, что на 4180,3 кВтч (21,1%) выше среднесменного.

Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П8.

Таблица П8 - Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество суток (%), отработавших в диапазоне (кВт·ч)					
	22000-26000	26000-30000	30000-34000	34000-38000	38000-42000	42000-46000
Количество суток, %	12,9%	6,5%	3,2%	6,5%	29,0%	29,0%

Анализ распределения суточного электропотребления показывает: 29,1% суток отработало со средневзвешенным электропотреблением 28453,6 кВтч, что меньше среднесуточного электропотребления, равного 38507,5 кВтч (табл. П2), на 10053,9 кВтч (26,1%); 41,9% суток отработало со средневзвешенным электропотреблением 45231,5 кВтч, что на 6724,0 кВтч (17,5%) выше среднесуточного.

Анализ данных таблиц П6–П8 показывает, что имеется потенциал повышения энергоэффективности за счет сокращения числа смен/суток, работающих с электропотреблением выше среднесменного/среднесуточного за месяц.

### 1.1.3 Анализ удельного электропотребления

Анализ удельного электропотребления проводится на основе данных мониторинга энерготехнологических показателей выемочно-погрузочных работ добычного участка.

На основе данных по удельному электропотреблению выемочно-погрузочных работ добычного участка, представленных в табл. П1, рассчитаны статистические характеристики (табл. П2). С использованием гистограмм распределения удельного электропотребления, аналогичных гистограммам распределения объемов выемочно-погрузочных работ, сформированы таблицы для анализа удельного электропотребления.

Распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П9.

Таблица П9 - Распределение вероятностей - количество первых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (кВтч/м <sup>3</sup> )					
	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
Количество первых смен, %	12,9%	12,9%	9,7%	48,4%	12,9%	3,2%

Анализ распределения удельного электропотребления первой смены показывает: 25,8% смен отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,5 кВтч/м<sup>3</sup>, что меньше среднесменного удельного электропотребления, равного 0,69 кВтч/м<sup>3</sup> (табл. П2), на 0,19 кВтч/м<sup>3</sup> (27,5%); 64,5% смен отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,78 кВтч/м<sup>3</sup>, что на 0,09 кВтч/м<sup>3</sup> (13%) выше среднесменного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал снижения удельного электропотребления первой смены, составляющий 0,09 кВтч/м<sup>3</sup>.

Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П10.

Таблица П10 - Распределение вероятностей - количество вторых смен в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество смен (%), отработавших в диапазоне (кВт·ч/м <sup>3</sup> )						
	0,3-0,41	0,41-0,52	0,52-0,63	0,63-0,74	0,74-0,85	0,85-0,96	0,96-1,07
Количество вторых смен, %	3,2%	3,2%	25,8%	45,2%	12,9%	6,5%	3,2%

Анализ распределения удельного электропотребления второй смены показывает: 32,2% смен отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,54 кВтч/м<sup>3</sup>, что меньше среднесменного удельного электропотребления, равного 0,68 кВтч/м<sup>3</sup> (табл. П2), на 0,14 кВтч/м<sup>3</sup> (20,1%); 22,6% смен отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,86 кВтч/м<sup>3</sup>, что на 0,18 кВтч/м<sup>3</sup> (26,5%) выше среднесменного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал снижения удельного электропотребления второй смены, составляющий 0,18 кВтч/м<sup>3</sup>.

Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне, приведено в табл. П11.

Таблица П11 - Распределение вероятностей - количество суток в %, отработавших с удельным электропотреблением в определенном диапазоне

Показатель	Количество суток (%), отработавших в диапазоне (кВт·ч/м <sup>3</sup> )					
	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1
Количество суток, %	6,5%	19,4%	16,1%	45,1%	9,7%	3,2%

Анализ распределения суточного удельного электропотребления показывает: 25,9% суток отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,52 кВтч/м<sup>3</sup>, что меньше среднесуточного удельного электропотребления, равного 0,68 кВтч/м<sup>3</sup> (табл. П2), на 0,16 кВтч/м<sup>3</sup> (23,5%); 58,0% суток отработало со средневзвешенным удельным электропотреблением 0,78 кВтч/м<sup>3</sup>, что на 0,10 кВтч/м<sup>3</sup> (14,7%) выше среднесуточного.

Данные анализа показывают, что имеется потенциал снижения удельного электропотребления суток, составляющий 0,10 кВтч/м<sup>3</sup>.

Анализ распределений таблиц П9-П11 показывает, что имеется потенциал повышения энергоэффективности за счет сокращения числа смен/суток, работающих с удельным электропотреблением выше среднесменного/среднесуточного за месяц.

## 1.2 Оценка энерготехнологической результативности добычного участка в натуральном и финансовом выражении

С учетом того, что различные типы экскаваторов имеют разные значения планового удельного электропотребления и разные объемы работ, то для анализа энерготехнологической результативности добычного участка принимается сумма оценок энерготехнологической результативности в натуральном и финансовом выражении каждого экскаватора, работающего на участке в анализируемом месяце (табл. П12).

Оценка энерготехнологической результативности добычного участка ( $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м уч нат}}$ ) по экономии/перерасходу затрат на электроэнергию в натуральном выражении выполнена в соответствии с выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м уч нат}} = \sum_{i=1}^{10} \mathcal{E}_{\text{ЭЭ м нат } i}, \text{ руб.}, \quad (\text{П1})$$

где  $i$  – номер экскаватора,  $i = 1, 2, \dots, 10$ ;

$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м нат } i}$  - оценка энерготехнологической результативности работы  $i$ -того электрического экскаватора по экономии/перерасходу затрат на электроэнергию, в натуральном выражении, определяемая в соответствии с выражениями (15).

Оценка энерготехнологической результативности добычного участка ( $\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м уч фин}}$ ) по экономии/перерасходу затрат на электроэнергию в финансовом выражении выполнена в соответствии с выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м уч фин}} = \sum_{i=1}^{10} \mathcal{E}_{\text{ЭЭ м фин } i}, \text{ руб.}, \quad (\text{П2})$$

$\mathcal{E}_{\text{ЭЭ м фин } i}$  - оценка энерготехнологической результативности работы  $i$ -того электрического экскаватора по экономии/перерасходу затрат на электроэнергию, в финансовом выражении, определяемая в соответствии с выражениями (16).

Таблица П12 - Анализ и оценка энерготехнологической результативности выемочно-погрузочных работ добычного участка при  $\text{Ц}_{\text{ЭЭ}} = 3 \text{ руб. } 62 \text{ коп.}$

№ п/п	Тип экскаватора	Удельное электропотребление, кВтч/м <sup>3</sup>				Объем работ, м <sup>3</sup>	ЭЭЭ м нат i кВтч	ЭЭЭ м фин i руб.
		плановое	фактическое	разность				
				+/-	%			
1	ЭКГ-4у №19	0,53	0,20	0,33	62,5%	63960,0	21170,8	76638,2
2	ЭКГ-4у №339	0,56	0,54	0,02	3,6%	3375,0	67,5	244,4
3	ЭР-1250 №94	0,53	0,31	0,22	41,5%	183443,0	40357,5	146094,0
4	ЭР-1250 №53	0,6	0,21	0,39	65,0%	145606,0	56786,3	205566,6
5	ЭР-1250 №72	0,53	0,67	-0,14	-26,4%	119193,0	-16687,0	-60407,0
6	ЭР-1250 №90	0,53	0,25	0,28	52,8%	236670,0	66267,6	239888,7
7	ЭРП-2500 №3	0,46	0,34	0,12	26,1%	212786,0	25534,3	92434,2
8	ЭРП-1600 №5	0,48	1,75	-1,27	-264,6%	26067,0	-33105,1	-119840,4
9	ЭРП-2500 №4	0,6	0,65	-0,05	-8,3%	334660,0	-16733,0	-60573,5
10	ЭРП-1600 №7	0,53	0,83	-0,30	-56,6%	252529,0	-75758,7	-274246,5
Итого:							46729,4	169160,5

Данные табл. П12 показывают, что экскаваторы добычного участка в целом отработали в зоне повышенной энергоэффективности, удельное фактическое электропотребление ниже планового, и обеспечили экономию электроэнергии и финансовых затрат. Экономия затрат на электроэнергию по участку в финансовом выражении составила 169,2 тыс. руб.

Из данных табл. П12 также следует, что незначительная часть экскаваторов добычного отработала в зоне сниженной по сравнению с плановой энергоэффективностью.

## **Приложение П10**

**Потенциалы повышения сменной производительности и снижения  
удельного электропотребления выемочно-погрузочных добычных,  
вскрышных работ и приемки вскрышных пород в отвалы**

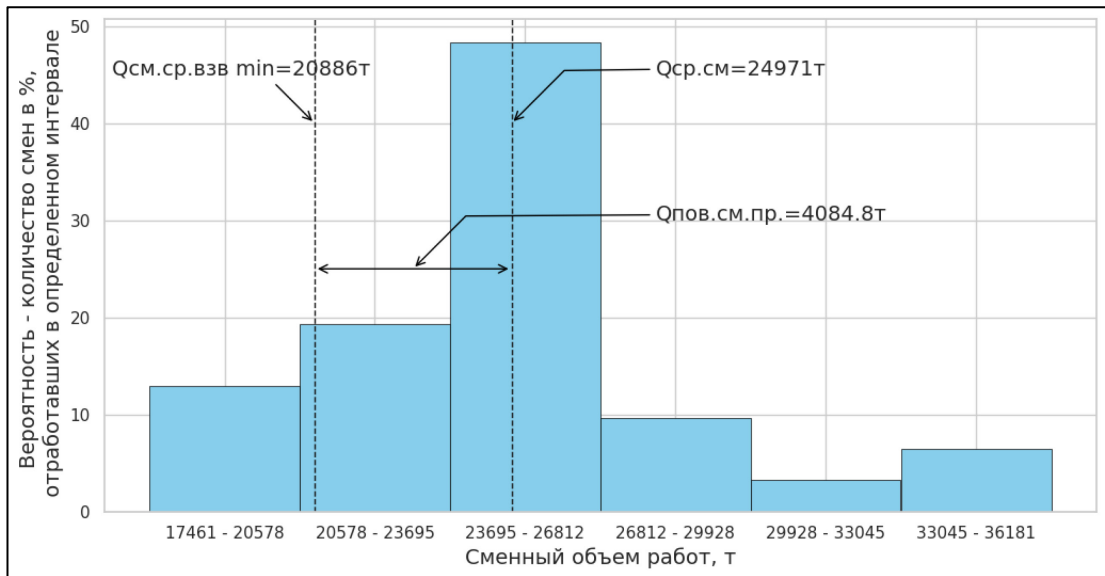


Рис. П10.1 - Потенциал повышения сменной производительности добычи и погрузки угля первой смены

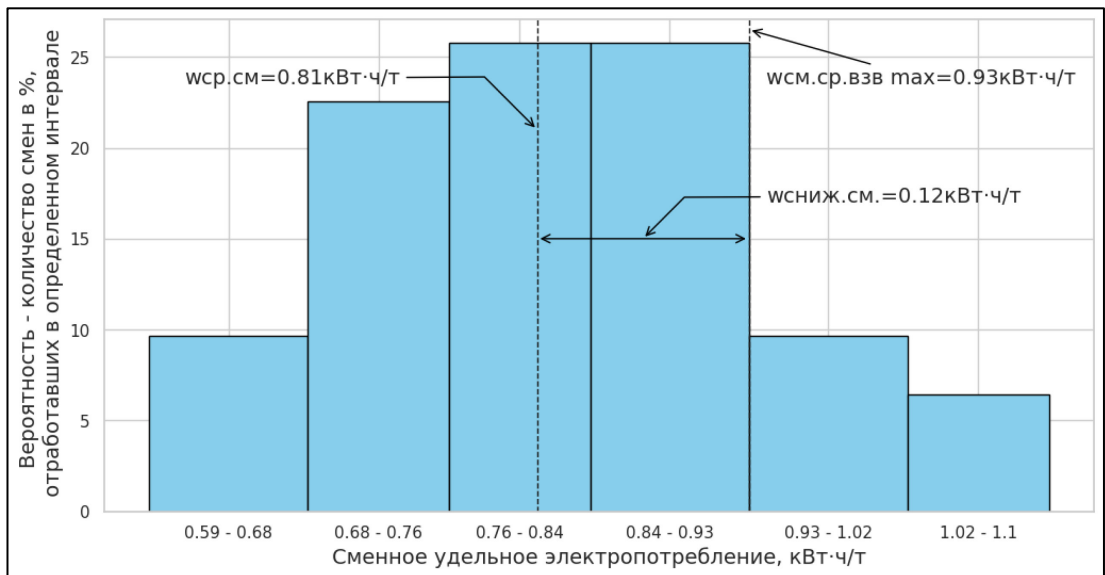


Рис. П10.2 - Потенциал снижения удельного электропотребления добычи и погрузки угля первой смены

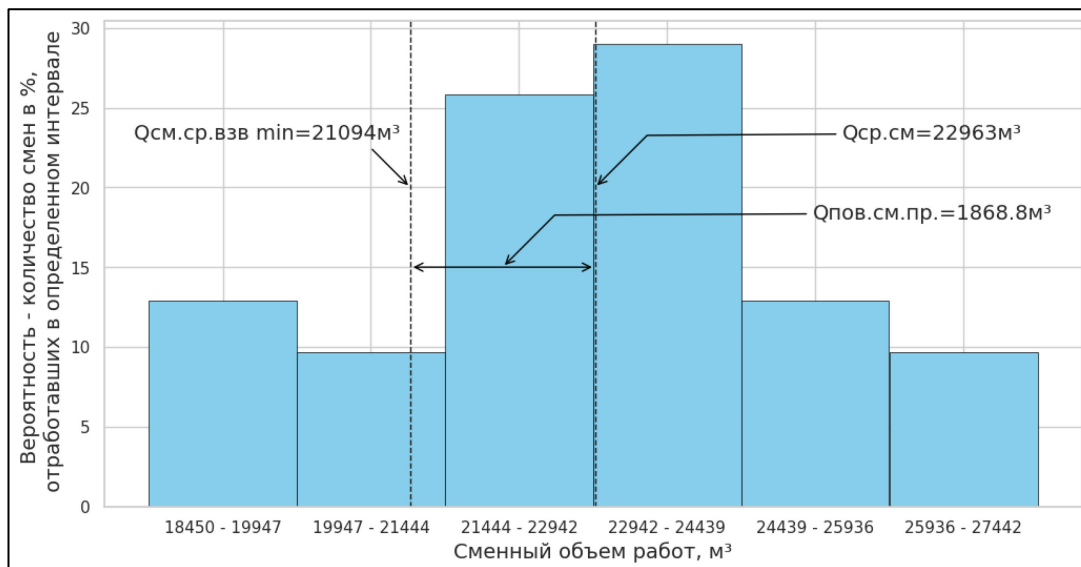


Рис. П10.3 - Потенциал повышения сменной производительности транспортной вскрыши горной породы первой смены

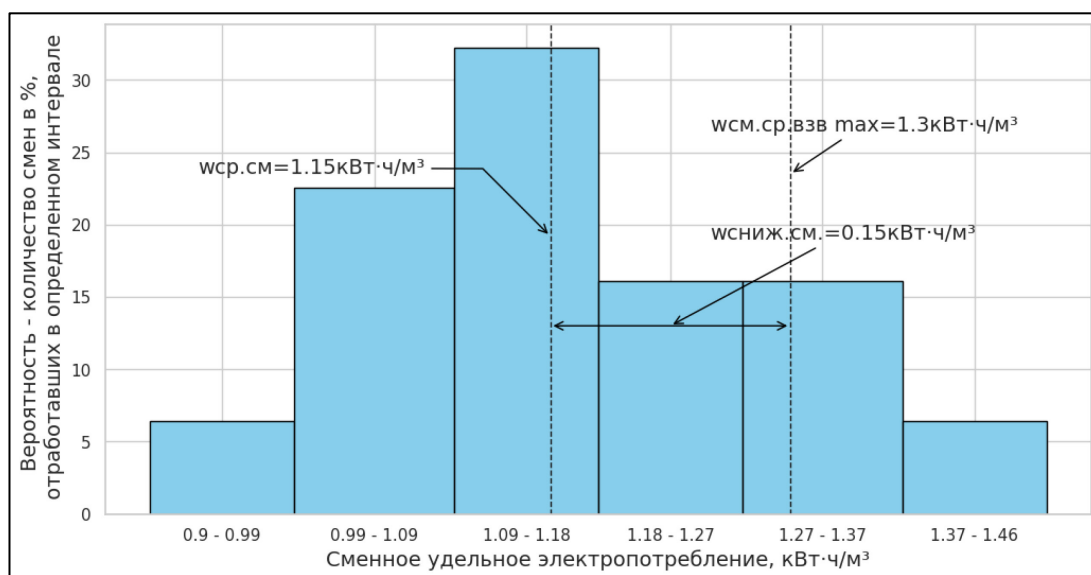


Рис. П10.4 - Потенциал снижения удельного электропотребления транспортной вскрыши горной породы первой смены



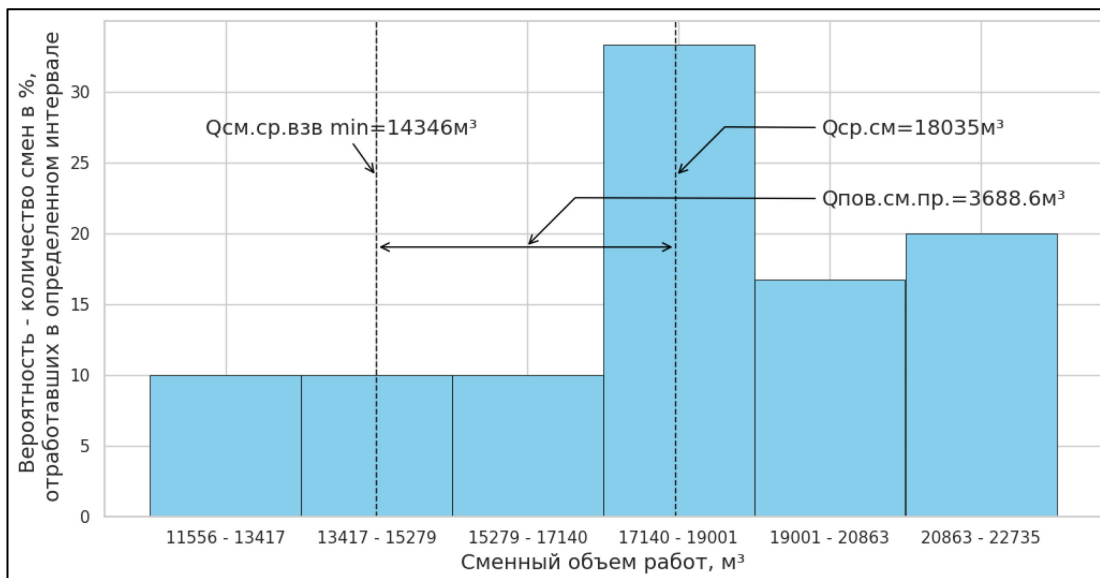


Рис. П10.5 - Потенциал повышения сменной производительности приемки вскрышных пород в отвалы первой смены

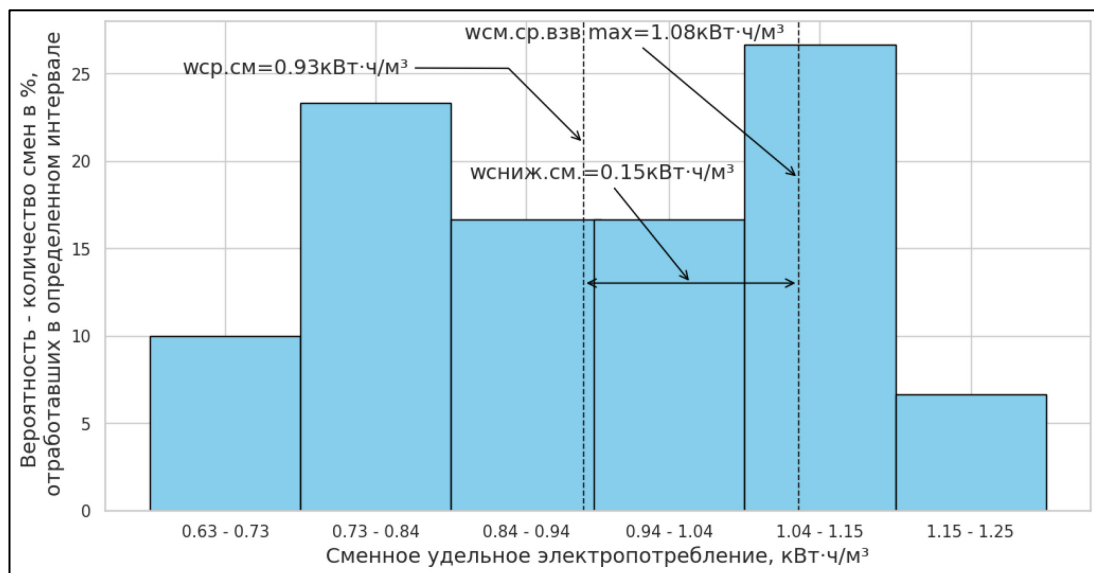


Рис. П10.6 - Потенциал снижения удельного электропотребления приемки вскрышных пород в отвалы первой смены

## **Приложение П11**

**Потенциалы повышения сменной производительности и снижения  
удельного электропотребления производства угольного концентрата и  
погрузочно-разгрузочных работ**

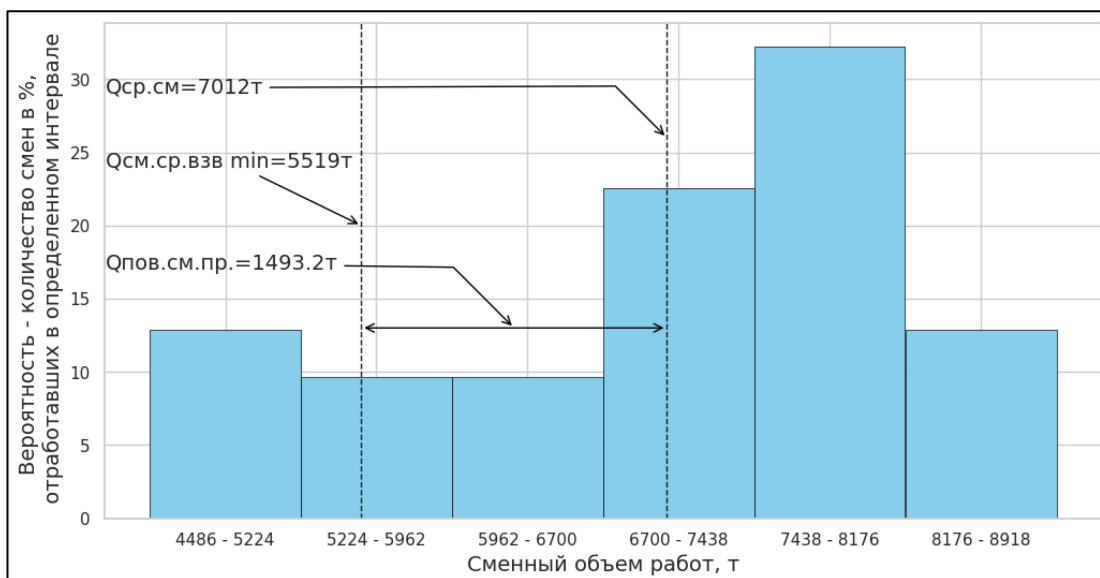


Рис. П11.1 - Потенциал повышения сменной производительности производства угольного концентрата первой смены

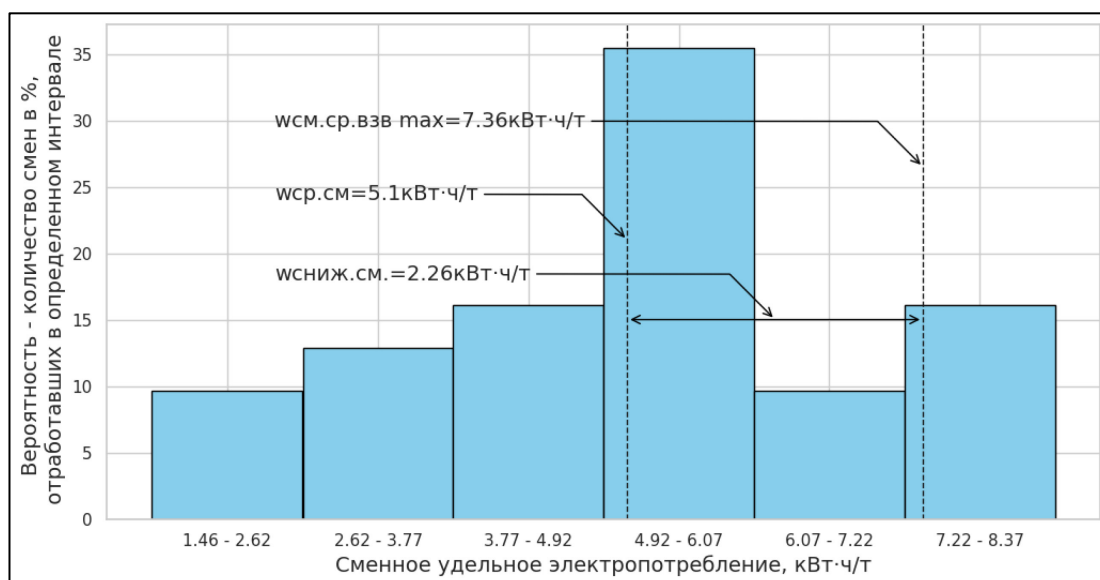


Рис. П11.2 - Потенциал снижения удельного электропотребления производства угольного концентрата первой смены

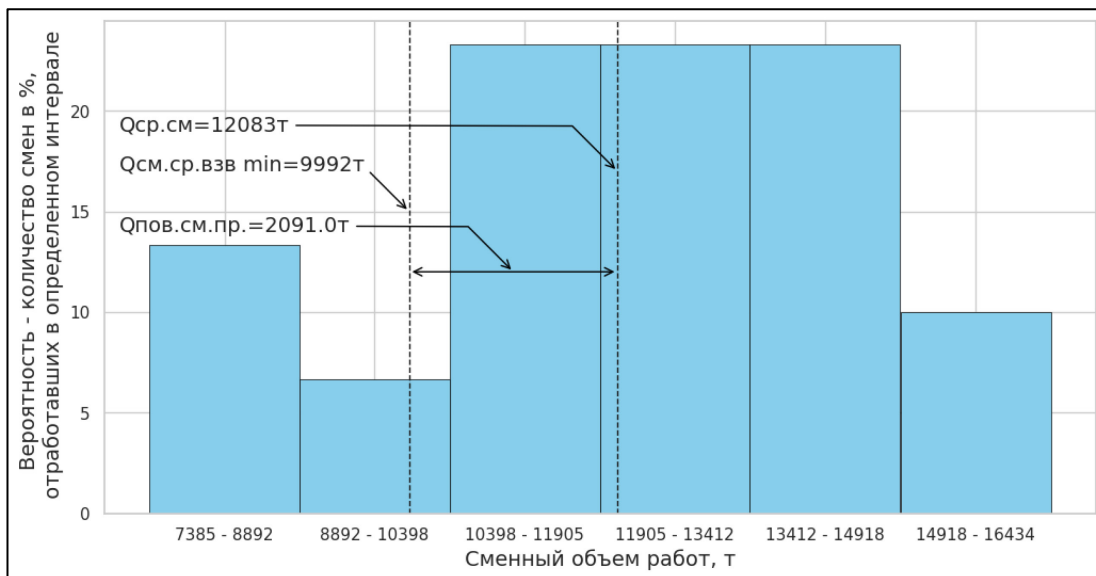


Рис. П11.3 - Потенциал повышения сменной производительности погрузочно-разгрузочных работ первой смены

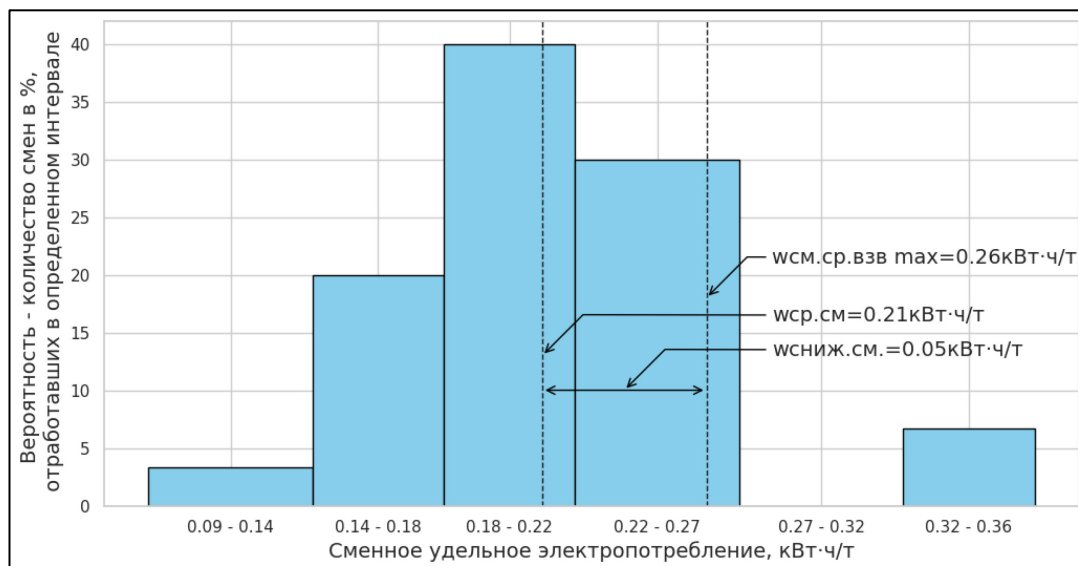


Рис. П11.4 - Потенциал снижения удельного электропотребления погрузочно-разгрузочных работ первой смены

## **Приложение П12**

**Программный код для анализа энерготехнологической  
результативности основных производственных процессов**

### 1. Загрузка необходимых библиотек Python

```
import pandas as pd
import numpy as np
import statistics as stat

from scipy.stats import norm
import scipy
from scipy import stats
import math
from math import log
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from outliers import smirnov_grubbs as grubbs
```

### 2. Загрузка файла базы данных

```
df_1 = pd.read_excel('/content/drive/MyDrive/Colab
Notebooks/Энерготехнологическая
результативность/Дисер/Baza_data_1_Dob.xlsx')
```

### 3. Тест Граббса

```
# Первая смен
Teoretic = calculate_teoretic_value(df_1.w1.count(), 0.05)
Gstat_1_1, max_index = grubbs_stat_max(df_1.w1)
Gstat_2_1, min_index = grubbs_stat_min(df_1.w1)
G1_1 = grubbs.max_test_outliers(df_1.w1.to_numpy(), alpha=0.05)
G2_1 = grubbs.min_test_outliers(df_1.w1.to_numpy(), alpha=0.05)
print("Исключить значение = ", np.around(G1_1, decimals=2).tolist())
```

```
print("Исключить значение = ", np.around(G2_1, decimals=2).tolist(),
end='\n\n')
```

```
# Вторая смен
```

```
Teoretic = calculate_teoretic_value(df_1.w2.count(), 0.05)
```

```
Gstat_1_2, max_index = grubbs_stat_max(df_1.w2)
```

```
Gstat_2_2, min_index = grubbs_stat_min(df_1.w2)
```

```
G1_2 = grubbs.max_test_outliers(df_1.w2.to_numpy(), alpha=0.05)
```

```
G2_2 = grubbs.min_test_outliers(df_1.w2.to_numpy(), alpha=0.05)
```

```
print("Исключить значение = ", np.around(G1_2, decimals=2).tolist())
```

```
print("Исключить значение = ", np.around(G2_2, decimals=2).tolist(),
end='\n\n')
```

```
# Сутки
```

```
Teoretic = calculate_teoretic_value(df_1.ws.count(), 0.05)
```

```
Gstat_1_s, max_index = grubbs_stat_max(df_1.ws)
```

```
Gstat_2_s, min_index = grubbs_stat_min(df_1.ws)
```

```
G1_s = grubbs.max_test_outliers(df_1.ws.to_numpy(), alpha=0.05)
```

```
G2_s = grubbs.min_test_outliers(df_1.ws.to_numpy(), alpha=0.05)
```

```
print("Исключить значение = ", np.around(G1_s, decimals=2).tolist())
```

```
print("Исключить значение = ", np.around(G2_s, decimals=2).tolist(), )
```

#### **4. Статистические характеристики энерготехнологических показателей**

##### **4.1. Упорядоченный ряд**

```
df_1_nan = df_1.replace(0, np.nan)
```

```
df_1_upor = pd.DataFrame(np.sort(df_1_nan, axis=0),
columns=df_1_nan.columns).round(2)
```

```
df_1_upor.loc[len(df_1_upor.index)] = df_1_upor.sum()
```

```
df_1_upor.iloc [[31], [6,7,8]] = np.nan
```

```
df_1_upor = df_1_upor.fillna('-')
df_1_upor.to_excel('/content/drive/MyDrive/Colab
Notebooks/Upor_rjad.xlsx')
```

## 4.2. Статистические характеристики

```
# функция для определения статистических характеристик по заданию
проекта
def describe(df):
    df_stat = df.describe()
    df_stat.loc['Variacia'] = (df_stat.iloc[2] / df_stat.iloc[1])*100
    return round(df_stat.drop(['min', '25%', '75%',
'max']).rename(index={'50%': "mediana"}),2)
df_1_stat = pd.DataFrame(np.sort(df_1, axis=0),
columns=df_1.columns).round(2) # создаем датафрейм для статистики
df_stat = describe(df_1_stat)
df_stat.loc['moda'] = 'нет'
df_stat = df_stat.loc[['count', 'mean', 'std', 'mediana', 'moda', 'Variacia'], ['Q1',
'Q2', 'Qs', 'W1', 'W2', 'Ws', 'w1', 'w2', 'ws']]
# переопределение удельного энергопотребления по формуле: среднее
энергопотребление / средний объем работ.
df_stat.loc['mean', 'w1'] =
round(df_stat.loc['mean', 'W1']/df_stat.loc['mean', 'Q1'], 2)
df_stat.loc['mean', 'w2'] =
round(df_stat.loc['mean', 'W2']/df_stat.loc['mean', 'Q2'], 2)
df_stat.loc['mean', 'ws'] =
round(df_stat.loc['mean', 'Ws']/df_stat.loc['mean', 'Qs'], 2)
df_stat.to_excel('/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/statistica.xlsx') #
сохранение файла с описательной статистикой
```

## 5. Энерготехнологическая результативность

### 5.1. Объем работ



### 5.1.1. Первая смена

```
df_2 = pd.DataFrame(np.sort(df_1, axis=0),
columns=df_1.columns).round(2)
cut_df_Q1 = pd.cut(df_2['Q1'].dropna(), bins=6, precision=0).to_frame()
cut_df1_Q1 = cut_df_Q1.groupby('Q1').size().to_frame(name='частота').reset_index()
cut_df1_Q1['частота'].sum()
cut_df_Q1 = pd.cut(df_2['Q1'].dropna(), bins=6, right=False,
precision=0).to_frame()
cut_df1_Q1 = cut_df_Q1.groupby('Q1').size().to_frame(name='частота').reset_index()
cut_df1_Q1['частотность'] = cut_df1_Q1['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count','Q1']*100).round(2).astype(str).str.replace('.', ',')+ '%'
cut_df1_Q1['Q1'] = cut_df1_Q1['Q1'].astype(str).str.replace(',', ' - ')
).str.replace(')', '').str.replace('[', '').str.replace('.0', '')
tabl_raspr_elen_Q1 = cut_df1_Q1[['Q1', 'частотность']].T
cut_df2_Q1, spisok = pd.cut(df_2.Q1.dropna(), bins=6, retbins=True,
precision=0)
cut_df3_Q1 = cut_df2_Q1.to_frame().groupby('Q1').size().to_frame(name='частота').reset_index()
cut_df3_Q1['частотность'] = cut_df3_Q1['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count','Q1']*100).round(2)
cut_df3_Q1['inter_left'] = pd.DataFrame(spisok[:6]).round(0)
cut_df3_Q1['inter_right'] = pd.DataFrame(spisok[1:]).round(0)
cut_df3_Q1['sered_inter'] = round((cut_df3_Q1.inter_right +
cut_df3_Q1.inter_left)/2, 0)
cut_df3_Q1

sum_min_Q1 = 0
```

```

sum1_min_Q1 = 0
sred_Q1 = df_stat.loc['mean','Q1']
for i, j in enumerate(cut_df3_Q1['inter_right'], start=0):
    if sred_Q1 > j:
        sum_min_Q1 += cut_df3_Q1.iloc[i, 2]*cut_df3_Q1.iloc[i, 5]
        sum1_min_Q1 += cut_df3_Q1.iloc[i, 2]
sr_vzv_min_Q1 = round(sum_min_Q1/sum1_min_Q1, 0)
sr_vzv_min_proc_Q1 = round((sred_Q1-sr_vzv_min_Q1)/sred_Q1*100, 1)

sum_max_Q1 = 0
sum1_max_Q1 = 0
for i, j in enumerate(cut_df3_Q1['inter_left'], start=0):
    if sred_Q1 < j:
        sum_max_Q1 += cut_df3_Q1.iloc[i, 2]*cut_df3_Q1.iloc[i, 5]
        sum1_max_Q1 += cut_df3_Q1.iloc[i, 2]
sr_vzv_max_Q1 = round(sum_max_Q1/sum1_max_Q1, 0)
sr_vzv_max_proc_Q1 = round((sr_vzv_max_Q1-sred_Q1)/sred_Q1*100, 1)

```

### 5.1.2. Вторая смена

```

cut_df_Q2 = pd.cut(df_2['Q2'].dropna(), bins=6, right=False,
precision=0).to_frame()

cut_df1_Q2 =
cut_df_Q2.groupby('Q2').size().to_frame(name='частота').reset_index()

cut_df1_Q2['частотность'] = cut_df1_Q2['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count','Q2']*100).round(2).astype(str).str.replace('.', ',')+ '%'

cut_df1_Q2['Q2'] = cut_df1_Q2['Q2'].astype(str).str.replace('.', ' -
').str.replace(')', '').str.replace('[', '').str.replace('.0', '')

tabl_raspr_elen_Q2 = cut_df1_Q2[['Q2', 'частотность']].T

```

```

cut_df2_Q2, spisok = pd.cut(df_2.Q2.dropna(), bins=6, retbins=True,
precision=1)

cut_df3_Q2 =
cut_df2_Q2.to_frame().groupby('Q2').size().to_frame(name='частота').reset
_index()

cut_df3_Q2['частотность'] = cut_df3_Q2['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count','Q2']*100).round(2)

cut_df3_Q2['inter_left'] = pd.DataFrame(spisok[:6]).round(0)

cut_df3_Q2['inter_right'] = pd.DataFrame(spisok[1:]).round(0)

cut_df3_Q2['sred_inter'] = round((cut_df3_Q2.inter_right +
cut_df3_Q2.inter_left)/2, 0)

cut_df3_Q2

sum_min_Q2 = 0

sum1_min_Q2 = 0

sred_Q2 = df_stat.loc['mean','Q2']

for i, j in enumerate(cut_df3_Q2['inter_right'], start=0):
    if sred_Q2>j:
        sum_min_Q2 += cut_df3_Q2.iloc[i, 2]*cut_df3_Q2.iloc[i, 5]
        sum1_min_Q2 += cut_df3_Q2.iloc[i, 2]

sr_vzv_min_Q2 = round(sum_min_Q2/sum1_min_Q2, 0)

sr_vzv_min_proc_Q2 = round(((sred_Q2-sr_vzv_min_Q2)/sred_Q2*100, 1)

```

```

sum_max_Q2 = 0

sum1_max_Q2 = 0

for i, j in enumerate(cut_df3_Q2['inter_left'], start=0):

    if sred_Q2 < j:

        sum_max_Q2 += cut_df3_Q2.iloc[i, 2] * cut_df3_Q2.iloc[i, 5]

        sum1_max_Q2 += cut_df3_Q2.iloc[i, 2]

sr_vzv_max_Q2 = round(sum_max_Q2 / sum1_max_Q2, 0)

sr_vzv_max_proc_Q2 = round((sr_vzv_max_Q2 - sred_Q2) / sred_Q2 * 100, 1)

```

### 5.1.3. Сутки

```

cut_df_Qs = pd.cut(df_2['Qs'].dropna(), bins=6, right=False,
precision=0).to_frame()

cut_df1_Qs = cut_df_Qs.groupby('Qs').size().to_frame(name='частота').reset_index()

cut_df1_Qs['частотность'] = cut_df1_Qs['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count', 'Qs'] * 100).round(2).astype(str).str.replace('.', ',') + '%'

cut_df1_Qs['Qs'] = cut_df1_Qs['Qs'].astype(str).str.replace(',', ' - ')
).str.replace(')', '').str.replace('[', '').str.replace('.0', '')

tabl_raspr_elen_Qs = cut_df1_Qs[['Qs', 'частотность']].T

cut_df2_Qs, spisok = pd.cut(df_2.Qs.dropna(), bins=6, retbins=True,
precision=1)

cut_df3_Qs = cut_df2_Qs.to_frame().groupby('Qs').size().to_frame(name='частота').reset_
index()

cut_df3_Qs['частотность'] = cut_df3_Qs['частота'].apply(lambda x:
x/df_stat.loc['count', 'Qs'] * 100).round(2)

```

```

cut_df3_Qs['inter_left'] = pd.DataFrame(spisok[:6]).round(0)
cut_df3_Qs['inter_right'] = pd.DataFrame(spisok[1:]).round(0)
cut_df3_Qs['sred_inter'] = round((cut_df3_Qs.inter_right +
cut_df3_Qs.inter_left)/2, 0)
cut_df3_Qs

sum_min_Qs = 0
sum1_min_Qs = 0
sred_Qs = df_stat.loc['mean','Qs']
for i, j in enumerate(cut_df3_Qs['inter_right'], start=0):
    if sred_Qs>j:
        sum_min_Qs += cut_df3_Qs.iloc[i, 2]*cut_df3_Qs.iloc[i, 5]
        sum1_min_Qs += cut_df3_Qs.iloc[i, 2]
sr_vzv_min_Qs = round(sum_min_Qs/sum1_min_Qs, 0)
sr_vzv_min_proc_Qs = round((sred_Qs-sr_vzv_min_Qs)/sred_Qs*100, 1)

sum_max_Qs = 0
sum1_max_Qs = 0
for i, j in enumerate(cut_df3_Qs['inter_left'], start=0):
    if sred_Qs<j:
        sum_max_Qs += cut_df3_Qs.iloc[i, 2]*cut_df3_Qs.iloc[i, 5]
        sum1_max_Qs += cut_df3_Qs.iloc[i, 2]
sr_vzv_max_Qs = round(sum_max_Qs/sum1_max_Qs, 0)
sr_vzv_max_proc_Qs = round((sr_vzv_max_Qs-sred_Qs)/sred_Qs*100, 1)

```

#### 5.1.4. Сводные данные по сменам и сутки в одну таблицу

```

tabl_raspr_Q_rabot = pd.concat([tabl_raspr_elen_Q1, tabl_raspr_elen_Q2,
tabl_raspr_elen_Qs])

```

```
tabl_raspr_Q_rabot.to_excel('/content/drive/MyDrive/Colab  
Notebooks/tabl_raspr_объем_работ.xlsx') # сохранение таблицы  
распределения для анализа удельного энергопотребления в файл эксель
```

```
with open('Analiz_raspr_объема_работ_общая_таблица.txt', 'w') as txt:
```

```
    txt.write(f'Первая смена \n'+
```

```
        f'За рассматриваемый период средневзвешенный объем  
выполняемых работ {sum1_min_Q1:.2f}% первых смен, отработавших в  
диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет  
{sr_vzv_min_Q1:.1f} т, '.replace(';', ',')+ 
```

```
        f' что меньше на {round(sred_Q1-sr_vzv_min_Q1, 1)} т  
среднесменного объема работ, равного {round(sred_Q1, 1)} т  
' .replace(';', ',') + '(табл. 3.3).'+
```

```
        f' При этом средневзвешенный объем выполняемых работ  
{round(sum1_max_Q1, 2)}% первых смен, отработавших в диапазоне  
выше интервала со средним значением за смену, составляет  
{round(sr_vzv_max_Q1,1)} т, что больше на {round(sr_vzv_max_Q1-  
sred_Q1,1)} т среднесменного объема работ'.replace(';', ',')+ '\n'+
```

```
    f'Вторая смена \n'+
```

```
        f'За рассматриваемый период средневзвешенный объем  
выполняемых работ {sum1_min_Q2:.2f}% вторых смен, отработавших в  
диапазоне ниже интервала со средним значением за смену, составляет  
{sr_vzv_min_Q2:.1f} т, '.replace(';', ',')+ 
```

```
        f' что меньше на {round(sred_Q2-sr_vzv_min_Q2, 1)} т  
среднесменного объема работ, равного {round(sred_Q2, 1)} т  
' .replace(';', ',') + '(табл. 3.3).'+
```

```
        f' средневзвешенный объем работ {round(sum1_max_Q2, 2)}%  
вторых смен, отработавших в диапазоне выше интервала со средним  
значением за смену, составляет {round(sr_vzv_max_Q2,1)} т, что больше
```

на  $\{\text{round}(\text{sr\_vzv\_max\_Q2}-\text{sred\_Q2},1)\}$  т среднесменного объема работ'.replace(';',')+'.\n'+

f'Сутки \n'+

f'За рассматриваемый период средневзвешенный объем выполняемых работ  $\{\text{sum1\_min\_Qs}::2f\}$ % суток, отработавших в диапазоне ниже интервала со средним значением за сутки, составляет  $\{\text{sr\_vzv\_min\_Qs}::1f\}$  т'.replace(';',')+

f' что меньше на  $\{\text{round}(\text{sred\_Qs}-\text{sr\_vzv\_min\_Qs}, 1)\}$  т среднесуточного объема работ, равного  $\{\text{round}(\text{sred\_Qs}, 1)\}$  т'.replace(';',') + '(табл. 3.3).'

f' При этом средневзвешенный объем выполняемых работ  $\{\text{round}(\text{sum1\_max\_Qs}, 2)\}$ % суток, отработавших в диапазоне выше интервала со средним значением за сутки, составляет  $\{\text{round}(\text{sr\_vzv\_max\_Qs},1)\}$  т, что больше на  $\{\text{round}(\text{sr\_vzv\_max\_Qs}-\text{sred\_Qs},1)\}$  т среднесуточного объема работ'.replace(';',')+'.\n'+

f'В анализируемом месяце имеет место недоиспользованный потенциал повышения сменной производительности, определенный в соответствии с выражением (2.8)'+

f': для первой смены  $\{\text{round}(\text{sred\_Q1}-\text{sr\_vzv\_min\_Q1}, 1)\}$  т, для второй смены  $\{\text{round}(\text{sred\_Q2}-\text{sr\_vzv\_min\_Q2}, 1)\}$  т'.replace(';',')+')

Для энерготехнологического анализа сменного/суточного электропотребления и удельного электропотребления программный код аналогичен. При этом из базы данных выбираются соответствующие столбцы по сменам и суткам электропотребления и удельного электропотребления. В программном коде соответствующие обозначения объема работ по сменам/суткам ( $Q1$ ,  $Q2$ ,  $Qs$ ) меняются на соответствующие обозначения электропотребления ( $W1$ ,  $W2$ ,  $Ws$ ) и удельного электропотребления ( $w1$ ,  $w2$ ,  $ws$ ).

**Приложение П13 Справка о практическом использовании результатов в  
ООО «СУЭК-Хакасия»**



**СУЭК**

ОБЩЕСТВО  
С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«СУЭК-ХАКАСИЯ»

РОССИЯ, 655162, РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ,  
Г. ЧЕРНОГОРСК, УЛ. СОВЕТСКАЯ, Д. 40  
ТЕЛ. (39031) 5-58-70, 5-58-69  
ФАКС (39031) 5-58-76, 5-58-77  
E-MAIL: suek-khaskasiya@suek.ru

WWW.SUEK.RU

03 МАР 2025 №

0/1046

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«Утверждаю»

Генеральный директор

ООО «СУЭК-Хакасия»

С.В. Канзычаков



Справка

О внедрении результатов диссертационной работы А.А. Шадрина «Повышение энергоэффективности предприятий угольной отрасли на основе улучшения энерготехнологической результативности производственных процессов»

Результаты исследований диссертации А.А. Шадрина в части методических принципов и методики исследования энергоэффективности внедрены и используются в региональном производственном объединении «СУЭК-Хакасия» для анализа энерготехнологической результативности основных производственных процессов.

Технический директор ООО «СУЭК-Хакасия»

В.А. Азев

Главный энергетик ООО «СУЭК-Хакасия»

А.П. Кудряшов