

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калининградский государственный технический университет»

На правах рукописи



Заименко Александр Андреевич

**УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ РЕГИОНАЛЬНОГО
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА ОСНОВЕСИСТЕМНОГОПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Специальность 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы»

**Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Гнатюк Виктор Иванович**

Калининград – 2015

Содержание

Содержание	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Современное состояние регионального электроэнергетического комплекса ООО «Газпром добыча Уренгой»	10
1.1. Анализ потребителей регионального электроэнергетического комплекса	10
1.2. Оптимальное управление электропотреблением	26
1.3. Методы оценки потенциала энергосбережения по параметру электропотребления	34
Выводы	41
2. Исследование структурных свойств системного потенциала энергосбережения регионального электроэнергетического комплекса	43
2.1. Техноценологические свойства регионального электроэнергетического комплекса	43
2.2. Системный потенциал энергосбережения в методике оптимального управления электропотреблением техноценоза	48
2.3. Уровни системного потенциала. ZP-нормирование	57
2.4. Процедура ZP-планирования	64
2.5. Содержание методики ZP-анализа	71
Выводы	79
3. Методика ZP-анализа	81
3.1. Вероятностное моделирование в ZP-анализе	81
3.2. Алгоритмическая система методики ZP-анализа	90
3.2.1. Алгоритм работы РГМ проверки на соответствие критериям Н-распределения	91
3.2.2. Алгоритм работы модуля ZP-нормирования	94
3.2.3. Алгоритм работы РГМ, определяющего границу Z-потенциала	96
3.2.5. Алгоритм РГМ имитационного моделирования	102
3.2.6. Алгоритм РГМ экономической оценки	104
3.2.7. Алгоритм РГМ оценки эффективности	108
3.3. Динамическая адаптация методики ZP-анализа	112
Выводы	114
4. Реализация методики ZP-анализа на примере	115

ООО «Газпром добыча Уренгой».....	115
4.1. Предложения по построению автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии.....	115
4.2. Модель данных по электропотреблению объектов	124
4.3. Экономическая оценка разработанной методики	129
4.4. Проверка достоверности и работоспособности методики	135
Выводы	146
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	148
Обозначения и сокращения	151
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ А	160
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	164
ПРИЛОЖЕНИЕ В	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ И	207
ПРИЛОЖЕНИЕ К	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	227
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	230
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	233
ПРИЛОЖЕНИЕ П	236
ПРИЛОЖЕНИЕ Р	240

ВВЕДЕНИЕ

Энергоёмкость экономики Российской Федерации является одной из самых высоких среди стран, идущих по индустриальному пути развития. Для улучшения этого показателя руководством страны принимаются активные меры [1], которые на законодательном уровне устанавливают необходимость планового сокращения энергоёмкости валового внутреннего продукта на период до 2020 года на 40 процентов [4]. При этом наблюдается противоречие, проявляющееся в том, что в программах развития регионов страны, растущие потребности в энергетических ресурсах обеспечиваются за счет ввода в строй новых мощностей и увеличения поставок ресурсов без включения фактора энергосбережения.

В последние годы происходит активное изменение условий функционирования мировых рынков нефти и газа – меняется соотношение сил национальных и транснациональных компаний, производителей и потребителей, растет доля межрегиональной торговли, и усиливается интеграция рынков [70,72]. ОАО «Газпром» является одним из ведущих игроков не только на российском, но и на мировом газовом рынке. В настоящее время его конкурентные позиции несколько ухудшились в связи с необходимостью экспортировать ресурсы дорогих и удаленных месторождений. Как представляется, снижение стоимости поставок газа следует осуществлять, в том числе, за счёт повышения энергоэффективности и энергосбережения во всей технологической цепочке от месторождения до конечного потребителя. В программах энергосбережения ОАО «Газпром» отмечена необходимость разработки и внедрения программно-оптимизационных комплексов, осуществляющих методическое сопровождение энергосбережения [53].

Добыча природного газа и газового конденсата в России в обозримой перспективе будет связана с эксплуатацией существующих и новых газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера. При этом, несмотря на разработку новых месторождений, одним из основных источников углеводородного сырья в стране остаётся район Большого Уренгоя, электроснабжение которого осуществляется в условиях ряда негативных тенденций. С одной стороны, из-за конструк-

тивных особенностей распределительных сетей сокращается эффективность инвестиций в энергетику, в суровых природно-климатических условиях постоянно увеличивается доля изношенного энергетического оборудования [6], а, с другой, растет спрос на электроэнергию, вызванный разработкой и вводом в эксплуатацию новых месторождений.

Таким образом, сложившаяся ситуация обуславливает необходимость научной проработки вопросов управления электропотреблением предприятия нефтегазодобывающей отрасли, направленных на реализацию потенциала энергосбережения и повышение энергоэффективности, с учетом реально складывающейся экономической ситуации и технологической специфики.

Учитывая изложенное выше, научной задачей, решаемой в работе, является дополнение методологии рангового анализа региональных электроэнергетических комплексов понятием структурных свойств системного потенциала энергосбережения. Для чего необходимо определить уровни системного потенциала энергосбережения и разработать методику ZP-анализа электропотребления регионального электроэнергетического комплекса.

Целью исследования является разработка научно-методических основ и программно-аппаратной реализации управления электропотреблением в региональном электроэнергетическом комплексе с учетом системного потенциала энергосбережения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Проанализировать современное состояние регионального электроэнергетического комплекса ООО «Газпром добыча Уренгой» и выявить его техноценологические свойства;

2. Выявить структурные свойства системного потенциала энергосбережения техноценоза, позволяющие разделить его на два уровня и установить устойчивые во времени границы системного потенциала, определяющиеся действующими вероятностными закономерностями;

3. Разработать и программно реализовать методику ZP-анализа на примере ООО «Газпром добыча Уренгой», включающую процедуры ZP-нормирования и

ZP-планирования, вероятностного моделирования и оценки результатов энергосбережения на основе показателей конверсии и эффективности.

4. Проверить достоверность полученных научных результатов.

Объектом исследования является региональный электроэнергетический комплекс ООО «Газпром добыча Уренгой».

Предметом исследования является методология управления электропотреблением региональных электроэнергетических комплексов.

Научная новизна работы заключается в развитии методологии управления электропотреблением региональных электроэнергетических комплексов, включающем:

1) выявление структурных свойств системного потенциала (ZP-потенциала) энергосбережения техноценоза, определяющих его деление на два уровня Z1- и Z2-потенциала, границы которых устойчивы во времени и определены действующими в системе вероятностными закономерностями;

2) разработку методики ZP-анализа, отличающейся совместным применением процедур: ZP-нормирования, которая определяет границу Z2-потенциала; ZP-планирования, которая позволяет разработать Z-план энергосбережения; вероятностного моделирования, учитывающего случайный характер электропотребления рангов и ранговых перестановок, а также негауссовость ранговых распределений; оценки результатов энергосбережения на основе показателей конверсии и эффективности.

Значение для практики заключается в том, что на основе частных процедур ZP-нормирования, ZP-планирования, вероятностного моделирования и оценки результатов энергосбережения с использованием показателей эффективности и конверсии разработана методика ZP-анализа. Применение данной методики на ООО «Газпром добыча Уренгой» позволило определить границы Z1 и Z2-потенциалов, построить на среднесрочную перспективу ZP-план энергосбережения, количественно на каждом этапе составленного плана оценить результативность энергосберегающих мероприятий. Программная реализация разработанной методики представляет собой инструмент для планирования и моделирования энергосберегаю-

щих мероприятий, учитывающих как особенности отдельных объектов, так и системы (техноценоза) в целом. Разработанная методика может быть использована на предприятиях и в организациях различных министерств и ведомств.

Рассматриваемый перечень задач определяет структуру исследований, по результатам которых **на защиту выносятся:**

1. Результаты исследования структурных свойств системного потенциала энергосбережения техноценоза, которые позволяют ввести понятие Z1- и Z2-потенциалов;

2. Методику ZP-анализа, включающую процедуры ZP-нормирования, ZP-планирования, вероятностного моделирования и оценки результатов энергосбережения на основе показателей конверсии и эффективности.

Результаты исследований реализованы в хозяйственной деятельности ООО «ИнтелЭнерго» (акт реализации от 19.12.2013 г.), в производственной деятельности ООО «Газпром добыча Уренгой» (акт реализации от 10.02.2015 г.).

Результаты, полученные в диссертации, использовались в следующих научно-исследовательских работах:

– разработка подсистемы управления ресурсами, являющейся организационно-программной компонентой ситуационного центра управления предприятием и предназначенной для интервального оценивания, прогнозирования и нормирования процесса расходования ресурсов. Проект «Ситуационный центр VSM Cenose» (программа «Старт 09-10 Н1», проект № 9045), 2009 – 2012 г.г.;

– разработка подсистемы программно-аппаратного комплекса для оценки и применения потенциала энергосбережения регионального электротехнического комплекса по параметру электропотребления на основе понятия Z-потенциала. Проект «ИнтелЭнерго» (программа «Старт 2-12-1», проект № 10939 р / 14350), 2012 – 2013 г.г.

Результаты диссертации апробированы на:

– XXXIX Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений», Московский энергетический институт, ноябрь 2009 г.;

- VIII Международной научной конференции «Инновации в науке и образовании-2010», Калининградский государственный технический университет, октябрь 2010 г.;
- X Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2012», Калининградский государственный технический университет, октябрь 2012 г.;
- XI Международной научной конференции «Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013», Калининградский государственный технический университет, сентябрь 2013 г.
- XL Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи (с международным участием) «ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2010», Московский энергетический институт, ноябрь 2010 г.
- XLIV Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи (с международным участием) «ФЁДОРОВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2011», ноябрь 2011 г.;
- IV Всероссийской научно-технической интернет-конференции «Инновационная энергетика», Пермский государственный технический университет, февраль 2011 г.;
- XXIII Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский пограничный институт ФСБ России, март 2009 г.;
- XXIV Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский пограничный институт ФСБ России, март 2010 г.;
- XXV Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский пограничный институт ФСБ России, март 2011 г.;
- XXVI Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский погра-

ничный институт ФСБ России, март 2012 г.;

– XXVII Межвузовской научно-практической конференции «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский пограничный институт ФСБ России, март 2013 г.;

По теме диссертации опубликовано 29 работ, которые в полном объеме освещают и раскрывают основные научные результаты исследования. Из них 2 работы опубликованы в изданиях по перечню ВАК. Кроме того, по теме диссертации получено 1 изобретение, 2 авторских свидетельства о регистрации компьютерных программ для ЭВМ в ФИПС «Роспатент».

Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 92 наименований и 14 приложений на 82 страницах. Основное содержание работы, включая 3 таблицы и 82 рисунка, изложено на 159 страницах.

Автор выражает искреннюю глубокую благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору, академику РАЕН Гнатюку В.И. за оказанную помощь и моральную поддержку, как в процессе выполнения исследований, так и при написании диссертации.

1. Современное состояние регионального электроэнергетического комплекса ООО «Газпром добыча Уренгой»

1.1. Анализ потребителей регионального электроэнергетического комплекса

Энергопотребление экономики России, выраженное в тоннах нефтяного эквивалента на душу населения, в целом сопоставимо с энергопотреблением во Франции, Германии и США. Однако в сравнении с формируемым экономическим эффектом в виде 1 млрд. долл. ВВП (по паритету покупательской способности) России требуется использовать в 2,6 раза больше энергии, чем Франции, в 2,9 больше, чем Германии, и в 1,9 раза больше, чем США (рисунок 1.1) [46].

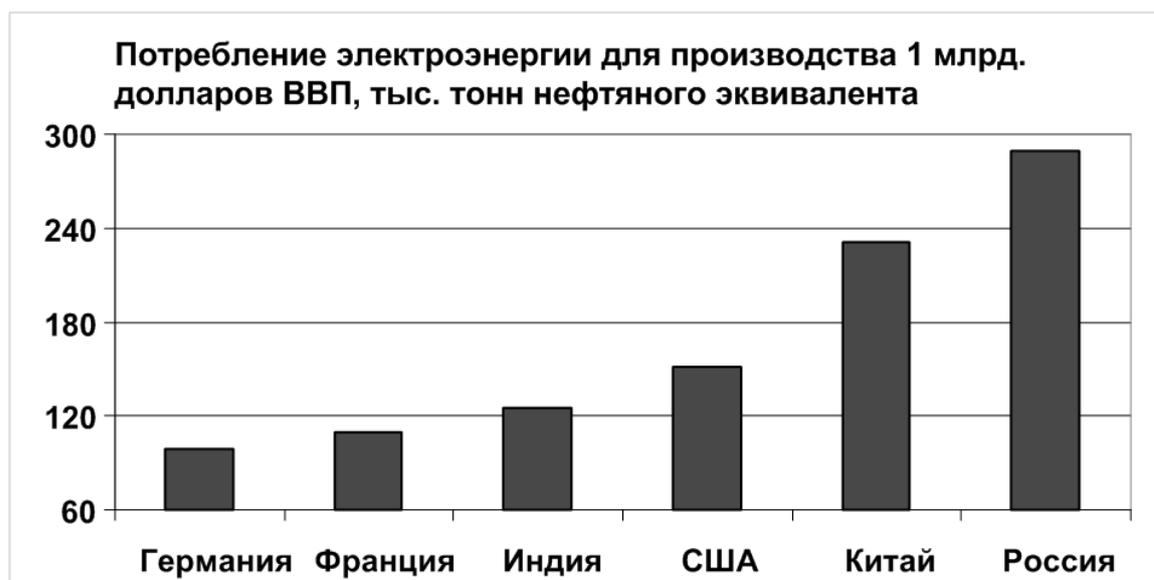


Рисунок 1.1 – Энергоемкость развитых мировых экономик

Для повышения энергоэффективности экономики руководство страны принимает активные меры [1,2,40,88]. 4 июня 2008 Президентом РФ был подписан указ № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» [4]. Данный указ предписывает к 2020 году снизить энергоемкость экономики на 40 %. 23 ноября 2009 года вышел ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1].

Группа специалистов Института энергетической стратегии (В.В. Бушуев, В.С. Голубев и др.) оценила фактическое снижение энергоемкости экономики России в 2012 году значением 3,1 %. При ожидаемом в 2013-2015 годах экономическом росте на 3,7 – 4,5 % [74], темпы снижения энергоемкости не превысят 3 % в год. Для достижения к 2015 году целей первого этапа «Энергетической стратегии-2030» необходимо в 2013-2015 годах ежегодно снижать удельную энергоемкость на 3,6 % [5]. Как результат этого в государственной программе «Энергоэффективность и развитие энергетики» констатируется [73], что энергосбережение рассматривается как один из основных источников будущего экономического роста, который в настоящее время задействован в малой степени.

В 2012 году ОАО «Газпром» добыто 487 млрд. куб. м природного и попутного газа. На его долю пришлось 75% российского объема добычи газа. Анализ предыстории добычи (рисунок 1.2) позволяет заключить, что при падении объемов по газу, вызванного последствием мирового финансового кризиса и сокращением экспортных поставок, уровень по нефти и газовому конденсату практически не изменился (рисунок 1.3).

В корпоративной программе энергосбережения ОАО «Газпром» отмечено, что наибольшей экономии энергетических ресурсов (рисунок 1.4) можно достичь на объектах, связанных с добычей нефти, газового конденсата, газа с его последующей магистральной транспортировкой. При этом среди совокупности энергосберегающих мер рассматривается разработка и применение программно-оптимизационных комплексов, осуществляющих методическое сопровождение энергосбережения [70].

Добыча природного газа и газового конденсата в России в обозримой перспективе будет связана с эксплуатацией существующих и новых газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера [70,72]. В настоящее время большинство эксплуатируемых здесь крупных месторождений находятся на стадии падающей добычи. При этом, несмотря на разработку новых месторождений полуострова Ямал и арктического шельфа, одним из основных поставщиков углеводородного сырья в стране по-прежнему останется район Большого Уренгоя.

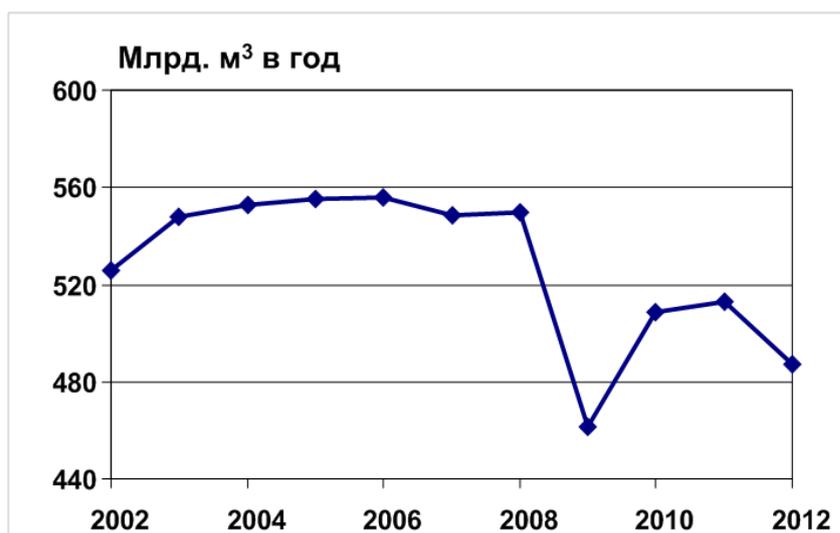


Рисунок 1.2 – Объем добычи газа ОАО «Газпром»



Рисунок 1.3 – Объем добычи нефти и газового конденсата ОАО «Газпром»

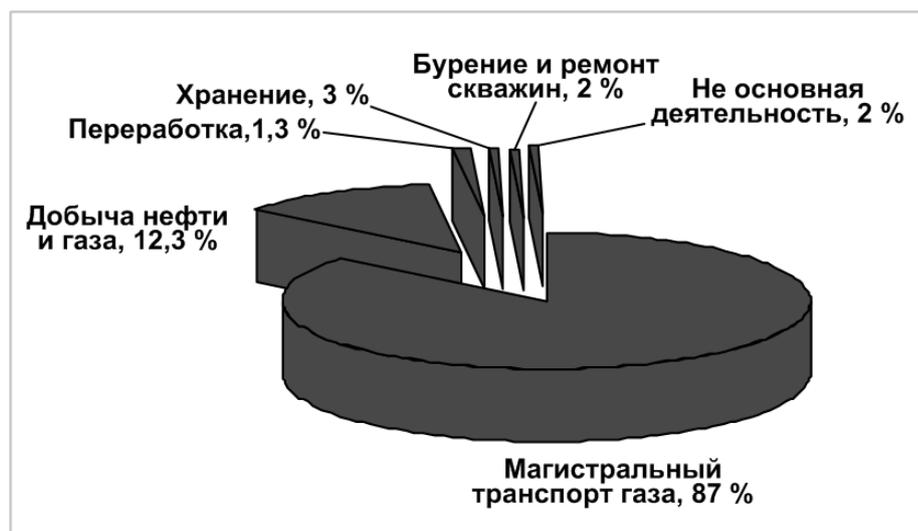


Рисунок 1.4 – Структура экономии энергетических ресурсов по видам деятельности

В последнее десятилетие проявляется тенденция снижения эффективности работы систем электроснабжения северных районов Тюменской области (СРТО), что объясняется совокупностью следующих факторов: сокращение эффективности инвестиций в энергетику; старение оборудования; конструктивные особенности распределительных сетей; суровые природно-климатические условия. При этом в регионе наблюдается рост электропотребления (рисунок 1.5), связанный с освоением новых месторождений на полуострове Ямал, что в обозримой перспективе приведет к росту спроса на электроэнергию, величина которого определена объемами добычи углеводородов (рисунок 1.6) [6,45].



Рисунок 1.5 – Фактическое и плановое электропотребление ЯНАО

Несмотря на избыток топливно-энергетических ресурсов в СРТО, до 80 % потребности в электроэнергии покрывается из соседнего ХМАО. Как правило, электроснабжение объектов добычи нефти и газа, а также их последующая транспортировка в ЯНАО осуществляется за счет инфраструктуры Тюменской энергосистемы. При этом основная масса её распределительных сетей создавалась в «пионерный» период освоения месторождений Тюменского Севера, когда руководствовались принципом «газ любой ценой». Основная часть потребителей электроэнергии ЯНАО получает питание от Сургутской ГРЭС по двум ВЛ-220 кВ,

протяженностью 510 и 680 км. Однако по данным «ВНИИГаз» оптимальным расстоянием от генерирующего источника до потребителя по ВЛ-220 кВ считается расстояние около 130 км. В годы освоения планировалось, что система электропитания УНГКМ будет завершена вводом в действие Уренгойской ГРЭС, но при переходе к новым принципам хозяйствования этим планам не суждено было сбыться уже на протяжении 25 лет [45].

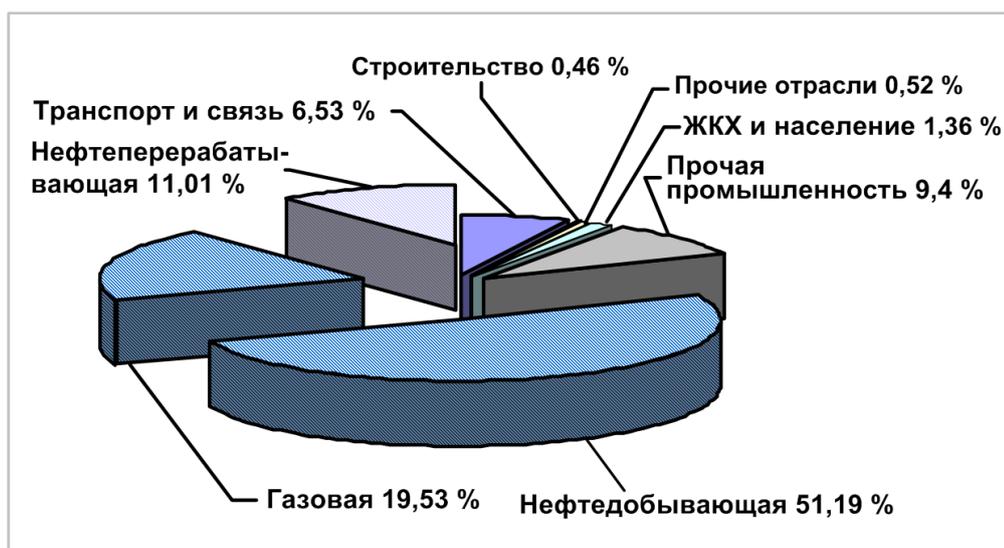


Рисунок 1.6 – Структура потребления электроэнергии по отраслям ЯНАО [16]

Уренгойская ГРЭС является одной из самых перспективных станций ЯНАО. Свodom (в 2012 году) первого энергоблока не только решился ряд энергетических проблем Ямала, но и повысилась устойчивость функционирования энергосистемы Тюменской области – основного нефтегазодобывающего региона России. После ввода в эксплуатацию у станции появились новые потребители тепла и электроэнергии: предприятия района Коротчаево, а также газовые месторождения, разработка которых ведется в настоящее время.

Существующая динамика фактически установленной в регионе и дефицитной мощности (рисунок 1.7) говорит о том, что в обозримой перспективе регион сможет самостоятельно обеспечить свои потребности в электроэнергии. Для покрытия дефицита электрической мощности в 2010 году введена в эксплуатацию

Ноябрьское ПГЭС (24 МВт), а в 2012 году – Уренгойская ГРЭС (450 МВт). Это свидетельствует о том, что в планах развития энергетики ЯНАО растущие потребности в электроэнергии покрываются за счёт строительства новых генерирующих мощностей. Фактор энергосбережения остаётся незадействованным [45].

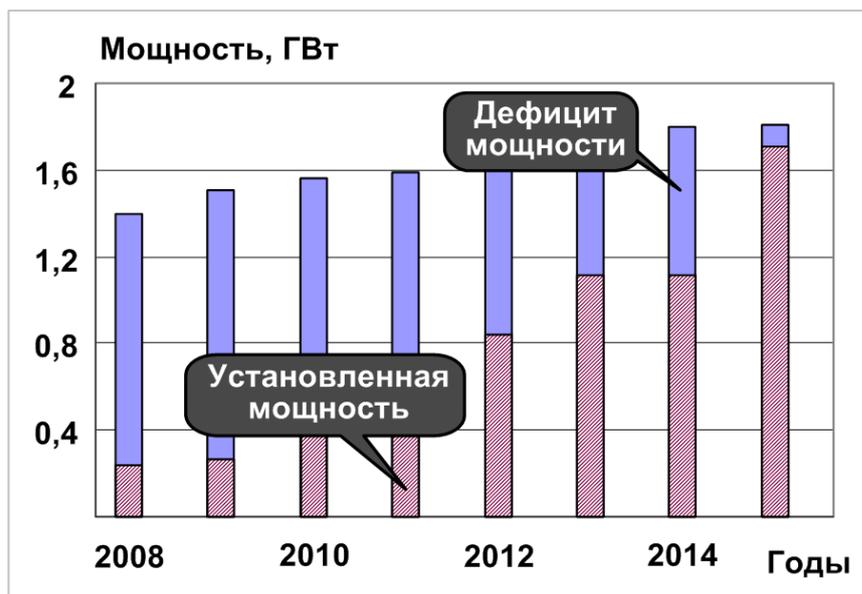


Рисунок 1.7 – Прогноз собственного и дефицитного объёма электрической мощности в ЯНАО на период до 2015 года

Темпы освоения месторождений природного газа, суровость природно-климатических условий, в которых эксплуатируются технологическое газодобывающее, буровое и электрооборудование, взрыво- и пожароопасность технологических процессов, высокие требования к качеству газа, бесперебойности газоснабжения потребителей и выполнению экспортных поставок газа – предъявляют особые требования к инфраструктуре газонефтедобывающих предприятий.

Энергоемкость добывающих предприятий зависит от их мощности, используемой технологии обработки газа и конденсата, параметров и направлений использования энергоресурсов. Наибольшая энергоемкость имеет место на промыслах, обрабатывающих низконапорный газ с последующей подачей его в газопроводы высокого давления (магистральные газопроводы).

Таким образом, энергоемкость отечественной экономики превышает развитые страны мира, а фактическое плановое сокращение данного показателя, предусмотренное в государственных программах развития, не выполняется. В обозримой перспективе сырьевая компонента будет играть ключевую роль в формировании доходной части российского бюджета. Энергосбережение не рассматривается как источник обеспечения возрастающих потребностей в энергетических ресурсах. Последствия экономического кризиса и сокращение экспортных поставок газа не повлияли на объемы добычи нефти и газового конденсата ОАО «Газпром». В корпоративных программах развития отмечается необходимость разработки и применения программно-оптимизационных комплексов, осуществляющих методическое сопровождение энергосбережения.

ООО «Газпром добыча Уренгой» (далее по тексту «предприятие») – 100-процентное дочернее предприятие ОАО «Газпром», в котором трудятся более 12 000 человек [45]. Исследуемое предприятие является инфраструктурным объектом, подразделения которого осуществляют деятельность по добыче, транспортировке, хранению нефти и газа, формированию сырьевой базы, а также всестороннему обеспечению этого процесса. Объекты добычи нефти и газа расположены на Уренгойском нефтегазоконденсатном месторождении (УНГКМ), находящемся в северной части ЯНАО. Объекты социального и обслуживающего назначения находятся в границах города Новый Уренгой – центральной части ЯНАО. Картограмма распределения электрических нагрузок предприятия представлена на рисунке 1.8.

УНГКМ имеет сложное геологическое строение и включает газовые, газоконденсатные и нефтяные залежи в широком стратиграфическом диапазоне от сеномана до юры. Основные разрабатываемые запасы жидких углеводородов сосредоточены в валанжинских залежах, выработанность которых на сегодняшний день находится на уровне 30 % (при величине пластового давления около 50 % от начального) [45].

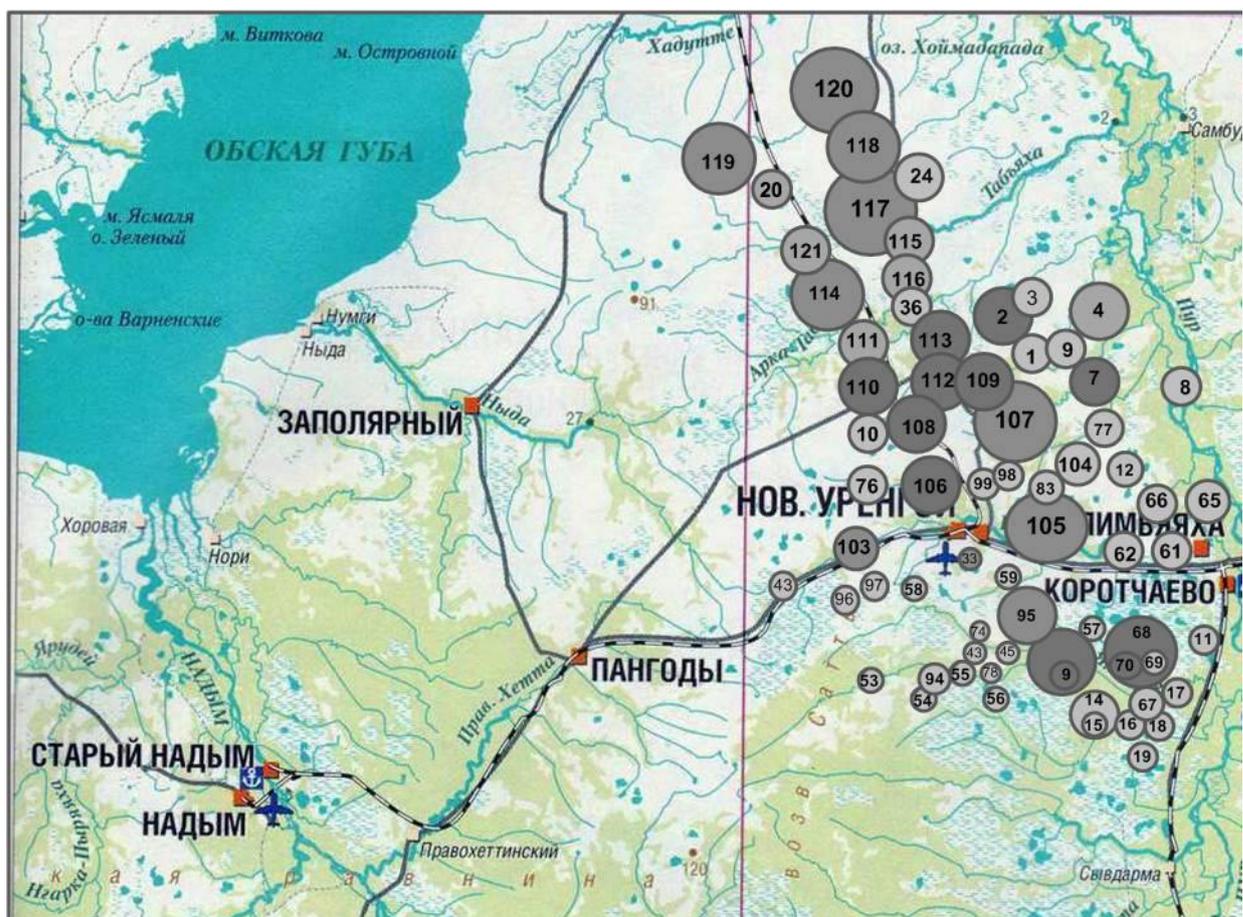


Рисунок 1.8 – Картограмма распределения электрических нагрузок предприятия ООО «Газпром добыча Уренгой»

Подготовка газа и конденсата осуществляется по технологии низкотемпературной сепарации (НТС) на валанжинских установках комплексной подготовки газа (УКПГ), совмещенных по технологическим площадкам с сеноманскими УКПГ. Необходимая температура сепарации газообразной и жидкой фаз достигается посредством дросселирования газа, источником энергии которого на начальном этапе эксплуатации месторождения является пластовое давление. По мере его истощения для поддержания оптимальных термобарических параметров сепарации и обеспечения межпромыслового транспорта газа и конденсата на валанжинских УКПГ предусмотрено строительство двух очередей дожимных компрессорных станций (ДКС), сроки ввода и объемы капитальных вложений для которых необходимо определять с учетом того, что сеноманские УКПГ уже оснащены двумя ступенями компрессорных станций. В период падающей добычи газа загрузка сеноманских ДКС становится ниже номинальной, что сопровождается их нерациональным использованием и ведет к снижению КПД существующих газоперекачивающих агрегатов. В финансовых

показателях предприятия затраты на оплату за потребленную электроэнергию постоянно увеличиваются, что обусловлено ростом тарифов (рисунок 1.9) [45]. Это обостряет проблемы энергоэффективности промышленных объектов и объектов транспортировки углеводородов УНГКМ в компрессорный период эксплуатации.

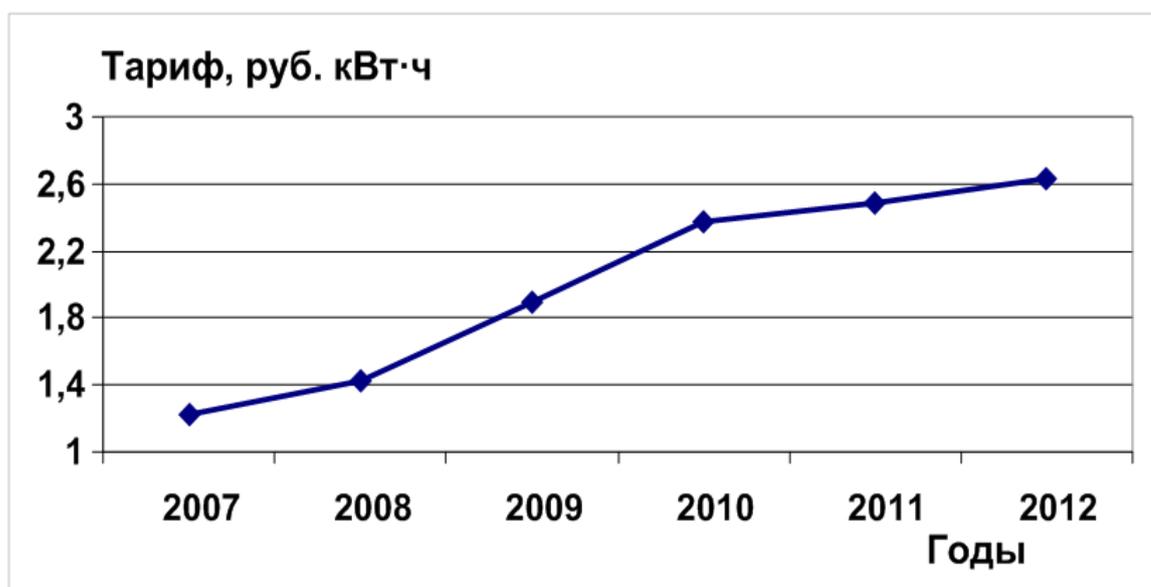


Рисунок 1.9 – Динамика роста тарифа на электроэнергию

Организационно-штатная структура предприятия включает следующие подразделения:

Добыча, транспортировка, хранение нефти и газа:

- Уренгойское газопромислое Управление (УГПУ);
- нефтегазодобывающее Управление (НГДУ);
- газопромислое Управление по разработке ачимовских отложений (ГПУ и РАО);
- линейно-производственное Управление (ЛПУ);
- Управление транспортировки нефтепродуктов и ингибиторов (УТНиИ);

Всестороннее обеспечение производственной деятельности:

- Управление материально-технического снабжения и комплектации (УМТСК);
- Управление технологического транспорта и специальной техники (УТТ и СТ);

- ремонтно-механическое Управление (РМУ);
- Управление технологической связи (УТС);
- Управление «Уренгойгазавтоматизация» (УУГА);
- инженерно-технический центр (ИТЦ);
- служба безопасности (СБ);
- Управление капитального строительства (УКС);

Культурно-спортивная и социальная сферы:

- культурно-спортивный центр (КСЦ);
- Управление эксплуатации вахтовых поселков (УЭВП);
- медико-санитарная часть (МСЧ);
- Управление дошкольной подготовки (УДП).

Уренгойское газопромысловое управление (УГПУ) осуществляет добычу, подготовку природного газа и газового конденсата к транспорту. В состав УГПУ входит 16 газовых и газоконденсатных промыслов, 2 водозабора (ВЗ), ЦЭС и городские объекты. Добыча газа осуществляется из «сеноманских» и «валанжинских» залежей. Природный газ от кустов газовых скважин транспортируется на УКПГ, где производится его очистка и осушка. На УКПГ «сеноманских» залежей применена схема абсорбционной осушки, на УКПГ «валанжинских» залежей – низкотемпературной сепарации. Газ с промыслов направляется в систему магистральных газопроводов «Уренгой – Центр» и «Уренгой – Сургут – Челябинск». Конденсат из разделителей первой и второй ступеней под собственным давлением подается на установку подготовки конденсата к транспорту (УПКТ) по конденсатопроводам, и в дальнейшем транспортируется вместе с нефтью по продуктопроводу Уренгой – Сургут.

Основными направлениями деятельности НГДУ являются:

- добыча сырой нефти и нефтяного (попутного) газа;
- добыча природного газа и газового конденсата;
- эксплуатация нефтегазодобывающих производств;

- эксплуатация взрывопожароопасных, химически опасных производственных объектов;
- эксплуатация газовых сетей;
- добыча питьевых и технических подземных вод для их использования в системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения;
- эксплуатация оборудования и сетей электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения;
- производство пара и горячей воды (тепловой энергии) котельными;
- производство работ по монтажу, ремонту и обслуживанию средств пожарной безопасности зданий и сооружений.

Основные производственные мощности НГДУ расположены на двух промыслах (НП-1 и НП-2) и представляют собой систему сбора продукции (скважины, промысловые трубопроводы, печи подогрева нефти и пр.) и пунктов сбора и подготовки нефти и газа (ЦПС-1 на НП-1 и ЦПС-2 на НП-2).

Технологическая площадка центрального пункта сбора (ЦПС-1) предназначена для подготовки к транспорту, учета нефти и ПНГ на первом и втором опытных участках нефтяных оторочек УНГКМ (район УКПГ-8, УКПГ-6). Нефть из резервуаров поступает на приём центробежных насосов, установленных в блочной насосной станции. Подготовленная нефть с ЦПС-1 после площадки подогрева в районе УКПГ-3 разделяется на два потока, часть подаётся через хозрасчётный узел учёта ДНС на УПКТ для компаундирования стабильного конденсата, другая часть направляется в резервуарный парк ЦПС-2 и далее откачивается в конденсатопровод «Уренгой – Сургут». Газ, выделившийся в процессе подготовки нефти, направляется на УКПГ-6 для очистки, осушки и последующего транспорта совместно с газом сеноманских и валанжинских залежей.

Центральный пункт сбора ЦПС-2 предназначен для сбора и подготовки к транспорту нефти и попутного газа с третьего опытного участка нефтяных оторочек Уренгойского НГКМ (район УКПГ-2В), а также для транспорта, хранения и учета нефти, поступающей от ЦПС-1.

Линейно-производственное управление (ЛПУ) межпромысловых газопроводов, конденсатопроводов и продуктопроводов осуществляет эксплуатацию и обслуживание магистральных газопроводов, АГРС, находящихся на балансе предприятия.

ЛПУ эксплуатирует следующие объекты:

- АГРС-1 – газоснабжение города Новый Уренгой;
- ГРС УИРС – газоснабжение предприятий;
- ГРС УГРЭС – газоснабжение Уренгойской ГРЭС;
- АГРС ВЖК – газоснабжение вахтового жилого комплекса;
- производственные базы;
- объекты вдоль трассовых потребителей межпромысловых коллекторов, станции электрохимзащиты (ЭХЗ), КП телемеханики.

Управление по транспортировке нефтепродуктов и ингибиторов (УТН и И) осуществляет прием, хранение и отпуск темных и светлых нефтепродуктов и ингибиторов.

Основными направлениями деятельности Управления материально-технического снабжения и комплектации (УМТСК) являются:

- обеспечение материально-техническими ресурсами структурных подразделений предприятия;
- комплектация оборудованием строящихся и реконструируемых объектов;
- приём, хранение и отпуск товарно-материальных ценностей.

Управление технологического транспорта и специальной техники (УТ-ТиСТ) осуществляет деятельность по:

- бесперебойному обеспечению работы технологического транспорта и специальной техники на объектах добычи газа, нефти и конденсата;
- перевозке грузов, вахтового персонала;
- обслуживанию и ремонту автотракторной техники и технологического транспорта.

Основными видами деятельности Управления аварийно и ремонтно-восстановительных работ (УАРВР) являются:

- ремонт, наладка и техническое обслуживание основного и вспомогательного оборудования;
- диагностика, физико-механические испытания материалов;
- анализ химического состава металлов;
- испытание и анализ механических характеристик готовой продукции (краны, задвижки, предохранительные и регулирующие клапана, фонтанная арматура и др.);
- производство теплообменных устройств, оборудования для фильтрования и очистки газов, металлических конструкций и изделий;
- сбор, использование, обезвреживание, транспортировка и размещение опасных отходов;
- эксплуатация оборудования и сетей электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, газовых сетей и взрывопожароопасных производственных объектов.

Управление технологической связи (УТС) обеспечивает технологической связью структурные подразделения предприятия и предоставляет следующие виды услуг:

- местная телефонная связь;
- предоставление в аренду каналов и трактов связи;
- передача данных;
- подвижная радио и радиотелефонная связь;
- эфирная трансляция телевизионных передач, звуковых программ;
- аудиоконференцсвязь;
- устройство наружных инженерных сетей и оборудования связи;
- устройство внутренних инженерных сетей связи;
- монтаж технологического оборудования связи;
- пуско-наладочные работы систем связи, передачи данных.

Основными видами деятельности управления автоматизации, информатизации телекоммуникаций и метрологии «Уренгойгазавтоматизация» (УГА) являются:

- обеспечение надежной работы КТС АСУ ТП на газовых и газоконденсатных промыслах, наладка средств и систем автоматизации;

- техническое обслуживание, ремонт комплексов технических средств, вычислительной и оргтехники, бытового, медицинского, специального и другого оборудования;
- ремонт, калибровка, сдача в ведомственную и государственную поверку контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации;
- техническое обслуживание, ремонт систем пожарной сигнализации городских объектов предприятия;
- техническое обслуживание, ремонт локальных систем регулирования, блокировок, защиты, сигнализации вентиляционных систем;
- разработка, отладка, внедрение и сопровождение ПО, обучение специалистов;
- администрирование локально-вычислительных сетей, ведение баз данных и справочников, централизованная обработка задач по расчетам.

Основными видами деятельности инженерно-технического центра (ИТЦ) ООО «Газпром добыча Уренгой» являются:

- инженерное обеспечение повышения эффективности эксплуатации месторождений и укрепление его сырьевой базы;
- исследование режимов работы газовых, газоконденсатных и нефтяных скважин;
- инженерное обеспечение эффективной эксплуатации систем сбора, подготовки и транспорта углеводородного сырья;
- описание и подготовка к исследованиям физико-механических и геолого-физических свойств кернового материала;
- химико-аналитический контроль производства;
- паспортизация основных видов продукции;
- нормирование материально-технических ресурсов и ведение банка данных нормативно-технической документации;
- экологический мониторинг;
- проектирование нормативов природопользования;
- мониторинг вредных и опасных факторов производственной среды;
- мониторинг и техническая паспортизация вентиляционных систем;

- обоснование экономической эффективности внедрения научно-технических и инновационных мероприятий, рационализаторской и изобретательской деятельности предприятия;

- формирование и ведение фонда технической литературы.

Основными направлениями деятельности Управления по эксплуатации вахтовых поселков (УЭВП) являются:

- обеспечение сохранности и содержания жилищного фонда и объектов соцкультбыта в исправном состоянии;

- обеспечение бесперебойной работы внутренних инженерных сетей в жилых домах;

- содержание элементов внешнего благоустройства.

На балансе управления находятся: жилые дома, общежития, административные здания и производственные базы.

Медико-санитарная часть (МСЧ) осуществляет медицинскую деятельность на территории г. Новый-Уренгой. В структурном подразделении функционируют: поликлиника, дневной стационар и санаторий-профилакторий «Газовик».

Управление дошкольных подразделений (УДП) занимается дошкольной образовательной деятельностью. Всего на балансе УДП находится 8 детских дошкольных учреждений («Белоснежка», «Колобок», «Снежинка», «Золотая рыбка», «Морозко», «Родничок», «Росинка», «Княженика»), а также АУП УДП и хозяйственный блок УДП.

В организационно-штатной структуре предприятия выделяются различные подразделения, но эффективность энергосбережения в большей степени зависит от того, насколько конкретные меры учитывают особенности потребителя электроэнергии [7,8]. С этой точки зрения предприятие следует рассматривать как совокупность отдельных объектов. В работах [41-44] при управлении электропотреблением инфраструктуры в качестве объекта рассматривается пространственно-технологический кластер, под которым понимается ограниченная в пространстве и времени совокупность потребителей электроэнергии, объединенных сильными электрическими связями, обладающая собственными системами учета и управления. В дальнейшем с точки зрения управления энергосбережением на сис-

темном уровне под минимальной стратификационной единицей рассматривается отдельный объект (Приложение А).

Объекты исследуемого предприятия расположены друг от друга на значительном расстоянии, различаются по назначению, составу технологического оборудования и режиму функционирования. Связи между ними носят информационный характер, обусловленный единством конечной цели функционирования и наличием общих систем управления. Это оказывает непосредственное влияние на обеспечение производственной деятельности всеми видами ресурсов, в том числе и электроэнергией [21], и приводит к необходимости рассмотрения региональной электроэнергетической инфраструктуры предприятия как совокупности отдельных подсистем [22,50,75] (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Структура регионального электроэнергетического комплекса

Основной генерирующий комплекс представлен вводами со стороны энергосистемы, а в местах отсутствия централизованной СЭС – дизельными электростанциями (ДЭС). Резервный генерирующий комплекс сформирован за счет резервных ДЭС различного исполнения. Региональный транспортно-сетевой ком-

плекс включает ЛЭП, трансформаторные подстанции, состоящие на балансе предприятия. Региональный электротехнический комплекс (РЭК) представлен совокупностью потребителей электроэнергии. В [21,22,26,30,31] под региональным электротехническим комплексом понимается ограниченная в пространстве и времени, обладающая техноценологическими свойствами, совокупность потребителей электрической энергии, функционирующая в единой системе управления и всестороннего обеспечения.

Среди технологических объектов в составе РЭК наибольшую энергоёмкость имеют: скважины (кусты скважин), внутрипромысловые трубопроводы (шлейфы, газо- и конденсаторопроводы), установки по сбору и обработке газа. В свою очередь, последние представлены: установками предварительной или комплексной подготовки газа (УППГ или УКППГ), головными сооружениями с установками полной подготовки газа и газового конденсата (ГС). В состав УКППГ и ГС могут входить дожимные компрессорные станции (ДКС), а также холодильные установки, использующие хладагенты или турбодетандерные агрегаты [45]. Наиболее массовым потребителем электроэнергии является насосное оборудование для перекачки жидкой продукции и химических реагентов, используемых в процессах добычи и переработки газа, аппараты воздушного охлаждения, входящие в состав установок обработки газа и ДКС.

Таким образом, для управления энергосбережением на системном уровне, нацеленным на потребителя, необходимо анализировать электропотребление объектов регионального электротехнического комплекса. Объекты регионального электротехнического комплекса исследуемого предприятия (Приложение А) разнесены друг от друга на значительном расстоянии, представлены широким диапазоном установленной мощности, выполняют спектр задач, начиная от добычи, хранения, транспортировки нефти и газа, и, заканчивая организацией содержания детей сотрудников в дошкольных образовательных учреждениях.

1.2.Оптимальное управление электропотреблением

Представление множества объектов предприятия в виде регионального электротехнического комплекса определяет используемый уровень в общей методологии исследований в области энергосбережения (рисунок 1.11) [27]. Первый уровень соответствует исследованиям, нацеленным на конкретные технические и технологические разработки, способствующие снижению электропотребления. В основе методологии здесь лежит имитационное моделирование, которое базируется на аксиоматике гауссовых распределений.



Рисунок 1.11 – Уровни исследования в области энергосбережения

На третьем уровне осуществляется стратегическое планирование и прогнозирование в электроэнергетике (оперативное диспетчерское управление, маневрирование максимумами нагрузки, регулирование потоков реактивной мощности, так называемое оперативное энергосбережение и т.д.). Здесь, в дополнение к гауссовой методологии первого уровня, находит применение методология исследования операций, которая базируется на эвристических и алгоритмических процедурах [68].

Связующим звеном является промежуточный (второй) уровень исследований в области энергосбережения, который представляет исследуемую систему при помощи универсальной модели – техноценоза [59]. Автором этой модели, который на протяжении десятилетий внедрял её в научный оборот, является доктор технических наук, профессор Б.И. Кудрин. В [25,30,54-62] под техноценозом понимается ограниченная в пространстве и времени взаимосвязанная совокупность

далее неделимых технических изделий-особей, объединенных слабыми связями. Связи в техноценозе носят особый характер, определяемый конструктивной, а зачастую и технологической независимостью отдельных технических изделий и многообразием решаемых задач [30]. Взаимосвязанность техноценоза определяется единством конечной цели, достигаемой с помощью общих систем управления и обеспечения. Здесь осуществляется оптимизация электропотребления техноценозов в целом.

В качестве методологической основы на этом уровне применяется ранговый анализ, под которым понимается метод исследования техноценозов, предполагающий их последующую оптимизацию на основе критериев формы гиперболических H -распределений [16,18,30]. Именно этот уровень является ключевым в методологии управления электропотреблением региональных электротехнических комплексов. Учитывая принципиальные концептуальные и методологические отличия, лежащие в основе исследований на втором уровне, он рассматривается как системный по отношению к уровню исследований, касающихся конкретных технических и технологических решений в области энергосбережения [27].

Управление энергосбережением в техноценозе на системном уровне следует рассматривать как частную задачу в рамках связанной методики оптимального управления электропотреблением (рисунок 1.12), включающей ряд этапов [19,27,30].

На этапе предварительного анализа осуществляется сбор данных о потребителях электроэнергии с целью получения развернутой картины электропотребления (с историей на глубину 5 – 6 лет и более, а также детализацией по часам, суткам, месяцам, кварталам и годам). Это позволяет выявить объекты, которые обеспечиваются электроэнергией с нарушением существующих организационно-технических требований, подготовить электронную базу данных для многофакторного анализа. Рекомендуется собранные данные представлять в виде информационно-аналитического комплекса, разрабатываемого с использованием современного программного обеспечения.

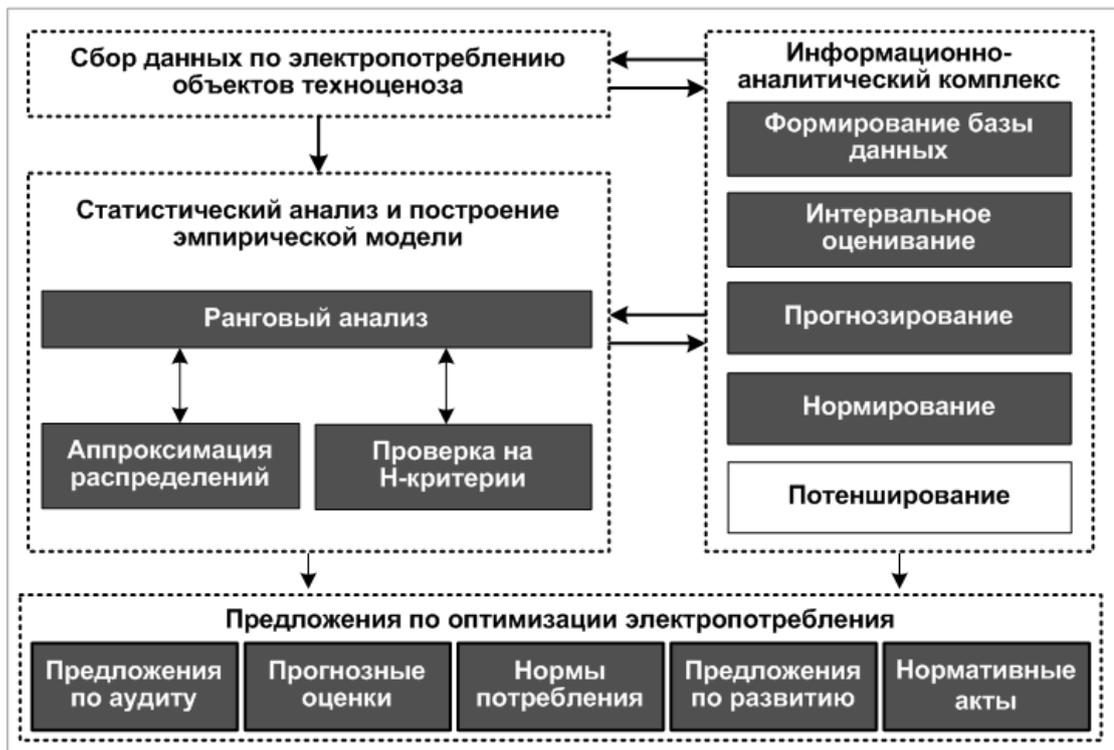


Рисунок 1.12 – Методика оптимального управления электропотреблением техноценоза

На этапе статистического анализа и построения моделей осуществляется полномасштабная статистическая обработка данных по электропотреблению, которая включает взаимосвязанные процедуры рангового анализа. Для решения частных задач в ранговом анализе разработана система процедур: создание базы данных, прогнозирование, нормирование, интервальное оценивание и потенцирование [28,29,]. Ввиду того, что применение данных процедур основывается на аппарате негауссовых распределений, принятого в качестве стандартного в техноценологической теории, они называются стандартными (рисунок 1.13) [30,85-87]. Негауссовость распределений обусловлена нецелесообразностью применения первых двух моментов в качестве информативно насыщенных сверток рассматриваемой выборочной совокупности [85]. В ранговом анализе применяются как частотные, так и ранговые формы распределений. При этом в рассматриваемых процедурах наибольшее применение находит ранговое параметрическое распределение по электропотреблению, в котором объекты ранжируются в порядке уменьшения значений электропотребления, каждому из них присваивается ранг, имеющий смысл порядкового номера [30,60,82,83].

С целью повышения точности расчётов стандартные процедуры рангового анализа дополняются соответствующими тонкими процедурами: верификацией базы данных, а также дифлекс-, GZ-, ASR и ZP-анализом (рисунок 1.13) [23,24,29,30,48,49]. Процедура верификации направлена на проверку корректности используемой базы данных по электропотреблению и устранению выявленных аномалий. Причинами аномалий в данных при автоматическом сборе являются сбои в измерительном оборудовании, а при ручном съеме показаний – ошибки обслуживающего персонала. Аномалии характеризуются следующими типами: отсутствующие или равные данные и выбросы. Восстановление корректности данных повышает достоверность результатов других процедур рангового анализа.

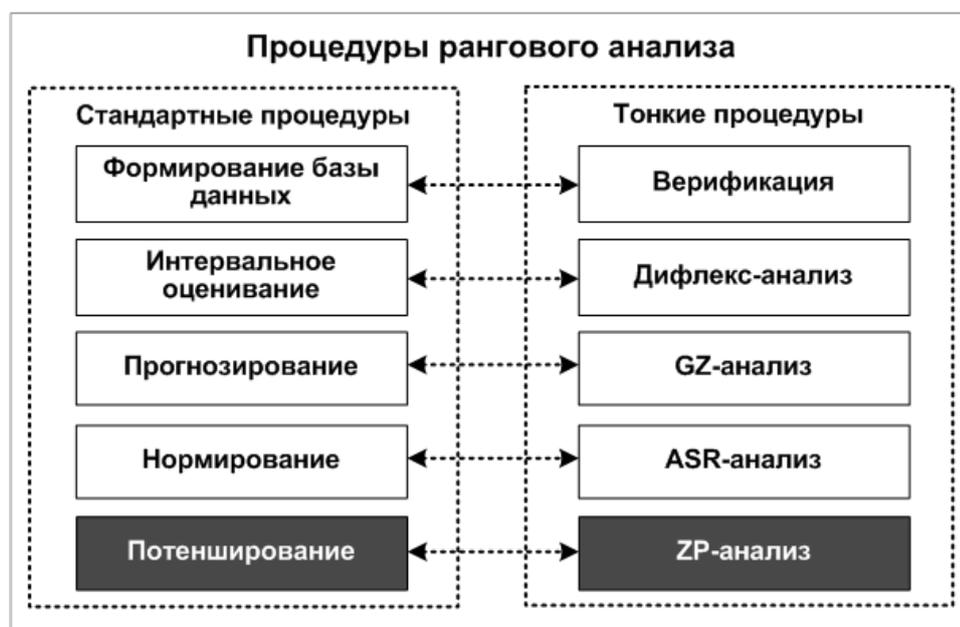


Рисунок 1.13– Тонкие процедуры рангового анализа

Интервальное оценивание – процедура управления, заключающаяся в определении точек эмпирического рангового распределения по электропотреблению (рисунок 1.14), выходящих за пределы переменного доверительного интервала [19,20,30]. Точки, выходящие за пределы доверительного интервала, фиксируют объекты с аномальным электропотреблением. Именно на эти объекты в первую очередь должно нацеливаться углубленное энергетическое обследование (энерго-аудит). Последовательная (на протяжении ряда лет) реализация процедуры позво-

лит каждый раз целенаправленно воздействовать на наиболее «слабые» объекты, при этом средства, нацеленные на проведение энергетических обследований, будут расходоваться наиболее эффективно.

Для уточнения интервального оценивания и построения оптимального плана энергетических обследований на среднесрочную перспективу проводится дифлекс-анализ (Deflexionanalysis). Его целью является разработка оптимального плана энергетических обследований «аномальных» объектов на среднесрочную перспективу (до 5 – 7 лет) за счет учета динамики изменения их отклонений от границы доверительного интервала.

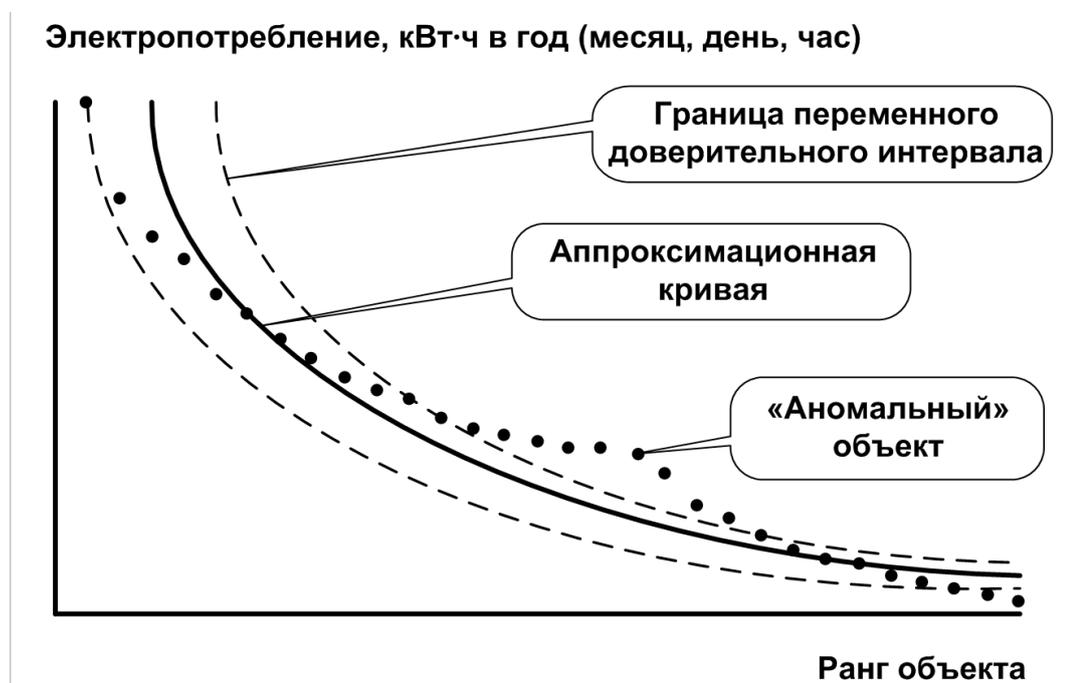


Рисунок 1.14 – Определение объектов с аномальным электропотреблением

Прогнозирование – процедура управления, заключающаяся в определении вероятных значений электропотребления в будущем. Применительно к техноценозу прогнозирование может осуществляться G-методами (Gauss-методами, основанными на гауссовой математической статистике), Z-методами (Zipf-методами, основанными на ципфовой математической статистике) и синтетическими GZ-методами, органично сочетающими их достоинства [23,24]. Перед применением GZ-метода прогнозирования проводится GZ-анализ, трансформирующий особенности электропотребления объектов в весовые коэффициенты, придаваемые отдельным методам, для

получения взвешенного прогноза, обладающего повышенной точностью. Полученные весовые коэффициенты связываются с показателем, характеризующим степень согласованности электропотребления объекта с техноценозом, который в GZ-анализе называется коэффициентом когерентности.

Нормирование – процедура управления, заключающаяся в определении статистических параметров (эмпирического среднего и стандарта) кластеров техноценоза, выделенных на ранговом параметрическом распределении по электропотреблению [28,29]. Кластеризация объектов техноценоза осуществляется методами кластерного анализа [9,10] и позволяет выделить группы объектов, которые на определенном временном интервале потребляют ресурс сходным образом (рисунок 1.15).

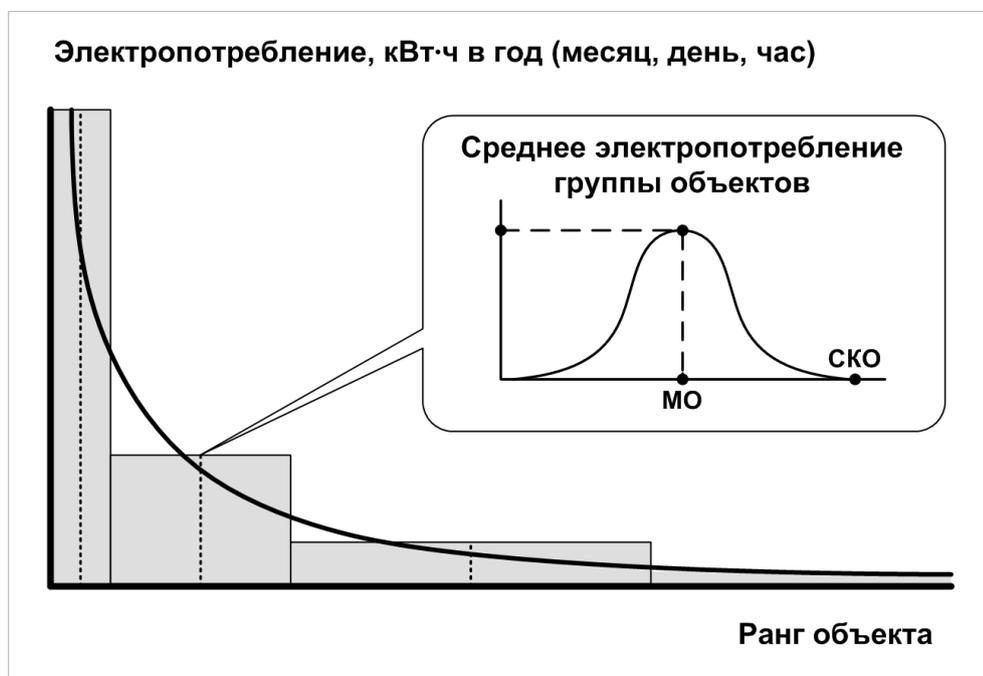


Рисунок 1.15 – Нормирование электропотребления объектами техноценоза

Тонким дополнением для процедуры нормирования является ASR-анализ [28,29], по результатам которого объектам назначаются индивидуальные нормы электропотребления. Определение индивидуальных норм основано на использовании в предельном алгоритме нормирования спектра методов, учитывающих различные аспекты функционирования объектов. Так, методы технологического нормирования учитывают особенности технологического процесса и состав эксплуатируемого электрооборудования. Техноценологические методы основываются на результатах кластерного анализа рангового распределения по электропо-

треблению объектов. В результате ASR-анализа объекту назначается норма, которая, с одной стороны, не приводит к нарушению режима функционирования, а, с другой – понуждает к экономии электроэнергии.

Потенширование – процедура управления, заключающаяся в определении потенциала энергосбережения, на величину которого на данном временном интервале должно быть сокращено электропотребление техноценоза без ущерба нормальному функционированию его объектов [32,41-45]. Тонким дополнением к потенцированию является разработанная в рамках данного диссертационного исследования процедура ZP-анализа.

Рассмотренные процедуры рангового анализа составляют содержание методики оптимального управления электропотреблением техноценоза. В [30] под управлением электропотреблением объектов техноценоза понимается – обязательное для исполнения организационно-техническое воздействие на объекты техноценоза со стороны системы управления техноценоза посредством взаимосвязанных процедур интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования, направленное на достижение в заданный момент времени без ущерба нормальному функционированию с уровнем показателя конверсии, не выше расчетного, техноценозом в целом и объектами по отдельности границы Z-потенциала энергосбережения.

Таким образом, оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса основывается на взаимосвязанном применении процедур рангового анализа. Необходимость получения более точных результатов на горизонте среднесрочного планирования, учета положительных сторон методов, опирающихся на гауссовую и ципфовую математическую статистику, индивидуализации системных требований для конкретного объекта техноценоза привела к разработке дополнений, оформившихся в виде тонких процедур рангового анализа. Для управления потенциалом энергосбережения в техноценозе применяется процедура потенцирования, тонким дополнением к которой выступает ZP-анализ.

1.3. Методы оценки потенциала энергосбережения по параметру электропотребления

Вопрос повышения энергоэффективности производства и снижения энергоёмкости продукции неразрывно связан с понятием потенциала энергосбережения, но, несмотря на схожее понимание и толкование сути, учёными разработаны различные методики и подходы к способу его определения.

Екатеринбургская научная школа (доктор экономических наук Н.И. Данилов, кандидат технических наук Я.М. Щелоков, кандидат экономических наук В.В. Добродей) [33] для оценки потенциала энергосбережения использует расчет энергоёмкости готовой продукции на основе сквозных затрат энергии по всей технологической цепи. В основу расчета положено заключение, что в любом технологическом процессе используется несколько видов энергии, которые для определения энергоёмкости готовой продукции разбиваются на три группы:

- первичная \mathcal{E}_1 – химическая энергия ископаемого первичного топлива с учётом энергетических затрат на добычу, подготовку (обогащение), транспортировку и т.д.;
- производная \mathcal{E}_2 – энергия преобразованных энергоносителей с учётом затрат на преобразование;
- скрытая \mathcal{E}_3 – энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и овеществлённая в исходных материалах, технологическом, энергетическом и т.п. оборудовании, капитальных сооружениях, инструменте, энергозатратах на поддержание оборудования в работоспособном состоянии, внутри- и межпроизводственных перевозках и других вспомогательных операциях.

Энергозатраты на производство единицы продукции или технологическое топливное число (ТТЧ) записываются следующим образом [33]:

$$\mathcal{E}_{\text{сум}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4, \quad (1.2)$$

где \mathcal{E}_4 – энергия вторичных энергоресурсов, вырабатываемая в процессе производства продукции, но передаваемая в другой технологический процесс.

Таким образом, под энергоёмкостью продукции понимают затраты топлива и других видов энергии (пересчитанных на топливо), на всех этапах технологического процесса в килограммах условного топлива на единицу продукции за вычетом вторичных ресурсов. Расчет потенциала энергосбережения складывается из оценок энергетических затрат на каждом этапе технологического процесса и последующим их связыванием с показателями удельной энергоёмкости готовой продукции. В конечном итоге под потенциалом энергосбережения понимается сэкономленный при помощи комплекса специальных мер суммарный на всех участках технологической цепочки объём энергии.

Представители научной школы МЭИ доктора технических наук О.Л. Данилов и А.Б. Гаряев, кандидат технических наук И.В. Яковлек [36,37] для оценки потенциала энергосбережения без реализации энергосберегающих мероприятий используют данные по удельным расходам энергии на единицу продукции. Данные по удельным затратам тепловой и электрической энергии в отчетном периоде приводят к единой системе измерения (т.у.т. /ед. продукции) и строят зависимость во времени потребления энергии от объема выпускаемой продукции. Потенциал энергосбережения определяется как величина совокупных годовых потерь энергоресурсов за счет увеличения удельных показателей. Величина потерь рассчитывается как разница между фактическим удельным значением расхода энергии в каждом отчетном периоде и базовым [7,8]. За базовое значение принимают минимальное значение удельного расхода в конкретном технологическом цикле или на предприятии, за период исследования:

$$\Delta \mathcal{E} = \sum_i (q_i - q_{\min}) \cdot P_i, \quad (1.3)$$

где q_i — удельный расход энергии в отчетном периоде;
 P_i — объем выпускаемой продукции в отчетном периоде;
 q_{\min} — базовое значение удельного расхода энергии.

Относительный потенциал энергосбережения, определяется по выражению вида:

$$\frac{\Delta \mathcal{E}}{\mathcal{E}} = \left(1 - q_{\min} \cdot \frac{P}{\mathcal{E}} \right), \quad (1.4)$$

где \mathcal{E} – потребление энергии.

Таким образом, под потенциалом энергосбережения здесь понимается величина потерь энергоресурсов за счет увеличения удельных показателей вследствие негативных производственных факторов.

Потенциал энергосбережения в строительной сфере (доктор технических наук, профессор А.Н. Дмитриев, кандидат экономических наук О.В. Кузина) [38] оценивается показателем, характеризующим энергоёмкость строительной продукции:

$$\mathcal{E}_{\text{сп}} = \frac{(P\mathcal{E}_{\text{псм}} + P\mathcal{E}_{\text{сп}}) \cdot S}{OP_c}, \quad (1.5)$$

где $P\mathcal{E}_{\text{псм}}$ – расход энергоресурсов (на м^2 построенных зданий) на производство строительных материалов;

$P\mathcal{E}_{\text{сп}}$ – расход энергоресурсов (на м^2 построенных зданий) на строительной площадке;

S – Количество введённой площади, м^2 ;

OP_c – объём выполненных работ.

Аргументы в (1.5) определяются на основе статистической отчетности. Снижение показателя энергоёмкости осуществляется за счет учета групп факторов, влияющих на перерасход энергетических ресурсов, на каждом шаге технологического процесса получения строительной продукции. Потенциал энергосбережения определяется по выражению [38]:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{сп}} = \mathcal{E}_{\text{сп}} - \mathcal{E}M_{\text{сп}}, \quad (1.6)$$

где $\mathcal{E}_{\text{сп}}$ – энергоёмкость строительной продукции без учета энергосберегающих мероприятий;

$\mathcal{E}M_{\text{сп}}$ – энергоёмкость строительной продукции с учетом энергосберегающих мероприятий.

Доктор технических наук, профессор В.В. Литвак (Томский политехнический университет) [64] предлагает под потенциалом энергосбережения понимать количество энергоресурсов, потребление которых может быть сокращено при выпуске того же объёма и номенклатуры продукции, товаров и услуг неизменного качества за установленное время при внедрении энергосберегающих технологий. Его вычисление осуществляется по выражению вида:

$$W_{\Pi} = W_{\Phi} - W_{\text{б}}, \quad (1.7)$$

где W_{Π} – потенциал энергосбережения;
 W_{Φ} – фактическое энергопотребление;
 $W_{\text{б}}$ – потребление энергоресурса при базовом уровне.

В качестве базового уровня энергопотребления в (1.7) используется такой уровень, который характерен для наиболее энергоэффективного технологического процесса. В зависимости от условий предлагается в качестве базовых рассматривать следующие уровни [64]:

- теоретический $W_{\text{бт}}$ – базируется на теоретически возможном, но практически недостижимом на данное время технологическом процессе;
- эталонный $W_{\text{бп}}$ – характеризует технологию, имеющую наименьший достигнутый в мире расход ТЭР с применением эффективных, лучших мировых научно-технических достижений;
- нормативный $W_{\text{бн}}$ – соответствует нормативным характеристикам действующего энергетического оборудования;
- экономический $W_{\text{бк}}$ – определяются предельным уровнем потребления, при котором дальнейшее снижение потребления технически и технологически возможно, но нецелесообразно по экономическим причинам;
- экологический $W_{\text{бэ}}$ – определяется предельно допустимыми выбросами загрязняющих веществ в окружающую среду;
- назначенный $W_{\text{бд}}$ – характеризуется директивно заданным снижением энергопотребления к установленному сроку.

Доктор технических наук, профессор В.С. Степанов, доктор технических наук, профессор Т.Б. Степанова, кандидат технических наук Н.В. Старикова [79,80] в качестве показателя энергоэффективности предлагают использовать относительный КПД, который определяется как отношение реального КПД объекта к КПД его идеального аналога:

$$\eta_{\text{ЭН}}^{\text{отн}} = \frac{\eta_{\text{ЭН}}^{\text{реал}}}{\eta_{\text{ЭН}}^{\text{идл}}}; \eta_{\text{ЭКС}}^{\text{отн}} = \frac{\eta_{\text{ЭКС}}^{\text{реал}}}{\eta_{\text{ЭКС}}^{\text{идл}}}, \quad (1.8)$$

где $\eta_{\text{ЭН}}^{\text{отн}}$ – относительный энергетический КПД;

$\eta_{\text{ЭН}}^{\text{реал}}$ – реальный энергетический КПД;

$\eta_{\text{ЭН}}^{\text{идл}}$ – энергетический КПД идеального аналога объекта;

$\eta_{\text{ЭКС}}^{\text{отн}}$ – Относительный эксергетический КПД;

$\eta_{\text{ЭКС}}^{\text{реал}}$ – реальный эксергетический КПД;

$\eta_{\text{ЭКС}}^{\text{идл}}$ – эксергетический КПД идеального аналога объекта.

Учитывая то, что полезный эффект реального процесса и его аналога должен быть одинаков, то выражения (1.8) могут быть записаны в виде:

$$\eta_{\text{ЭН}}^{\text{отн}} = \frac{\sum I_{\text{затр}}^{\text{идл}}}{\sum I_{\text{затр}}^{\text{реал}}}; \eta_{\text{ЭКС}}^{\text{отн}} = \frac{\sum E_{\text{затр}}^{\text{идл}}}{\sum E_{\text{затр}}^{\text{реал}}} \quad (1.9)$$

где: $\sum I_{\text{затр}}^{\text{идл}}$ – затраченная энергия идеального аналога объекта;

$\sum I_{\text{затр}}^{\text{реал}}$ – реальная затраченная энергия;

$\sum E_{\text{затр}}^{\text{идл}}$ – Затраченная эксергия идеального аналога объекта;

$\sum E_{\text{затр}}^{\text{реал}}$ – реальная затраченная эксергия.

Идеальный аналог объекта должен производить ту же продукцию, что реальный, но в некоторых идеальных, практически недостижимых условиях. По отношению величины энергии (эксергии) идеального аналога объекта к затратам реаль-

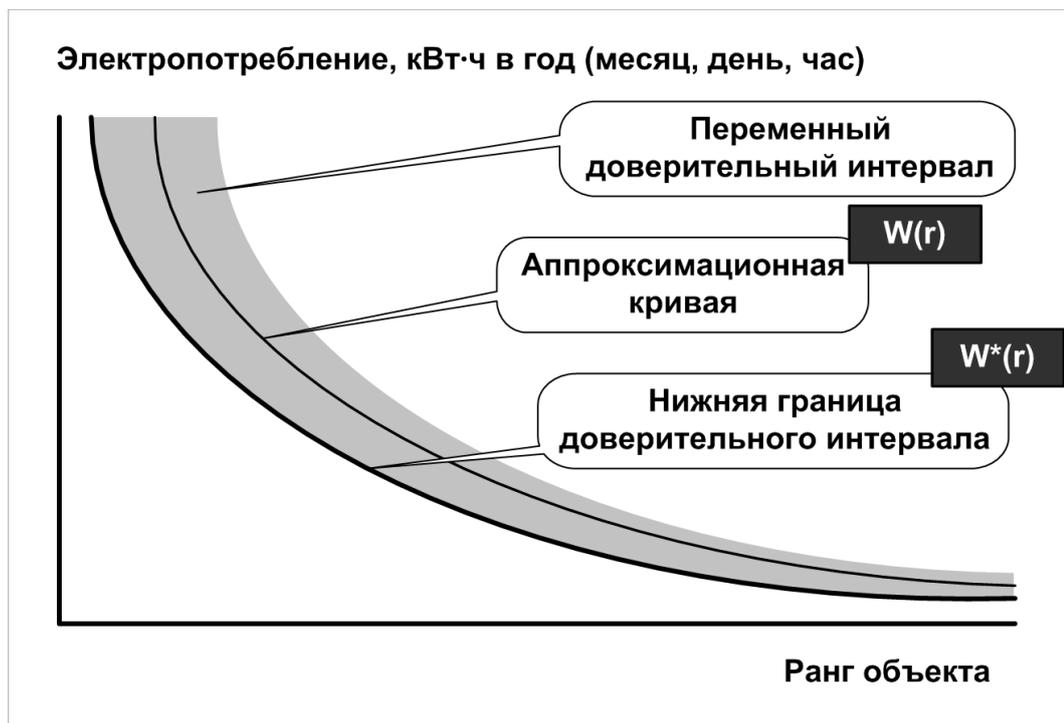
ного объекта можно оценить его энергоэффективность [79,80]. При условии внедрения энергосберегающих технологий характер изменения КПД реального процесса во времени представляет собой возрастающую кривую, асимптотически приближающуюся к пределу – идеальному КПД. Соответственно, энергозатраты на производство продукта с течением времени стремятся к некоторой предельной величине – энергозатратам его идеализированного аналога.

Таким образом, под потенциалом энергосбережения понимается теоретически возможная величина снижения энергозатрат в технологическом процессе до уровня затрат энергии в его идеальном аналоге, т.е. он представляет собой разницу между фактическими и теоретическими затратами энергии (эксергии) на производство рассматриваемого вида продукции или проведение работ и является предельной, реально недостижимой величиной.

Рассмотренные подходы объединены в группу классических и основываются на расчёте потенциала энергосбережения путём определения разности между фактическим энергопотреблением и некоторым эталонным. Варианты определения эталонных значений различны, однако их характеризует требование к детальному анализу конкретного технологического процесса. В случае крупного инфраструктурного объекта подобный анализ провести практически невозможно, а представление его моделью технологического процесса, работающей на жестких связях, не является правильным, так как связи зачастую носят информационный характер.

Представление инфраструктурного объекта в виде системы, объединенной слабыми, информационными связями, применяется в техноценологическом подходе, опирающемся на универсальную модель техноценоза [13-18, 55-61,62,81-84]. В рамках процедур управления электропотреблением техноценоза, разработанных научной школой В.И. Гнатюка, потенциал энергосбережения определяется при помощи цифровых распределений, учитывающих негауссовый характер выборок данных [30]. Здесь под ним понимается абсолютная разница между электропотреблением техноценоза без реализации энергосбережения и электропотреблением, соответствующим нижней границе переменного доверительного интервала (рисунок 1.16) [32].

Таким образом, в рамках техноценологического подхода определение потенциала энергосбережения учитывает системные свойства инфраструктурного объекта за счет использования аппарата негауссовых распределений, применяющегося для описания выборок, элементы которых объединены слабыми связями. Это позволяет характеризовать полученный потенциал энергосбережения как системный. В последующем потенциал энергосбережения, полученный с использованием аппарата негауссовых распределений, получил название системного потенциала энергосбережения [41-45].



$W(r)$ – ранговое параметрическое распределение, соответствующее фактическому состоянию техноценоза без энергосбережения;

$W^*(r)$ – ранговое параметрическое распределение, соответствующее нижней границе переменного доверительного интервала

Рисунок 1.16 – К понятию потенциала энергосбережения техноценоза

Проведенный анализ подходов к определению потенциала энергосбережения выявил ряд теоретических противоречий:

– в рамках классического подхода используются понятия идеальных аналогов, базового режима, что позволяет эффективно оценивать потенциал энергосбережения для объектов, внутри которых действуют сильные электрические связи, обусловленные характером технологического процесса, а с другой – применение

полученных оценок к другим объектам, работающие в других условиях, без учета системных ограничений приводит к значительным ошибкам;

– в рамках техноценологического подхода, применение аппарата негауссовых распределений для вычисления потенциала энергосбережения учитывает системные свойства инфраструктуры, но не определяет механизм его реализации для конкретных объектов;

– при определении системного потенциала энергосбережения нет его четкого разделения на уровни, достижение которых реализуется, с одной стороны, организационными мероприятиями без существенных финансовых затрат, а с другой – за счет технического переоснащения, требующего капитальных вложений;

– в рамках классического подхода планирование реализации потенциала энергосбережения осуществляется на основе особенностей конкретных технических решений и ожидаемого положительного эффекта, но слабо учитывает действующие на системном уровне инфраструктурные закономерности.

Выводы

1. В программных документах государственного управления энергосбережение рассматривается как одно из приоритетных направлений. Несмотря на это, наблюдается противоречие между высокой энергоемкостью отечественной экономики, существенной зависимостью бюджета от сырьевой составляющей, ужесточающимися требованиями по энергоэффективности производства, с одной стороны, и недостаточно эффективным использованием энергосбережения в качестве источника для обеспечения потребностей в энергоресурсах, с другой.

2. Совокупность потребителей электроэнергии нефтегазодобывающего предприятия представляет собой подсистему регионального энергетического комплекса, для исследования и управления которым необходимо применять методологию, учитывающую его техноценологические свойства.

3. В теоретическом плане, несмотря на одинаковое понимание сути потенциала энергосбережения, между подходами к его определению выявлены проти-

воречия. Во-первых, в рамках классического подхода используются понятия идеальных аналогов и базового режима, что позволяет эффективно оценивать потенциал энергосбережения для объектов, внутри которых действуют сильные электрические связи, обусловленные характером технологического процесса. Однако, использование полученных оценок на других объектах и для других условий, без учета системных ограничений, приводит к значительным ошибкам. Во-вторых, в рамках техноэнологического подхода, применение аппарата негауссовых распределений для вычисления потенциала энергосбережения учитывает системные свойства инфраструктуры, однако не определяет механизм его реализации для конкретных объектов. В-третьих, при определении системного потенциала энергосбережения нет его четкого разделения на уровни, достижение которых реализуется, в первую очередь организационными мероприятиями без существенных финансовых затрат, а во вторую – за счет технического переоснащения, требующего капитальных вложений.

4. Реализация системного потенциала энергосбережения должна осуществляться на основе частной методики, имеющей плановый характер и представляющей взаимосвязанную совокупность управляющих процедур, встроенных в общую методику управления электропотреблением регионального электротехнического комплекса.

2. Исследование структурных свойств системного потенциала энергосбережения регионального электроэнергетического комплекса

2.1. Техноценологические свойства регионального электроэнергетического комплекса

Из курса системного анализа известно, что системными являются те свойства, которыми обладает система, но не обладают её отдельные части. С этой точки зрения система (техноценоз) должна обладать свойствами негауссовости и устойчивости. Негауссовость рассматриваемой выборочной совокупности приводит к нецелесообразности применения первых двух моментов распределения в качестве информативно насыщенных сверток, описывающих генеральную совокупность [71,85-87]. Согласно центральной предельной теореме, при увеличении объема выборки до бесконечности выборочное среднее по вероятности стремится к математическому ожиданию [12]. Однако в негауссовых выборках увеличение объема не приводит к стабилизации моментов, а наоборот – они устремляются в бесконечность. Таким образом, в случае существенной зависимости первых двух моментов выборки от её объема можно констатировать, что она является негауссовой [85].

В основе оценки негауссовости лежит проверка гипотезы о наличии зависимости моментов от максимального на выборке значения случайной величины [85]. Для этого используются выражения:

$$\bar{x} \approx \frac{x_0}{J} \frac{\int_{x_0}^J x \cdot f(x) dx}{\int_{x_0}^J f(x) dx}; \quad \sigma^2 = \overline{(x - \bar{x})^2} = \frac{x_0}{J} \frac{\int_{x_0}^J (x - \bar{x})^2 \cdot f(x) dx}{\int_{x_0}^J f(x) dx}, \quad (2.1)$$

где $f(x)$ – функция плотности вероятности;

x – значение случайной величины;

\bar{x} – математическое ожидание;

σ – среднеквадратическое отклонение;

x_0, J – минимальное и максимальное значения случайной величины.

Распределение Ципфа в частотной дифференциальной форме связывает частоту появления значения x на выборке [59,66,89,91]:

$$f(x) = \frac{C}{x^{(1+\alpha)}}, \quad x \geq x_0 > 0, \quad (2.2)$$

где C – параметр распределения Ципфа;
 x_0 – минимальное значение случайной величины;
 α – показатель распределения Ципфа.

Подстановкой 2.2 в 2.1 определяются искомые зависимости моментов распределения от максимального на выборке значения J .

$$\frac{\bar{x}}{x_0} \approx \frac{\int_1^{J/x_0} x^{-\alpha} dx}{\int_1^{J/x_0} x^{-(1+\alpha)} dx}; \quad \frac{(\bar{x} - x)^2}{x_0} = \frac{\int_1^{J/x_0} (x - (\bar{x}/x_0))^2 \cdot x^{-(1+\alpha)} dx}{\int_1^{J/x_0} x^{-(1+\alpha)} dx}, \quad (2.3)$$

где x – значение случайной величины;
 \bar{x} – математическое ожидание;
 x_0 – минимальное значение случайной величины;
 J – максимальное значение случайной величины.

Для определения показателя распределения Ципфа воспользуемся его представлением в ранговой дифференциальной форме [85]:

$$W(r) = \frac{W_1}{r^\beta}, \quad \alpha = \frac{1}{\beta}, \quad (2.4)$$

где W_1 – первая точка;
 β – ранговый коэффициент;
 α – показатель распределения Ципфа.

Определяя интегралы в выражении (2.3), получим зависимости первых двух моментов от максимального на выборке значения:

$$\bar{x}(t) = \frac{(t^{1-\alpha} - 1) \cdot \alpha}{(1 - \alpha) \cdot (1 - t^{-\alpha})}; \quad (2.5)$$

$$\sigma^2(t) = \frac{(t^{2-\alpha} - 1) \cdot \alpha}{(2 - \alpha) \cdot (1 - t^{-\alpha})} - \frac{2 \cdot \bar{x}(t) \cdot (t^{1-\alpha} - 1) \cdot \alpha}{(1 - \alpha) \cdot (1 - t^{-\alpha})} + \bar{x}(t)^2,$$

- где α – показатель распределения Ципфа.
 $\bar{x}(t)$ – функция, определяющая зависимость первого момента;
 $\sigma^2(t)$ – функция, определяющая зависимость второго момента;
 $t = J/x_0$ – переменная;
 x_0 – минимальное значение случайной величины;
 J – максимальное значение случайной величины.

Для построения графиков зависимостей (2.5) необходимо пронормировать выборку по отношению к минимальному значению и в цикле организовать их последовательное вычисление (рисунки 2.1, 2.2).

Форма графиков (рисунки 2.1, 2.2) позволяет заключить, что зависимости первых двух моментов от максимального на выборке значения существенны. Следовательно, эмпирические распределения относятся к негауссовым.

Понятие устойчивости в техноценозах следует рассматривать через два аспекта: первый связан с согласованным перемещением объектов техноценоза по ранговой поверхности, второй – с устойчивостью во времени формы ранговых параметрических распределений, формирующих ранговую поверхность.

В основе оценки степени согласованности перемещения объектов по ранговой поверхности лежит проверка статистических гипотез в отношении ранговых корреляций. При этом сама ранговая корреляция предназначена для изучения статистической связи между различными ранжировками объектов по степени проявления в них того или иного свойства. Под свойством в данном случае понимается электропотребление объектов техноценоза в различные временные интервалы, а под ранжировкой – результат их упорядочивания [10,90].

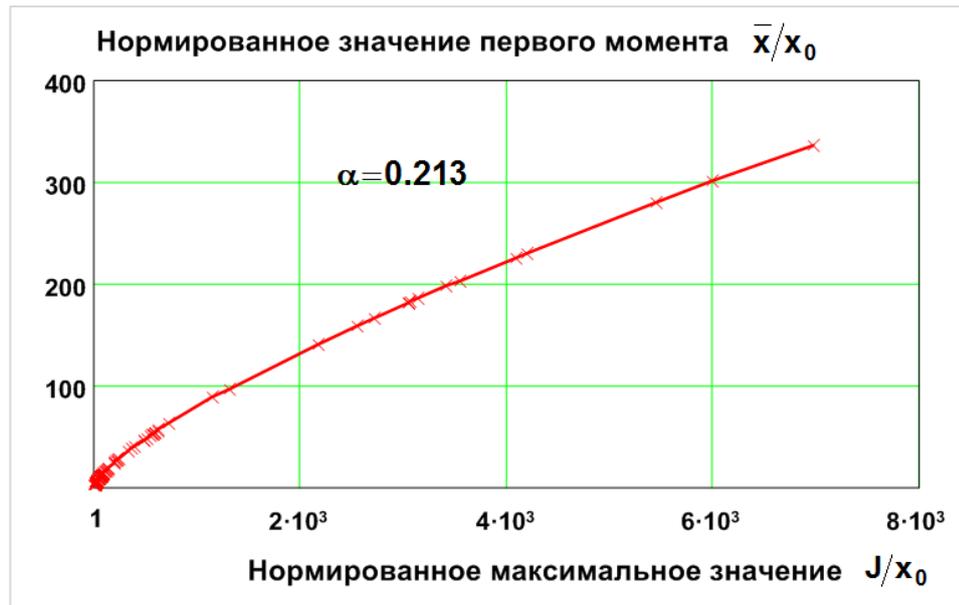


Рисунок 2.1 – График зависимости первого момента от объема выборки

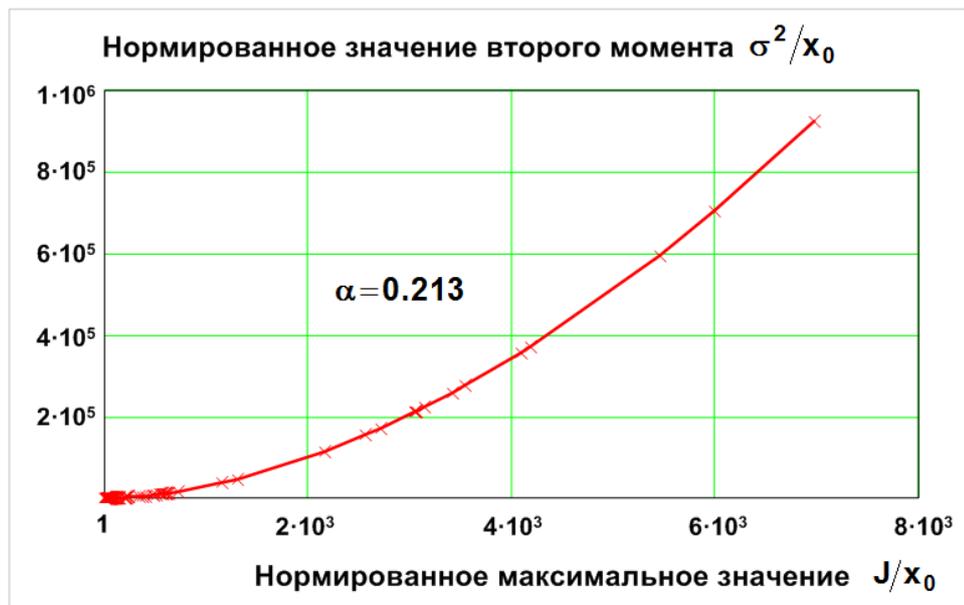


Рисунок 2.2 – График зависимости второго момента от объема выборки

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена является измерителем степени согласованности двух различных ранжировок одного и того же множества объектов и вычисляется по формуле [10]:

$$\tau_{ji} = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \cdot \sum_{k=1}^n (r_k^{(j)} - r_k^{(i)})^2, \quad (2.6)$$

где $r_k^{(j)}$ – ранг k -го объекта в j -й ранжировке;
 n – объем выборки.

По данным электропотребления предприятия для всех различных пар ранговых распределений были вычислены ранговые коэффициенты корреляции. Для статистической оценки математического ожидания наблюдаемого рангового коэффициента корреляции применена технология bootstrear [34], используемая для получения обоснованных выводов на выборках малого объема. Полученные результаты и построенная на их основе гистограмма (рисунок 2.3) позволяют заключить, что в исследуемом техноценозе между двумя различными парами распределений с надежностью 95 % будет наблюдаться ранговый коэффициент корреляции, равный не ниже 0,981. Как представляется, эта закономерность сохранится в будущем, что делает обоснованным использование результатов, полученных на основе анализа предыстории электропотребления.

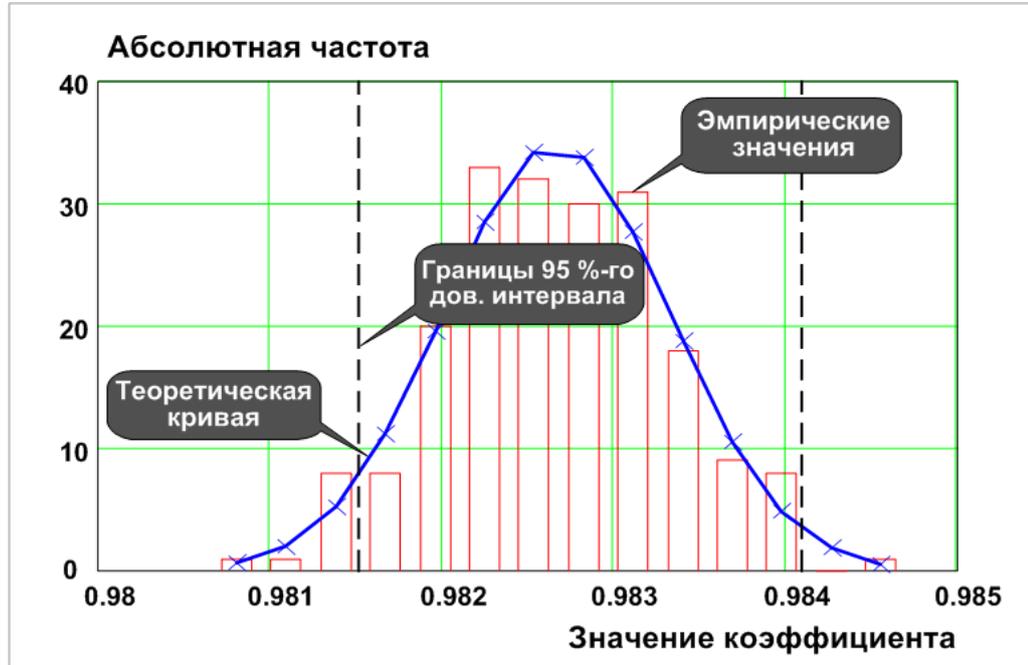


Рисунок 2.3 – Гистограмма рангового коэффициента корреляции Спирмена

Коэффициент конкордации (согласованности) Кендала $W(m)$ является измерителем степени тесноты статистической связи, существующей между $m \geq 2$ различными ранжировками [9,90]:

$$W(m) = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^m r_i^{(k)} - \frac{m \cdot (n+1)}{2} \right)^2, \quad (2.7)$$

где $r_i^{(k)}$ – ранг i -го объекта в k -й ранжировке;
 n – объем выборки;
 m – Количество ранжировок.

Для предприятия значение коэффициента конкордации составило 0,995, что подтверждает устойчивость формы ранговой поверхности.

Таким образом, наличие техноценологических свойств у объекта исследования делает правомерным использование рангового анализа как основного метода исследования техноценозов. Кроме того, сильная ранговая корреляция между различными парами ранжировок объектов предприятия в последовательные моменты времени по параметру электропотребления дает все основания экстраполировать в будущее результаты, полученные по предыстории.

2.2. Системный потенциал энергосбережения в методике оптимального управления электропотреблением техноценоза

Методика управления электропотреблением техноценоза разработана в научной школе, руководимой профессором В.И. Гнатюком [20,30,47-49]. Структурно она включает ряд процедур, применяющихся для управления электропотреблением. Первоначально она была оформлена на основе статической модели электропотребления и включала следующие процедуры (рисунок 2.4): формирование базы данных, прогнозирование, нормирование и интервальное оценивание [19,22-24,28,29]. Рассмотрим назначение каждой процедуры.

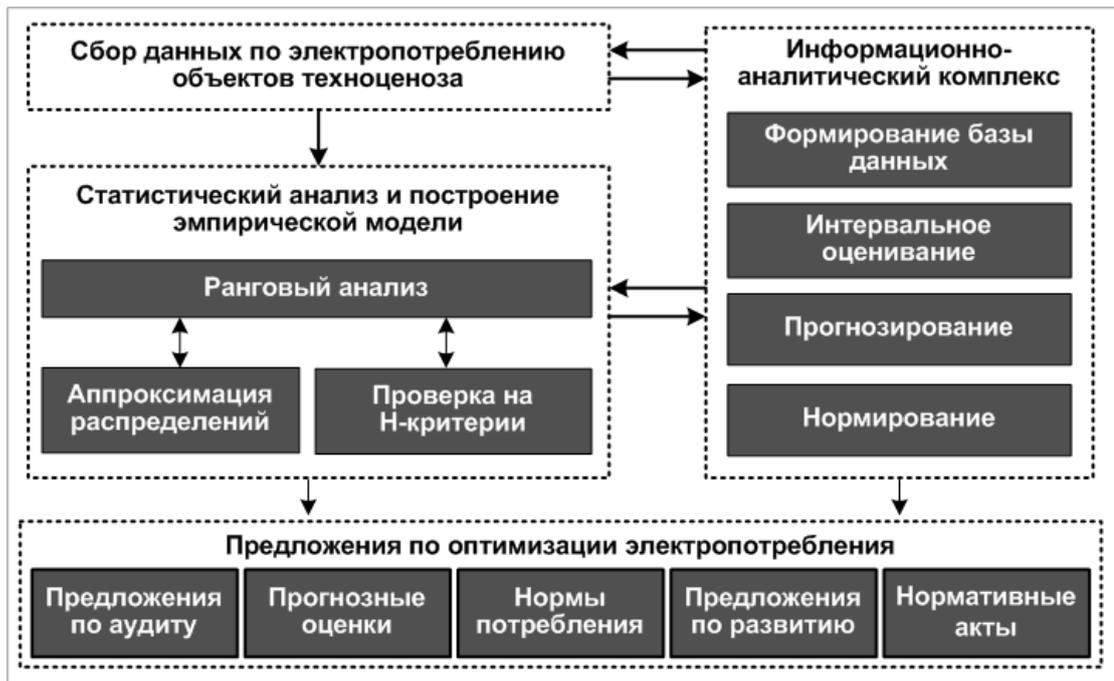


Рисунок 2.4 –Методика оптимального управления электропотреблением

Формирование базы данных – процедура, предназначенная для сбора и формализации имеющейся об объектах техноценоза качественной и количественной информации. При этом полученная информация должна отражать не только предысторию функционирования объектов, но их место и роль в организационно-штатной структуре предприятия (организации) [20,47]. Прогнозирование – процедура, позволяющая на основе глубокой статистической обработки и выявленных закономерностей определять наиболее вероятное электропотребление в будущем [23,24]. Интервальное оценивание – процедура, позволяющая выявлять объекты, которые на уровне общесистемных для техноценоза закономерностей аномально потребляют электроэнергию. При этом они могут потреблять как аномально мало, так и аномально много. В любом случае данные объекты выступают первоочередными для энергетического обследования, что повышает в результате эффективность энергоаудита для всей системы [30]. Нормирование – процедура, определяющая для объектов техноценоза научно-обоснованные нормы, которые, с одной стороны, не нарушали бы требуемый технологический режим и давали выполнить в этом смысле свое функциональное предназначение, а с другой – поощряли к экономии электроэнергии [28,29].

Перечисленные процедуры в методике оптимального управления электропотреблением называются стандартными [30], в том смысле, что в основном они опираются на аналитический аппарат безгранично делимых ранговых распределений, являющийся общепринятым (стандартным) в техноценологической теории. При этом упор делается в сторону моделирования общесистемных (техноценологических) закономерностей, в ущерб учету индивидуальных особенностей каждого объекта. Кроме того, как видно из содержания стандартных процедур, в явном виде нигде не идет речь о потенциале энергосбережения. Для устранения этого недостатка методика оптимального управления была дополнена процедурой потенцирования [32] (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Процедура потенцирования

Потенширование – процедура оптимального управления электропотреблением, заключающаяся в определении интегрального количества электроэнергии, на величину которого на данном временном интервале должно быть сокращено электропотребление без ущерба нормальному функционированию техноценоза.

Применение стандартных процедур рангового анализа показало, что не всегда результаты, полученные для системы, можно целиком распространить на её отдельные объекты [23,29,45]. Для устранения этого недостатка в каждой стандарт-

ной процедуре разработаны аналитические модули, учитывающие неоднородность объектов техноценоза относительно проявления в них индивидуальных и системных свойств. Совокупность этих модулей окончательно оформилась в виде тонких процедур рангового анализа (рисунок 2.6): верификацией базы данных по электропотреблению, а также дифлекс-, GZ-, ASR- и ZP-анализом [30].

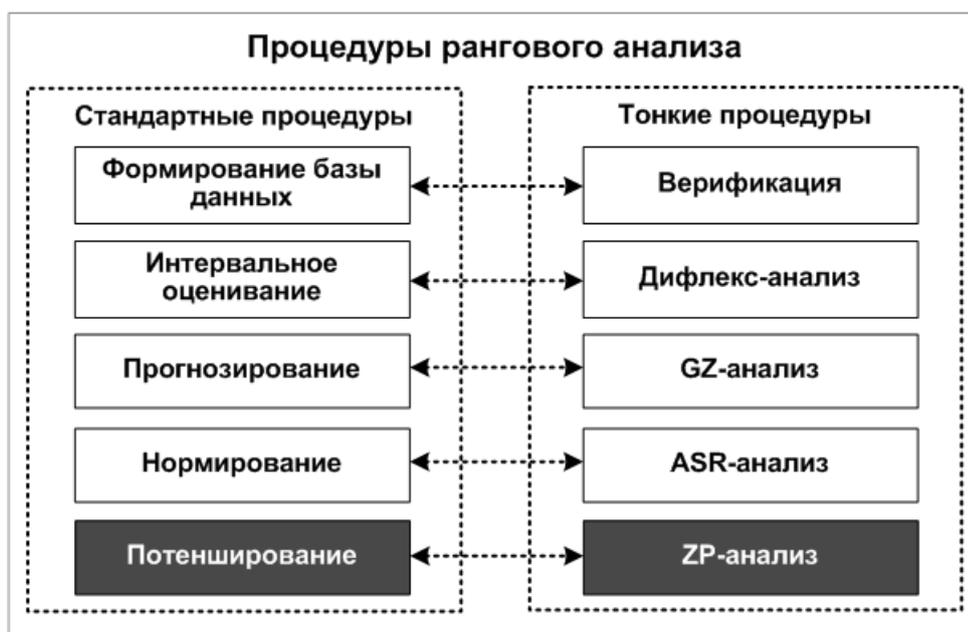


Рисунок 2.6 – Тонкие процедуры рангового анализа

Каждая тонкая процедура существенно дополняет и расширяет возможности стандартной процедуры. Так, дифлекс-анализ за счёт комплексного учета индивидуальной динамики отклонения электропотребления объекта от нижней границы системного доверительного интервала повышает эффективность энергоаудита техноценоза в целом. GZ-анализ на основе учета степени согласованности электропотребления объекта с системой при помощи коэффициента когерентности позволяет комбинировать методы прогнозирования, что повышает точность и достоверность прогноза [23,24,30]. ASR-анализ позволяет путем совместного применения различных методов нормирования и предельного алгоритма получать норму электропотребления объекта, учитывающую его индивидуальные особенности и системное влияние со стороны техноценоза [28,29]. ZP-анализ выстраивает научно-обоснованный план реализации системного потенциала энергосбережения, учитывающий его структурные свойства. Под структурными свойствами понимается на-

личие устойчивых во времени уровней системного потенциала энергосбережения, границы которых определены функциональным предназначением объектов и действующими в системе вероятностными закономерностями.

Таким образом, управление электропотреблением техноценоза представляет собой целенаправленную и взаимосвязанную реализацию процедур интервального оценивания, прогнозирования, нормирования и потенцирования, позволяющую за заданный промежуток времени с минимальными затратами достичь уровня системного потенциала. При этом потенцирование отделено от других процедур задачей определения и реализации потенциала энергосбережения, а его тонким дополнением является ZP-анализ [32,42-45]. Из представленных определений видно, что потенцирование и ZP-анализ объединяет понятие потенциала энергосбережения.

Под потенциалом энергосбережения понимается полученная на расчетную глубину времени абсолютная разница между электропотреблением техноценоза (в кВт·ч) без реализации энергосберегающих процедур, с одной стороны, и электропотреблением, соответствующим нижней границе системного доверительного интервала, с другой (рисунок 2.7) [30,32,42-45].

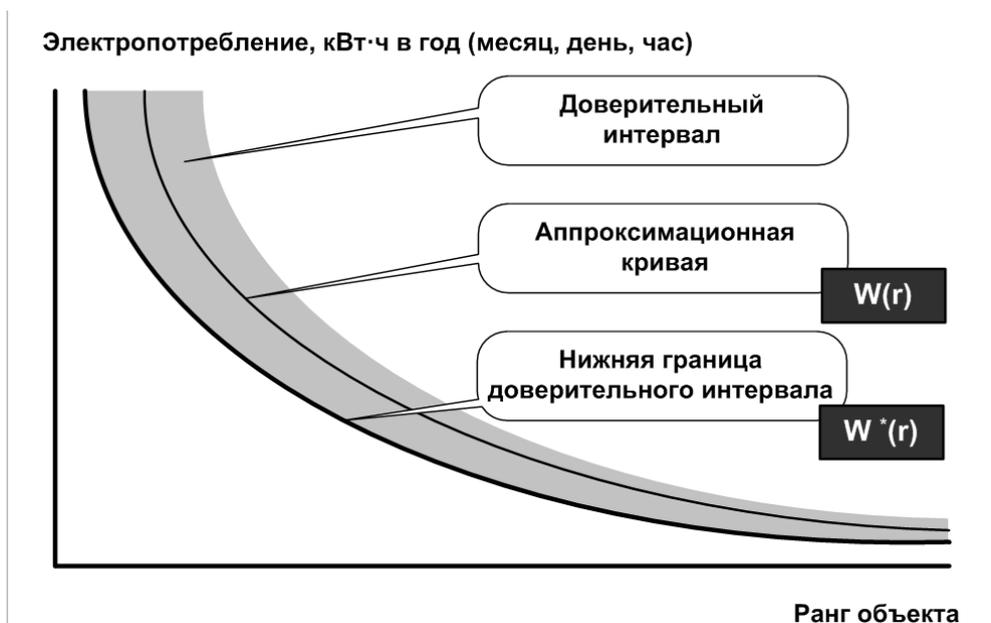


Рисунок 2.7 – Системный потенциал энергосбережения

Электропотребление техноценоза рассчитывается как интеграл в пределах от нуля до бесконечности под соответствующей кривой рангового параметрического распределения. При этом, в качестве расчетной берется либо кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов, либо нижняя граница переменного доверительного интервала. Расчетный промежуток времени определяется, с одной стороны, глубиной базы данных по электропотреблению в прошлом, на основе, которой строится системный доверительный интервал, а с другой – требуемым горизонтом прогнозирования потенциала в будущем.

Необходимо выделить ряд особенностей, отличающих способ вычисления системного потенциала энергосбережения. Во-первых, предполагается, что анализируемые выборочные совокупности являются циффовыми (негауссовыми), и расчет, соответственно, строится на основе аппарата безгранично делимых ранговых распределений. Аппроксимация эмпирических распределений выборок техноценоза аналитически описывает сложившийся порядок распределения энергетического ресурса между объектами, а определенный на её основе системный потенциал энергосбережения обозначается как Z-потенциал. Во-вторых, системный доверительный интервал (рисунок 2.7) устанавливает пределы наиболее вероятного состояния техноценоза, а его нижняя граница определяет уровень минимального электропотребления. В-третьих, недопустимо использование усредненных показателей энергоэффективности, полученных по отдельным объектам (техническим изделиям) и для других условий функционирования с целью их обобщения и распространения на весь техноценоз.

С учетом сформулированных особенностей и применяющегося аппарата ранговых распределений Z-потенциал энергосбережения рассчитывается по следующему выражению [19,30,32,44]:

$$\Delta W = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^*(r)dr, \quad (2.8)$$

где ΔW – потенциал энергосбережения техноценоза;

- $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов;
- $W^*(r)$ – нижняя граница системного доверительного интервала, полученная на основе обработки базы данных;
- r – ранг объекта техноценоза.

Рассмотрим более подробно аналитическое обоснование и порядок расчета системного доверительного интервала. Анализ вычислительных модулей процедуры интервального оценивания и нормирования позволяет заключить, что обе они опираются на расчет системного доверительного интервала: первая для определения объектов, аномально потребляющих электроэнергию, вторая – для определения качества нормы при реализации предельного алгоритма нормирования [28,29,30]. При этом используется гиперболическая кривая, полученная в результате аппроксимации нижних 95 %-ых границ совокупности ранговых доверительных интервалов. Это позволяет учесть системное влияние техноценоза и взаимное влияние объектов друг на друга. Анализ, выполненный на множестве объектов в техноценозах различной природы, позволил подтвердить предположение о нормальном распределении значений электропотребления внутри рангов, что дает возможность на основе данных за обозримый промежуток времени построить для каждого ранга доверительный интервал [28,29,30], который именуется ранговым.

Как известно, если Θ^* служит оценкой неизвестного параметра Θ , то доверительным называется интервал $[\Theta^* - \delta, \Theta^* + \delta]$, который покрывает неизвестный параметр с заданной надежностью γ [12,35,51]:

$$P [\Theta^* - \delta < \Theta < \Theta^* + \delta] = \gamma, \quad (2.9)$$

где δ – точность оценки.

Если случайная величина X распределена нормально, то по данным выборки объемом n можно ввести случайную величину T , которая имеет распределение Стьюдента с $k = n - 1$ степенями свободы [9,12]:

$$T = \frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}}, \quad (2.10)$$

где \bar{X} – выборочное среднее;
 m – неизвестное математическое ожидание;
 S – исправленное среднее квадратичное отклонение.

Плотность распределения Стьюдента определяется выражением:

$$S(t, n) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)}\Gamma((n-1)/2)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \quad (2.11)$$

где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} e^{-u} du$ – гамма-функция (t – табличный аргумент).

Как видно из (2.11), распределение Стьюдента определяется одним параметром – объемом выборки n и не зависит от неизвестных параметров. Так как $S(t, n)$ – четная функция от t , то вероятность неравенства

$$\frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}} < t_\gamma \quad (2.12)$$

определяется следующим условием:

$$P\left(\left|\frac{\bar{X} - m}{S/\sqrt{n}}\right| < t_\gamma\right) = 2 \int_0^{t_\gamma} S(t, n) dt = \gamma. \quad (2.13)$$

При замене строгого неравенства в выражении (2.12) двойным неравенством, а также с учетом уравнения (2.13) получаем вероятностную оценку неизвестного математического ожидания m с надежностью γ :

$$P\left(\bar{X} - t_\gamma S/\sqrt{n} < m < \bar{X} + t_\gamma S/\sqrt{n}\right) = \gamma. \quad (2.14)$$

При замене случайных величин \bar{X} и S их оценками \bar{x} и s , найденными по выборке, получается доверительный интервал, покрывающий неизвестный параметр m с надежностью γ (рисунок 2.8):

$$((\bar{x} - t_\gamma s / \sqrt{n}), (\bar{x} + t_\gamma s / \sqrt{n})), \quad (2.15)$$

где s – выборочное среднее квадратичное отклонение;

\bar{x} – выборочное среднее (находится по выборке);

t_γ – аргумент (находится таблично по заданным n и γ).

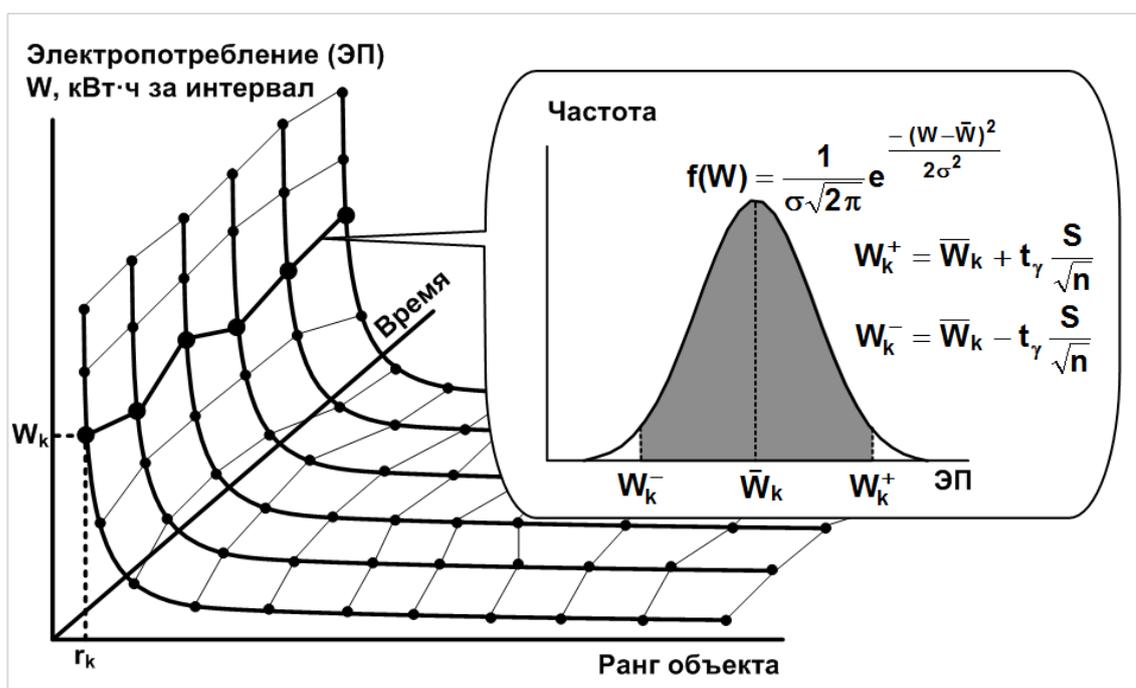


Рисунок 2.8 – Границы рангового доверительного интервала

Данный подход для построения доверительных интервалов имеет следующие преимущества: возможность применения для выборок с малым объемом ($n < 30$), а также отсутствие неизвестных параметров распределения. В работе неизвестным параметром для фиксированного ранга является математическое ожидание его электропотребления W , а его оценкой выступает выборочное среднее значение \bar{W} . Полученный для каждого ранга доверительный интервал называется

ранговым. Аппроксимация нижних 95 %-х границ совокупности ранговых доверительных интервалов распределением Ципфа в ранговой дифференциальной форме (2.4) определяет нижнюю границу системного доверительного интервала.

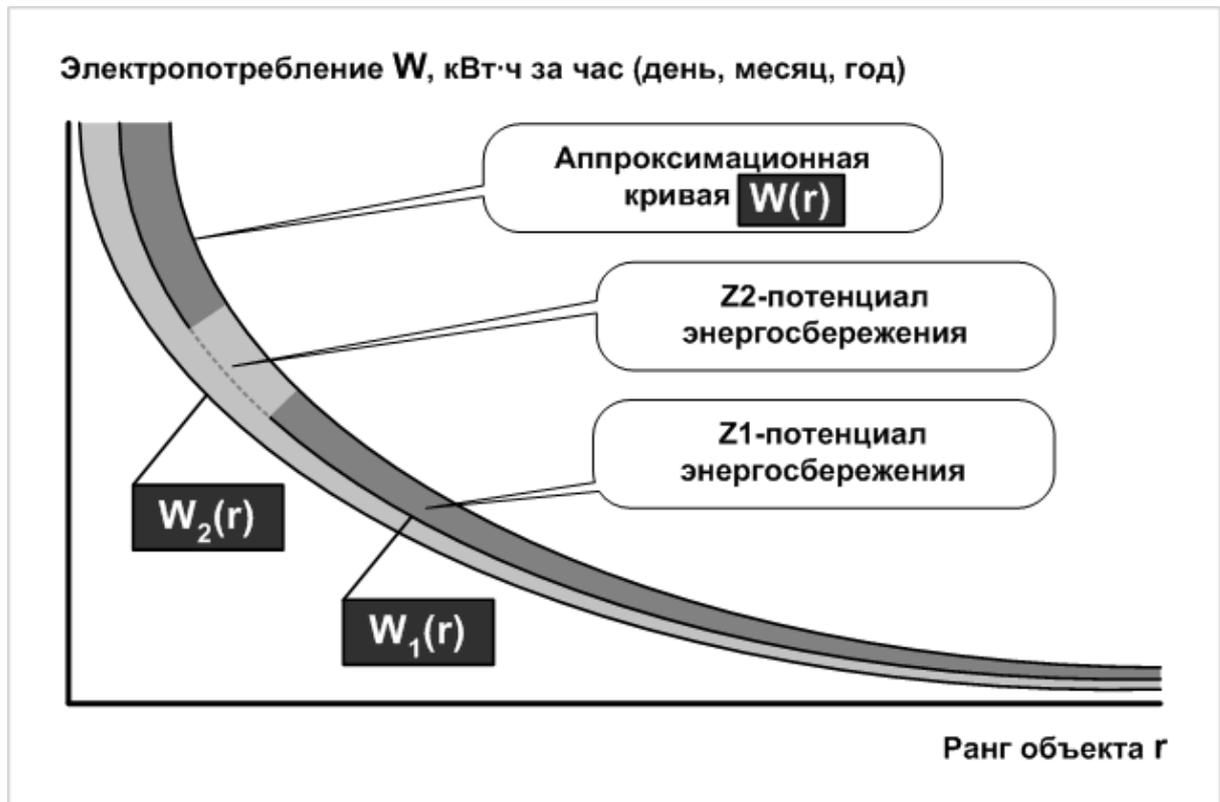
Таким образом, системный потенциал энергосбережения (Z -потенциал) рассчитывается на основе гиперболической кривой, учитывающей устоявшуюся в техноценозе закономерность электропотребления. Площадь под этой кривой соответствует минимальному электропотреблению техноценоза при условии выполнения возложенных на него задач.

2.3. Уровни системного потенциала. ZP-нормирование

Оценка Z -потенциала энергосбережения в процедуре ZP-анализа осуществляется на двух уровнях (рисунок 2.9). Первый уровень – $Z1$ -потенциал, когда в качестве базовой принимается гиперболическая кривая, аппроксимирующая нижние 95 %-е границы совокупности ранговых доверительных интервалов. Второй уровень – $Z2$ -потенциал, когда в качестве базовой принимается гиперболическая кривая, аппроксимирующая электропотребление объектов в пересчете на лучшие удельные показатели энергоэффективности функциональных групп. $Z1$ -потенциал связывают с реализацией организационных мероприятий по «наведению порядка» в электропотреблении объектов без существенных капитальных вложений. $Z2$ -потенциал нацелен на реализацию организационно-технических мероприятий с распространением на все объекты передовых энергосберегающих решений, имеющихся в самом техноценозе.

Применение двухуровневой системы оценки потенциала энергосбережения позволяет учитывать не только системные свойства, но и функциональное разделение объектов в организационно-штатной структуре. Так как функция объектов является их индивидуальной характеристикой, то можно заключить, что включение её в расчеты учитывает их индивидуальные свойства. Пересчет электропотребления объектов по лучшим удельным показателям энергоэффективности функциональных групп на основе существующих графиков нагрузки реализуется

процедурой ZP-нормирования. Рассмотрим аналитический аппарат процедуры ZP-нормирования, необходимой для вычисления Z2-потенциала.



$W_1(r)$ – теоретическая граница Z1-потенциала;
 $W_2(r)$ – теоретическая граница Z2-потенциала

Рисунок 2.9 – Z1- и Z2-потенциалы энергосбережения техноценоза

В ходе формирования базы данных техноценоза о каждом объекте записывается следующая информация (Приложения А, Б): наименование, функциональное назначение (функциональная группа), место в организационно-штатной структуре, параметры назначения и функционирования [47,65]. Под местом объекта в организационно-штатной структуре понимается наименование его структурного подразделения. При этом есть случаи, когда сам объект является структурным подразделением. Под функциональной группой понимается совокупность объектов, имеющих схожий режим функционирования и одинаковые наиболее полно описывающие его функциональные параметры. Рассмотрим для примера газораспределительные станции исследуемого предприятия: первая – УИРС, вторая – УТНИ. У выделенных объектов похожий режим функционирования, связанный с перекачкой

и распределением природного газа, и одинаковый функциональный параметр – производительность (тыс. м³/ч). При этом сами по себе эти объекты являются отдельными структурными подразделениями и обладают определенной организационной независимостью.

В приведенном примере среди параметров, характеризующих функционирование объекта по прямому назначению, выбран один ключевой, называемый лидинговым [30,32]. В практике примерами лидинговых параметров могут служить следующие: на предприятиях – тонны выплавленного металла, тысячи штук произведенной продукции, кубометры извлеченной породы; в организациях – количество квадратных метров офисных или складских площадей, число сотрудников или обучающихся, количество больничных или гостиничных койко-мест; в ЖКХ – кубометры перекачанной воды, гигакалории тепла, жилые площади; в обороне – число единиц основной боевой техники, количество военнослужащих, боевые возможности, мощность радиопередающих устройств и т.д. С точки зрения электроэнергии, как одного из основных энергетических ресурсов, потенциал объекта, заключенный в значение лидингового параметра, определяет величину электропотребления, необходимую для его функционирования.

Таким образом, под лидинговым параметром понимается величина, характеризующая основное общее свойство объектов техноценоза, входящих в одну функциональную группу. В пределах функциональной группы объекты техноценоза описываются значением лидингового параметра, имеющего одинаковый физический смысл и размерность, что делает уместным процедуру их сравнения. Функциональная группировка учитывает не только физическую суть лидингового параметра, но и специфику объектов, как с точки зрения организационно-штатной структуры, так и особенностей их функционирования в техноценозе.

В сформированной базе данных на основе выборки для отдельно взятого временного интервала (года, месяца, дня) можно сформировать множества вида:

$$\begin{aligned} \mathbf{B} &= \{B_1, B_2, \dots, B_n\}, \quad B_k = \{W_k, L_k, O_i, F_j, I_k\}, \\ \mathbf{O} &= \{O_1, O_2, \dots, O_m\}, \quad \mathbf{F} = \{F_1, F_2, \dots, F_p\}, \\ k &= 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, m, \end{aligned} \tag{2.16}$$

где

- B_k – подмножество, характеризующее k -й объект;
- W_k – электропотребление k -го объекта;
- L_k – значение лидингового параметра k -го объекта;
- O_i – идентификатор структурного подразделения;
- F_j – идентификатор функциональной группы;
- I_k – идентификатор объекта;
- n – количество объектов;
- m – количество структурных подразделений;
- p – количество функциональных групп.

В последующем будем полагать, что по идентификатору объекта в базе данных можно однозначно установить его принадлежность к функциональной группе и подразделению в организационно-штатной структуре.

Группировка объектов по функциональным группам в фиксированный момент времени формирует множества вида:

$$\begin{aligned} \mathbf{G} &= \{G_1, G_2, \dots, G_p\}, \quad j=1, \dots, p, \\ G_j &= \{I_1, I_2, \dots, I_{s^{(j)}}\}, \quad v^{(j)}=1, \dots, s^{(j)}, \end{aligned} \tag{2.18}$$

где

- G_j – множество, содержащее идентификаторы объектов, входящих в j -ю функциональную группу;
- $I_{v^{(j)}}$ – идентификатор v -го объекта, входящего в j -ю функциональную группу;
- $s^{(j)}$ – количество объектов в j -й функциональной группе;

- $v^{(j)}$ – формальный индекс, устанавливающий порядковый номер объекту в j -й функциональной группе;
- p – количество функциональных групп.

Функциональная группировка производится так, что объект может одновременно принадлежать только одной функциональной группе, и по её результатам j -я функциональная группа в фиксированный момент времени характеризуется совокупностью значений электропотребления, лидинговых параметров, идентификаторов входящих в неё объектов [27,30,45]. Таким образом, функциональную группу можно представить множеством вида:

$$\{\{W_1, L_1, I_1\}, \{W_2, L_2, I_2\}, \dots, \{W_v, L_v, I_v\}, \dots, \{W_s, L_s, I_s\}\}, \quad (2.19)$$

- где W_v – электропотребление v -го объекта;
- L_v – значение лидингового параметра v -го объекта;
- I_v – идентификатор v -го объекта;
- $v = 1, \dots, s$ – формальный индекс, устанавливающий порядковый номер объекта в функциональной группе;
- s – количество объектов в функциональной группе.

После группировки для каждого объекта в функциональной группе определяется его удельное электропотребление, как отношение значения абсолютного электропотребления к величине лидингового параметра. Необходимо уточнить, что процедура определения удельного электропотребления выполняется для каждого временного интервала в отдельности. Таким образом, для выделенной функциональной группы можно получить следующее множество:

$$\{\{\overline{W}_1, I_1\}, \{\overline{W}_2, I_2\}, \dots, \{\overline{W}_v, I_v\}, \dots, \{\overline{W}_s, I_s\}\}, \quad (2.20)$$

- где $\overline{W}_v = \frac{W_v}{L_v}$ – удельное электропотребление v -го объекта;
- W_v – электропотребление v -го объекта;

- L_v – значение лидингового параметра v -го объекта;
 I_v – идентификатор v -го объекта;
 $v = 1, \dots, S$ – формальный индекс, устанавливающий порядковый номер объекта в функциональной группе;
 S – количество объектов в функциональной группе.

Далее в функциональной группе определяется объект, обладающий минимальным значением удельного электропотребления. Основное допущение в процедуре ZP-нормирования основывается на том, что минимальное значение удельного электропотребления в функциональной группе является образцовым (эталонным, базовым) [27]. В соответствии с этим осуществляется пересчет электропотребления каждого объекта в группе в предположении, что он стал потреблять электроэнергию так же эффективно, как и образцовый. После пересчета электропотребления для функциональной группы формируется множество вида:

$$\{\{W_1^{ZP}, I_1\}, \{W_2^{ZP}, I_2\}, \dots, \{W_v^{ZP}, I_v\}, \dots, \{W_s^{ZP}, I_s\}\}, \quad (2.21)$$

- где $W_v^{ZP} = \overline{W}_{\min} \cdot L_v$ – ZP-норма v -го объекта;
- \overline{W}_{\min} – минимальное (образцовое) удельное электропотребление функциональной группы;
- L_v – значение лидингового параметра v -го объекта;
- I_v – идентификатор v -го объекта;
- $v = 1, \dots, S$ – формальный индекс, устанавливающий порядковый номер объекта в функциональной группе;
- S – количество объектов в функциональной группе.

Произведя расчет во всех функциональных группах техноценоза для определенного временного интервала, формируется множество вида:

$$\{\{W_1^{ZP}, I_1\}, \{W_2^{ZP}, I_2\}, \dots, \{W_k^{ZP}, I_k\}, \dots, \{W_n^{ZP}, I_n\}\}, \quad (2.22)$$

где W_k^{ZP} – ZP-норма k-го объекта;
 I_k – идентификатор k-го объекта;
 $k = 1, \dots, n$ – формальный индекс объектов;
 n – количество объектов в техноценозе.

В результате реализации процедуры ZP-нормирования в каждом временном интервале можно получить матрицу ZP-норм вида:

$$W^{ZP} = \begin{pmatrix} W_{1,1}^{ZP} & W_{1,j}^{ZP} & \dots & W_{1,m}^{ZP} \\ W_{i,1}^{ZP} & W_{i,j}^{ZP} & \dots & W_{i,m}^{ZP} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n,1}^{ZP} & W_{n,j}^{ZP} & \dots & W_{n,m}^{ZP} \end{pmatrix}, \quad (2.23)$$

где $W_{i,j}^{ZP}$ – ZP-норма i-го объекта в j-й момент времени;
 m – количество временных интервалов;
 n – количество объектов техноценоза.

Сортировка каждого столбца матрицы ZP-нормс последующей аппроксимацией гиперболической кривой нижних границ 95 %-х ранговых доверительных интервалов определяет теоретические границы Z2-потенциала. Таким образом, для фиксированного момента времени Z2-потенциал определяется выражением:

$$\Delta W_2 = \int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W_2(r) dr, \quad (2.24)$$

где ΔW_2 – Z2-потенциал энергосбережения техноценоза;
 $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов в фиксированном временном интервале;

$W_2(r)$ – ранговое параметрическое распределение, аппроксимирующее нижние 95 %-е границы ранговых доверительных интервалов, вычисленных на основе матрицы ZP-норм.

Таким образом, использование двухуровневой системы оценки Z-потенциала энергосбережения техноценоза учитывает не только его системные свойства, но и индивидуальные, обусловленные различием в функциональном предназначении объектов. Это позволяет разрабатывать различные стратегии энергосбережения, ориентированные не только на реализацию организационных мероприятий, но и на техническое переоснащение, связанное с распространением в техноценозе доступных для него лучших энергоэффективных решений.

2.4. Процедура ZP-планирования

При вычислении Z-потенциала энергосбережения полученные оценки относятся только к определенному моменту времени. Это делает необходимым рассматривать системный потенциал энергосбережения в динамике, что в свою очередь требует тщательного научно-технического планирования. При этом ошибочной будет стратегия реализации имеющегося Z-потенциала, опирающаяся на совокупность несогласованных по месту и времени энергосберегающих мероприятий. Как представляется, сверхсуммарный положительный эффект от энергосберегающих мероприятий кроется в учете техноценологических особенностей, когда за счет планомерных научно-технических воздействий техноценоз при выполнении возложенных на него задач снижает свое электропотребление.

ZP-планирование – процедура реализации потенциала энергосбережения, определяющая объектам техноценоза индивидуальные пошаговые нормы снижения электропотребления в заданном цикле управления [27]. Результатом ZP-планирования является ZP-план (Приложения М, Н), реализующий одну из двух стратегий: 1) достижение к заданному временному интервалу требуемого уровня снижения электропотребления техноценоза; 2) достижение техноценозом уровня Z-потенциала (Z_1 или Z_2) энергосбережения к заданному временному интервалу.

Первоначально при формировании ZP-плана определяется значение, на величину которого необходимо снизить электропотребление всего техноценоза:

$$\Delta W^{PL} = \frac{K^{PL}}{100} \cdot \int_0^{\infty} W(r) dr, \quad (2.25)$$

где $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная по эмпирическим значениям электропотребления;

ΔW^{PL} – системная норма снижения электропотребления;

K^{PL} – плановый коэффициент – задаваемая в процентах норма снижения электропотребления техноценоза.

В (2.24) показатель K^{PL} является нормативным, так например в [92] определено, что к 2020 энергоемкость промышленности Российской Федерации необходимо сократить на 20 %. В простом варианте предъявленный норматив по экономии электроэнергии можно равномерно поделить на количество временных интервалов. Так на интервале 10 лет для выполнения требований, определенных в [4], необходимо ежегодно снижать электропотребление на 2 %. В любом случае руководство предприятия с учетом инвестиционного цикла, программ модернизации и особенностей производственного процесса должно выработать собственные плановые нормативы экономии.

Полученную системную норму снижения электропотребления ΔW^{PL} необходимо распределить между объектами с учетом техноценологических особенностей предприятия. Данная задача решается путем определения для каждого объекта техноценоза соответствующего весового коэффициента, устанавливающего для него индивидуальную норму снижения. Весовой коэффициент объекта определяется как отношение абсолютного отклонения электропотребления, соответствующее его рангу, от нижней границы доверительного интервала к величине Z-потенциала энергосбережения. Численно весовой коэффициент для k-го объекта в фиксированный момент времени задается выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_k = \frac{W(r_k) - W^*(r_k)}{\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^*(r) dr}; \\ \sum_{k=1}^n V_k = 1, \end{array} \right. \quad (2.26)$$

- где $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная по эмпирическим значениям электропотребления;
- $W^*(r)$ – аппроксимационная кривая, соответствующая нижней границе доверительного интервала;
- $W(r_k)$ – значение электропотребления ранга k -го объекта на кривой, аппроксимирующей эмпирические значения;
- $W^*(r_k)$ – значение электропотребления ранга k -го объекта на кривой, соответствующей нижней границе доверительного интервала.

В итоге, с учетом полученных весовых коэффициентов, индивидуальная норма снижения электропотребления k -го объекта (из расчета на один временной интервал) вычисляется по выражению:

$$\Delta \overline{W}_k^{PL} = \Delta W^{PL} \cdot V_k, \quad (2.27)$$

- где ΔW^{PL} – системная норма снижения электропотребления;
- V_k – весовой коэффициент k -го объекта.

С целью гарантированного выполнения ZP-плана предлагается использовать систему поощрения объектов техноценоза за успехи в экономии электроэнергии, и для этого создать план премирования и инвестиций, методика разработки которого также является общей для любых стратегий ZP-планирования. Средства для выполнения плана поступают из так называемого фонда энергосбережения. Источником для формирования фонда являются выручаемые за счет экономии электроэнергии отдельными объектами средства, размер которых зависит от действующего тарифа на электроэнергию:

$$C_k^{PL} = \Delta \overline{W}_k^{PL} \cdot sc_k, \quad (2.28)$$

- где C_k^{PL} – объем средств (в денежном выражении), выручаемых за счет экономии электроэнергии k-м объектом;
- $\Delta \overline{W}_k^{PL}$ – индивидуальная норма снижения электропотребления k-го объекта;
- sc_k – тариф на электроэнергию, предъявляемый k-му объекту.

Поощрительная премия, выплачиваемая объекту за успешную экономию электроэнергии, должна быть поставлена в зависимость от близости его электропотребления к нижней границе системного доверительного интервала. При этом целесообразным считается, что доля средств, сэкономленных на объекте за счет энергосбережения, будет расходоваться на его модернизацию и премирование персонала. Решать задачу определения премии предлагается с использованием относительного отклонения электропотребления объекта от нижней границы системного доверительного интервала [30,45]:

$$W^{\Delta}(r_k) = \frac{W(r_k) - W^*(r_k)}{W(r_k)}, \quad (2.29)$$

- где $W^{\Delta}(r_k)$ – относительное отклонение значения электропотребления k-го объекта от величины, соответствующей его рангу на нижней границе системного доверительного интервала;
- $W^*(r_k)$ – значение электропотребления k-го объекта на нижней границе доверительного интервала.

Индивидуальная доля премирования объекта состоит из двух слагаемых, первое из которых определяет размер премии персоналу за успехи в экономии электроэнергии, а второе – объем инвестиций в энергосбережение (перевооружение и модернизацию электрооборудования):

$$\begin{cases} C_k^{PR} = \gamma_1 \cdot C_k^{PL} \cdot [1 - W^\Delta(r_k)]; \\ C_k^{IN} = \gamma_2 \cdot C_k^{PL} \cdot [1 - W^\Delta(r_k)]; \\ 0 \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq 1, \end{cases} \quad (2.30)$$

где C_k^{PR} – размер премии, начисляемой персоналу объекта техноценоза за успехи в экономии электроэнергии;

C_k^{IN} – объем инвестиций в энергосбережение;

γ_1, γ_2 – коэффициенты, учитывающие установленную в системе управления техноценоза долю отчислений от сэкономленных средств в фонд энергосбережения (как правило, находятся в диапазоне от 0,2 до 0,3 каждый).

В выражении (2.29) при достижении объектом нижней границы доверительного интервала относительное отклонение приравняется к нулю. При этом максимальная доля сэкономленных средств будет идти на премирование объекта.

В итоге для каждого k -го объекта техноценоза получаем индивидуальную долю премирования в общем фонде энергосбережения техноценоза (из расчета на один временной интервал):

$$\bar{C}_k^{PL} = C_k^{PR} + C_k^{IN}. \quad (2.31)$$

При долгосрочном применении процедуры ZP-анализа на каждом временном интервале по мере движения объектов к нижней границе системного доверительного интервала будет постоянно происходить пересчет отклонений и, соответственно, перераспределение премиальных средств.

Различие в стратегиях ZP-планирования сводится к методике расчета величины, на которую в течение каждого расчетного временного интервала должно снижаться суммарное электропотребление техноценоза. Для первой стратегии – достижение к заданному временному интервалу требуемого уровня снижения электропотребления техноценоза – выражение для расчета выглядит следующим образом:

$$\Delta W^{PL} = \frac{K^{PL} \cdot \int_0^{\infty} W(r) dr}{100 \cdot T}, \quad (2.32)$$

где K^{PL} – плановый коэффициент – задаваемая в процентах норма снижения электропотребления техноценоза;
 T – время реализации планового коэффициента, задаваемое в количестве временных интервалов, за которые должна быть достигнута заложенная норма.

Вторая стратегия процедуры ZP-планирования состоит в достижении техноценозом уровня Z1- или Z2-потенциала энергосбережения к заданному временному интервалу. При данной стратегии системная норма снижения электропотребления рассчитывается следующим образом:

$$\Delta W^{PL} = \frac{\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^*(r) dr}{T}, \quad (2.33)$$

где $W^*(r)$ – нижняя граница доверительного интервала, рассчитанная для Z1- или Z2-потенциала;
 T – время достижения техноценозом потенциала энергосбережения требуемого уровня.

Важным элементом ZP-анализа является мониторинг результативности процесса энергосбережения, который предлагается осуществлять с помощью показателя конверсии. Данный показатель позволяет оценить, насколько премиальные средства, определенные по итогам процедуры ZP-планирования и вложенные в объект на предыдущем временном интервале, отразились в фактическое снижение электропотребления на последующем временном интервале. Очевидно, что показатель конверсии может быть рассчитан только по итогам двух и более временных интервалов реализации ZP-плана. Для k -го объекта он равен:

$$\Pi_k^{t+1} = \frac{W^t(r_k) - W^{t+1}(r_k)}{\bar{C}_k^{PL(t)}}, \quad (2.34)$$

- где Π_k^{t+1} – показатель конверсии k-го объекта на (t+1)-ом временном интервале (измеряется в кВт·ч на денежную единицу);
- $W^t(r_k)$ – электропотребление k-го объекта на t-ом интервале;
- $W^{t+1}(r_k)$ – электропотребление k-го объекта на (t+1)-ом временном интервале;
- $\bar{C}_k^{PL(t)}$ – объём премиальных средств, определенных по итогам процедуры ZP-планирования и вложенных в объект на t-ом временном интервале.

Показатель конверсии может быть рассчитан и для техноценоза в целом. При этом на (t+1) временном интервале будем иметь:

$$\Pi_{\Sigma}^{t+1} = \frac{\int_0^{\infty} W^t(r) dr - \int_0^{\infty} W^{t+1}(r) dr}{\sum_{k=1}^n (\bar{C}_k^{PR} + \bar{C}_k^{IN})}, \quad (2.35)$$

- где Π_{Σ}^{t+1} – совокупный показатель конверсии техноценоза в целом на (t+1)-ом временном интервале (измеряется в кВт·ч на денежную единицу);
- $W^t(r)$ – аппроксимированное ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза по электропотреблению на t-ом временном интервале;
- $W^{t+1}(r)$ – ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза на (t+1)-ом временном интервале.

Совокупный показатель конверсии техноценоза может применяться в любых стратегиях ZP-планирования, связанных с экономическими ограничениями, в

частности – по конвертируемости средств, вкладываемых в энергосбережение. При данных стратегиях величина, на которую в течение каждого временного интервала должно снижаться суммарное электропотребление техноценоза, рассчитывается по выражениям, аналогичным (2.31) или (2.32). Однако в процессе реализации стратегии на каждом временном интервале осуществляется мониторинг конверсии. При этом циклический процесс ZP-анализа завершается при достижении показателем конверсии априорно заданного минимального значения, когда средства, вкладываемые в энергосбережение, не приносят ожидаемого положительного эффекта.

2.5. Содержание методики ZP-анализа

В методике оптимального управления электропотреблением техноценоза ZP-анализ является тонким дополнением к процедуре потенцирования (рисунки 2.5, 2.6) [27,30], позволяющим учитывать структурные свойства системного потенциала энергосбережения, детально и многовариантно планировать его реализацию, оценивать эффективность проводимых энергосберегающих мероприятий. Структурно ZP-анализ включает блоки: потенцирования, ZP-нормирования, ZP-планирования и оценки эффективности (рисунок 2.10). В зависимости от выбранной стратегии энергосбережения, например, достижение уровня Z1-потенциала, ZP-анализ может реализовываться по упрощенному варианту без блока ZP-нормирования. Следует отметить, что выходные данные, являющиеся результатом применения текущего блока, формируют исходную информацию для работы последующего. Так границы системного потенциала энергосбережения, определенные в блоке потенцирования, являются исходными для расчета индивидуальных норм снижения электропотребления в блоке ZP-планирования. Таким образом, представленная совокупность блоков ZP-анализа предполагает их пошаговую реализацию в непрерывном цикле управления техноценозом для снижения его электропотребления. Рассмотрим особенности применения и содержание каждого блока.



Рисунок 2.10 – Структура тонкой процедуры ZP-анализа

Блок ZP-нормирования предназначен для пересчета электропотребления объектов относительно лучшего удельного электропотребления в каждой функциональной группе. При этом сама функциональная группировка обеспечивается правильным описанием предметной области, проектированием и созданием базы данных. Большинство современных СУБД поддерживают языковые средства, производящие агрегацию данных по различным критериям, так что задача получения матрицы ZP-норм может быть решена в их среде.

В любом случае на каждом временном интервале осуществляется следующая совокупность действий (рисунок 2.10): вычисление удельного электропотребления для каждого объекта, функциональная группировка, нахождение минимального удельного электропотребления в каждой функциональной группе и

фиксация его как лучшего, пересчет фактического электропотребления объектов на основе лучшего удельного. В результате применения описанных действий для всех моментов времени формируется матрица ZP-норм.

Блок потенцирования реализует одноименную стандартную процедуру (рисунок 2.5) в результате чего для каждого объекта техноценоза определяется его потенциал энергосбережения, используемый для составления ZP-плана. Выполняется это следующим образом. Известные на данный момент времени фактические значения электропотребления объектов составляют проверочную совокупность, а остальные – обучающую (рисунок 2.11).

Ранг	Электропотребление объектов по временным интервалам, кВт·ч											
	...	t-8	t-7	t-6	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t	t+1	
1	...	W_{18}	W_{17}	Проверочная совокупность					W_{11}	W_{10}	?	
2	...	W_{28}	W_{27}	W_{26}	W_{25}	W_{24}	W_{23}	W_{22}	W_{21}	W_{20}	?	
3	...	W_{38}	W_{37}	W_{36}	W_{35}	W_{34}	W_{33}	W_{32}	W_{31}	W_{30}	?	
4	...	W_{48}	W_{47}	W_{46}	W_{45}	Вектор потенцирования					W_{40}	?
5	...	W_{58}	W_{57}	W_{56}	W_{55}	W_{54}	W_{53}	W_{52}	W_{51}	W_{50}	?	
6	...	W_{68}	Обучающая совокупность					W_{62}	W_{61}	W_{60}	?	
7	...	W_{78}	W_{77}	W_{76}	W_{75}	W_{74}	W_{73}	W_{72}	W_{71}	W_{70}	?	
.....	
n-1	...	$W_{(n-1)8}$	$W_{(n-1)7}$	$W_{(n-1)6}$	$W_{(n-1)5}$	$W_{(n-1)4}$	$W_{(n-1)3}$	$W_{(n-1)2}$	$W_{(n-1)1}$	$W_{(n-1)0}$?	
n	...	W_{n8}	W_{n7}	W_{n6}	W_{n5}	W_{n4}	W_{n3}	W_{n2}	W_{n1}	W_{n0}	?	

Рисунок 2.11 – Структура данных ZP-модуля: $W_{k,v}$ – электропотребление k-го объекта техноценоза за (t – v)-й временной интервал (час, день, месяц, год)

С использованием обучающей совокупности оцениваются параметры гиперболической кривой, определяющей границу Z-потенциала энергосбережения. На основе значений, определенных границей Z-потенциала, и гиперболической кривой, аппроксимирующей проверочную совокупность, для каждого объекта вычис-

ляется его потенциал, множество которых для всего техноценоза формирует вектор потенцирования (рисунок 2.11). Полученный вектор потенцирования служит для определения управляющих воздействий на следующем временном интервале. Следует отметить, что если в ZP-модуле в качестве обучающей последовательности используются исходные данные по электропотреблению объектов, то результатом вычислений является Z1-потенциал, а если матрица ZP-норм (2.23) – Z2-потенциал.

Блок ZP-планирования в соответствии с выбранной стратегией энергосбережения определяет для каждого объекта индивидуальную норму снижения электропотребления, а также размер премий по результатам экономии электроэнергии. Расчёт индивидуальной нормы снижения осуществляется следующим образом: для каждого объекта определяется весовой коэффициент, равный доле его потенциала энергосбережения в Z-потенциале, произведение которого на величину системной нормы снижения электропотребления определяет его индивидуальную норму. Размер премии объекта из фонда энергосбережения в текущем временном интервале определяется тем больше, чем меньше его потенциал энергосбережения. Премия объекта в соответствии с принятыми в техноценозе правилами расходуется на выплаты персоналу и техническое переоснащение.

Блок оценки эффективности предназначен для анализа конвертируемости средств, затраченных на энергосберегающие мероприятия, в реальное снижение электропотребления на уровне отдельных объектов и техноценоза в целом, коррекции выбранной стратегии. При этом численно эффективность энергосберегающих мероприятий оценивается сопоставлением двух интегральных показателей, один из которых характеризует положительный эффект, а второй – затраты. Положительный эффект оценивается интегральным показателем вида [30,32,45,]:

$$\begin{cases} IP_W^* = \left(\int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^*(r)dr \right) / \int_0^{\infty} W(r)dr; \\ IP_W^t = \left(\int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^t(r)dr \right) / \int_0^{\infty} W(r)dr, \end{cases} \quad (2.36)$$

- где
- IP_W^* – целевой интегральный показатель, определяемый на основе Z1- или Z2-потенциала энергосбережения;
 - IP_W^t – текущий интегральный показатель качества, определяемый на t-ом временном интервале;
 - $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов на начальном этапе энергосберегающих мероприятий;
 - $W^*(r)$ – нижняя граница доверительного интервала, определяющая размер Z1- или Z2-потенциала энергосбережения;
 - $W^t(r)$ – аппроксимационная кривая, получаемая для значений электропотребления объектов на t-ом временном интервале.

Как видно, целевой интегральный показатель качества, позволяющий оценить успешность энергосберегающих мероприятий, представляет собой относительный Z-потенциал энергосбережения техноценоза. При этом на отдельных этапах реализации ZP-плана энергосбережения применяются Z1- и Z2-потенциалы.

Результирующий интегральный показатель, отражающий степень близости текущей аппроксимационной кривой рангового параметрического распределения по электропотреблению к нижней границе системного доверительного интервала (ограничивающей Z1- или Z2-потенциал), определяется как отношение интегрального показателя качества, рассчитанного для текущего момента времени, к показателю, соответствующему нижней границе:

$$IP_W = \frac{IP_W^t}{IP_W^*} = \frac{\int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^t(r)dr}{\int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^*(r)dr}. \quad (2.37)$$

Затраты на энергосбережение также оцениваются интегральным показателем, который отражает степень отличия совокупных затрат на энергосбережение, рассчитанных на текущем временном интервале, от стоимости электроэнергии, соответствующей Z-потенциалу (Z1 или Z2). Данный показатель определяется следующим образом [27,30,32,]:

$$IP_C = 1 + \frac{\int_0^{\infty} C^t(r) dr}{\int_0^{\infty} (W(r) \cdot sc(r)) dr - \int_0^{\infty} (W^*(r) \cdot sc^*(r)) dr}, \quad (2.38)$$

- где $C^t(r)$ – ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза по совокупным затратам на энергосбережение в t -ом временном интервале;
- $sc(r)$ – ранговое параметрическое распределение тарифа на электроэнергию, предъявляемого объектам на начальном этапе энергосберегающих мероприятий, на котором строилось ранговое параметрическое распределение $W(r)$;
- $sc^*(r)$ – ранговое параметрическое распределение тарифа на электроэнергию, предъявляемого объектам на временном интервале, в котором достигается Z -потенциал.

Ранговые параметрические распределения по затратам (как правило, измеряемым в денежном выражении), а также по тарифам на электроэнергию строятся для объектов техноценоза аналогично соответствующим ранговым распределениям по электропотреблению. Очевидно, если к объектам техноценоза будут применяться одинаковые тарифы на электроэнергию, то в выражении (2.38) вместо распределений $sc(r)$ и $sc^*(r)$ окажутся константы.

Критерием эффективности проводимых энергосберегающих мероприятий является максимизация интегрального показателя эффективности [27,30,32]:

$$IP = \frac{IP_W}{IP_C} \rightarrow \max. \quad (2.39)$$

Формально показатель IP_W исчисляется в диапазоне $[0;1]$, левая граница которого соответствует полному отсутствию энергосберегающих мероприятий (кривая $W^t(r)$ полностью совпадает с исходной кривой $W(r)$), а правая – полному исчерпанию Z -потенциала (кривая $W^t(r)$ полностью совпадает с конечной

кривой $W^*(r)$). В свою очередь, интегральный показатель IP_C формально исчисляется в диапазоне $[0; \infty)$. Левая граница показателя соответствует состоянию с нулевыми затратами на энергосберегающие мероприятия, правая – бесконечным затратам. Очевидно, что при этом интегральный показатель эффективности IP находится в пределах $[0; 1]$, приобретая свое критериальное значение (в принципе недостижимое) при строгом выполнении $IP = 1$. В случае действия одинакового тарифа для всех объектов и на протяжении всего цикла управления показатель (2.39) можно преобразовать к виду:

$$IP = \frac{sc \cdot \left(\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^t(r) dr \right)}{sc \cdot \left(\int_0^{\infty} W(r) \cdot dr - \int_0^{\infty} W^*(r) dr \right) + \int_0^{\infty} C^t(r) dr}, \quad (2.40)$$

где $C^t(r)$ – ранговое параметрическое распределение объектов техноценоза по совокупным затратам на энергосбережение в t -ом временном интервале;

sc – тариф на электроэнергию;

$W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов на начальном этапе энергосберегающих мероприятий;

$W^*(r)$ – нижняя граница доверительного интервала, определяющая размер $Z1$ - или $Z2$ -потенциала энергосбережения;

$W^t(r)$ – аппроксимационная кривая, получаемая для значений электропотребления объектов на t -ом временном интервале.

Планирование энергосберегающих мероприятий в техноценозе определяется зоной внутри границ системного доверительного интервала (рисунок 2.12). Приведение системы к нижней границе ($Z1$ - или $Z2$ -потенциал) осуществляется путем управляющих воздействий, представляющих собой совокупность организационных и технических мер. Организационные меры включают премирование персонала за экономию электроэнергии, выработку и контроль выполнения норм

по электропотреблению, переход на более выгодные тарифы. Технические меры связаны с переоснащением и внедрением энергоэффективных технических изделий и технологий, сокращением энергетического персонала за счет автоматизации и совершенствования производственного процесса.

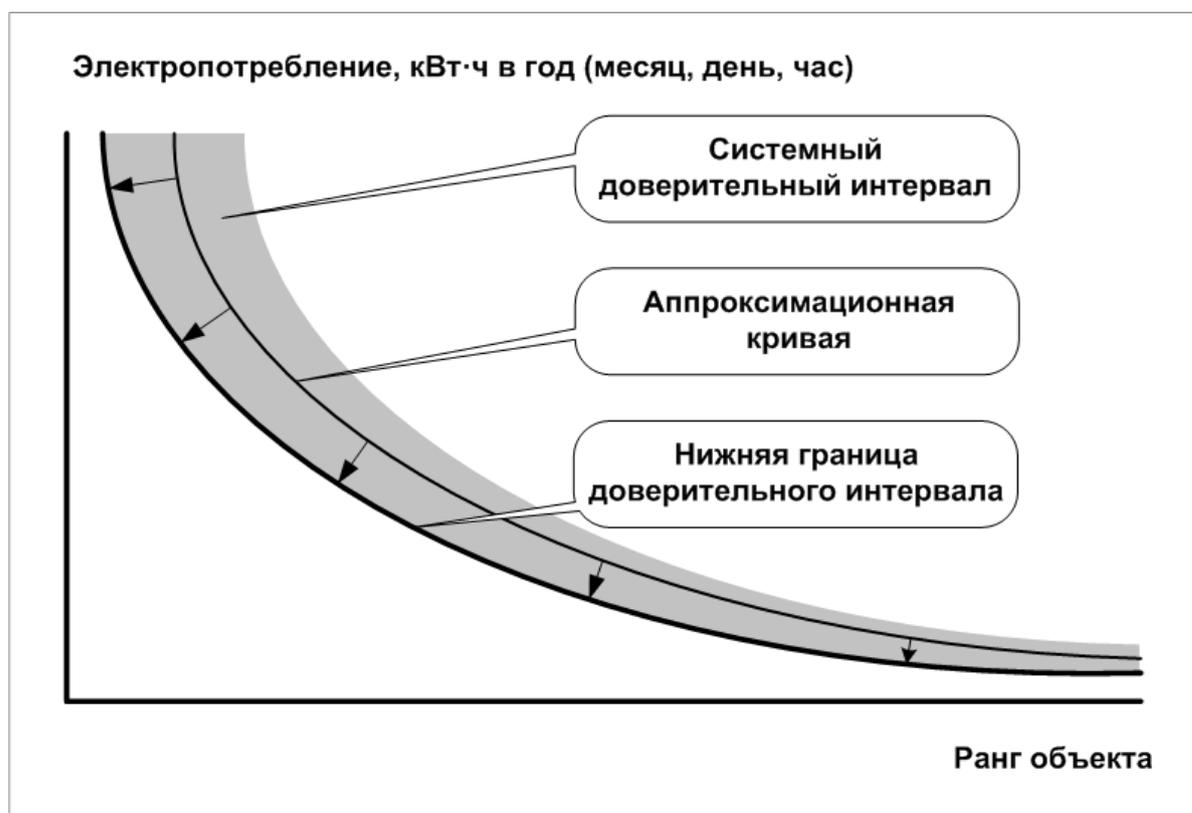


Рисунок 2.12 – Направление энергосберегающих мероприятий

Таким образом, с любым управляющим воздействием неразрывно связаны затраты как на стадии его планирования (энергетическое обследование объекта с целью разработки норм электропотребления), так и на стадии его реализации (контроль выполнения разработанных норм). Оптимальной в этом случае можно считать такую совокупность управляющих воздействий, направленных на энергосбережение, которые приведут суммарное электропотребление техноценоза к нижней границе системного доверительного интервала. При этом значение интегрального показателя качества IP_w станет равным единице, а интегрального показателя эффективности IP — максимальным.

Пошаговое применение показателей конверсии (2.34, 2.35) и интегрального показателя эффективности позволяет получить количественные оценки результатов

энергосбережения на системном уровне, что при их правильном применении и интерпретации даст возможность оптимально корректировать совокупность управляющих воздействий, составляющих стратегию энергосбережения.

Выводы

1. Стандартной процедурой рангового анализа, решающей задачу управления Z-потенциалом энергосбережения техноценоза на системном уровне, является потенцирование. Результатом его работы является определение величины, на которую на данном временном интервале может быть сокращено электропотребление техноценоза без ущерба его нормальному функционированию.

2. Ключевым понятием процедуры потенцирования является системный Z-потенциал энергосбережения, под которым понимается абсолютная разница между электропотреблением техноценоза без реализации энергосберегающих процедур, с одной стороны, и электропотреблением, соответствующим нижней границе системного доверительного интервала, с другой.

3. Использование в расчетах Z-потенциала позволяет учесть техноценологические свойства системы, обуславливающие применение негауссовых вероятностных распределений. Однако процедура потенцирования не учитывает функциональную особенность объектов, влияющую на характер их электропотребления. Данное противоречие разрешено путем её дополнения процедурой ZP-нормирования.

4. ZP-нормирование – процедура пересчета электропотребления объектов внутри функциональных групп техноценоза на основе реально существующих графиков нагрузок и лучшего внутригруппового удельного электропотребления. Так как функция объекта является индивидуальной характеристикой, то включение её в расчёт учитывает индивидуальные свойства.

5. Рассмотрение Z-потенциала в динамике позволяет разработать план его реализации, составляющий основу процедуры ZP-планирования, в которой используется двухуровневая система оценки потенциала энергосбережения. На первом уровне Z1-потенциал рассчитывается на основе предыстории фактического

электропотребления объектов, а на втором – Z2-потенциал определяется на основе результатов ZP-нормирования. Реализация Z1-потенциала осуществляется за счет организационно-технических мероприятий, не требующих существенных капитальных вложений. Реализация Z2-потенциала проводится путем распространения в техноценозе доступных для него лучших энергоэффективных технических решений. Основу ZP-планирования составляет пошаговый план снижения электропотребления и премирования объектов за успехи в экономии электроэнергии. Индивидуальная премия объекта формирует средства, выплачиваемые обслуживающему персоналу, а также идущие на техническое переоснащение.

6. Мониторинг результативности процесса энергосбережения осуществляется с помощью показателя конверсии, который позволяет оценивать, насколько адекватно премиальные средства, определенные по итогам ZP-планирования, конвертировались в фактическое снижение электропотребления. Для оптимального выбора совокупности управляющих воздействий, направленных на энергосбережение, применяется показатель, основанный на техноценологическом критерии эффективности.

7. ZP-нормирование, ZP-планирование, оценка эффективности результатов энергосбережения составляют содержание ZP-анализа и дополняют стандартную процедуру потенцирования. Это учитывает структурные свойства потенциала энергосбережения, проявляющиеся наличием уровней Z1- и Z2-потенциалов, границы которых устойчивы во времени и определены действующими в системе вероятностными закономерностями.

3.Методика ZP-анализа

3.1. Вероятностное моделирование в ZP-анализе

Построение среднесрочных стратегий энергосбережения должно опираться на учет вероятностных закономерностей, действующих в техноценозе, среди которых можно выделить три основных типа. Первый (рисунок 3.1) описывает распределение электропотребления отдельных рангов в предположении, что оно подчиняется нормальному закону; второй (рисунок 3.2) характеризуется негауссовым характером распределения электропотребления объектов, обусловленным техноценологическими свойствами; третий (рисунок 3.3) связан с согласованным перемещением объектов техноценоза по ранговой поверхности, вызванным сильной ранговой корреляцией [10,82]. Включение данных закономерностей в виде моделирующего алгоритма в ZP-анализ еще до реализации энергосберегающих мероприятий позволит получить количественные оценки результатов энергосбережения. Рассмотрим особенности каждого из трех типов закономерностей.

Ранг	Электропотребление по временным интервалам, кВт·ч								
	...	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t	t*	
1	...	Вектор моделирования					W ₁₃	W ₁₂	
2	...	W ₂₈	W ₂₇	W ₂₆	W ₂₅	W ₂₄	W ₂₃	W ₂₂	
3	...	W ₃₈	W ₃₇	W ₃₆	W ₃₅	W ₃₄	W ₃₃	W ₃₂	
4	...	W ₄₈	W ₄₇	W ₄₆	W ₄₅	W ₄₄	W ₄₃	W ₄₂	
.....	...	$f(w) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(w-\bar{w})^2}{2\sigma^2}}$					
n-1	...						W _{(n-1)4}	W _{(n-1)3}	W _{(n-1)2}
n	...	W _{n8}	W _{n7}	W _{n6}	W _{n5}	W _{n4}	W _{n3}	W _{n2}	

Рисунок 3.1 – Вероятностное моделирование на уровне отдельных объектов

Ранг	Электропотребление по временным интервалам, кВт·ч							
	...	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t	t*
1	...	Вектор моделирования					W_{13}	W_{12}
2	...	W_{28}	W_{27}	W_{26}	W_{25}	W_{24}	W_{23}	W_{22}
3	...	W_{38}	W_{37}	W_{36}	W_{35}	W_{34}	W_{33}	W_{32}
4	...	W_{48}	W_{47}	W_{46}	W_{45}	W_{44}	W_{43}	W_{42}
.....
n-1	...	$W_{(n-1)8}$	$W_{(n-1)7}$	$W_{(n-1)6}$	$W_{(n-1)5}$	$W_{(n-1)4}$	$W_{(n-1)3}$	$W_{(n-1)2}$
n	...	W_{n8}	W_{n7}	W_{n6}	W_{n5}	W_{n4}	W_{n3}	W_{n2}

$n(w) = \frac{C}{w^{(1+\alpha)}}$

Рисунок 3.2 – Вероятностное моделирование негауссового распределения

Ранг	Электропотребление по временным интервалам, кВт·ч							
	...	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t	t*
1	...	Вектор моделирования					W_{13}	W_{12}
2	...	W_{28}	W_{27}	W_{26}	W_{25}	W_{24}	W_{23}	W_{22}
3	...	W_{38}	W_{37}	W_{36}	W_{35}	W_{34}	W_{33}	W_{32}
4	...	W_{48}	W_{47}	W_{46}	W_{45}	W_{44}	W_{43}	W_{42}
.....
n-1	...	$\tau_{(t-3),(t-2)} = 0,981$		$W_{(n-1)5}$	$W_{(n-1)4}$	$W_{(n-1)3}$	$W_{(n-1)2}$	
n	...	W_{n8}	W_{n7}	W_{n6}	W_{n5}	W_{n4}	W_{n3}	W_{n2}

Рисунок 3.3 – Вероятностное моделирование ранговой корреляции:
 $\tau_{(t-3),(t-2)}$ – коэффициент ранговой корреляции между ранжировками объектов в моменты времени (t-3) и (t-2)

Моделирование электропотребления рангов техноценоза осуществляется с использованием преобразующих функций вида [11,27,30]:

$$x = \varphi(\eta), \quad (3.1)$$

получаемых путем нелинейного преобразования функций распределения, то есть решения относительно случайной величины x следующего уравнения:

$$\eta = \int_{-\infty}^x f(y)dy, \quad (3.2)$$

где η – случайное число, равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, генерируемое датчиком случайных чисел;
 $f(y)$ – функция плотности распределения вероятностей случайной величины X ;
 y – абстрактная переменная интегрирования.

Для моделирования электропотребления рангов используется нормальный закон распределения с функцией плотности вида [12]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (3.3)$$

где $m_x = M^1 = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x)dx$ – первый начальный момент нормального распределения (математическое ожидание);

$\sigma_x = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 \cdot f(x)dx}$ – среднее квадратичное отклонение распределения.

В ходе модельной реализации, с использованием преобразующей функции вида (3.1) для нормального закона распределения, электропотребление отдельного ранга вычисляется следующим образом [30]:

$$w_r = m_r + \sigma_r \cdot \varphi(\eta, m_1, \sigma_1), \quad (3.4)$$

где m_r, σ_r – математическое ожидание (среднее) и среднее квадратичное отклонение (стандарт) электропотребления ранга;

$\varphi(\eta, m_1, \sigma_1)$ – преобразующая функция нормального распределения с параметрами m_1 и σ_1 ;

η – случайное число, равномерно распределенное в интервале от 0 до 1, генерируемое датчиком случайных чисел.

В простом варианте функция $\varphi(\eta, m_1, \sigma_1)$ моделирует случайную величину на основе стандартного нормального закона распределения с $m_1 = 0$ и $\sigma_1 = 1$. Так как конечной точкой в реализации управляющих энергосберегающих воздействий является отдельный объект техноценоза, то их результат должен вызвать изменение математического ожидания m_r и среднего квадратичного отклонения σ_r соответствующего ему ранга. Аналитически это выражается следующим образом:

$$\begin{cases} m_r^{(t)} = m_r^{(t-1)} \cdot \left[1 - \frac{\Delta \bar{W}^{PL}}{W(r)} \right]^{(t-1)} ; \\ \sigma_r^{(t)} = \sigma_r^{(t-1)} \cdot \left[1 - \frac{\Delta \bar{W}^{PL}}{W(r)} \right]^{(t-1)} , \end{cases} \quad (3.5)$$

где $m_r^{(t)}, \sigma_r^{(t)}$ – математическое ожидание (среднее) и среднее квадратичное отклонение (СКО) электропотребления, получаемые на t -м шаге моделирования;

$m_r^{(t-1)}, \sigma_r^{(t-1)}$ – МО и СКО, получаемые на $(t-1)$ -ом шаге моделирования;

$\left[1 - \frac{\Delta \bar{W}^{PL}}{W(r)} \right]^{(t-1)}$ – коэффициент снижения, получаемый на $(t-1)$ -ом шаге моделирования;

$\Delta \bar{W}^{PL}$ – индивидуальная норма снижения;

$W(r)$ – модельное электропотребление объекта, соответствующее его рангу на теоретической кривой.

Выражение (3.5) моделирует ситуацию, когда при выполнении заданной нормы снижения математическое ожидание электропотребления ранга будет постепенно смещаться влево, а дисперсия, вследствие управляющих воздействий, уменьшаться. Обобщая выражения (3.4) и (3.5) для всего техноценоза, вводим матричную форму записи функционала, моделирующего электропотребление на системном уровне:

$$\begin{cases} \mathbf{W}^{(t)} = \mathbf{M}^{(t)} + \mathbf{S}^{(t)T} \cdot \Psi; \\ \mathbf{M}^{(t)} = \mathbf{M}^{(t-1)} \cdot \mathbf{U}^{(t-1)}; \\ \mathbf{S}^{(t)} = \mathbf{S}^{(t-1)} \cdot \mathbf{U}^{(t-1)}; \end{cases} \quad \mathbf{U}_{k,k}^{(t-1)} = \left[1 - \frac{\Delta \overline{W}_k^{PL}}{W(r_k)} \right]^{(t-1)}, k = 1, \dots, n, \quad (3.6)$$

- где $\mathbf{W}^{(t)}$ – вектор электропотребления рангов на t-ом шаге моделирования;
- $\mathbf{M}^{(t)}, \mathbf{S}^{(t)}$ – вектор МО и СКО электропотребления рангов на t-ом шаге моделирования;
- Ψ – диагональная матрица, на главной диагонали которой располагаются случайные числа, распределенные по стандартному нормальному закону;
- $\mathbf{U}^{(t-1)}$ – диагональная матрица, на главной диагонали которой располагаются коэффициенты снижения, получаемые на (t-1)-ом шаге моделирования;
- $\Delta \overline{W}_k^{PL}$ – индивидуальная норма снижения k-го объекта;
- $W(r_k)$ – электропотребление объекта, имеющего k-й ранг на аппроксимационной кривой;
- n – количество объектов техноценоза.

Таким образом, в результате применения функционала (3.6) формируется случайная совокупность значений электропотребления рангов техноценоза. Для придания полученной совокупности техноценологических свойств осуществляется вероятностное моделирование на основе распределения Ципфа, функция распределения которого имеет следующий вид [59,85,91]:

$$F(w) = \frac{C}{n \cdot \alpha} \left(\frac{1}{w_0^\alpha} - \frac{1}{w^\alpha} \right), \quad (3.7)$$

где w_0 – минимальное электропотребление;
 n – количество объектов техноценоза;
 α – показатель распределения Ципфа;
 C – коэффициент.

Оценка параметров распределения Ципфа осуществляется по следующим выражениям [85]:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \ln \left(\frac{w_k}{w_0} \right)}; C = \frac{\alpha \cdot (n-1)}{\frac{1}{w_0^\alpha} - \frac{1}{w_{\max}^\alpha}}, \quad (3.8)$$

где w_0 – минимальное электропотребление;
 w_{\max} – максимальное на выборке значение;
 α – показатель распределения;
 n – количество объектов техноценоза;
 C – коэффициент.

С использованием (3.1), (3.2) и (3.7) выводится выражение для вероятностного моделирования выборки, распределенной по закону Ципфа:

$$w(\eta) = \frac{1}{\left(\frac{1}{w_0^\alpha} - \frac{\eta \cdot n \cdot \alpha}{C} \right)^{\frac{1}{\alpha}}}, \quad (3.9)$$

где w_0 – минимальное на выборке значение;
 n – количество объектов техноценоза;
 η – случайная величина, распределенная по равномерному закону в интервале от 0 до 1.

Для получения модельного рангового параметрического распределения выборки, формируемую на основе (3.9), необходимо отсортировать в убывающем порядке.

Задача учета согласованного перемещения объектов, вызванного сильной ранговой корреляцией, решается включением алгоритма, моделирующего сложившуюся в техноценозе закономерность перестановок объектов в результате их ранжирования по значению электропотребления. Рассмотрим это на примере фактических данных по электропотреблению исследуемого предприятия. В ходе подготовительного шага в результате построения матрицы табулированных ранговых параметрических распределений строится матрица перестановок (рисунок 3.4). Столбец этой матрицы представляет перестановку объектов техноценоза в фиксированный момент времени [45].

	0	1	2	3	4	5	6	7
19	95	2	66	66	66	66	66	95
20	Номер временного интервала				62	95	95	66
21					97	62	95	95
22	121	5	Код объекта		95	97	7	97
23	65	65			2	4	2	65
24	68	97	68	65	65	62	62	24
25	Ранг		97	68	68	7	65	62
26	4	7	7	7	7	68	24	...
				Вектор перестановок				

Рисунок 3.4 – Матрица перестановок

Затем для каждой перестановки определяется её номер относительно нулевой перестановки, совокупность которых с номерами временных интервалов объединяется в матрицу номеров перестановок. Столбцы полученной матрицы сортируются в порядке возрастания номера перестановки (рисунок 3.5), при этом индекс столбца является индивидуальным кодом перестановки.

По значению случайной величины η , равномерно распределенной в интервале $[0; 1]$, определяется ближайшее значение эмпирической функции распределения кодов перестановок и связанный с ним код. По полученному коду определяется номер временного интервала соответствующей перестановки. Применение её путем

обратной сортировки к ранговому распределению, полученному на основе (3.9), устанавливает модельное электропотребление для каждого объекта.

		Код перестановки							
		0	1	2	3	4	5	6	7
0	Номер временного интервала	7	0	3	2	5	4	1	6

Рисунок 3.5 – Матрица номеров перестановок

Случайный выбор перестановки осуществляется по эмпирической функции распределения кодов перестановок (рисунок 3.6).

		Код перестановки							
		0	1	2	3	4	5	6	7
0	Значение функции распределения	0	1	2	3	4	5	6	7
1		0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1

Рисунок 3.6 – Табулированная форма функции распределения кодов перестановок

Для анализа сходимости итерационного процесса применяется функционал на основе средней суммы квадратов отклонений вида [45]:

$$e_W(p) = \frac{1}{n} \left(\mathbf{W}^{(p)} - \mathbf{W}^{(p-1)} \right)^T \cdot \left(\mathbf{W}^{(p)} - \mathbf{W}^{(p-1)} \right), \quad (3.10)$$

где $e_W(p)$ – средняя сумма квадратов отклонений, полученная на p -ой итерации;

$\mathbf{W}^{(p)}$ – вектор электропотребления объектов на p -ой итерации, полученный путем усреднения по p -выборкам;

- $\mathbf{W}^{(p-1)}$ – вектор электропотребления объектов на $(p-1)$ -ой итерации, полученный путем усреднения по $(p-1)$ выборкам;
- n – количество объектов техноценоза.

Практическое применение функционала (3.10) показало(рисунок 3.7), что на 1000-й итерации значение средней суммы квадратов отклонений составляет $e_W = 8,66 \cdot 10^4$, при наблюдаемом между возможными парами векторов данных $e_W = 2,1 \cdot 10^{11}$. Это подтверждает хорошую сходимость итерационного процесса.

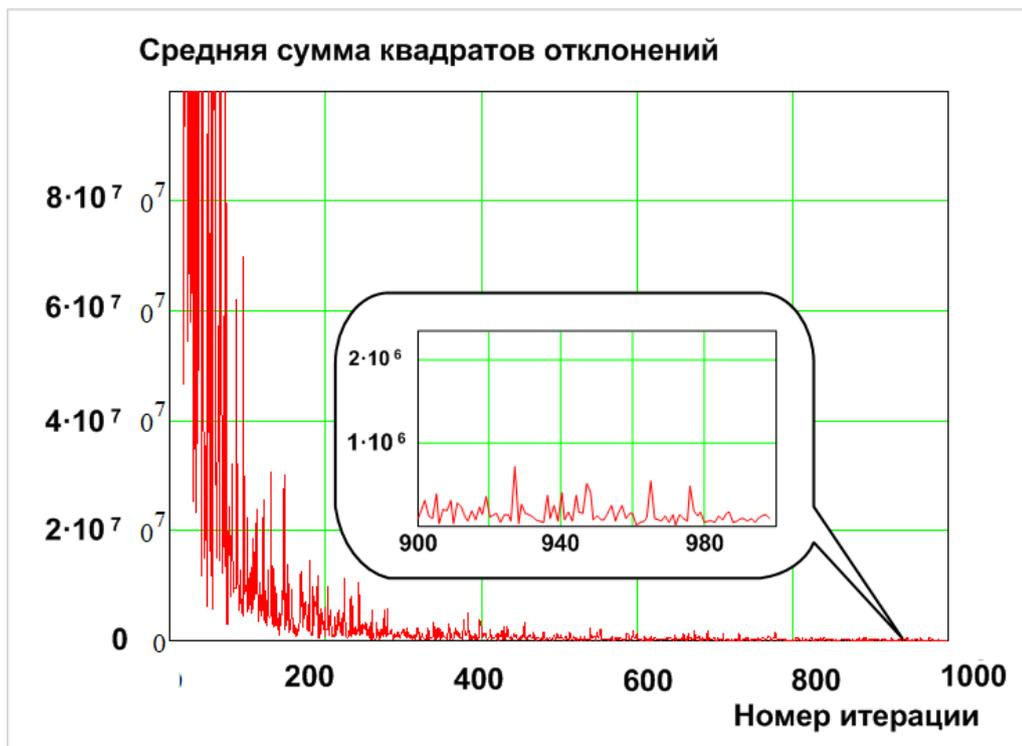


Рисунок 3.7 – График имитационного процесса

Таким образом, полученные количественные оценки позволяют заключить, что разработанный алгоритм моделирования вероятностных закономерностей, действующих в техноценозе, дает хорошие результаты по точности и сходимости, и его целесообразно включить в виде отдельного расчетно-графического модуля в процедуру ZP-анализа.

3.2. Алгоритмическая система методики ZP-анализа

Методика ZP-анализа является частью методологии оптимального управления электропотреблением техноценоза и дополняет стандартную процедуру потенцирования [27,32]. Содержательно она представляет ZP-модуль, включающий процедуры реализации потенциала энергосбережения (ZP-нормирование, определение границы Z-потенциала, имитационное моделирование, ZP-планирование) и оценки результатов (экономическая оценка и оценка эффективности).

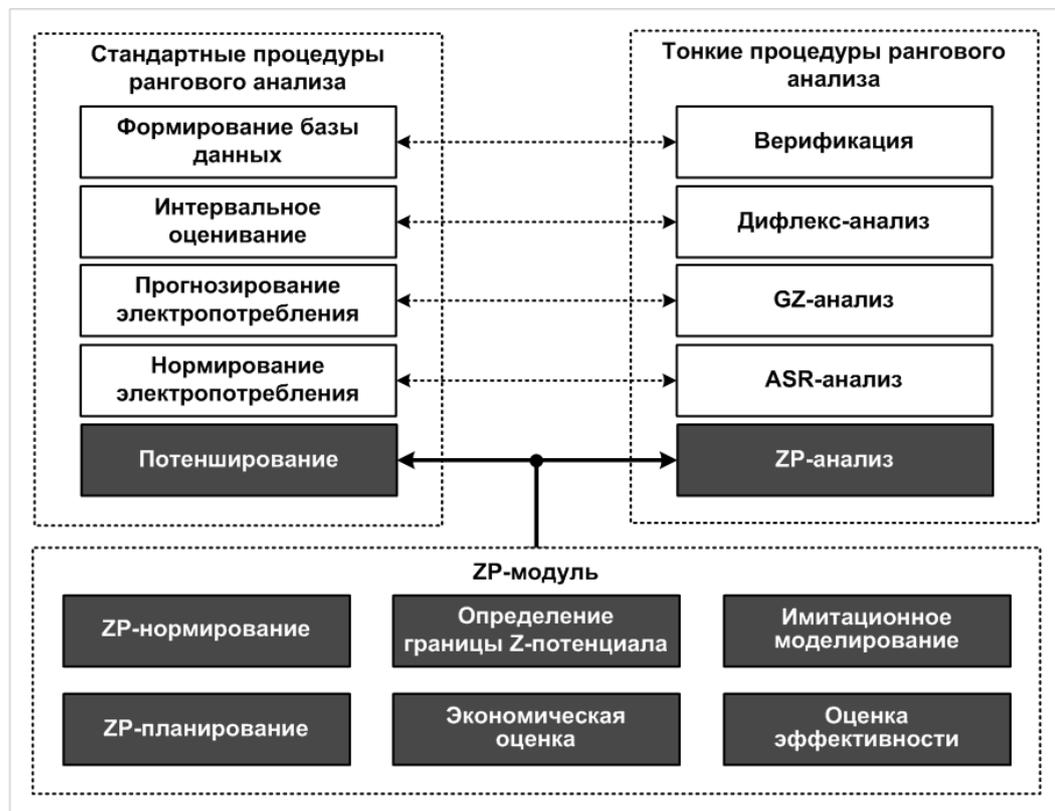


Рисунок 3.8 – РГМ методики ZP-анализа

Программно процедуры ZP-модуля оформляются в виде расчетно-графических модулей (РГМ) [39]. При их реализации в едином алгоритме методики ZP-анализа одни РГМ в виде функций входят в состав других. Это позволит осуществить их интеграцию с другими тонкими процедурами рангового анализа [30]. Ниже приводится описание алгоритма работы каждого расчетно-графического модуля [78] и результаты их реализации с использованием фактических данных по электропотреблению объектов предприятия.

3.2.1. Алгоритм работы РГМ проверки на соответствие критериям Н-распределения

Несмотря на то, что проверка на соответствие критериям Н-распределения формально [45] не входит в ZP-модуль, её алгоритм требует рассмотрения, так как результаты его работы определяют целесообразность применения ZP-анализа.

Алгоритм РГМ строится на статистическом анализе ранговых корреляций и негауссовых свойств выборок данных по электропотреблению (Приложение В). Для вычисления рангового коэффициента корреляции (2.6) и конкордации (2.7) необходимо построить матрицу рангов (рисунок 3.9), получаемую в результате упорядочивания по убыванию данных по электропотреблению на каждом временном интервале.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	43	44	44	45	46	47	49	52
1	19	2	Номер временного интервала			22	24	27
2	38	39	40	40	39	37	38	40
3	27	28	29	29	29	24	28	29
4	30	23	Ранг объекта			19	19	19
5	39	40	35	35	35	35	35	36
6	Код объекта			27	27	26	23	22
7	55	58	59	66	65	58	65	...

Рисунок 3.9 – Матрица рангов

С использованием матрицы рангов для каждой возможной пары ранжировок (рисунок 3.10) вычисляется коэффициент ранговой корреляции, оценка среднего которого является характеристикой устойчивости системы [10,20].

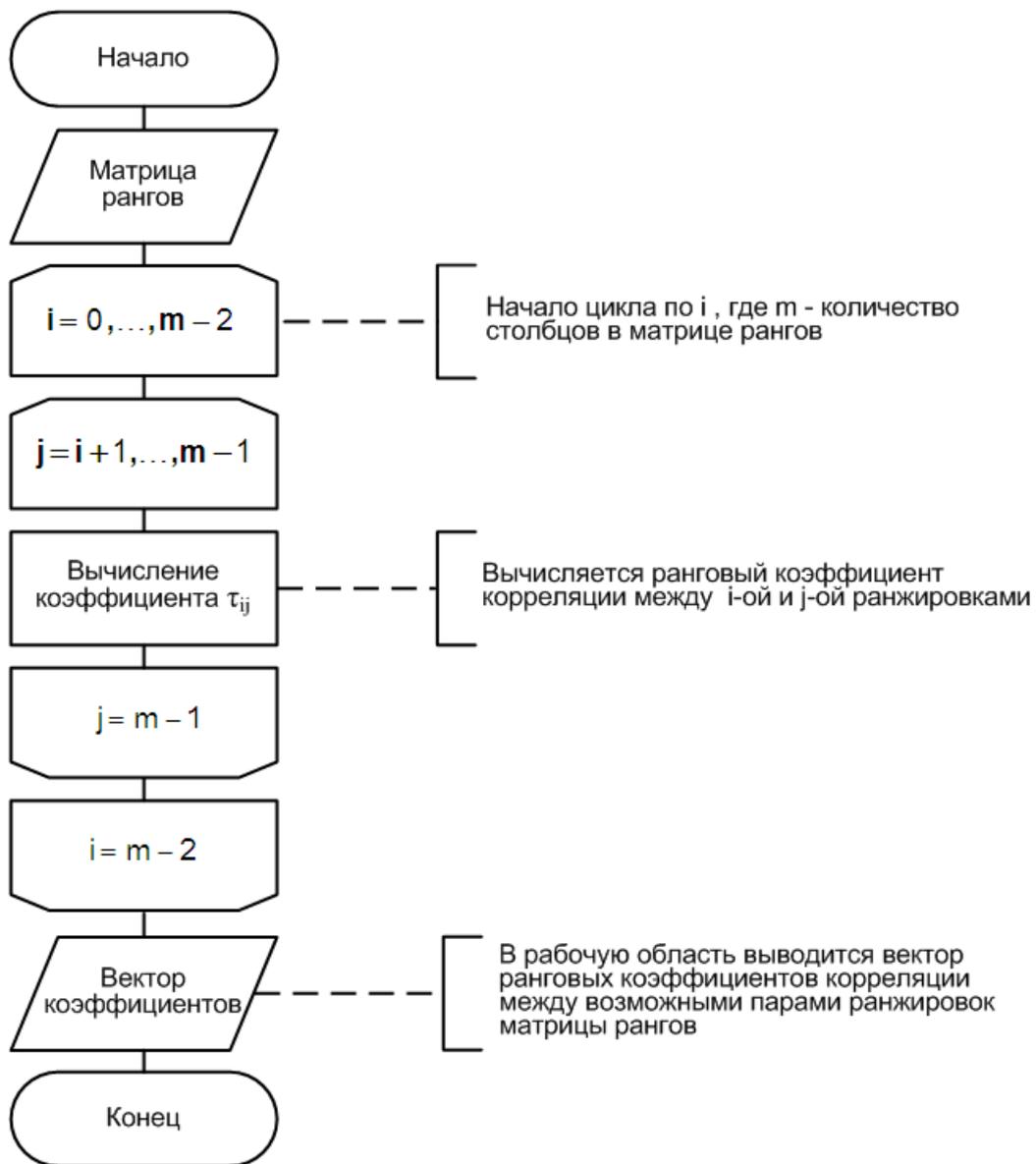


Рисунок 3.10 – Алгоритм вычисления коэффициента ранговой корреляции между возможными парами ранжировок матрицы рангов

Оценка негауссовости выборки данных строится на анализе зависимости первых двух моментов распределения от объема выборки. В качестве выборки рассматривается вектор данных по электропотреблению объектов на определенном временном интервале. По нормированному к минимальному значению вектору данных осуществляется итерационное вычисление выражений (2.3) и (2.5). Последующий графический анализ (рисунок 3.11) позволяет сделать вывод относительно присутствия негауссовости [71,85]. Ввиду того, что между векторами данных

наблюдается сильная ранговая корреляция, негауссовские свойства, выявленные на одном из векторов, будут характерны и для других.

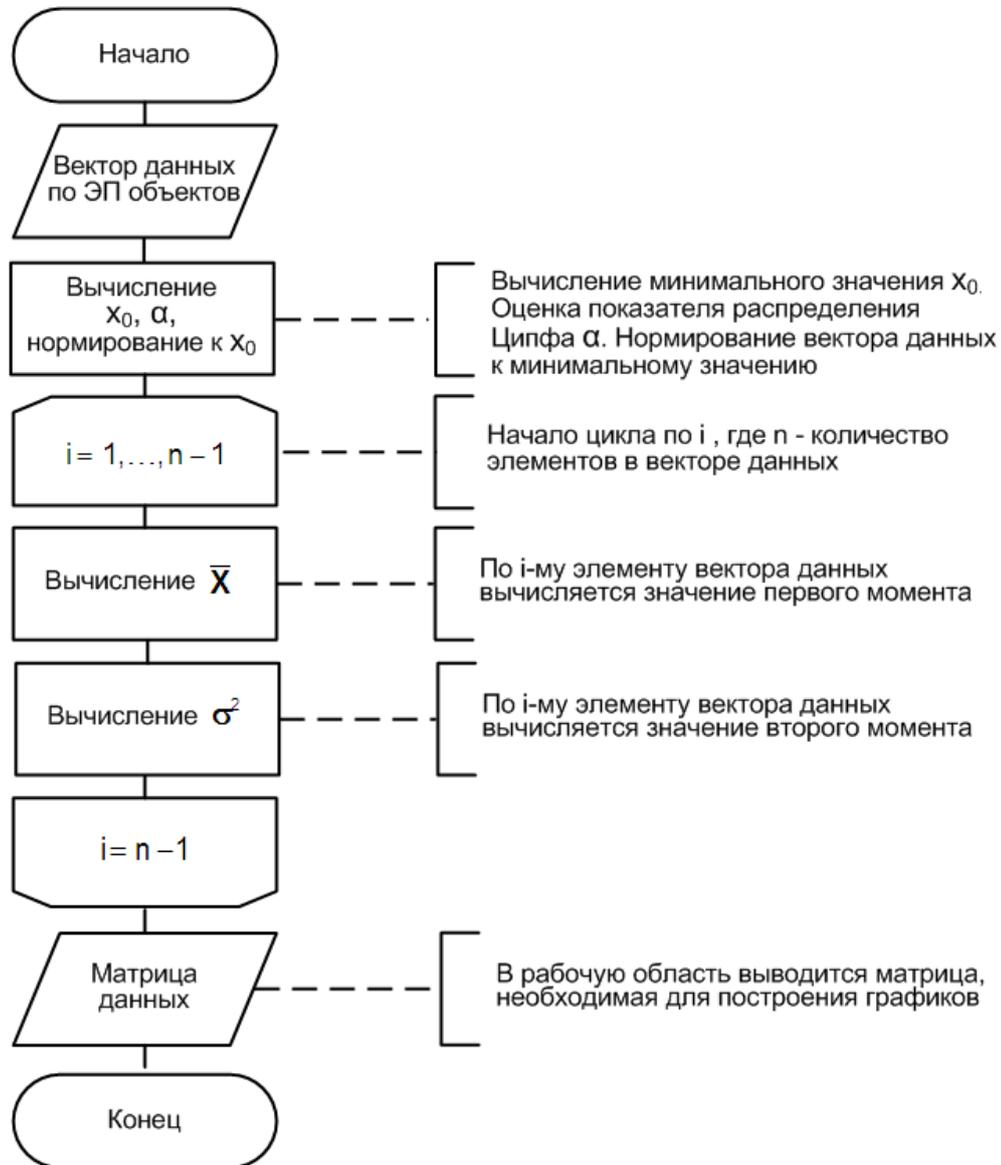


Рисунок 3.11 – Алгоритм вычисления коэффициента ранговой корреляции между возможными парами ранжировок матрицы рангов

Таким образом, по результатам реализации РГМ проверки на соответствие критериям H -распределения делается вывод о принадлежности исследуемой системы к техноценозам и целесообразности применения рангового анализа как основного метода исследования.

3.2.2. Алгоритм работы модуля ZP-нормирования

На этапе описания техноценоза создается база данных по электропотреблению, представляющая именованную совокупность данных, описывающих состояние объектов и их отношений в рассматриваемой предметной области [67]. Современное развитие языковых средств реляционных СУБД, позволяет реализовать процедуру ZP-нормирования (Приложение Л), в основе которой лежит разделение объектов техноценоза на совокупность непересекающихся подмножеств (групп) и последующий пересчет их электропотребления на основе лучшего внутригруппового удельного значения. Корректность группировки определяется правильным значением атрибута, устанавливающим принадлежность объекта к функциональной группе. В языке структурированных запросов SQL, являющимся основным в реляционных СУБД, операция группировки записей по одному или нескольким атрибутам называется консолидацией [67]. Следует отметить, что, как правило, применение операторов консолидации в запросах сопровождается использованием групповых функций, к которым относится функция определения минимального значения в группе. Таким образом, процедуру ZP-нормирования можно реализовать путем выполнения последовательных запросов (рисунок 3.12) к базе данных по электропотреблению объектов.

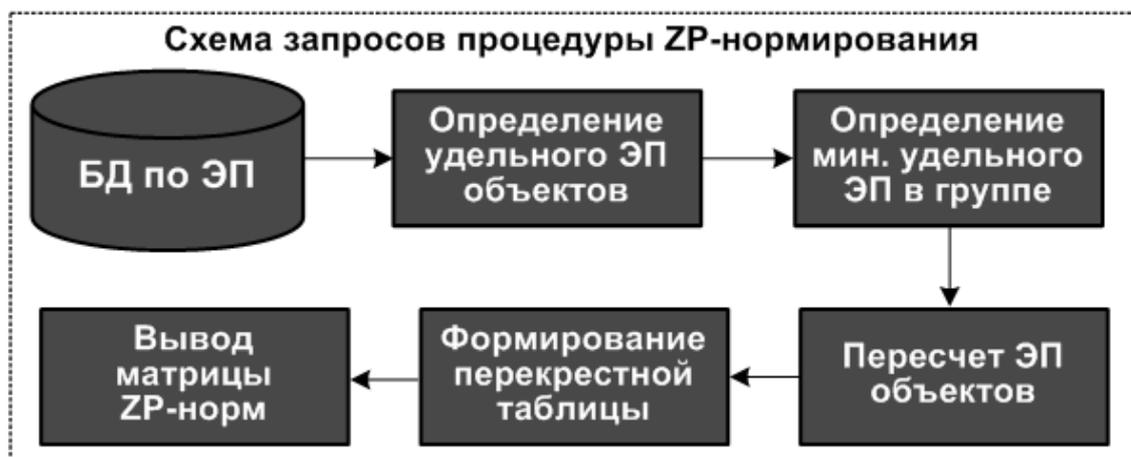


Рисунок 3.12 – Схема запросов, реализующих ZP-нормирование

На первоначальном шаге (рисунок 3.12) выполняется запрос, в котором на каждом временном интервале для всех объектов по выражению (2.20) определяется удельное электропотребление. При этом в результирующий набор данных (рисунок 3.13) включается идентификатор функциональной группы.

1	13	Идентификатор группы	266667
2	7		79,6374
3	3	31.12.2009	95771,25
4	2	31.12.2009	5
5		Идентификатор объекта	2009 783100
6			2009 26795,6875
7	2	31.12.2009	187022,1
8	5	Удельное ЭП	9,8307692
9	2	31.12.2009	26670,1

Рисунок 3.13 – Фрагмент набора данных, формируемых в результате выполнения запроса по определению удельного ЭП

Затем по идентификатору функциональной группы осуществляется объединение записей с последующим определением минимального удельного электропотребления в группе (рисунок 3.14). С использованием идентификаторов функциональных групп происходит соединение полученного набора данных (рисунок 3.14) со значениями лидинговых параметров объектов и пересчет их электропотребления по выражению (2.21). Последующее выполнение запроса для преобразования данных в виде перекрестной таблицы приводит к формированию матрицы ZP-норм (рисунок 3.15).

1	31.12.2009	594,48125
2	31.12.2009	26670,1
3	31.12.2009	26795,6875
4	31.12.2009	66666667
5	31.12.2009	519047619
6	Идентификатор группы	841,4
7		783100
8	31.12.2009	324596,066666667
9	31.12.2009	4598,08571428571

Рисунок 3.14 – Фрагмент набора данных в результате выполнения запроса по определению минимального удельного ЭП в группе

n	2008	2009	2010	2011
1	142549,725	149772,375	147020,4	146196,3
2	1089098,4711	1	1073449,38	1052082,0253
3	196550,775	192928,95	182097,9	178327,8
4	Идентификатор объекта	860,8	ZP-норма	258735,2
5		5780	2844566	2787944
6	873559	857462	809324	792568
7	261162	266701	307133	323419

Рисунок 3.15 – Фрагмент матрицы ZP-норм

3.2.3. Алгоритм работы РГМ, определяющего границу Z-потенциала

Рассмотренные процедуры ZP-анализа оперируют величиной Z-потенциала, однако, в виду того, что значение последней зависит от состояния техноценоза в различные моменты времени, то целесообразно использовать вектор данных, соответствующий нижней границе 95 %-го системного доверительного интервала. Вычисление же самого Z-потенциала (Приложение Г) логично производить по выражению (2.8) по мере необходимости.

Исходными для РГМ являются данные по электропотреблению объектов, представленные в виде матрицы, столбцы которой соответствуют временным интервалам, а строки – объектам. Последовательная сортировка в порядке убывания каждого столбца этой матрицы формирует матрицу ранговых распределений. Отдельный столбец матрицы ранговых распределений есть эмпирическое ранговое распределение техноценоза в фиксированный момент времени, а строка – вектор электропотребления ранга. Нахождение для каждого ранга значения на нижней границе его 95 %-го доверительного интервала (рисунок 3.16) определяет эмпирическую границу Z-потенциала (рисунок 3.17), аппроксимация, которой позволяет получить соответствующие теоретические значения.

В случае, когда в ZP-модуль подается матрица ZP-норм, на выходе определяется граница Z2-потенциала, когда же матрица данных по электропотреблению объектов – граница Z1-потенциала (рисунок 3.18). Для исследуемого предприятия после определения теоретических границ Z-потенциала установлено, что в процентном соотношении величина Z1-потенциала энергосбережения составляет 7 %, а Z2-потенциала – 62 %.

Отдельного рассмотрения требует алгоритм процедуры построения теоретического рангового распределения (рисунок 3.19) по эмпирическим данным с использованием имитационного принципа моделирования [11,78]. Первоначально осуществляется оценка параметров распределения Ципфа в частотной форме. После этого организуется цикл, на каждом шаге которого при помощи датчика случайных чисел генерируется вектор значений, распределенных по равномерному закону в интервале $[0; 1]$. Далее для каждого случайного числа с использованием

преобразующей функции по (3.9) определяется модельное значение, отсортированная совокупность которых накапливается в векторе данных.

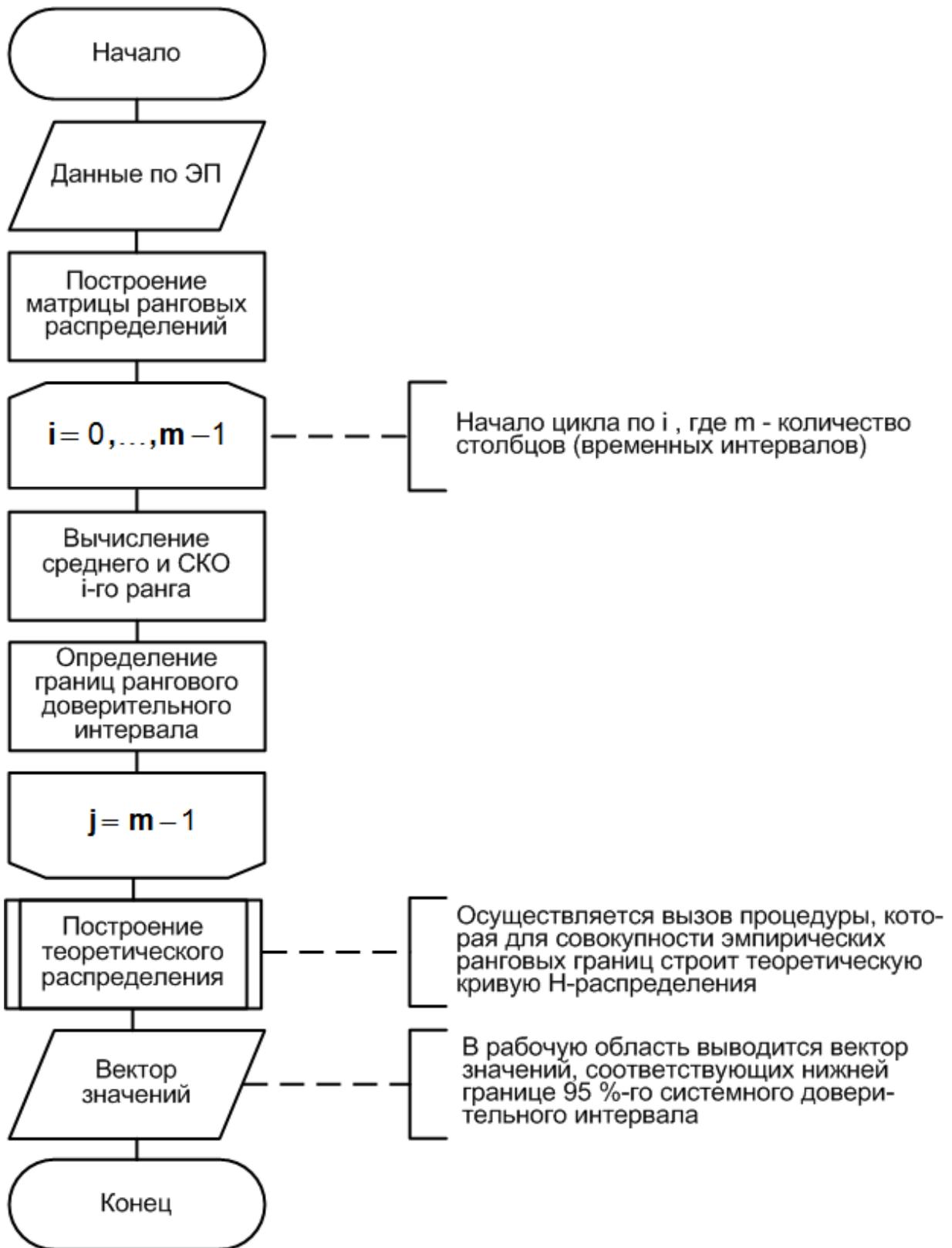


Рисунок 3.16 – Алгоритм работы РГМ, определяющего границу Z-потенциала

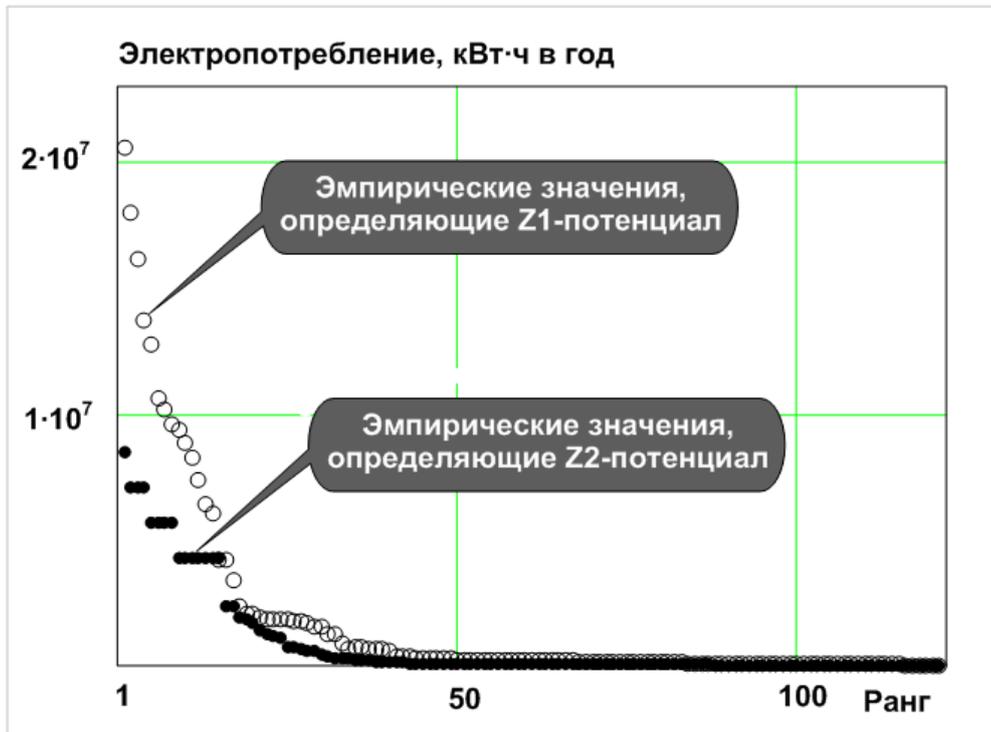


Рисунок 3.17 – Эмпирические границы Z-потенциала

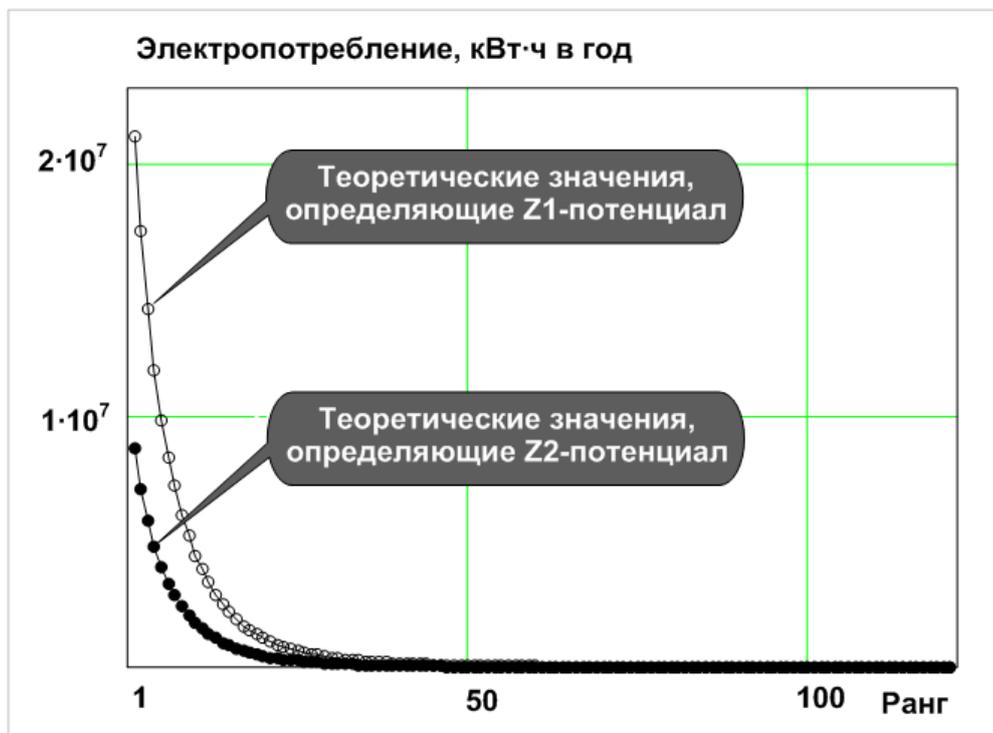


Рисунок 3.18 – Теоретические границы Z-потенциала энергосбережения

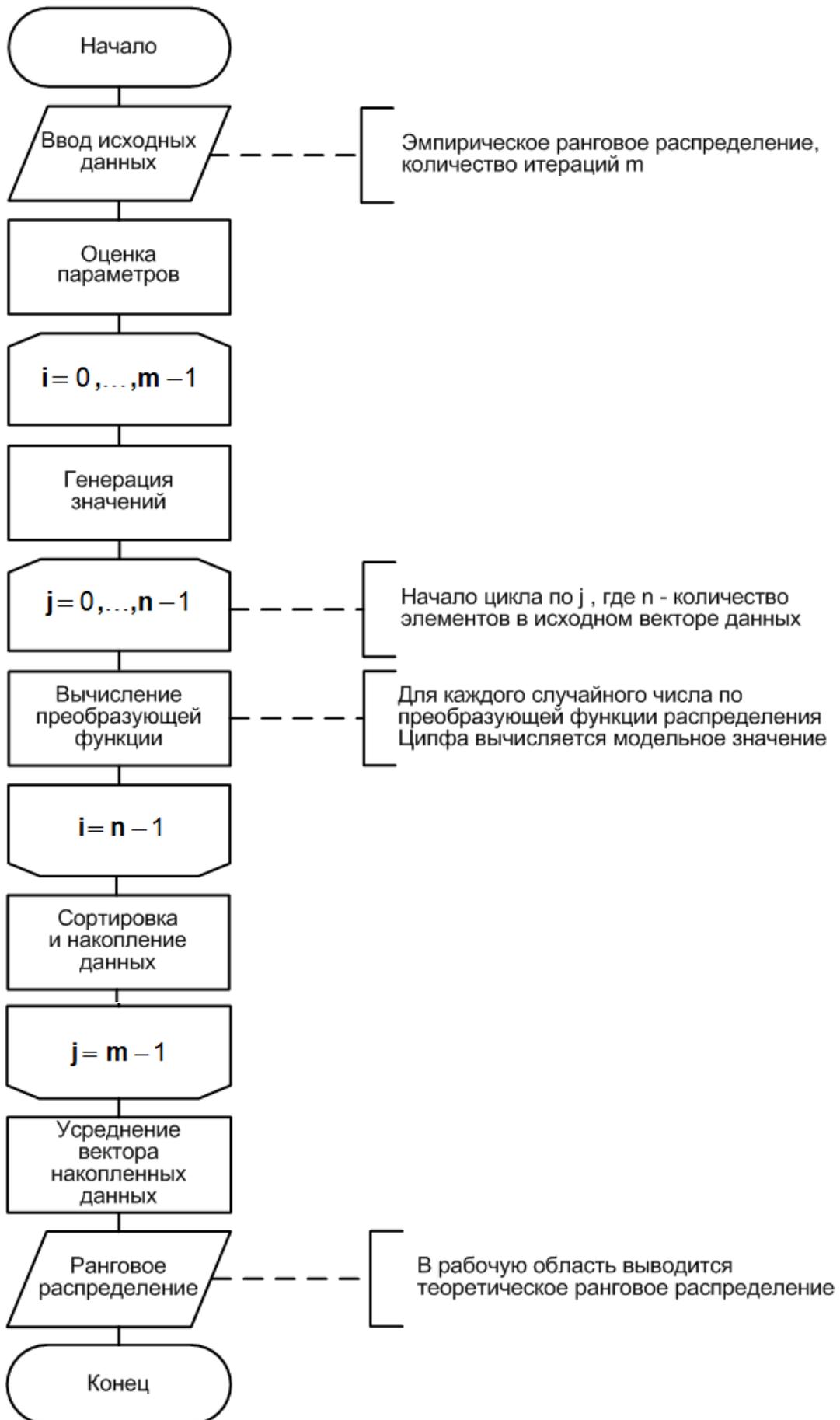


Рисунок 3.19 – Алгоритм процедуры построения теоретического рангового распределения

По окончании цикла деление вектора накопленных данных на количество итераций определяет теоретическое ранговое распределение. Анализ значений средней суммы квадратов отклонений по (3.10) между модельными ранговыми распределениями на текущем и последующем шагах цикла показал, что уже на 200-й итерации наблюдается стабилизация процесса (рисунок 3.20).

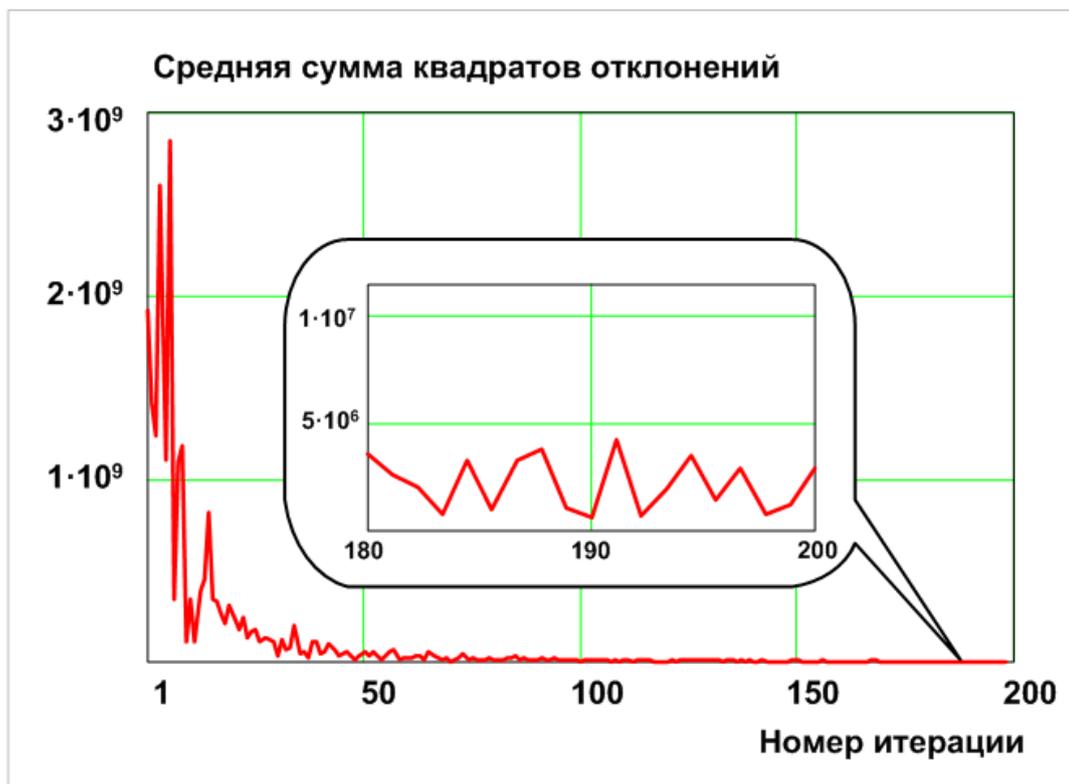


Рисунок 3.20 – График сходимости итерационного процесса построения теоретического рангового распределения

3.2.4. Алгоритм работы РГМ ZP-планирования

Процедура ZP-планирования предназначена для определения индивидуальных норм снижения электропотребления объектов в заданном временном интервале и составления плана премирования при условии, что предъявленные нормы будут выполнены. Исходными данными для расчёта выступают (Приложение Е): вектор, устанавливающий границу Z-потенциала, горизонт планирования, вектор фактических данных по электропотреблению объектов, действующий тариф на электроэнергию, а также коэффициенты, определяющие долю отчислений на премирование персонала и переоснащение (рисунок 3.21). На основе векторов потенцирования и

границы Z-потенциала по (2.8) рассчитывается фактическая величина системного потенциала энергосбережения, отношение которой к глубине горизонта планирования по (2.32) определяет размер системной нормы снижения.



Рисунок 3.21 – Алгоритм процедуры ZP-планирования

В последующем для каждого объекта определяется абсолютное отклонение от границы Z-потенциала. Произведение системной нормы снижения на долю абсолютного отклонения объекта в потенциале энергосбережения техноценоза по

(2.26) и (2.27) определяет его индивидуальную норму снижения электропотребления. При условии выполнения предъявленных норм снижения определяются средства, направляемые на премирование персонала и переоснащение объекта. С поступлением новых данных осуществляется планирование на шаг вперед, что приводит к пересчету норм и премий. Составление долгосрочного ZP-плана требует использования данных, получаемых при помощи прогнозирования или моделирования.

3.2.5. Алгоритм РГМ имитационного моделирования

Использование РГМ имитационного моделирования позволяет строить долгосрочные стратегии энергосбережения, опираясь на учет действующих в системе вероятностных закономерностей. В основе модуля лежит итерационный процесс, усреднение результатов которого позволяет получить наиболее вероятные значения электропотребления объектов. Перед началом итерационного процесса определяются вектора, содержащие среднее и СКО каждого ранга, строится матрица перестановок и эмпирическая функция распределения кодов перестановок. На каждой итерации путем применения преобразующей функции (3.1) к вектору случайных равномерно распределенных значений формируется выборка, подчиненная стандартному нормальному закону. На основе этой выборки, векторов средних и СКО рангов по выражению (3.6) строится модельное ранговое распределение. Для учета негауссовых свойств техноценоза по полученному модельному распределению вычисляются значения, определяемые теоретической кривой Н-распределения. С использованием кода случайно отобранной перестановки путем обратной сортировки теоретических значений устанавливается модельное электропотребление каждого объекта. На выходе модуля формируется модельный вектор данных по электропотреблению объектов, с использованием которого рассчитываются очередные нормы снижения и премии. После коррекции по выражению (3.6) векторов средних и СКО рангов реализуется переход на следующий шаг ZP-планирования.



Рисунок 3.22 – Алгоритм имитационного моделирования



Рисунок 3.22 – Окончание

3.2.6. Алгоритм РГМ экономической оценки

С целью гарантированного снижения электропотребления техноценоза в рамках ZP-анализа разработана процедура ZP-планирования. Достоверность ZP-плана повышается путем включения алгоритма, учитывающего действующие в техноценозе вероятностные закономерности. При этом параметры выявленных вероятностных законов ставятся в прямую зависимость от управляющих воздействий. Фактически рассчитанные индивидуальные нормы снижения пропорционально уменьшают математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение законов распределения электропотребления в каждом ранге. Это позволяет реализовать обратную связь (предъявленные нормы снижают электропотребления) для планирования энергосберегающих программ на среднесрочную перспективу с использованием имитационных методов моделирования.

Экономическая оценка методики ZP-анализа (Приложение К) проводится на перспективу пяти лет для двух стратегий: первая – достижение уровня Z1-потенциала, вторая – Z2-потенциала. Замысел экономической оценки, являющийся-

ся общим для всех стратегий, строится на основе схемы вычислений, включающей два этапа, а также блоки формирования исходных и выходных данных (рисунок 3.23).



Рисунок 3.23 – Замысел экономической оценки методики ZP-анализа

Блок исходных данных включает информационные массивы, полученные в результате реализации других процедур ZP-анализа. Так процедура потенцирования позволяет построить границы Z-потенциала. Матрица табулированных ранговых параметрических распределений позволяет сформировать матрицы перестановок и кодов перестановок, необходимые, в свою очередь, для работы имитационного алгоритма. Матрица параметров законов распределения содержит средние и среднеквадратичные отклонения, определенные для каждого ранга, а вектор начальных приближений, получаемый в результате вероятностного моделирования, представляет собой модельное электропотребление объектов до реализации энергосберегающих мероприятий.

В ходе подготовительного этапа на основе границы Z -потенциала и горизонта моделирования определяется системная норма снижения электропотребления, действующая на каждом шаге моделирования, задается тариф на электроэнергию и константы, определяющие величину денежных средств, отчисляемых из фонда энергосбережения на премирование персонала и техническое переоснащение объектов.

В ходе основного этапа по количеству шагов моделирования организуется итерационный алгоритм (рисунок 3.24). На каждом шаге алгоритма вычисляются индивидуальные нормы снижения электропотребления, размер фонда энергосбережения и премии объектов. На основе индивидуальных норм снижения рассчитываются коэффициенты, корректирующие параметры законов распределения электропотребления в рангах. С учетом измененных параметров запускается процедура имитационного моделирования, результатом которой являются модельные оценки электропотребления объектов на основе действующих в техноценозе вероятностных закономерностей при условии выполнения предъявленных норм снижения. Сформированный таким образом модельный вектор электропотребления объектов используется на следующем шаге алгоритма. Работа алгоритма прекращается при достижении значениями электропотребления объектов уровня, определяемого границей Z -потенциала.

Практическая реализация алгоритма экономической оценки выявила необходимость численной коррекции индивидуальных норм снижения. Так в случае снижения электропотребления объекта ниже границы Z -потенциала его индивидуальная норма снижения приравнивается к нулю. Включение данной коррекции позволяет придерживаться системной тенденции на снижение электропотребления, не нарушая устоявшийся технологический процесс.

По окончании итерационного алгоритма формируются выходные информационные массивы, включающие матрицы индивидуальных норм снижения, премий объектов и значений электропотребления. Как представляется, разработанный алгоритм (рисунок 3.24) ещё до реализации энергосберегающих процедур позволяет получить количественные оценки результатов энергосбережения.

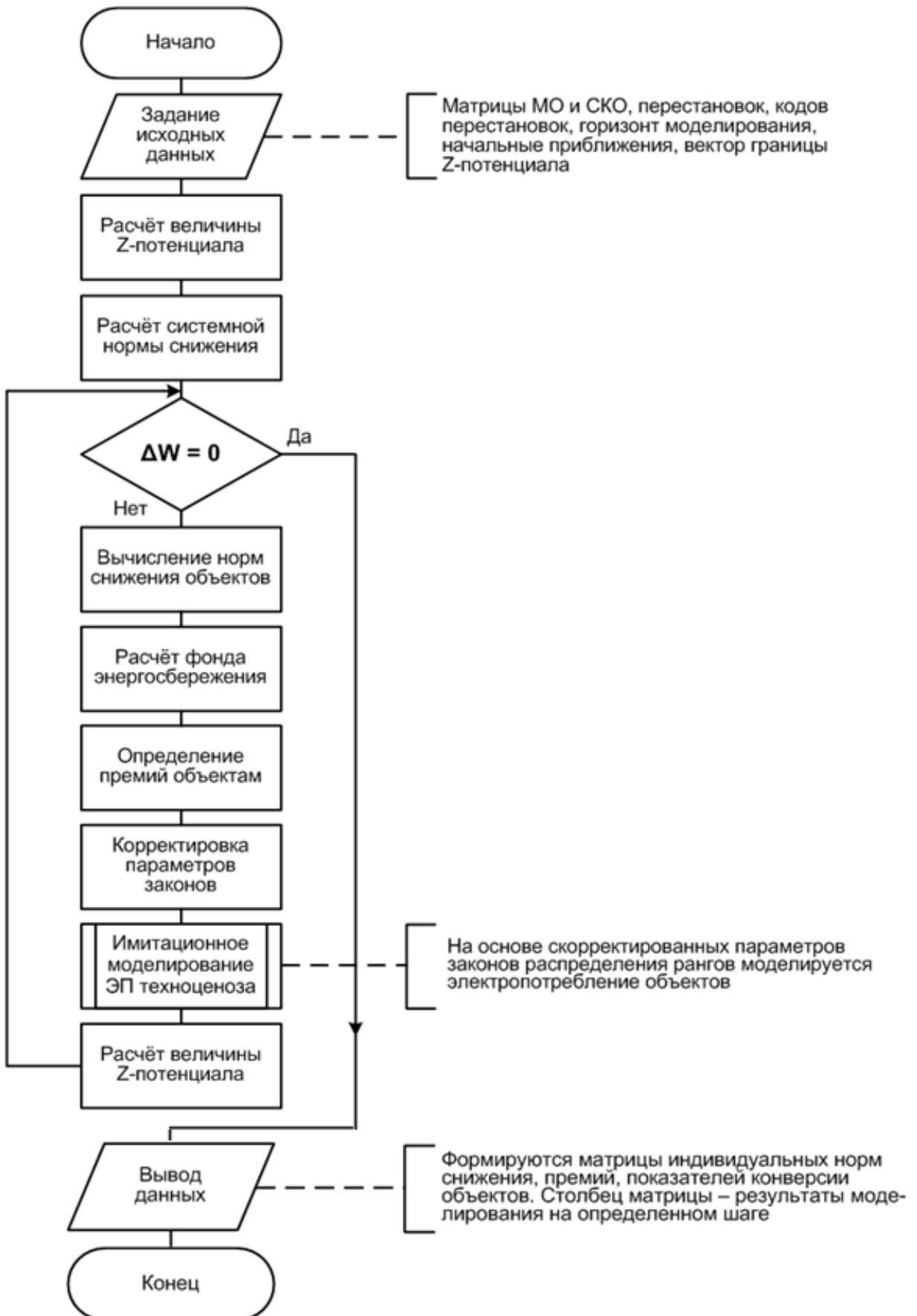


Рисунок 3.24 – Алгоритм экономической оценки

3.2.7. Алгоритм РГМ оценки эффективности

Оценка результатов энергосбережения в методике ZP-анализа опирается на использование интегральных показателей конверсии (2.35) и эффективности (2.39). Показатель эффективности отражает то, как затраты приблизили техноценоз к состоянию, соответствующему границе Z-потенциала, и в этом смысле является критерием достижения стратегической цели на энергосбережение. Показатель конверсии соотносит текущую величину снижения электропотребления техноценоза с затратами в предшествующий момент времени и является критерием достижения «зоны насыщения», когда энергосберегающие мероприятия не приносят ожидаемого положительного эффекта. В любом случае реализация ZP-плана при условии выполнения возложенных на техноценоз задач неуклонно приближает его к границе Z-потенциала так, что последующие затраты на энергосбережение уже не могут привести к сокращению электропотребления, не нарушив требуемый режим функционирования и технологию.

Алгоритм оценки эффективности (Приложение Ж) выполняется в цикле, моделирующем пошаговое выполнение ZP-плана, совместно с процедурами других расчетно-графических модулей (рисунок 3.25).

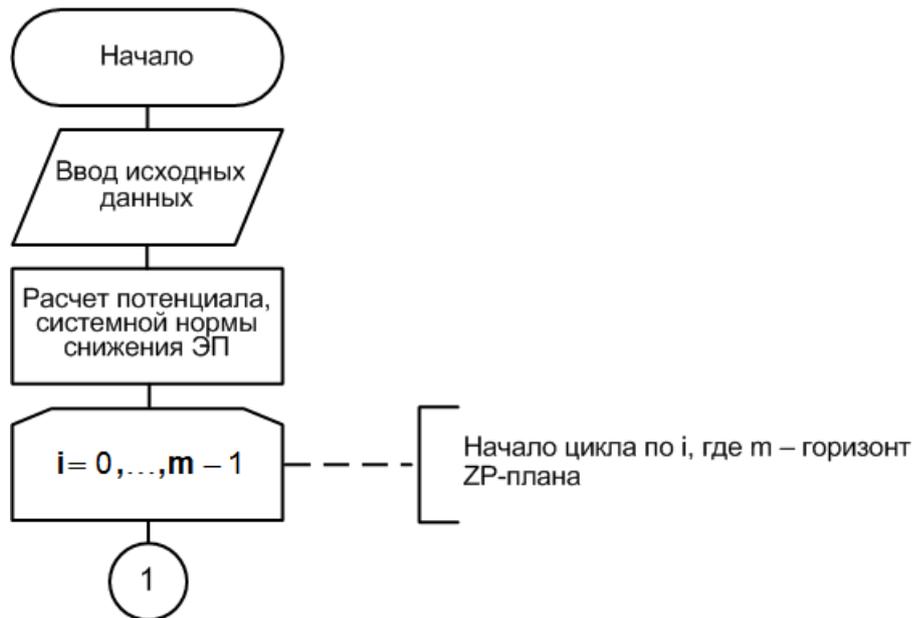


Рисунок 3.25 – Алгоритм оценки эффективности

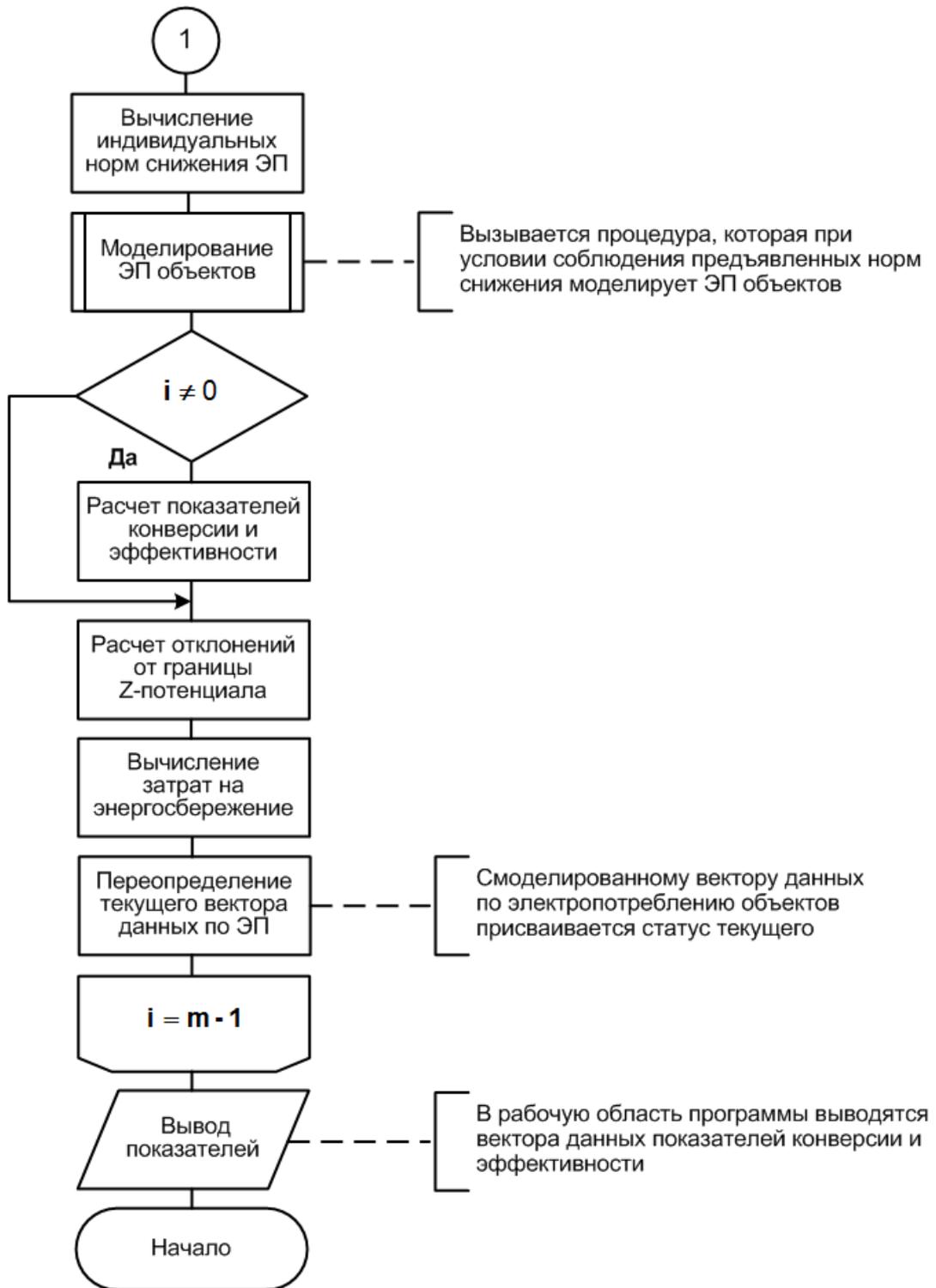


Рисунок 3.25 – Окончание

Перед началом цикла определяются величина потенциала энергосбережения и системные нормы снижения электропотребления. На первом шаге цикла по текущему вектору данных рассчитываются индивидуальные нормы снижения, и при условии их выполнения моделируется электропотребление объектов. С использованием текущего и модельного векторов данных определяются фактическая вели-

чина снижения электропотребления и размер премии, составляющей затраты на энергосбережение. После этого модельный вектор данных становится текущим и расчёты повторяются. На следующем шаге цикла величина затрат используется для расчета показателей конверсии и эффективности. Таким образом, при модельной реализации ZP-плана на горизонт пяти лет количественная оценка эффективности энергосбережения осуществляется по результатам четырех лет (рисунок 3.26, 3.27).

Анализ результатов оценки эффективности показывает (рисунки 3.26, 3.27), что при выполнении норм снижения, установленных ZP-планом, значение интегрального показателя эффективности стремится к единице, а значение интегрального показателя конверсии – уменьшается. Это является следствием движения техноценоза к границе Z-потенциала. В свою очередь, динамика показателей при реализации стратегии, ориентированной на достижение уровня Z1-потенциала (рисунок 3.26), в сравнении со стратегией для Z2-потенциала (рисунок 3.27), имеет выраженный нелинейный характер, что определено различием в содержании энергосберегающих мероприятий.

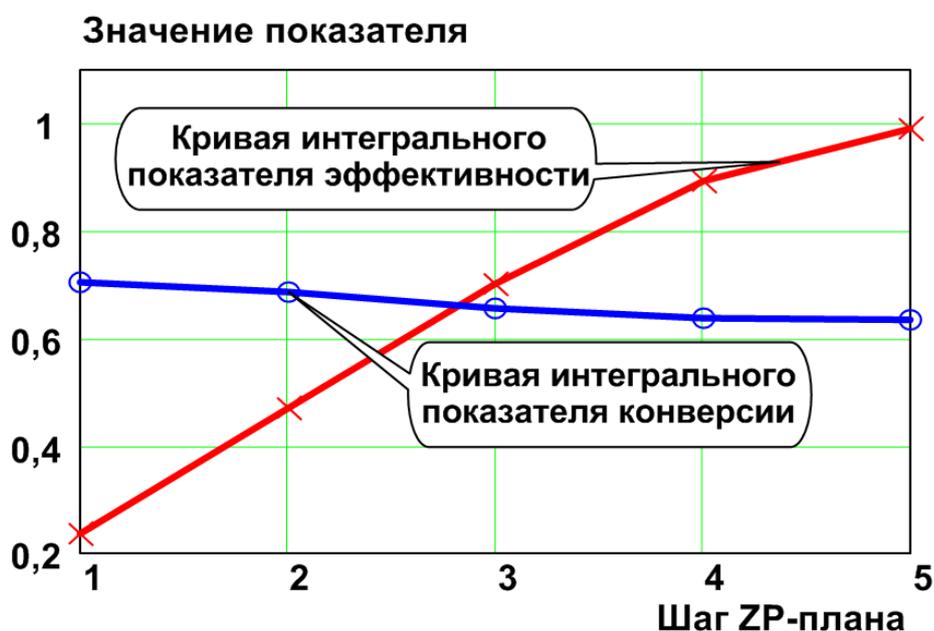


Рисунок 3.26 – Оценка результатов энергосбережения при реализации стратегии, ориентированной на достижение уровня Z1-потенциала

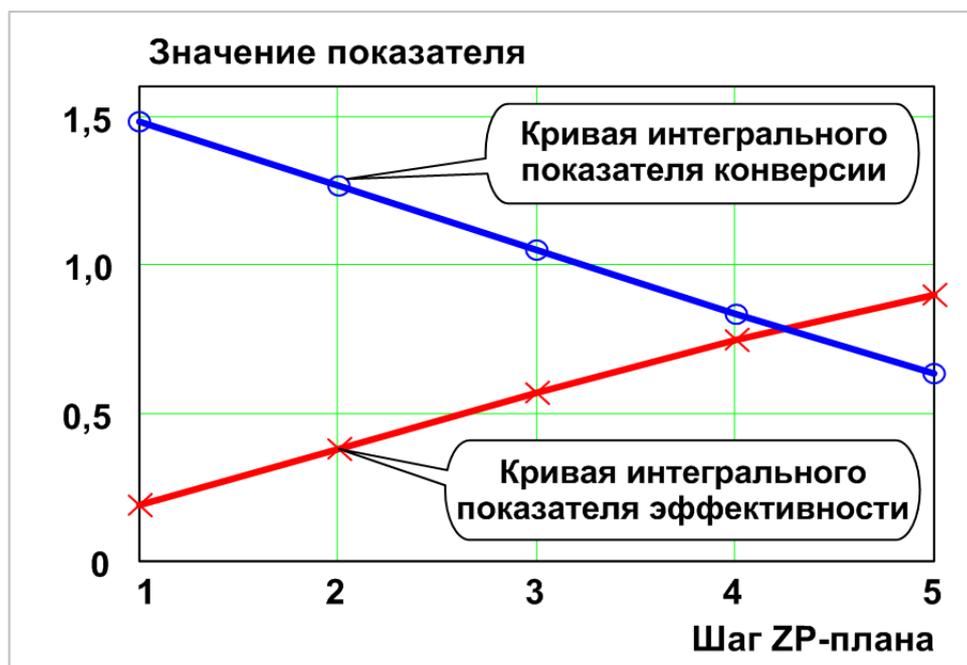


Рисунок 3.27 – Оценка результатов энергосбережения при реализации стратегии, ориентированной на достижение уровня Z2-потенциала

Так Z1-потенциал реализуется посредством организационных мер, направленных на работу с персоналом, поведение которого имеет нелинейную природу. Реализация Z2-потенциала сопряжена с техническим переоснащением объектов, внутри которых действуют сильные связи, подчинённые законам Ома, Гука и Кирхгофа [27]. Как следствие этого, при известных установленной мощности оборудования и режиме функционирования объекта с использованием линейных зависимостей можно рассчитать его электропотребление в отчетном периоде.

Различные диапазоны значений показателей являются следствием разности подходов к определению границ Z1- и Z2-потенциалов. Так достижение границы Z2-потенциала, сопряжено со значительными затратами на переоснащение объектов, что является причиной более высокого, нежели в стратегии для Z1-потенциала, начального значения интегрального показателя конверсии и более низкого значения интегрального показателя эффективности.

Таким образом, полученные количественные результаты оценки эффективности энергосбережения подтверждают хорошую работоспособность методики ZP-анализа и адекватность разработанных показателей. Реализация стратегии, ориентированной на достижение уровня Z1-потенциала, менее затратная и при

отсутствии средств на техническое переоснащение объектов является первоочередной. В любом случае управляющие воздействия для обеих стратегий соответствуют ZP-плану, носят системный характер и учитывают техноценологические особенности предприятия.

3.3. Динамическая адаптация методики ZP-анализа

Функционирование техноценоза характеризуется непрерывно происходящими изменениями, обусловленными, с одной стороны, необходимостью его реакции на внешние воздействия, а с другой – внутренней научно-технической политикой, включающей, в том числе энергосберегающие мероприятия, определенные ZP-планом. При формировании стратегии данных мероприятий, несмотря на изменчивость внешних условий, предполагается постоянство границы Z-потенциала на всем горизонте планирования, что может привести к выработке неадекватных управляющих воздействий. Для устранения этого недостатка по мере поступления новых данных необходимо осуществлять мониторинг отклонения между фактической на данный момент и использованной при составлении ZP-плана начальной границей Z-потенциала. В случае превышения данной величины установленного порогового значения производится уточнение ZP-плана. Таким образом, оценочные значения, полученные в результате ZP-анализа, требуют постоянной динамической коррекции, реализуемой по непрерывному алгоритму (рисунок 3.28).

С поступлением новых данных по электропотреблению объектов рассчитывается отклонение фактической границы Z-потенциала от принятой на начальном этапе. При превышении значения отклонения выше порогового реализуется процедура ZP-анализа, по результатам которой определяется новая граница Z-потенциала, и формируется ZP-план, в обратном случае – на основе полученных данных определяются результаты энергосбережения, рассчитываются средства на премирование персонала и техническое переоснащение объектов. Следствием выполнения расчетных процедур являются управляющие воздействия, приводящие к сокращению электропотребления техноценоза.



Рисунок 3.28– Схема алгоритма динамической адаптации методики ZP-анализа:
 $E_{тр.}$ – требуемый уровень отклонения фактической границы Z-потенциала от расчетной

Отдельного рассмотрения требует ситуация, когда мероприятия, выработанные для стратегии, ориентированной на достижение Z1-потенциала, приводят к результатам лучше, нежели это предусмотрено ZP-планом. В этом случае должен осуществляться автоматический переход (рисунок 3.29) к стратегии, ориентированной на достижение уровня Z2-потенциала. С получением новых данных по электропотреблению строится и аппроксимируется эмпирическое ранговое распределение, которое используется для оценки величины фактического Z1-потенциала. В случае его исчерпания реализуется ZP-нормирование, ZP-модуль, определяющий границу Z2-потенциала, и ZP-план, приводящий к снижению электропотребления.

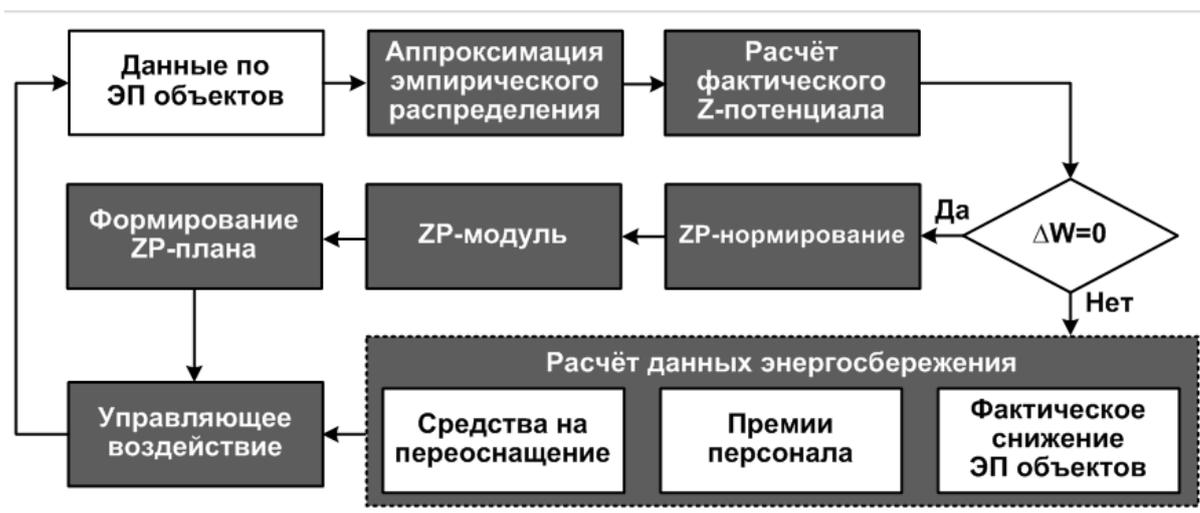


Рисунок 3.29 – Схема алгоритма перехода к стратегии, ориентированной на достижение Z2-потенциала: ΔW – значение потенциала энергосбережения

Таким образом, разработанные алгоритмы динамической адаптации (рисунок 3.28) и перехода к стратегии, ориентированной на достижение уровня Z2-потенциала (рисунок 3.29), реализуя принцип обратной связи, позволяют в непрерывном цикле управления корректировать плановые показатели, что повышает качество методики ZP-анализа и эффективность энергосбережения.

Выводы

1. Разработан алгоритм методики ZP-анализа, позволяющий на среднесрочную перспективу строить программу энергосбережения техноценоза для двух стратегий: первой, ориентированной на достижение уровня Z1-потенциала, второй – уровня Z2-потенциала.

2. Разработан алгоритм имитационного моделирования электропотребления техноценоза, учитывающий вероятностный характер электропотребления рангов и перестановок, полученных в результате ранжирования, а также негауссовы свойства выборок данных.

3. При построении алгоритма процедуры ZP-планирования использован принцип обратной связи, заключающийся в том, что результаты управляющих энергосберегающих воздействий должны изменять параметры выявленных в техноценозе законов распределения.

4. Разработаны алгоритмы автоматической динамической адаптации и реализации стратегии, ориентированной на достижение уровня Z2-потенциала. Это позволяет в непрерывном цикле управления автоматически учитывать изменения, происходящие в техноценозе, и корректировать управляющие воздействия, реализующие энергосберегающие мероприятия.

5. Количественные результаты оценки эффективности для двух стратегий энергосбережения на перспективу пяти лет подтверждают общий замысел методики ZP-анализа, когда, с одной стороны, энергосберегающие мероприятия, определяемые ZP-планом (Приложения М, Н), неуклонно ведут к снижению электропотребления техноценоза, а, с другой – увеличиваются затраты, формируемые за счет средств, направляемых на премирование персонала и техническое переоснащение объектов.

4. Реализация методики ZP-анализа на примере ООО «Газпром добыча Уренгой»

4.1. Предложения по построению автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии

Рост цен на электроэнергию вызывает необходимость кардинального пересмотра отношения к организации электроэнергетического учёта. Расчёты за электроэнергию, осуществляемые не на основе норм, договорных величин или неточных приборов, а при помощи высокоточного приборного учета, приведут к существенной экономии финансовых средств. Для его реализации на объектах предприятия необходимо внедрять автоматизированную информационно-измерительную систему контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ) [3,45,69,75]. АИИС КУЭ в задачах коммерческого учёта позволит менеджменту предприятия использовать более выгодные тарифы на покупку электроэнергии, а в задачах технического учёта – создаст предпосылки оценки энергоэффективности объектов в режиме реального времени.

Архитектура АИИС КУЭ должна предусматривать масштабируемость по количеству точек учета и возможность интеграции с другими информационными системами предприятия (планирования производства, комплексной безопасности объектов, бухгалтерского учёта и др.) [75].

Функция АИИС КУЭ состоит в измерении по точкам учета следующих параметров питающей сети:

- активной и реактивной нагрузки;
- объёмов генерации активной мощности систем автономного или резервного электроснабжения;
- расхода реактивной и активной энергии;
- частоты напряжения питающей сети;
- динамики расхода (генерации) реактивной и активной энергии за контрольный отрезок времени;

– лимитов (ограничений), выдвигаемых энергосбытовой компанией.

Ввиду того, что объекты предприятия рассредоточены на значительной территории, АИИС КУЭ для выполнения своих функций должна иметь многоуровневую структуру (рисунок 4.1). Первый уровень образуют первичные измерительные приборы (ПИП), второй – устройства сбора и подготовки данных (УСПД), третий – центры сбора и подготовки данных (ЦСПД), четвертый – главный центр сбора и подготовки данных (ГЦСПД) с автоматизированными рабочими местами (АРМ) руководителя отдела главного энергетика (ОГЭ) и специалистов.

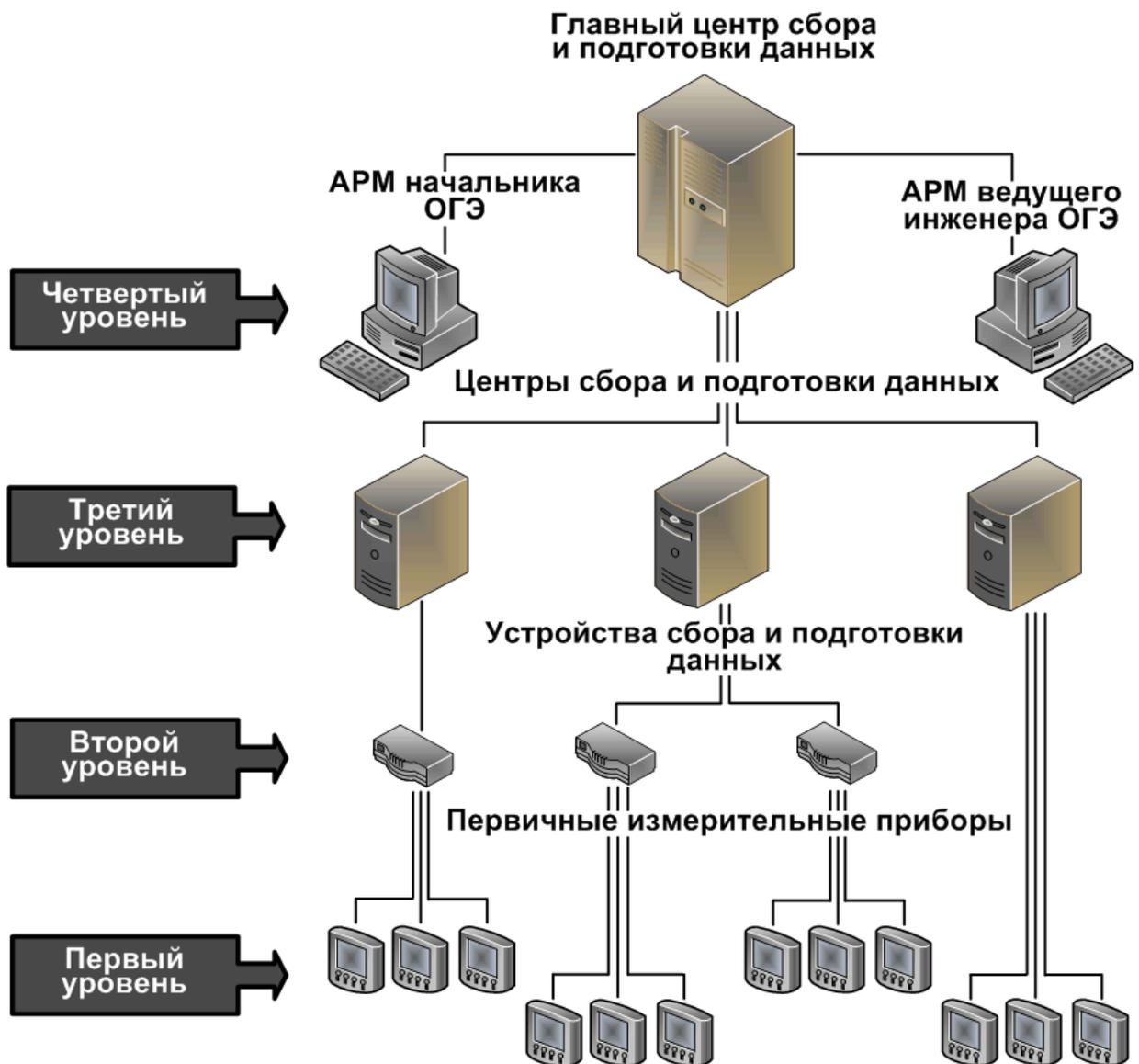


Рисунок 4.1 – Обобщенная структура АИИС КУЭ предприятия

Первичные измерительные приборы, оснащённые аналоговыми или цифровыми выходами, осуществляют непрерывно или с необходимым интервалом усреднённое измерение количества потребленной электроэнергии и её параметров в точках учёта. В рассматриваемой инфраструктуре местом установки типовой точки учёта следует считать КТП, питающую группы потребителей кустов скважин на газовых, нефтегазовых и газоконденсатных промыслах.

Устройства сбора и подготовки данных – специализированные многофункциональные преобразователи (контроллеры) со встроенным программным обеспечением учёта, реализующие в заданном цикле круглосуточный сбор, накопление, обработку и передачу измерительных данных, полученных от ПИП [75]. Местом установки УСПД должны быть здания промысловых управлений, осуществляющих контроль и учёт электропотребления кустов скважин [45].

Центры сбора и подготовки данных осуществляют сбор информации с УСПД (или группы УСПД), её итоговую обработку как по точкам учёта, так и по их группам (по подразделениям и объектам), документирование и отображение в виде, удобном для анализа и принятия решений [45]. Местом установки ЦСПД может быть: нефтегазодобывающее управление, линейно-производственное управление, управление эксплуатацией вахтовых поселков, линейно-производственное управление, Уренгойское газопромысловое управление.

Главный центр сбора и подготовки данных осуществляет сбор информации с ЦСПД, её дополнительное агрегирование, структурирование, документирование и отображение в виде, удобном для анализа и принятия решений по договорам на поставку электроэнергии с последующим формированием платёжных документов. Местом установки ГЦСПД является главный офис предприятия.

Все уровни АИИС КУЭ объединяются каналами связи для передачи данных, которые могут быть выделенными, коммутируемыми, или образованными прямым соединением по локальной сети [45]. Для связи уровней ПИП и УСПД наиболее целесообразно прямое соединение по стандартным интерфейсам. УСПД, центры сбора и подготовки данных могут быть соединены при помощи существующих линий связи между отдельными объектами предприятия.

Структура АИИС КУЭ может быть радиальной, магистральной и смешанной. Для радиальной структуры (рисунок 4.2) характерно наличие платы сопряжения, к которой подключаются УСПД группы ПИП (счетчиков). Достоинством радиальной структуры является высокая надежность, а недостатком – сложность платы сопряжения.

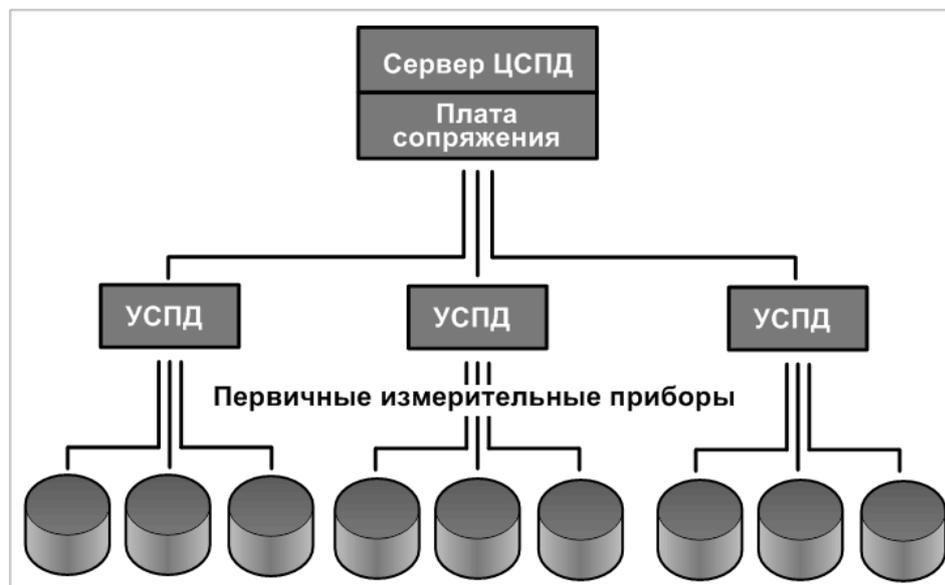


Рисунок 4.2 – АИИС КУЭ с радиальной структурой

В состав АИИС КУЭ магистральной структуры (рисунок 4.3) может входить двух- или четырехпроводная магистраль, к которой подключаются УСПД групп ПИП. Наличие единой магистрали упрощает соединение УСПД с ЦСПД, а вместо платы сопряжения используется более простой управляющий контроллер магистрали (УКМ). Недостатком магистральной структуры является низкая надежность по сравнению с радиальной. В случае повреждения магистрали в одном месте возможен выход из строя всей системы.

Смешанный тип структуры АИИС КУЭ предполагает наличие как магистральных, так и радиальных соединений УСПД.

В зависимости от особенностей расположения объектов предприятия возможны два расчётных варианта построения системы от ПИП к ЦСПД. Первый (рисунок 4.4) предусматривает использование ПИП со встроенными функциями контроллера («интеллектуальные счётчики»). При этом сбор данных с ПИП осу-

ществляется через каналы связи непосредственно на сервер ЦСПД. Данный вариант связан со значительными финансовыми затратами на дорогостоящие ПИП и необходимостью организации большого количества каналов связи (на каждый ПИП по каналу).

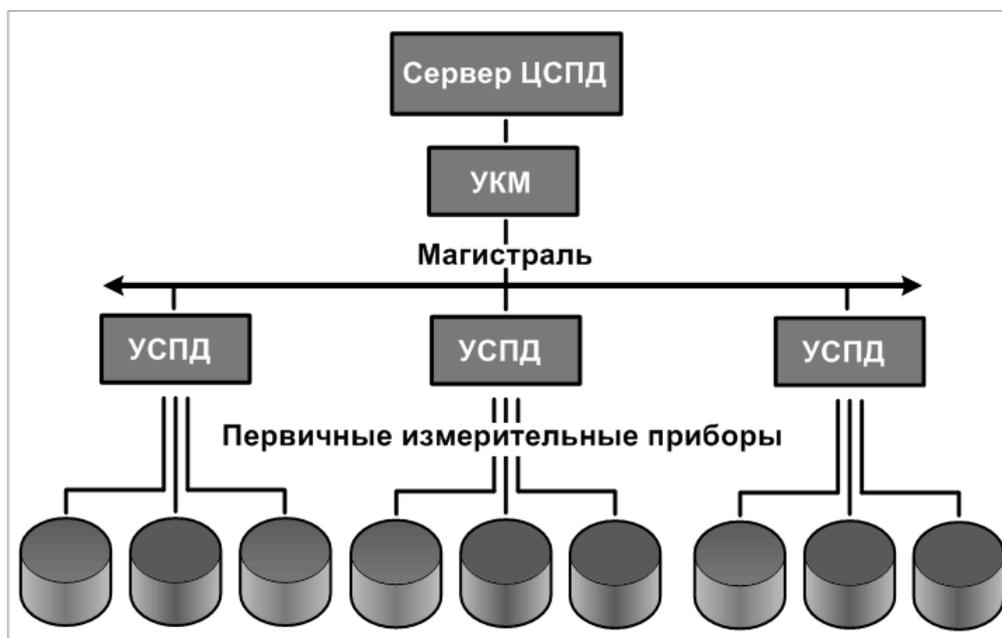
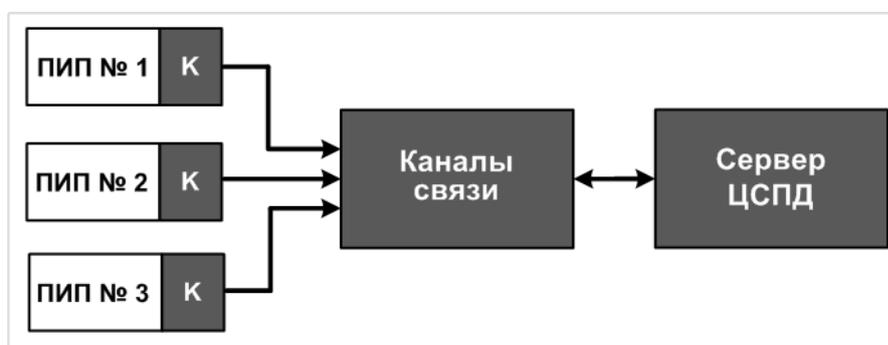


Рисунок 4.3 – АИИС КУЭ с магистральной структурой



К – контроллер

Рисунок 4.4 – Вариант построения АИИС КУЭ с реализацией функции контроллера в ПИП

Второй вариант (рисунок 4.5) предусматривает встраивание функций контроллера в сервер ЦСПД. В этом случае возможности сервера ограничиваются задачами учёта электроэнергии, возникает необходимость организации большого количества измерительных каналов, а надёжность АИИС КУЭ сводится к надёжности сервера.

В ряде случаев функции контроллеров могут выполнять упрощенные устройства сбора и подготовки данных, которые осуществляют одновременный сбор информации с измерительных каналов группы ПИП и передачу разделенных по времени данных на сервер по одному каналу связи.



К – контроллер

Рисунок 4.5 – Вариант построения АИИС КУЭ с реализацией функции контроллеров на сервере ЦСПД

Работа АИИС КУЭ предприятия осуществляется следующим образом. Серверы ЦСПД в соответствии с заданным системным расписанием по каналам связи через УСПД или напрямую производят опрос ПИП. При этом первичная информация со счетчиков ПИП записывается в базу данных (БД) серверов ЦСПД, на них же происходит начальная обработка данных, включающая промежуточное агрегирование и структурирование. В последующем ГЦСПД производит опрос серверов ЦСПД и консолидирует данные на уровне предприятия.

Таким образом, в результате последовательных опросов данные по ЭП с заданной степенью дискретизации и обобщения могут представляться в виде текущей (по состоянию на любой момент времени) или накопленной информации (за отчетный период времени), как в моментальной форме (на экране монитора), так и в форме документа. При наличии договора данные могут напрямую передаваться в расчётный центр энергоснабжающей организации.

АИИС КУЭ, функционируя в территориально распределенной инфраструктуре предприятия, должна решать ряд технических и экономических задач. К техническим следует отнести следующие:

- точное измерение параметров электропотребления;

- комплексный автоматизированный учет электроэнергии предприятия в целом и по его структурным подразделениям (объектам);
- контроль электроэнергии по точкам учета в требуемых интервалах (5 минут, 30 минут, сутки, декады, месяцы, кварталы и годы) относительно заданных лимитов и ограничений мощности;
- обработка данных и формирование отчетов по учету электроэнергии;
- фиксация отклонений контролируемых параметров электропотребления, их оценка в абсолютных и относительных единицах для последующего анализа;
- сигнализация (цветом, звуком) об отклонениях контролируемых величин от допустимого диапазона значений;
- диагностика полноты данных;
- описание электрических соединений объектов и их характеристик;
- параметризация коммуникаций и характеристик опроса;
- самодиагностика;
- поддержание единого системного времени;
- ведение протокола своих действий и действий оператора.

С помощью АИИС КУЭ можно решать следующие экономические задачи:

- создание условий для ведения договоров и формирования платежных документов расчета за электроэнергию;
- обеспечение точности расчетов с поставщиками и субабонентами;
- исключение фактов перенесения потерь поставщика на потребителя;
- предоставление выбора наиболее выгодного тарифа на электроэнергию в условиях различных альтернатив;
- минимизация ущерба от возможных штрафных санкций со стороны энерго-снабжающей организации;
- инициирование деятельности по выявлению перерасхода электроэнергии от нарушения технологических режимов, несанкционированного её использования или бесхозяйственных утечек;
- создание условий для качественного планирования электропотребления;

- создание предпосылок для снижения электропотребления за счет организационно-технических мероприятий.

При создании АИИС КУЭ для реализации элементов разных уровней можно использовать технические решения от различных поставщиков, согласуя технические характеристики по уровням измеряемых параметров и протоколам передачи данных. За счёт этого можно минимизировать стоимость элементов создаваемой системы. Тем не менее, наиболее предпочтительным является использование технических решений, которые позволяют строить АИИС КУЭ как однородную систему, т.е. устанавливать в каждой точке учета одинаковое программное обеспечение, базирующееся на однородных аппаратных средствах. Это дает возможность поэтапно осуществлять процесс автоматизации, что в свою очередь уменьшает стоимость пуско-наладочных работ, так как сразу после установки элементы системы включаются в работу. По мере увеличения количества точек учёта и реализации связи между ЦСПД, они все включаются в процесс сбора, контроля и учета данных по электропотреблению.

Функцию согласования работы всех элементов АИИС КУЭ выполняет программное обеспечение (ПО), реализующее универсальный механизм обмена между источниками и потребителями данных. Как правило, оно состоит из комплекса клиентских и серверных приложений. На рисунке 4.6 представлена укрупненная структура программного обеспечения, использующего технологию OPC (OLE for Process Control – технология OLE для промышленной автоматизации), отдельными модулями которой являются: OPC-сервер, OPC-клиент, сервер приложений, СУБД и программы автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Каждый отдельный модуль имеет пароли для запуска и изменения конфигурации, обладая которыми можно внести изменения только в настройку канала получения данных без изменения коммерческой информации о них. Сервер ЦСПД скрывает от пользовательских приложений особенности получения информации с УСПД. Функция OPC-сервера заключается в предоставлении пользовательским приложениям OPC-интерфейса оперативных данных с УСПД и данных о состоянии аппаратуры и линий связи. OPC-клиент архивирует информацию в базу дан-

ных (по каждой точке учета) и организует виртуальный канал для её последующей передачи. Сервер приложений предназначен для обработки первичных данных АИИС КУЭ, формирования данных по группам учета и предоставления пользователям приложения доступа к данным через удобные интерфейсы. При этом он обрабатывает запросы от информационно-аналитического комплекса (ИАКОМ), автоматизированных рабочих мест специалистов и, как исключение, энергоснабжающей организации (ЭСО).

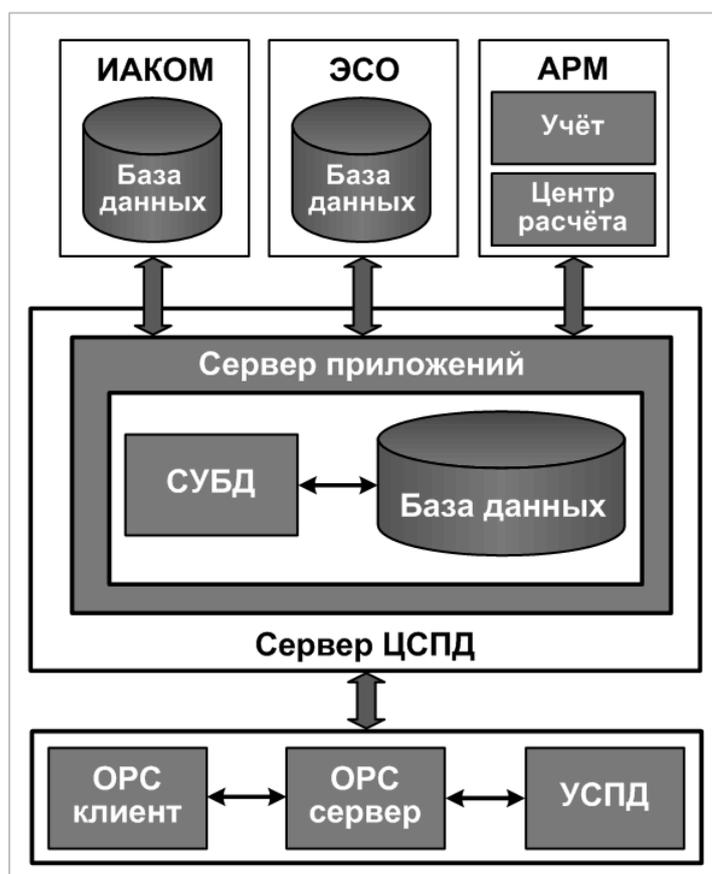


Рисунок 4.6 – Укрупненная структура ПО АИИС КУЭ

Программное обеспечение АРМ («Учет» и «Центр расчёта») предназначено для формирования на основе базы данных и сервера приложений, отчетных форм, рассылки отчетов по электронной почте, экспорта отчетов в офисные приложения.

Величина экономического эффекта от использования АИИС КУЭ в среднем составляет 15 – 30 % от стоимости годового электропотребления [75]. При этом экономический эффект складывается из следующих составляющих:

- расчётов за электроэнергию по наиболее выгодным тарифам;

- создания предпосылок совместной оценки показателей деятельности отдельных объектов и их электропотребления;
- снижения затрат на обработку информации финансово-экономическими подразделениями;
- повышения точности учёта электроэнергии и качества энергоаудита.

Таким образом, АИИС КУЭ является необходимым механизмом, без которого невозможно осуществлять расчеты за электроэнергию, снижая доли энергозатрат в общих затратах на функционирование предприятия.

4.2. Модель данных по электропотреблению объектов

Автоматизация методики ZP-анализа является необходимым условием эффективного управления Z-потенциалом энергосбережения на системном уровне. При этом одну из ключевых функций, наряду с расчетно-графическими модулями, реализующими логику вычислений, выполняет СУБД и БД по электропотреблению объектов. В ходе предварительного анализа организационно-штатной структуры предприятия и потребности в данных процедур методики ZP-анализа было выявлено следующее:

- особенности функционирования объектов;
- свойства накапливаемых данных по электропотреблению;
- порядок учёта, обработки и накопления входной информации;
- структура и характер данных для решения вычислительных задач;
- обязанности персонала, ответственного за энергосбережение.

При этом отдельный объект (пространственно-технологический кластер) характеризуется ограниченной территориально совокупностью потребителей электрической энергии, объединенных жесткими электрическими связями [30], имеющей общий учет и систему управления в лице руководства. Одновременное наличие последних двух характеристик является необходимым условием для управления электропотреблением.

Функционирование объектов предприятия характеризуется решением широкого спектра задач, связанных с добычей нефти и газа, подготовкой к транспортировке, транспортировкой и хранением готовой продукции. Для решения задач управления потенциалом энергосбережения объекты делятся на функциональные группы. При этом в одну функциональную группу входят объекты, имеющие одно предназначение, сходный состав электрооборудования и режим функционирования. Информация по электропотреблению накапливается с месячной периодичностью и хранится в виде отдельных файлов по каждому объекту. При этом существующий в настоящее время уровень автоматизации процесса обработки данных по электропотреблению на предприятии можно считать недостаточным.

Задачи сотрудников, ответственных за энергосбережение, в контексте методики ZP-анализа, предполагаются следующими:

- оценка потенциала энергосбережения на различных уровнях;
- планирование и выполнение мероприятий по реализации потенциала энергосбережения;
- контроль и оценка результатов энергосбережения.

Схема обмена данными при реализации ZP-анализа (рисунок 4.7) затрагивает вопросы взаимодействия систем управления объектов, должностного лица, ответственного за энергосбережение, финансово-экономических подразделений и энергоснабжающих организаций. Для описания схемы обмена данными была применена ER-модель [67], при использовании принципов которой выделены следующие сущности: объект, параметр, функциональная группа и процесс. Каждая сущность является информационным аналогом выделенных в предметной области понятий.

Сущность «Параметр» является независимой (рисунок 4.8) и описывает все возможные параметры, касающиеся электропотребления и особенностей функционирования объектов РЭК. При этом спектр параметров ограничивается процедурой ZP-нормирования так, что каждому объекту в любой момент времени должно быть сопоставлено значение его лидингового параметра и электропотребления. Несмотря на то, что функциональные группы характеризуются различным режимом функ-

ционирования, они могут иметь одинаковое название и размерность лидингового параметра. Так, например, функциональные группы «Детские сады» и «Общежития» имеют разное предназначение и режим функционирования, но одинаковый лидинговый параметр – количество мест. Таким образом, одному лидинговому параметру может быть поставлено в соответствие несколько функциональных групп.

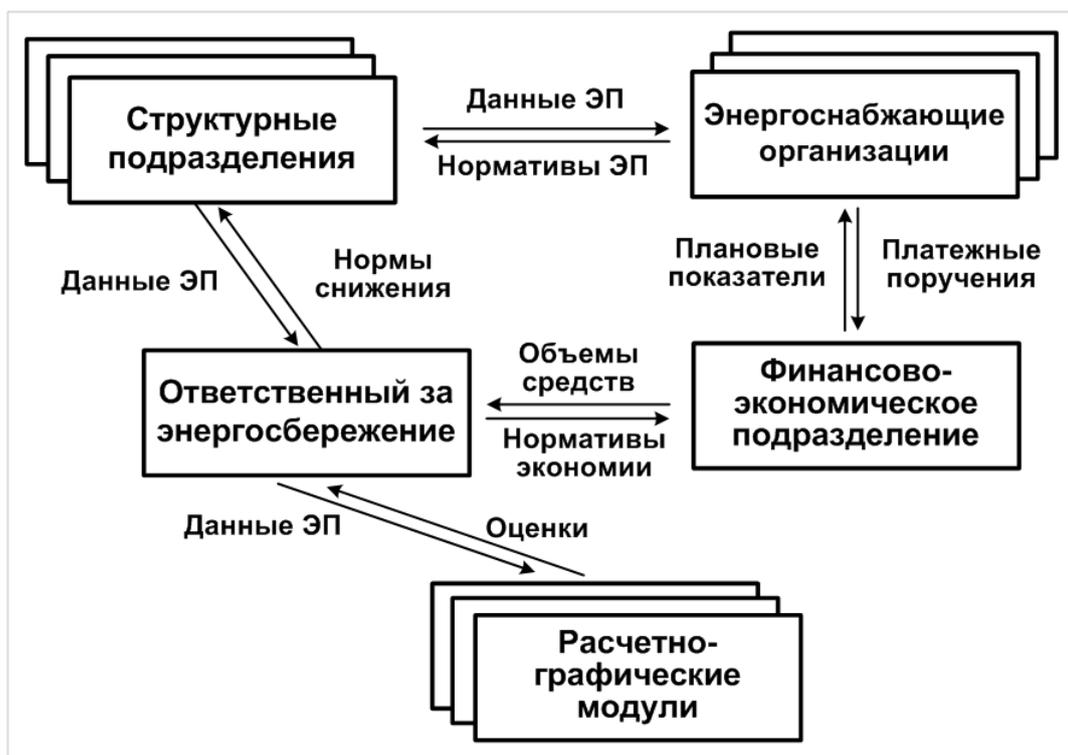


Рисунок 4.7 – Схема обмена данными

Сущность «Функциональная группа» (рисунок 4.8) моделирует одноименное понятие в региональном электротехническом комплексе и описывается следующими атрибутами: идентификатор, название группы, параметр. Атрибут «Код параметра» наследуется от сущности «Параметр».

Сущность «Объект» является информационным аналогом действующего объекта предприятия. Атрибутами данной сущности являются: идентификатор объекта, название и код группы. Атрибут код группы наследуется от сущности функциональная группы и моделирует связь объектов, входящих в одну функциональную группу.

Сущность «Процесс» отражает результат функционирования объектов во времени. Включает следующие атрибуты: идентификатор, дата снятия показания, электропотребление, код и значение параметра. Необходимость включения атрибутов, описывающих лидинговый параметр, учитывает ситуацию, когда в результате организационно-штатных или технических мероприятий меняется режим функционирования объектов. Так, например, для определенного куста нефтяных скважин может измениться плановый показатель нефтедобычи.



Рисунок 4.8 – Диаграмма «сущность – связь»

Для реализации диаграммы «сущность – связь» в среде СУБД необходимо её преобразовать в схему реляционных отношений (рисунок 4.9), являющуюся логической моделью данных.

В реляционной модели данных (РМД) выделенные сущности представляются таблицами, атрибуты – столбцами, а связи – ключами [67]. При этом, следуя требованиям РМД, для доступа и идентификации записей в каждой таблице необходимо определить первичный ключ. В упрощенном варианте, когда считаются неизменными состав функциональных групп и значения лидинговых параметров, реляционную схему отношений (рисунок 4.10) можно упростить, исключив из рассмотрения сущность «Параметр».

По реляционной схеме отношений с использованием языка определения данных создаются SQL-инструкции (Приложение Л), транслирующие логическую модель данных на физический уровень.

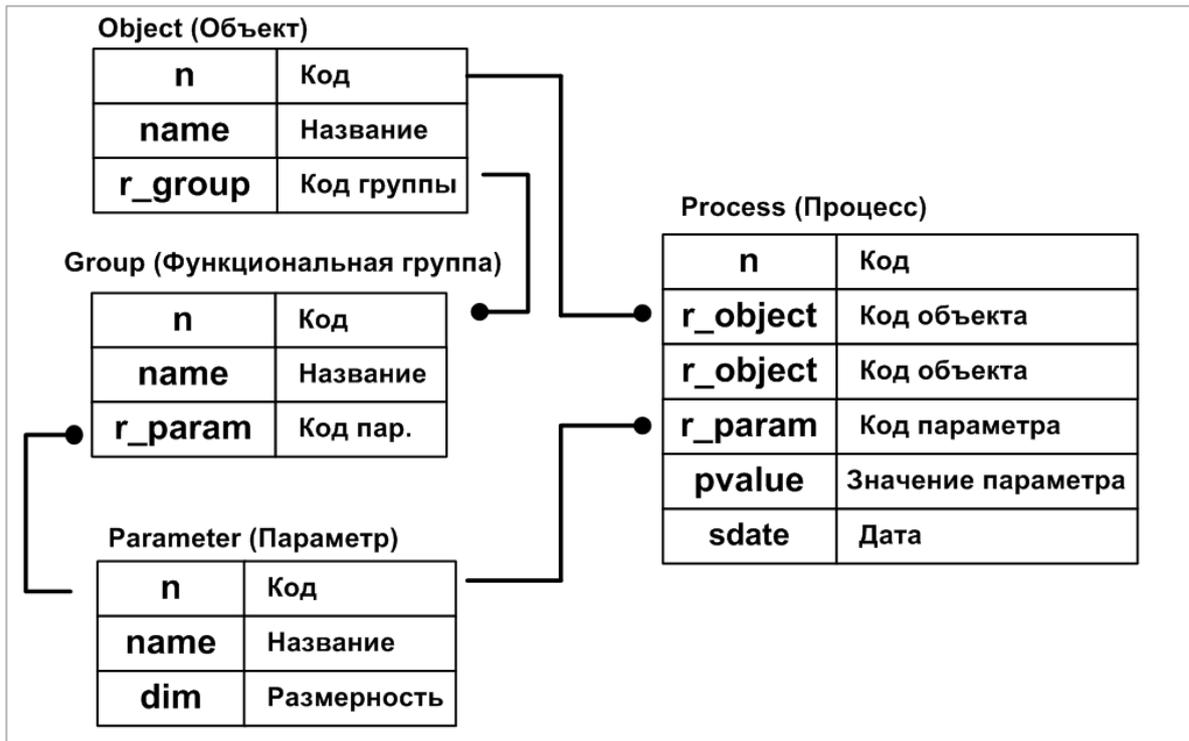


Рисунок 4.9 – Реляционная схема отношений

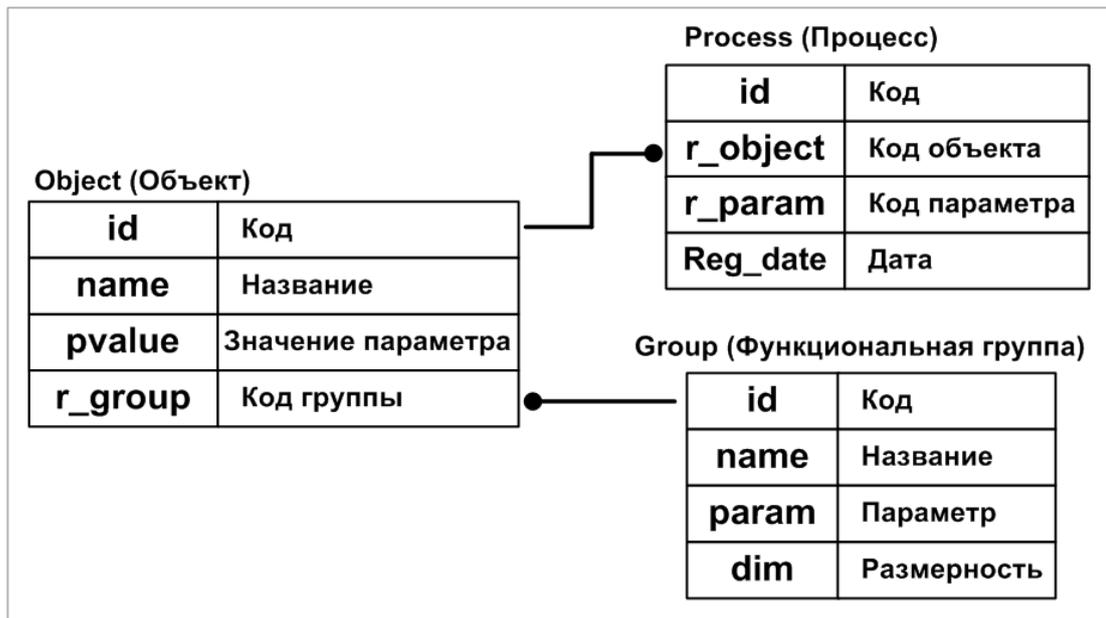


Рисунок 4.10 – Реляционная схема отношений (упрощенный вариант)

Таким образом, спроектированная база данных обеспечивает выполнение задач, определенных методикой ZP-анализа. Результатом выполнения запросов (Приложение Л) к базе данных являются необходимые наборы данных, обрабатываемые в расчётно-графических модулях. Для выполнения процедур ZP-анализа

необходимо оперировать информацией о предприятии в целом, представленной в виде базы данных. Это позволяет решать ряд задач языковыми средствами СУБД. Особенностью спроектированной базы данных является её гибкость к возможным изменениям в предметной области. Например, трансформация объекта, связанная с переходом в другую функциональную группу, не приведет к перестройке таблиц, ограничений и сформированных запросов.

4.3. Экономическая оценка разработанной методики

Внедрение энергосберегающих технологий предполагает достоверную экономическую оценку соответствующих инвестиций, суть которой заключается в количественном сопоставлении затрат с величиной поступающей прибыли.

Данное сопоставление осуществляется по следующим критериям:

- срок окупаемости мероприятий с учётом дисконтирования поступающих доходов [45];

- индекс доходности инвестиций.

Рассмотрим экономическую оценку ZP-анализа для двух стратегий. Первая ориентируется на достижение уровня Z1-потенциала, вторая – Z2-потенциала. Реализация любой из приведенных стратегий в среднесрочной перспективе обусловлена выполнением связанного с ней ZP-плана, приводящего к пошаговому снижению электропотребления техноценоза. При этом для запуска процесса необходимо сделать инвестиции, покрывающие первоначальные затраты на переоснащение объектов и премирование персонала. Последующие затраты будут покрываться из фонда энергосбережения, формируемого за счёт фактической экономии электроэнергии.

Размер первоначальных инвестиций рассчитывается по следующему выражению:

$$IN_0 = sc \cdot (\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \sum_{i=1}^n (\mathbf{w}_i^{(0)} - \mathbf{w}_i^{(1)}), \quad (4.1)$$

где sc – тариф на электроэнергию;

γ_1 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на преми-

- рование персонала [27];
- γ_2 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на переоснащение объекта [27];
- $\mathbf{W}^{(0)}$ – вектор электропотребления объектов до реализации энергосберегающих мероприятий;
- $\mathbf{W}^{(1)}$ – вектор электропотребления объектов на первом шаге ZP-плана;
- n – количество объектов техноценоза.

В выражении (4.1) отсутствует весовой коэффициент, учитывающий долю индивидуального потенциала (2.29) энергосбережения и корректирующий тем самым размер инвестиций в конкретный объект. Это объясняется тем, что до начала реализации ZP-плана фактическое отклонение объекта от границы Z-потенциала сформировалось без плановых энергосберегающих воздействий.

При расчете дисконтированного дохода принимается, что на горизонте планирования платежи поступают ежегодно в равные интервалы времени, ставка дисконтирования и действующий тариф на электроэнергию остаются неизменными. Величина дисконтированного дохода определяется по выражению вида:

$$PV = sc \cdot \sum_{t=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{(\mathbf{W}_i^{(t)} - \mathbf{W}_i^{(t-1)})}{(1+E)^t} \cdot \left(1 - (\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \left(1 - \frac{\mathbf{W}_i^{(t)} - \mathbf{W}_i^*(r_i)}{\mathbf{W}_i^{(t)}} \right) \right), \quad (4.2)$$

- где
- sc – тариф на электроэнергию;
- γ_1 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на премирование персонала;
- γ_2 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на переоснащение объекта;
- $\mathbf{W}_i^{(t)}$ – электропотребление i -го объекта на t -ом шаге реализации ZP-плана;
- E – ставка дисконтирования;
- p – горизонт планирования;
- n – количество объектов техноценоза;

$W^*(r_i)$ – величина электропотребления ранга i -го объекта на теоретической кривой, устанавливающей границу Z -потенциала.

Индекс доходности первоначальных инвестиций вычисляется по следующему выражению:

$$QV = \frac{PV - IN_0}{IN_0}, \quad (4.3)$$

где IN_0 – величина первоначальных инвестиций;

PV – величина дисконтированного дохода, полученного в результате реализации ZP -плана.

Для качественной оценки ZP -плана используется показатель, представляющий долю прибыли в фонде энергосбережения на определенном временном интервале. Данный показатель рассчитывается по выражению вида:

$$NQ(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i^{(t)} - W_i^{(t-1)}) \cdot \left(1 - (\gamma_1 + \gamma_2) \cdot \left(1 - \frac{W_i^{(t)} - W^*(r_i)}{W_i^{(t)}} \right) \right)}{\sum_{i=1}^n (W_i^{(t)} - W_i^{(t-1)})}, \quad (4.4)$$

где γ_1 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на премирование персонала;

γ_2 – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на переоснащение объекта;

$W_i^{(t)}$ – электропотребление i -го объекта на t -ом шаге ZP -плана;

n – количество объектов техноценоза;

$W^*(r_i)$ – величина электропотребления ранга i -го объекта на теоретической кривой, устанавливающей границу Z -потенциала.

Величина ежегодного дохода, полученного за счёт энергосбережения, отличается в различные моменты и определяется неравномерностью движения объектов к границе Z-потенциала. Это, в свою очередь, определяет срок окупаемости, для оценки которого используется величина чистой прибыли, полученная к данному моменту времени, за вычетом первоначальных инвестиций. Момент времени, когда величина чистой прибыли станет положительной, определит срок окупаемости первоначальных инвестиций. При этом величина чистой прибыли рассчитывается по выражению:

$$NPV = -IN_0 + PV(t), \quad (4.5)$$

где IN_0 – величина первоначальных инвестиций;
 $PV(t)$ – величина дисконтированного дохода, полученного к моменту времени t .

Экономическая оценка осуществлялась при следующих условиях: тариф на электроэнергию равен 2,63 руб./кВт·ч; коэффициенты γ_1 и γ_2 , определяющие долю отчислений на премирование персонала и техническое переоснащение объектов, принимались равными по 0,3; ставка дисконтирования $E = 0,18$; горизонт планирования составил пять лет; приведенные показатели и граница Z-потенциала на горизонте планирования остаются неизменными; целью реализации ZP-плана является сокращение в пятилетний срок электропотребления предприятия на величину Z-потенциала.

Результаты экономической оценки (Приложение К) для двух стратегий показывают (таблицы 4.1 и 4.2), что первоначальные инвестиции за счет экономии электроэнергии окупаются на втором шаге ZP-плана. Следует отметить, что полученные оценки являются приближенными, так как основаны на прямой конвертации вложенных в энергосбережение средств в фактическое снижение электропотребления. На практике данные оценки могут быть уточнены за счёт учёта технико-экономических и организационных особенностей внедряемых энергосберегающих решений.

Таблица 4.1 – Значения показателей экономической оценки для стратегии, ориентированной на достижение Z1-потенциала

Параметр	Шаги ZP-плана					
	0	1	2	3	4	5
Фонд энергосбережения, млн. руб.	0	6,87	6,85	6,99	4,3	0,43
Дисконтированный доход, млн. руб.	-4,12	2,68	2,19	1,8	0,89	0,08
Чистая прибыль, млн.руб.	-4,12	-1,44	0,76	2,54	3,45	3,51
Доля прибыли в фонде энергосбережения	0	0,46	0,45	0,42	0,4	0,4

Таблица 4.2 – Значения показателей экономической оценки для стратегии, ориентированной на достижение Z2-потенциала

Параметр	Шаги ZP-плана					
	0	1	2	3	4	5
Фонд энергосбережения, млн. руб.	0	49,13	49,31	49,66	50,44	45,13
Дисконтированный доход, млн. руб.	-34,39	29,15	23,01	17,47	12,13	5,93
Чистая прибыль, млн.руб.	-34,39	-5,24	17,78	35,24	47,37	53,3
Доля прибыли в фонде энергосбережения	0	0,7	0,65	0,58	0,47	0,3

Графики экономических показателей (рисунки 4.11 – 4.16) позволяют сделать следующие выводы:

- подтверждается неравномерность поступления доходов от энергосбережения, обусловленная характером движения объектов к границе Z-потенциала;
- отличие в форме графиков динамики фонда энергосбережения (рисунки 4.11 и 4.14) объясняется тем, что при реализации первой стратегии часть объектов на четвертом шаге ZP-плана достигает границы Z1-потенциала;
- по мере движения системы к границе Z-потенциала падение уровня дохода (рисунки 4.12 и 4.15) и сокращение доли прибыли в фонде энергосбережения (рисунки 4.13 и 4.16) объясняется, с одной стороны, сокращением потенциала энергосбережения, а с другой – ростом затрат на премии персоналу и техническое переоснащение, имеющих тем большую величину, чем ближе объекты к границе Z-потенциала (2.29, 2.30).



Рисунок 4.11 – Динамика изменения величины фонда энергосбережения при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z1-потенциала

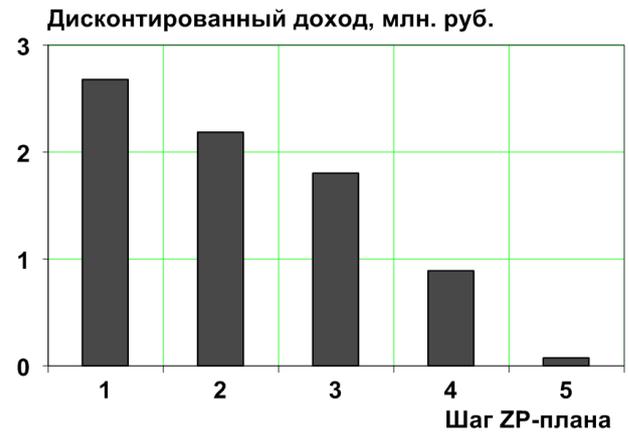


Рисунок 4.12 – Динамика изменения величины дисконтированного дохода при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z1-потенциала

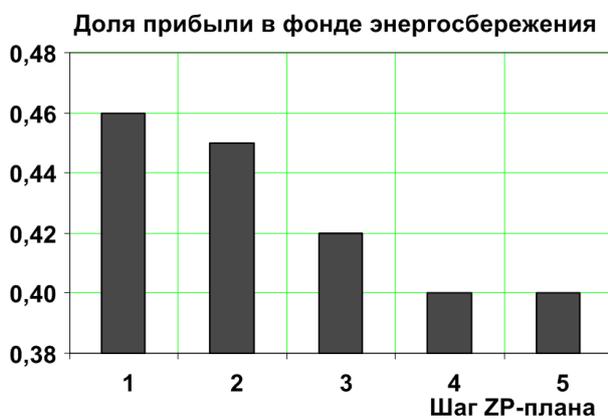


Рисунок 4.13 – Динамика изменения доли прибыли в фонде энергосбережения при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z1-потенциала

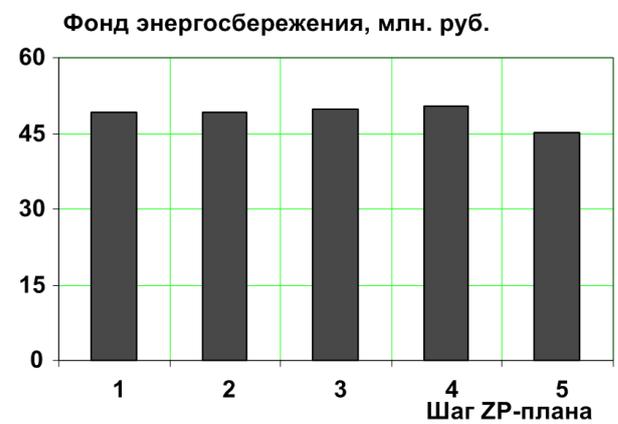


Рисунок 4.14 – Динамика изменения величины фонда энергосбережения при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z2-потенциала



Рисунок 4.15 – Динамика изменения величины дисконтированного дохода при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z2-потенциала

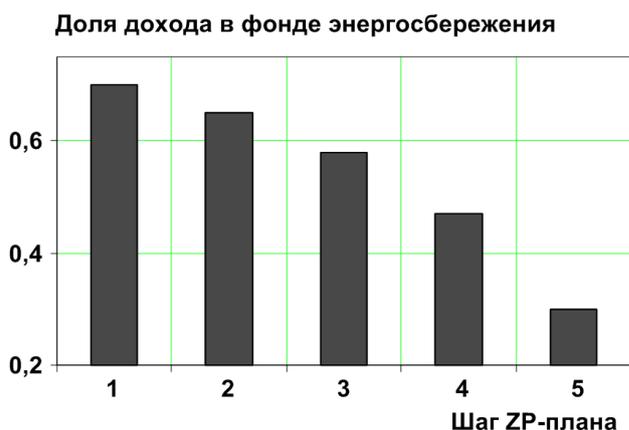


Рисунок 4.16 – Динамика изменения доли прибыли в фонде энергосбережения при выполнении ZP-плана, ориентированного на достижение Z2-потенциала

Таким образом, реализация ZP-плана позволит при первоначальных инвестициях в 4,12 млн. руб. для первой стратегии и 34,39 – для второй получить чистую прибыль в размере 3,51 и 53,3 млн. руб., соответственно. При этом расчётное значение индекса доходности для первой стратегии составляет 0,89, для второй – 1,55. Более высокая доходность второй стратегии обусловлена, с одной стороны, массовым техническим переоснащением объектов, а с другой – более равномерным формированием фонда энергосбережения на всём горизонте планирования. Первоначальные инвестиции окупятся на втором шаге ZP-плана, и сэкономленная электроэнергия начнет приносить чистую прибыль. Проведенный анализ подтверждает экономическую целесообразность обеих стратегий энергосбережения, а его результаты можно использовать в формировании соответствующих инвестиционных программ.

4.4. Проверка достоверности и работоспособности методики

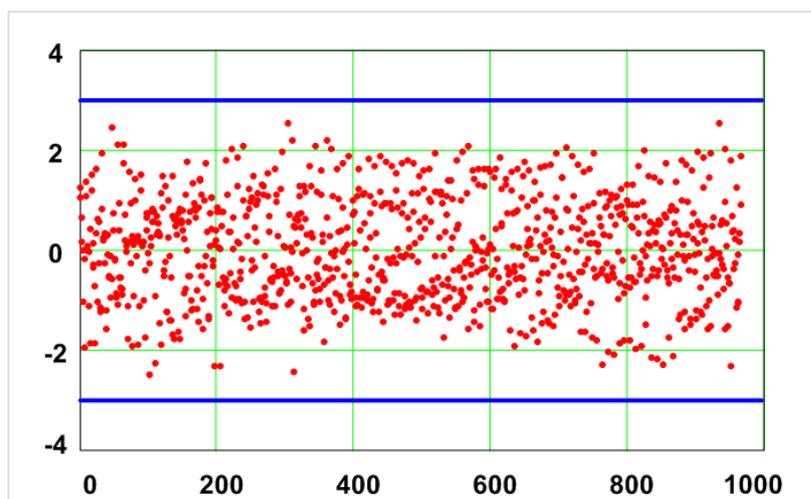
Построение ZP-плана опирается на учёт действующих вероятностных закономерностей, что позволяет с использованием имитационного принципа моделировать электропотребление объектов техноценоза. В свою очередь, это предполагает знание закона распределения наблюдаемой выборочной совокупности, правомерность использования которого должна подтверждаться статистической проверкой гипотезы. Так моделирование электропотребления рангов осуществляется с использованием нормального закона распределения. Проверка верности данного допущения опирается на анализ стандартизированных значений (Приложение И), вычисляемых для каждого ранга по выражению вида:

$$\hat{w} = \frac{w - \bar{w}}{\sigma_w}, \quad (4.6)$$

- где \hat{w} – стандартизированное значение;
 w – наблюдаемое электропотребление ранга;
 \bar{w} – среднее электропотребление ранга;
 σ_w – СКО электропотребления ранга.

Применяя выражение (4.6) к матрице ранговых распределений электропотребления предприятия с 2004 по 2011 годы, формируем матрицу стандартизированных значений, для которой выполняются тесты на отсутствие выбросов и принадлежности к нормальному закону распределения.

Выбросом называется значение, которое по абсолютной величине превосходит остальные и отличается от среднего более чем на три среднеквадратических отклонения [52,77]. На рисунке 4.17 видно отсутствие выбросов, так как все стандартизированные значения лежат в пределах доверительного интервала.



Абсцисса – индекс; ордината – значение стандартизированной величины; точки – стандартизированные значения; сплошные линии – границы интервала, соответствующие трем СКО

Рисунок 4.17 – Проверка стандартизированных значений на наличие выбросов

При оценке параметров законов распределения предполагается, что они сформировались в результате действия множества случайных факторов при отсутствии доминирования какого-либо неуправляемого, неконтролируемого отдельного фактора [76]. Если это условие выполняется, то распределение остатков будет подчиняться закону Гаусса. Проверка остатков на соответствие нормальному закону распределения осуществлялась по критерию согласия Колмогорова-Смирнова (Приложение И)[76]. Статистика критерия с использованием значений теоретической и эмпирической функций распределения (рисунок 4.18) рассчитывается по следующему выражению:

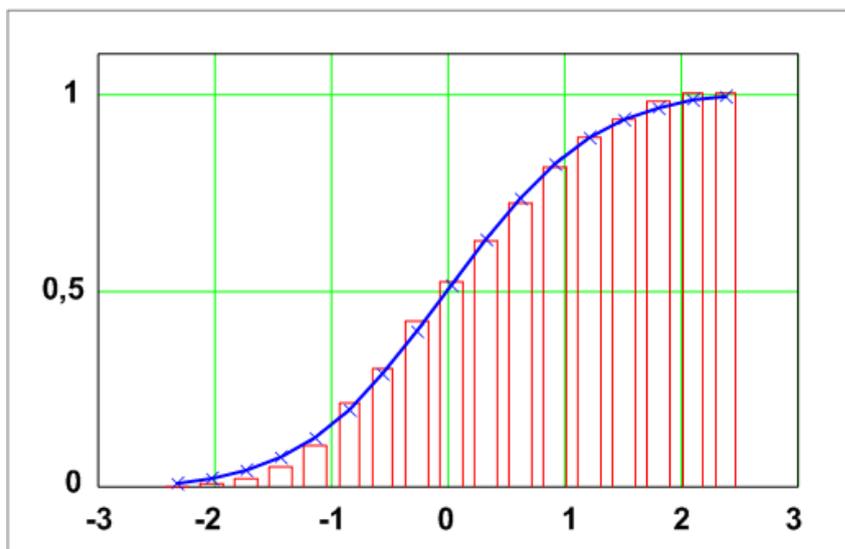
$$\gamma_n = \sup_x |F'(x) - F(x)|, \quad (4.7)$$

где $\sup S$ – точная верхняя грань множества $S = |F'(x) - F(x)|$;

$F'(x)$ – эмпирическая функция распределения;

x – наблюдаемое значение случайной величины;

$F(x)$ – теоретическая функция распределения.



Абсцисса – стандартизированные значения; ордината – значение функции распределения; гистограмма – эмпирические значения; кривая линия – теоретические значения

Рисунок 4.18 – Функция распределения стандартизированных значений

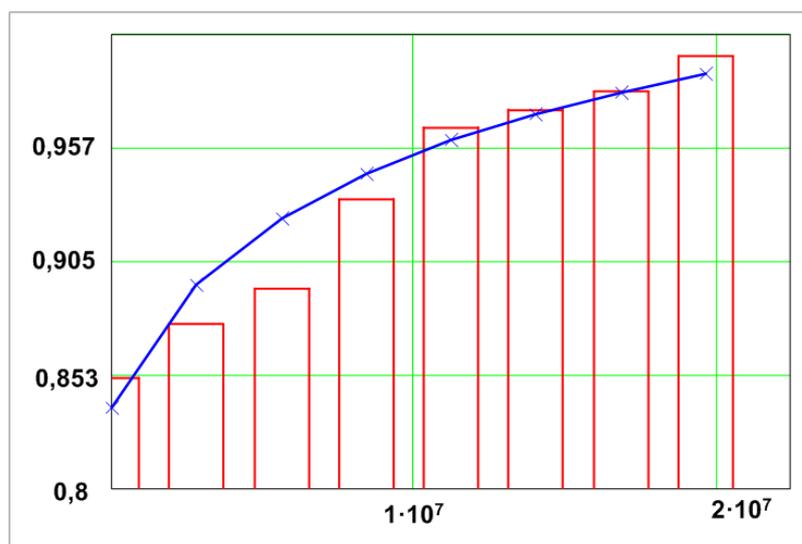
Если статистика $\sqrt{n} \cdot \gamma_n$ превышает процентную точку распределения Колмогорова K_α для заданного уровня значимости α , то гипотеза о соответствии теоретическому закону распределения отвергается. При значении α , достаточно близком к единице, K_α рассчитывается по выражению:

$$K_\alpha \approx \sqrt{-\frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)}. \quad (4.8)$$

Для расчета критерия (4.7) использовалась вся совокупность стандартизированных значений. Наблюдаемое значение статистики $\sqrt{n} \cdot \gamma_n$ составило 0,765, значение процентной точки распределения K_α при $\alpha = 0,95$ составило 0,856. Так

как $\sqrt{n} \cdot \gamma_n < K_{\alpha=0,95}$, то гипотеза о принадлежности выборки стандартизированных значений к нормальному закону распределения подтверждается, что свидетельствует о правомерности его использования для моделирования электропотребления рангов.

Аналогичным образом проводилась проверка статистической гипотезы о принадлежности исследуемой выборочной совокупности данных по электропотреблению распределению Ципфа (Приложение И). В контрольную выборку были выделены данные по электропотреблению 2007 года. При девяти интервалах группирования (рисунок 4.19) наблюдаемое значение статистики составило $\sqrt{n} \cdot \gamma_n = 0,443$. Так как $\sqrt{n} \cdot \gamma_n < K_{\alpha=0,95}$, то гипотеза о принадлежности выборки данных закону распределения Ципфа подтверждается.



Абсцисса – электропотребление, кВт·ч в год; ордината – значение функции распределения; гистограмма – эмпирические значения; кривая линия – теоретические значения.

Рисунок 4.19 – Функция распределения данных по ЭП за 2007 год

В целях проверки обоснованности полученных выводов для техноценоза в целом проводилась проверка соответствия двух любых выборок данных по электропотреблению одному закону распределения [77]. В этом случае статистика критерия вычисляется по выражению вида:

$$\gamma_n = \sup_x |F_1(x) - F_2(x)|, \quad (4.7)$$

где $\sup S$ – точная верхняя грань множества $S = |F_1(x) - F_2(x)|$;

$F_1(x)$ – эмпирическая функция первого распределения;

x – наблюдаемое значение случайной величины;

$F_2(x)$ – эмпирическая функция второго распределения.

Результаты вычисления статистики $\sqrt{\frac{n}{2}} \cdot \gamma_n$ [77] для двух произвольных вы-

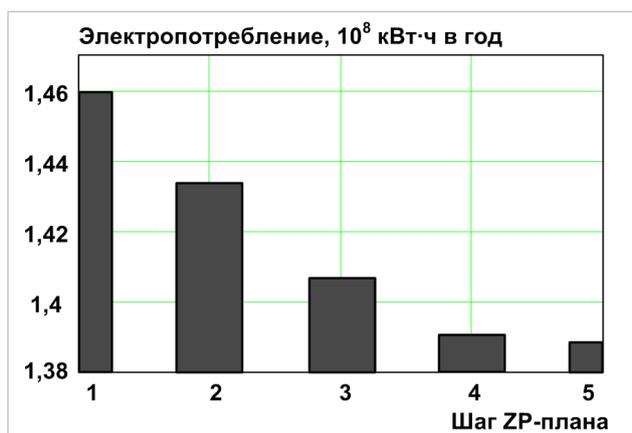
борок годовых данных по электропотреблению предприятия вошли в интервал $[0,018; 0,055]$. Так как полученные значения статистики меньше $K_{\alpha=0,95}$, то гипотеза о принадлежности выборок годовых данных по электропотреблению объектов одному закону распределения подтверждается.

Таким образом, обоснованность положений, лежащих в основе методики ZP-анализа, подтверждена проверкой статистических гипотез, что свидетельствует о достоверности полученных научных результатов.

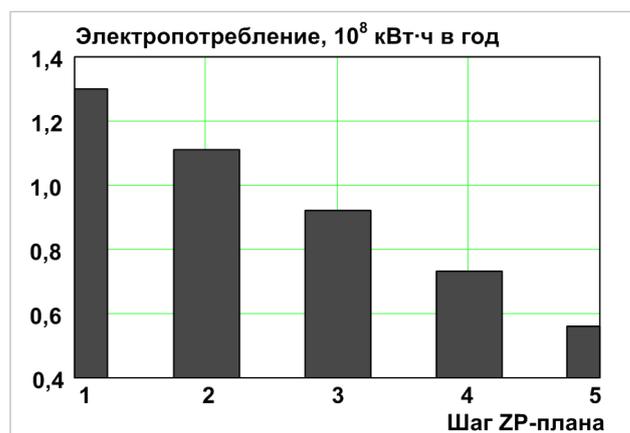
В основе оценки работоспособности разработанной методики лежит анализ ZP-плана энергосбережения на перспективу пяти лет для двух стратегий (Приложения М, Н): первая, которая ориентируется на реализацию Z1-потенциала и вторая – Z2-потенциала. Предполагается, что на горизонте планирования установлена системная норма снижения электропотребления, равная 20 % от величины Z-потенциала. Основными данными для анализа являются: суммарное электропотребление предприятия, фактическая величина Z-потенциала, совокупность индивидуальных норм снижения электропотребления объектов, фактическая величина системной нормы снижения, среднее относительное отклонение объектов от границы Z-потенциала на последнем шаге ZP-плана.

Графики суммарного электропотребления (рисунки 4.20,а и 4.20,б), величины Z-потенциала (рисунки 4.21,а и 4.21,б) и ранговые поверхности (рисунок 4.22 и 4.23) свидетельствуют о тенденции к снижению.

При этом для первой стратегии характерна нелинейность, вызванная тем, что ряд объектов уже на третьем и четвертом шагах ZP-плана достигают границы Z-потенциала, и для них на последующих шагах устанавливается нулевая индивидуальная норма снижения электропотребления. Причиной этого является наличие слабых связей между объектами, моделируемых распределениями Ципфа и ранговыми перестановками, которые в условиях плановых управляющих воздействий приводят к появлению суммарного эффекта на системном уровне.

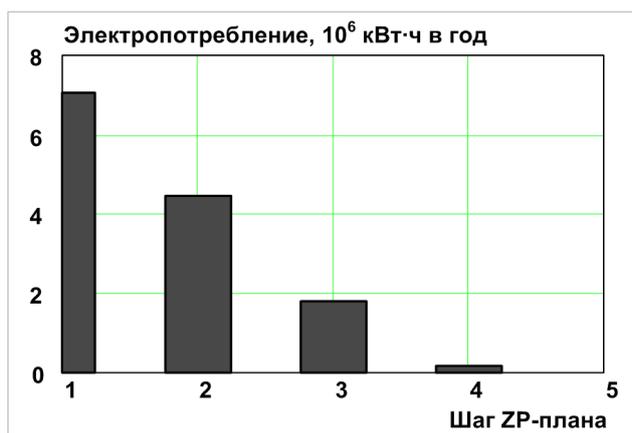


а) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z1-потенциала

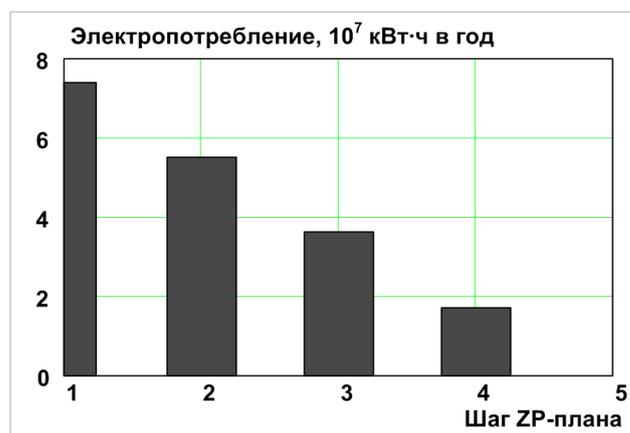


б) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z2-потенциала

Рисунок 4.20 – Суммарное электропотребление предприятия

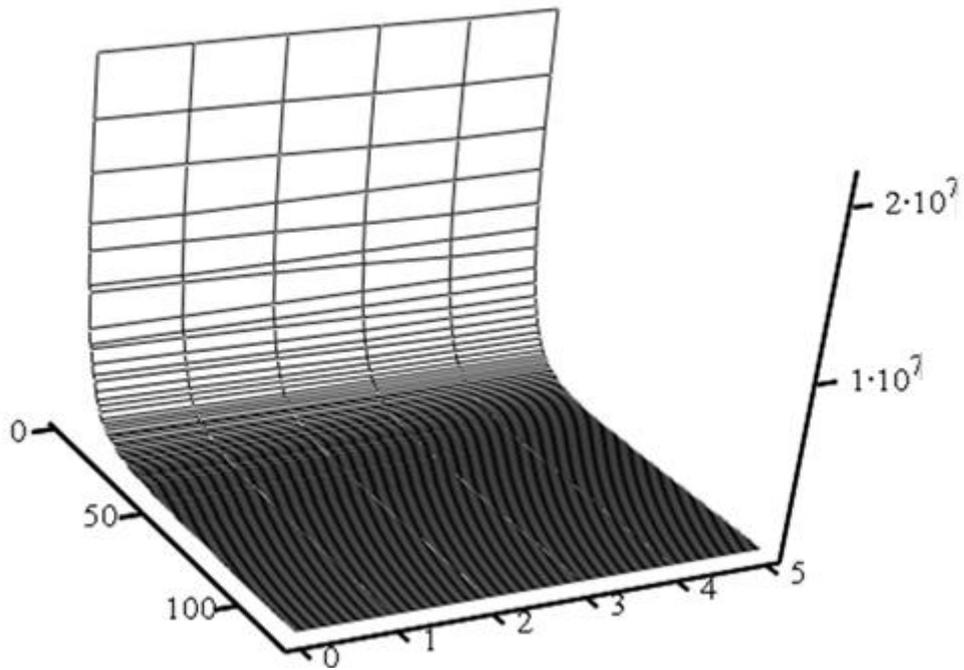


а) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z1-потенциала



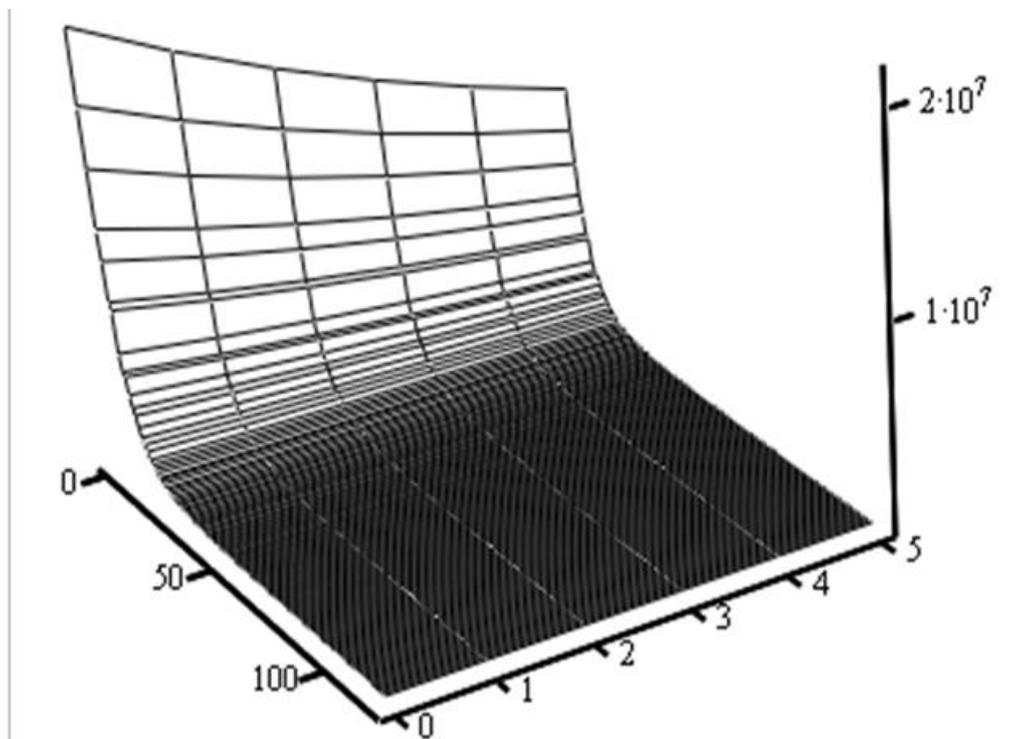
б) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z2-потенциала

Рисунок 4.21 – Величина потенциала энергосбережения



Абсцисса – ранг объекта; ордината – шаг ZP-плана;
 аппликата – электропотребление, кВт·ч в год

Рисунок 4.22 – Ранговая поверхность электропотребления для стратегии, ориентированной на достижение Z1-потенциала



Абсцисса – ранг объекта; ордината – шаг ZP-плана;
 аппликата – электропотребление, кВт·ч в год

Рисунок 4.23 – Ранговая поверхность электропотребления для стратегии, ориентированной на достижение Z2-потенциала

Величина фактической системной нормы снижения электропотребления вычисляется по следующему выражению:

$$\Delta W_F = \frac{\sum_{i=1}^n W_{i,t} - W_{i,t-1}}{\Delta W}, \quad (4.8)$$

где $\delta_{k,t}$ – норма снижения электропотребления;

$W_{i,t}$ – величина электропотребления i -го объекта на t -ом шаге ZP-плана;

i – индекс объекта;

ΔW – величина потенциала энергосбережения.

Фактическая системная норма снижения в рамках второй стратегии (рисунок 4.24) находится на уровне плановой величины $\Delta W^{PL} = 20\%$, причиной её резкого изменения в рамках первой стратегии является организационный характер и малая по сравнению с Z2-потенциалом величина Z1-потенциала.

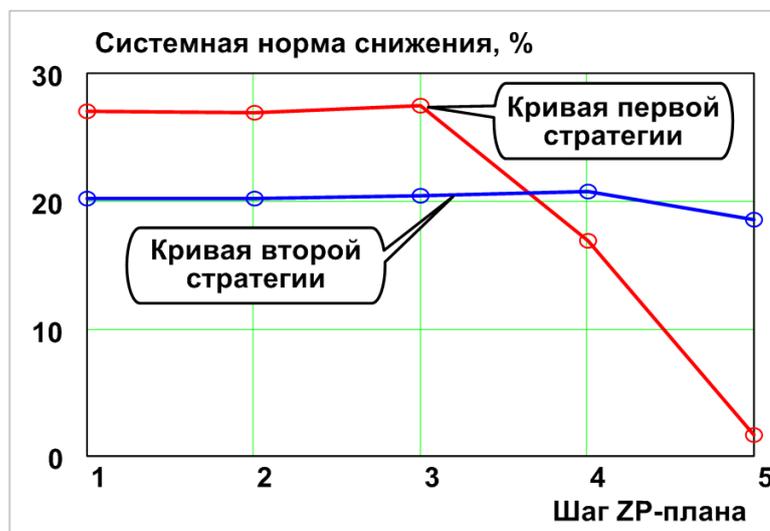


Рисунок 4.24 – Графики фактической системной нормы снижения

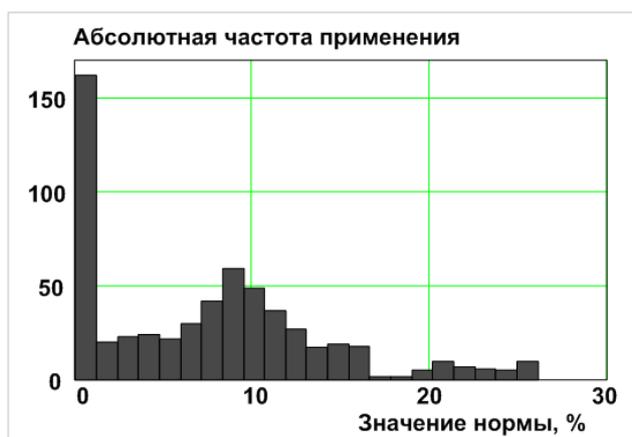
Вычисление индивидуальных норм снижения электропотребления объектов на основе плановых значений осуществляется по следующему выражению:

$$\delta_{i,t} = \frac{W_{i,t} - W_{i,t-1}}{W_{i,t}}, \quad (4.9)$$

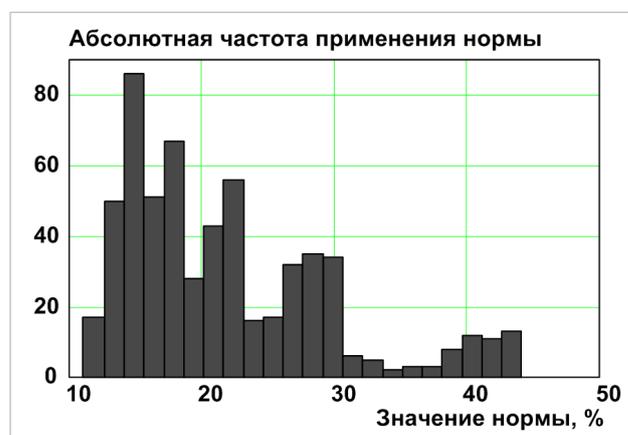
где $\delta_{i,t}$ – норма снижения электропотребления;

$W_{i,t}$ – величина планового электропотребления;
 i – индекс объекта;
 t – шаг ZP-плана.

На основе совокупности индивидуальных норм снижения электропотребления объектов строятся гистограммы (рисунки 4.25а, 4.25б) и графики изменения среднего и максимального значений (рисунки 4.26а, 4.26б). Пик гистограммы и диапазон величин (рисунок 4.25б) приходится на большие по сравнению с 4.25а значения, что объясняется большей величиной Z2-потенциала.



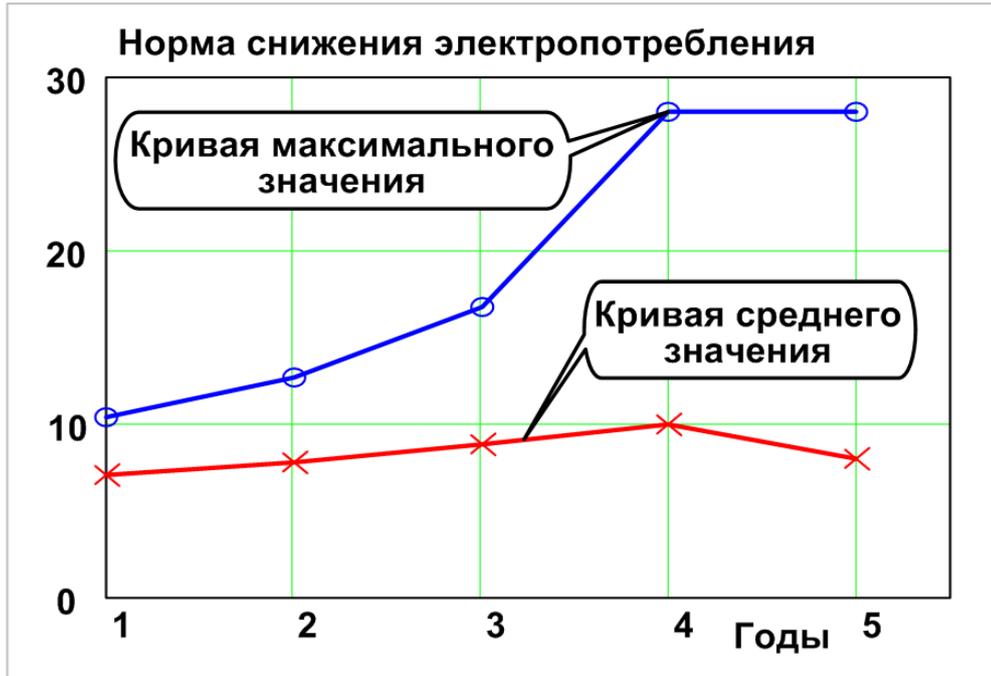
а) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z1-потенциала



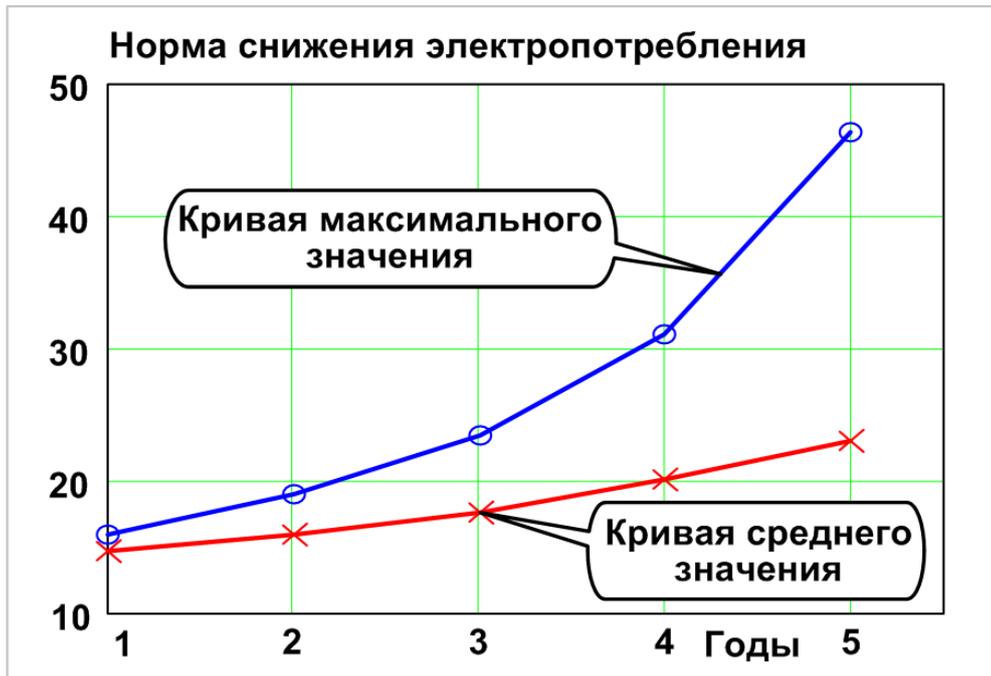
б) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z2-потенциала

Рисунок 4.25 – Гистограмма частоты применения норм снижения электропотребления

Рост среднего и максимального значений индивидуальной нормы снижения (рисунки 4.26а, 4.26б) является причиной того, что на начальных шагах ZP-плана сокращение электропотребления осуществляется за счет более энергоёмких объектов. На последующих шагах для обеспечения 20 %-й системной нормы снижения менее энергоёмким объектам предъявляются повышенные индивидуальные нормы.



а) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z1-потенциала



б) стратегия, ориентированная на достижение уровня Z2-потенциала

Рисунок 4.26 – Графики норм снижения электропотребления

В результате выполнения ZP-плана объекты двигаются к границе Z-потенциала, однако в силу действующих системных ограничений и специфики предприятия не все из них достигают плановых показателей экономии электроэнергии. Оценка качества полученных результатов ZP-плана осуществляется при помощи следующих показателей:

- Δ_{ZP} доля реализованного Z-потенциала энергосбережения, %;
- \bar{s} среднее относительное отклонение объектов от границы Z-потенциала, %;
- s^{\max} максимальное относительное отклонение объектов от границы Z-потенциала, %;
- n_{ZP} доля объектов, достигнувших границы Z-потенциала, %.

Приведенные показатели качества вычисляются при помощи следующих выражений:

$$\Delta_{ZP} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{ZP} - W_i^*}{\Delta W}; s_i = \frac{W_i^{ZP} - W_i^*}{W_i^{ZP}}; \quad (4.10)$$

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}; s^{\max} = \sup_{1 \leq i \leq n} (s_i); n_{ZP} = 100 \cdot \frac{n_Z}{n},$$

- где W_i^{ZP} – электропотребление i-го объекта на последнем шаге ZP-плана;
- W_i^* – электропотребление i-го объекта на границе Z-потенциала;
- ΔW – величина потенциала энергосбережения;
- s_i – относительное отклонение i-го объекта от границы Z-потенциала;
- n_Z – количество объектов, достигнувших границы Z-потенциала;
- n – общее количество объектов предприятия.

Для двух стратегий вычисленные показатели качества ZP-плана приведены в таблице 4.3. Сравнительная оценка позволяет заключить, что, несмотря на разницу

подходов в определении потенциала энергосбережения, реализация соответствующих стратегий по его достижению дает согласованные результаты.

Таблица 4.3 – Показатели качества ZP-плана

Показатель	Стратегия достижения уровня	
	Z1-потенциала	Z2-потенциала
Δ , %	99,97	99,95
\bar{s} , %	0,28	0,21
s^{\max} , %	5,92	6,41
n_{ZP} , %	85,95	90,08

Таким образом, значения показателей качества ZP-плана, характер изменения электропотребления и потенциала энергосбережения, статистика системных и индивидуальных норм снижения соответствуют замыслу методики ZP-анализа. Согласно этому замыслу путем целенаправленных воздействий в заданном горизонте управления предприятие к указанному моменту времени реализует Z1- или Z2- потенциал энергосбережения. Управляющее воздействие выражается в требовании к каждому объекту снизить своё электропотребление на индивидуальную для него плановую величину.

Выводы

1. Разработана концепция построения автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии, заключающейся в реализации высокоточного приборного учёта электроэнергии на объектах предприятия.

2. Показано, что наличие высокоточного приборного учёта позволит упорядочить электропотребление предприятия и анализировать его совместно с другими показателями производственной деятельности, это создаст предпосылки для управления энергосбережением на коротких горизонтах планирования и позволит выявлять как дополнительные источники для экономии электроэнергии, так и причины её перерасхода.

2. Для автоматизации процесса управления энергосбережением данные по электропотреблению должны храниться в базе данных под управлением СУБД. Для решения этой задачи было проведено информационно-логическое проектирование, в результате которого создана модель данных. Реализация этой модели с использованием языковых средств СУБД позволяет не только централизованно хранить данные и оперировать ими на уровне всей системы, но и выполнять ряд вычислительных задач методики ZP-анализа.

3. Результаты экономической оценки показали, что реализация ZP-плана при первоначальных инвестициях в 4,12 млн. руб. для первой стратегии и 34,39 для второй позволит получить чистую прибыль в размере 3,51 и 53,3 млн. руб., соответственно. При этом расчетное значение индекса доходности для первой стратегии составляет 0,89, для второй – 1,55. Первоначальные инвестиции окупятся на втором шаге ZP-плана, и сэкономленная электроэнергия начнет приносить чистую прибыль, что подтверждает экономическую целесообразность обеих стратегий энергосбережения, результаты которых можно использовать в формировании инвестиционных программ.

4. Оценка адекватности методики ZP-анализа проводилась путем проверки статистических гипотез, лежащих в основе принятых допущений. Проверялась принадлежность стандартизированных данных к нормальному закону распределения, данных по электропотреблению – к распределению Ципфа, однородность анализируемых выборок. Полученные значения статистических критериев не превышают критические, что свидетельствует о достоверности полученных научных результатов.

5. Работоспособность методики проверялась с использованием показателей качества ZP-плана, составленного для двух стратегий. Первая ориентируется на достижение предприятием в перспективе пяти лет уровня Z1-потенциала, а вторая – Z2-потенциала. Полученные оценки для обеих стратегий согласуются между собой и соответствуют замыслу методики ZP-анализа, а их динамика определяется сущностью и особенностями Z1- и Z2-потенциалов.

6. Полученные оценки подтверждают качественную работу методики на среднесрочную перспективу, что делает обоснованным её применение для систем техноценологического типа другой природы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализированы особенности классического (традиционного) и техноценологического подходов к оценке потенциала энергосбережения крупного промышленного предприятия. Выявлено, что объекты исследуемого предприятия образуют протяженную территориально-распределенную электроэнергетическую инфраструктуру – техноценоз, для управления электропотреблением которого необходимо использовать особые подходы, основанные на методологии рангового анализа.

2. Исследованы структурные свойства системного потенциала энергосбережения и установлено, что он характеризуется двумя устойчивыми во времени уровнями. Первый уровень, Z1-потенциал реализуется за счёт организационных мероприятий. Второй уровень, Z2-потенциал реализуется за счёт распространения в техноценозе доступных для него в данный момент времени, лучших энергоэффективных решений. Разработан порядок определения границ Z1- и Z2- потенциалов энергосбережения. Для определения границы Z2-потенциала разработана процедура ZP-нормирования, в рамках которой осуществляется пересчёт электропотребления объектов на основе лучших внутригрупповых показателей энергоэффективности. При этом в функциональную группу включаются объекты, имеющие одинаковое назначение и схожий режим функционирования. Для предприятия установлено, что в процентном соотношении величина Z1-потенциала энергосбережения составляет 7 %, а Z2-потенциала – 62 %.

3. Разработана и программно реализована методика ZP-анализа (Приложение Р), которая использует методы традиционного подхода к оценке потенциала энергосбережения, проявляющиеся в том, что в функциональной группе техноценоза определяется наиболее энергоэффективный объект, показатели электропотребления которого пересчитываются для других объектов этой группы. При этом для определения границы Z-потенциала, учитывающего системные свойства инфраструктуры, находят применение методы техноценологического подхода. Одновременное применение методов обоих подходов позво-

ляет в полной мере реализовать их положительные стороны и придаёт разработанной методике ZP-анализа научную и практическую ценность.

4. Для реализации Z-потенциала энергосбережения исследованы вероятностные закономерности, действующие в ранговых распределениях по электропотреблению и разработана методика ZP-планирования, использующая имитационный принцип моделирования, по результатам применения которой построены два варианта ZP-плана. Первый нацелен на достижение границы Z1-потенциала, второй – Z2-потенциала. Значения интегральных показателей эффективности и конверсии, полученные по данным ZP-планов, подтверждают общий замысел методики ZP-анализа.

4. Выработаны предложения по построению АИИС КУЭ предприятия, объекты которого рассредоточены на значительной территории. Для выполнения своих функций, АИИС КУЭ должна иметь многоуровневую структуру: первый уровень образуют первичные измерительные приборы (ПИП), второй уровень – устройства сбора и подготовки данных (УСПД), третий уровень – центры сбора и подготовки данных (ЦСПД), четвертый уровень – главный центр сбора и подготовки данных (ГЦСПД) с автоматизированными рабочими местами руководителей. Разработана модель данных, позволяющая средствами СУБД решать задачи методики ZP-анализа.

5. Произведена экономическая оценка методики ZP-анализа для объектов ООО «Газпром добыча Уренгой», которая показала, что реализация ZP-плана при первоначальных инвестициях в 4,12 млн. руб. по первому варианту и 34,39 по второму позволит получить чистую прибыль в размере 3,51 и 53,3 млн. руб., соответственно. Первоначальные инвестиции окупятся на втором шаге ZP-плана, и сэкономленная электроэнергия начнет приносить чистую прибыль. Проведенная оценка работоспособности показала правомерность всех гипотез, лежащих в основе моделирующих алгоритмов, при этом значения показателей качества обоих вариантов ZP-плана являются непротиворечивыми.

Таким образом, разработанная методика ZP-анализа является инструментом повышения энергоэффективности производства (Приложение П), который позволяет количественно оценить допустимую величину экономии электроэнергии, определить первоначальные инвестиционные затраты, установить в заданном горизонте плановые значения электропотребления, в заданном цикле управления осуществлять мониторинг результативности энергосберегающих мероприятий. Её неоспоримым достоинством является наличие механизма определения индивидуальной нормы снижения электропотребления для каждого объекта так, что их выполнение всеми объектами приведет на системном уровне к требуемому результату.

Обозначения и сокращения

ЭП	– электропотребление
ЭСО	– энергоснабжающая организация
МО	– математическое ожидание
СКО	– среднеквадратическое отклонение
СУБД	– система управления базами данных
БД	– база данных
ИАКОМ	– Информационно-аналитический комплекс
АИИС КУЭ	– автоматизированная информационно-измерительная система контроля, учета электроэнергии
РЭК	– региональный электротехнический комплекс
РГМ	– расчётно-графический модуль
ПИП	– первичные измерительные приборы
УСПД	– устройство сбора и подготовки данных
ЦСПД	– центр сбора и подготовки данных
ГСЦПД	– главный центр сбора и подготовки данных
АРМ	– автоматизированное рабочее место
РМД	– реляционная модель данных
КТП	– комплектная трансформаторная подстанция

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: ФЗ РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Об электроэнергетике: ФЗ РФ от 26 марта 2003 г. № 35. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
3. О государственном регулировании тарифов на электрическую и тепловую энергию в Российской Федерации: ФЗ РФ от 14 апреля 2005 г. № 41. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
4. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.: Распоряжение Правительства России от 13 ноября 2009 г. №1715-р.
6. Генеральная стратегия размещения объектов электроэнергетики до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ от 22 февраля 2008 г. № 215-р.
7. ГОСТ Р 51749-2001. Энергосбережение. Энергопотребляющее оборудование общепромышленного применения. Виды. Типы. Группы. Показатели энергетической эффективности. Идентификация.
8. ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения.
9. Айвазян, С.А. и др. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
10. Айвазян, С.А., Мхитарян, В.С. Прикладная статистика в задачах и упражнениях: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 270 с.
11. Бусленко, В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1977. – 240 с.
12. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для вузов. Изд. 7-е, стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 479 с.: ил.

13. Гнатюк, В.И. Техноценологический подход к оценке эффективности вооружения и военной техники // Математическое описание ценозов и закономерности технетики. – Выпуск 1. Ценологические исследования. – Абакан: Центр системных исследований, 1996. – С. 229 – 239.

14. Гнатюк, В.И. Техноценологический подход к оптимизации системы электроснабжения войск. – Калининград: КВИ ФПС РФ, 1996. – 56 с.

15. Гнатюк, В.И. Моделирование и оптимизация в электроснабжении войск: монография. – Выпуск 4. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1997. – 216 с.

16. Гнатюк, В.И. Лекции о технике, техноценозах и техноэволюции. – Калининград: Изд-во КВИ ФПС РФ, 1999. – 84 с.

17. Гнатюк, В.И. Оптимальное построение техноценозов. Теория и практика: монография. – Выпуск 9. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1999. – 272 с.

18. Гнатюк, В.И., Лагуткин О.Е. Ранговый анализ техноценозов. – Калининград: БНЦ РАЕН – КВИ ФПС России, 2000. – 86 с.

19. Гнатюк, В.И., Северин А.Е. Ранговый анализ и энергосбережение. – Калининград: КВИ ФПС России – ЗНЦ НТ РАЕН, 2003. – 120 с.

20. Гнатюк, В.И. и др. // Журнал «Электрика», 2003 – 2008. – Цикл статей, раскрывающих опыт применения пакета Mathcad для решения задач оптимального управления электропотреблением техноценозов.

21. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов: монография. – Выпуск 29. Ценологические исследования. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с.

22. Гнатюк, В.И. Оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса (техноценоза): монография. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2006. – 147 с.

23. Гнатюк, В.И., Луценко Д.В. Прогнозирование электропотребления регионального электротехнического комплекса на инерционном этапе развития: монография. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2009. – 92 с.

24. Гнатюк, В.И., Луценко, Д.В. Прогнозирование электропотребления на основе GZ-анализа: монография. – Калининград: КПИ, 2010. – 144 с.

25. Гнатюк В.И. Философские основания техноценологического подхода: монография. – Калининград: Изд-во КПИ, 2010. – 284 с.

26. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов: статья: интернетресурс. – Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2013. – 19 с. – Адрес доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/zakon.pdf>.

27. Гнатюк, В.И. Потенциал энергосбережения техноценоза: трактат: интернет-ресурс. – Калининград: КИЦ «Техноценоз», 2013. – 56 с. – Адрес доступа: <http://gnatukvi.ru/index.files/potential.pdf>.

28. Гнатюк, В.И. и др. Нормирование электропотребления объектов регионального электротехнического комплекса с использованием предельного алгоритма: монография. – Калининград: Изд-во КПИ, 2012. – 289 с.

29. Гнатюк, В.И., Шейнин, А.А. Нормирование электропотребления регионального электротехнического комплекса: монография. – М.: Изд-во ИНП РАН, 2012. – 102 с.

30. Гнатюк, В.И. Техника, техносфера, энергосбережение: интернетсайт. – М., 2000 – 2013. – Адрес доступа: <http://www.gnatukvi.ru>.

31. Гнатюк, В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Компьютерная версия, перераб. и доп. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005 – 2013. – Адрес доступа: <http://gnatukvi.ru/ind.html>.

32. Гнатюк, В.И., Пантелеев В.И., Заименко А.А. Потенширование в методике оптимального управления электропотреблением техноценоза// Журнал Сибирского Федерального университета. Инженерия и технологии Ч.1, 2014. – С. 116-124

33. Данилов, Н.И., Щелоков Я.М.. Основы энергосбережения. Учебник. ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет – УПИ. – Екатеринбург, 2006. – 564 с.

34. Двойрис, Л.И., Гнатюк, В.И., Луценко Д.В. и др. Моделирование систем: учебник. – Калининград: Изд-во КПИ, 2009. – 650 с.

35. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. В 2-х кн. Кн 1. / Пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп./ Н. Дрейпер, Г. Смит – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.

36. Данилов, О.Л. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Электронный курс. МЭИ. <http://ekonomych.narod.ru/sbereg/index.htm>.

37. Данилов, О.Л., Яковлев, И.В., Гаряев, А.Б. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. Учебник для Вузов. – Москва. Московский энергетический институт. 2011. – 424 с.

38. Дмитриев А.Н. Управление энергосберегающими инновациями: Учебное пособие для вузов. – Москва. Издательство Ассоциации строительных вузов. 2001. – 320 с.

39. Дюк, В.А. Обработка данных на ПК в примерах. – СПб: Питер, 1997.

40. Заименко, А.А., Луценко, Д.В. и др. Анализ нормативно-правовой базы Российской Федерации по энергосбережению // Материалы XXV Межвузовской конференции: науч.-метод. сб. – Калининград: КПИ ФСБ РФ, 2009. – № 25/1.

41. Заименко А.А., Гнатюк В.И. Эффективность и потенциал энергосбережения на объектах техноценоза // XXV Межвузовская конференция: науч.-метод. сб. – Калининград: КПИ ФСБ РФ, 2009. – № 27/3.

42. Заименко А.А., Луценко Д.В. Определение потенциала энергосбережения техноценоза при помощи алгоритма кластеризации // XXV Межвузовская конференция: науч.-метод. сб. – Калининград: КПИ ФСБ РФ, 2009. – № 27/3.

43. Заименко А.А., Гнатюк В.И. Потенциал энергосбережения производственного электротехнического комплекса // Фёдоровские чтения: XL Всероссийская научно-практическая конференция: сб. тр. – Москва: МЭИ, 2010.

44. Заименко А.А. Определение потенциала энергосбережения на основе техноценологического подхода // IV Всероссийская научно-техническая конференция: материалы: сб. ст. – Пермь, : ПНИПУ, 2011.

45. Заименко А.А., Гнатюк В.И., Кивчун О.Р., Луценко Д.В. Отчёт по НИР «Разработка подсистемы программно-аппаратного комплекса для оценки потенциала энергосбережения регионального электротехнического комплекса на основе понятия Z-потенциала» // Калининград: ООО «Интелэнерго-39», 2013. - рег. ВНТИЦ.-№ 01201280470

46. Зубков, С.В. Состояние и перспективы развития ТЭК. Институт экономики и антикризисного управления. Интернетсайт. – Адрес доступа: http://www.ieay.ru/nauch/sc_article/2007/01/Zubkov.shtml

47. Кивчун, О.Р. База данных информационно-аналитического комплекса управления электропотреблением объектов Балтийского флота. г. Москва, журнал «Электрика» № 3.

48. Кивчун, О.Р. Комплексная процедура рангового анализа. Калининград, НС, МЭСИ.

49. Кивчун, О.Р. Методика автоматизации процедур рангового анализа основанная на комплексной процедуре рангового анализа. г. Москва, журнал «Электрика» № 3.

50. Кивчун, О.Р., Дорофеев, С.А, Дюндик, П.Ю. Электротехнический комплекс Калининградской области: состояние, проблемы и перспективы развития. Москва, сборник трудов XI всероссийской научно-практической конференции (с международным участием).

51. Корн, Г., Корн, Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1978. – 832 с.

52. Королюк, В.С., Портенко, Н.И. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

53. Концепции и программы энергосбережения. Интернетсайт.– Адрес доступа: <http://www.ru/nature/energy/>

54. Кудрин, Б.И. Очерки полевого учета. – Выпуск 6. Ценологические исследования. – М.: Центр системных исследований, 1998. – 192 с.

55. Кудрин, Б.И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 5-17.

56. Кудрин, Б.И. Символизм и основы технетики (становление неклассического мышления). – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 43 с.

57. Кудрин, Б.И. Электрика как развитие электротехники и электроэнергетики. – Третье издание, исправленное, переработанное – Томск: Издательство ТГУ, 1998. – 40 с.

58. Кудрин, Б.И., Жилин, Б.В. и др. Ценологическое определение параметров электропотребления многономенклатурных производств. – Тула: Приокск. кн. изд-во, 1994. – 122 с.

59. Кудрин, Б.И. Введение в технетику / Б.И. Кудрин. – Томск: Томск. гос. ун-т, 1993. – 552 с.

60. Кудрин, Б.И. Выделение и описание электрических ценозов / Б.И. Кудрин // Изв. вузов. Электромеханика. – №7. – 1985.

61. Кудрин, Б.И. Канонизация и управление видовой структуры ценоза. Принцип максимума энтропии / Б.И. Кудрин, С.А. Кудряшев, В.В. Фуфаев, А.Е. Якимов // Общая биология. Морфология и генетика процессов роста и развития. – М: Наука, 1989. – С. 69-75.

62. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интермет инжиниринг, 2005. – 672 с.

63. Лагуткин, О.Е. Метафизические представления понятия техноценоз. Трансцендентность и трансцендентальность техноценозов и практика Н-моделирования (будущее инженерии) / О.Е. Лагуткин // Материалы V международной научной конференции по философии техники и технетики. – Калининград, 2000.

64. Литвак, В.В., Дидрих, В.В. Энергосбережение (энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях). Учебное пособие. – Томск. Томский политехнический университет. 2011. – 178 с.

65. Луценко, Д.В. Информационно-аналитический комплекс «Электросбережение объектов техноценоза» / Д.В. Луценко, В.И. Гнатюк, Электрооборудование судов и электроэнергетика. Сборник научных трудов: Калининград, КГТУ – 2005, С. 15-26.

66. Мандельброт, В. Теория информации и психолингвистика. Теория частот слов / В. Мандельброт // Энергохозяйство за рубежом. – № 4. – 1982. – С. 22-28.

67. Марасанов, А.М. Распределённые базы и хранилища данных / А.М. Марасанов, Н.П. Аносова, О.О. Бородин, Е.С. Гаврилов, БИНОМ, Лаборатория знаний. Интернет-университет информационных технологий – ИНТУИТ. РУ, 2007.

68. Меламед, А.М. Моделирование динамики изменений потребления электроэнергии энергосистем при неполной информации [Текст] / А.М. Меламед, В.Ф. Тимченко, К.А. Сааред // Электричество. – №9. – 1977. – С. 66-69.

69. Митюшкин, К.Г. Телеконтроль и телеуправление в энергосистемах / К.Г. Митюшкин. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 287 с.

70. Митрова, Т.А. Газовая отрасль России как основа формирования евразийского рынка углеводородов: материалы 84 заседания открытого семинара

«Экономические проблемы энергетического комплекса». – М.: Изд-во ИНП РАН, 2008. – 34 с.

71. Негауссовость социальных явлений и эволюция // Электрификация металлургических предприятий Сибири. Вып.12. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2005. С. 291-300.

72. Некрасов, А.С. Анализ и прогнозы развития отраслей топливно-энергетического комплекса. Избранные труды.–М.: Издание ООО «Лето Индастриз». 2013. – 592 с.

73. Нигматулин, Б.И. Корректировка «Схемы и программы развития единой энергетической системы России на 2014-2018 гг.»: материалы 132 заседания открытого семинара «Экономические проблемы энергетического комплекса». – М.: Изд-во ИНП РАН, 2012. – 55 с.

74. Показатели энергоэффективности в оценке результатов работы ТЭК и экономики России за период 2000 – 2012 гг. Реферат обзора: интернетсайт. – Адрес доступа: <http://solex-un.ru/energo/reviews/itogi-4h-let-energoeffektivnosti/energoeffektivnost-ekonomiki-rossii>

75. Разработка методики мониторинга электропотребления регионального электротехнического комплекса ОАО «Янтарьэнерго»: итоговый отчет НИР / испол.: В.И. Гнатюк, Д.В. Луценко, А.А. Заименко [и др.] – Калининград, ВНТИЦ № 01201250539, 2012. – инв. № 45/3.1/970 от 25.06.2012 г.

76. Смоляк, С.А. Устойчивые методы оценивания / С.А. Смоляк, Б.П. Титаренко. – М.: Статистика, 1980.

77. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1.: Пер. с англ. / Под ред. Ллойда Э, Ледермана У, Тюрина Ю.Н. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.

78. Справочник по типовым программам моделирования – Киев: Техника, 1980. – 184 с.

79. Степанов, В.С., Степанова, Т.Б.. Определение эффективности использования энергии в транспортных системах на основе энергетического и эксергетического КПД (на примере трубопроводного транспорта) // Научный журнал Братского государственного университета.– Братск. БрГУ, 2010, №8 – С. 126-132.

80. Степанов, В.С., Степанова Т.Б.. Эффективность использования энергии. Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние. Сиб. энерг. ин-т. - Новосибирск: Наука, 1994. – 257 с.

81. Фуфаев, В.В. Моделирование ценологической самоорганизации динамики простых чисел. – Москва – Абакан: Центр системных исследований, 2004. – 48 с.

82. Фуфаев, В.В. Ценологическое влияние на электропотребление предприятия. – Абакан: Центр системных исследований, 1999. – 124 с.

83. Фуфаев, В.В. Динамика структуры электропотребления региона / В.В. Фуфаев // Энергосбережение и автоматизация проектирования электрохозяйства промышленных предприятий. – М., 1991. – С. 106-110.

84. Фуфаев, В.В. Структурно-топологическая устойчивость динамики ценозов / В.В. Фуфаев // Кибернетические системы ценозов: синтез и управление. – М.: Наука, 1991. – С. 18-26.

85. Хайтун, С.Д. Количественный анализ социальных: Проблемы и перспективы. Изд. 2-е. – М.: КомКнига, 2005. – 280 с.

86. Хайтун, С.Д. Проблемы количественного анализа науки. – М.: Наука, 1989. – 280 с.

87. Хайтун, С.Д. Наукометрия. Состояние и перспективы / С.Д. Хайтун. – М.: Наука, 1983.

88. Энергосбережение и энергоэффективность. Министерство энергетики Российской Федерации: интернет сайт. – Адрес доступа: <http://minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost/>

89. Mandelbrot, B. Les objets fractals: forme, hazard et dimension. – Paris: Flammarion.

90. Stuart, A. An application of the distribution of the ranking concordance coefficient. Biometric, 1951.

91. Zipf, G.K. Human behavior and the prince of least effort. – Massachusetts: Addison Wesley Press, 1949.

92. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: указ Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список объектов предприятия и функциональных групп

Таблица А.1 – Список объектов

Код объекта	Наименование объекта	Код группы
1	Замерной пункт (ЗП-4), НГДУ	13
2	Центральный пункт сбора нефти (ЦПС-1), НГДУ	7
3	Котельная ЦПС-1	3
4	Кусты нефтяных скважин нефтепромысла (НП-1)	2
5	Центральный пункт сбора нефти (ЦПС-2), НГДУ	7
6	Котельная ЦПС-2	3
7	Кусты нефтяных скважин нефтепромысла (НП-2)	2
8	Административное здание НГДУ	5
9	Исследовательские скважины	2
10	Автоматическая газораспределительная станция(АГРС-1)	1
11	Газораспределительная станция УИРС	1
12	Газораспределительная станция УГРЭС	1
13	Газораспределительная станция УТНИ	1
14	Производственная база ЛПУ	11
15	Котельная производственной базы ЛПУ	3
16	Спортивно-оздоровительный комплекс ЛПУ	6
17	Гаражи ЛПУ ГК «Магна»	11
18	База ООО «Северподземтрубопроводстрой»	11
19	База ЗАО «Тюменьпромгеофизика»	11
20	Линейные потребители межпромысловых коллекторов ЛПУ	17
21	База ЗАО «Заполярспецремстрой»	11
22	Производственная база ЛПУ «Западная промзона»	13
23	Общежитие ЛЭС-2	4
24	Вахтовый жилой поселок «Сеноман»	4
25	Контрольно пропускной пункт КПП-1	5
26	Общежитие №1, ул. Геологоразведчиков 2Б	4
27	Общежитие №5, ул. 26 съезда КПСС, д. 15	4
28	Общежитие №5-1, ул. 26 съезда КПСС, д. 15-1	4
29	Общежитие №10, ул. Новая, д. 30	4
30	Общежитие №12, ул. Арктическая, д. 35	4
31	Общежитие №14, ул. Таежная, д. 104	4
32	Общежитие №16, ул. Геологоразведчиков, д. 2А	4
33	Общежитие №17, ул. Геологоразведчиков, д. 2	4
34	Общежитие №18, ул. Арктическая, д. 29	4
35	Общежитие №20, м-н Студенческий, д. 6	4

Таблица А.1 – Продолжение

36	Общежитие №20-1 м-н Студенческий, д. 6	4
37	Общежитие №21, м-н Студенческий, д. 7	4
38	Общежитие №21-1, м-н Студенческий, 8	4
39	Общежитие №2, ул. 26 съезда КПСС, 10	4
40	Промбаза УЭВП	13
41	Здание ЦРиТО, ул. Набережная, д. 44Г	5
42	Лыжная база, ул. Набережная, д. 34	6
43	Спорткомплекс с хоккейным кортом, ул. Журнала «Смена», д. 7	6
44	Гостиница «Русь», ул. Набережная, д. 49	4
45	Гостиница «Урал», м-н Советский, 9-2	4
46	Гостиница "Приполярная" пр-т Ленинградский, д. 15Б	4
47	Блок ЖЭУ м-н Советский, д. 7-4	5
48	ПСС ООО «ГДУ», ул. 26 съезда КПСС, д. 4	5
49	Пресс-центр ООО «ГДУ», пр. Ленинградский, д. 3А	5
50	Административное здание ООО «ГДУ», ул. Юбилейная, д. 3А	5
51	Административное здание НГДУ, м-н Советский, д. 5-5	5
52	УКК ООО «ГДУ» м-н Студенческий	12
53	УКС ООО «ГДУ», ул. Надымская, д. 7Б	5
54	АУП ООО «ГДУ» Блок А, ул. Железнодорожная, д. 8	5
55	АУП ООО «ГДУ» Блок Д, ул. Надымская, д. 7А	5
56	ЯНГИ филиал ТГНГУ, м-н Студенческий	12
57	ЦУС и ЦДП, ул. Железнодорожная, д. 8	5
58	Общежитие №22, м-н Оптимистов	4
59	Общежитие №23, м-н Оптимистов	4
60	Общежитие №2 ул. 26 съезда КПСС 10	4
61	Промбаза УЭВП ООО «ГДУ» с ЛУС	13
62	Промбаза УЭВП ООО «ГДУ» с НЭК	13
63	Общежитие №44, м-н Оптимистов	4
64	КСЦ – Культурно спортивный центр	6
65	Нефтебаза №1	10
66	Нефтебаза №2	10
67	Производственная база хранения №1	9
68	Административное здание производственной базы хранения №2	9
69	Производственная база хранения №3	9
70	Производственная база хранения №4	9
71	Административное здание №1	5
72	Административное здание №2	5
73	Лабораторный корпус	5
74	Поликлиника	14

Таблица А.1 – Продолжение

75	Филиал поликлиники	14
76	Здание дневного стационара	14
77	Санаторий – профилакторий «Газовик»	14
78	Административно-бытовое здание службы безопасности	5
79	Лабораторный корпус №2	5
80	Административное здание	5
81	Лабораторный корпус №1	5
82	Лабораторный корпус №3	5
83	Здание метрологии	5
84	Детский сад «Белоснежка»	15
85	Детский сад «Колобок»	15
86	Детский сад «Снежинка»	15
87	Детский сад «Золотая рыбка»	15
88	Административное здание УДП	5
89	Хозяйственный блок	5
90	Детский сад «Морозко»	15
91	Детский сад «Родничок»	15
92	Детский сад «Росинка»	15
93	Детский сад «Княженика»	15
94	База с АБК управления технологической связи	5
95	Производственная база	11
96	Вахтовый автовокзал	9
97	Производственная база и административные здания РМУ	13
98	Дом культуры «Дорожник»	6
99	Спортивный комплекс «Дорожник»	6
100	Производственная база службы электроснабжения (ЦЭС)	13
101	База ремонтно-строительного управления (РСУ)	13
102	Оздоровительный комплекс УГПУ	6
103	Клуб «Норд»	6
104	Производственно-лабораторный комплекс	5
105	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-1АС	8
106	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-1	8
107	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-2	8
108	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-3	8
109	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-4	8
110	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-5В	8
111	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-5	8
112	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-6	8
113	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-7	8
114	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-8	8

Таблица А.1 – Окончание

115	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-9	8
116	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-10	8
117	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-11	8
118	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-12	8
119	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-13	8
120	Установка комплексной подготовки газа УКПГ-15	8
121	Водозабор «Таб-Яха»	16

Таблица А.2 – Функциональные группы

Код группы	Наименование группы	Наименование лидингового параметра	Единица измерения
1	Газораспределительные станции	Номинальный объемгазо-распределения	тыс. м ³ в час
2	Кусты нефтяных скважин	Плановые показателинеф-тедобычи	тонн в час
3	Котельные	Установленнаямощность	Гкал в час
4	Общежития	Количество мест	шт.
5	Административные здания	Численность персонала	чел.
6	Спортивно-оздоровительные комплексы	Количество мест	шт.
7	Центральные пункты сбора нефти	Производительность	млн. тонн в год
8	Установки комплексной подготовки газа	Производительность	млрд. м ³
9	Производственные базы хранения	Площадь территории	тыс. м ²
10	Нефтебазы	Объем хранимойпродук-ции	тыс. м ³
11	Базы хранения автомобильной и спец. техники	Количество машиномест	шт.
12	Учебные центры	Количество посадочных мест	шт.
13	Производственные базы	Площадь территории	тыс. м ²
14	Медицинские учреждения	Пропускная способность	чел. в су-тки
15	Детские сады	Количество мест	шт.
16	Водозабор	Производительность	м ³
17	Линейные потребители межпро-мысловых коллекторов	Установленнаямощность	кВт

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Электропотребление объектов предприятия

Таблица Б.1 – Годовые данные по электропотреблению объектов, кВт·ч в год

Код груп- пы	Годы							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	453432	425431	374836	366808	345582	316459	307212	296636
2	2167532	2093213	1931791	1912698	1879632	2023058	1935054	1854389
3	673452	670321	649859	655205	649533	689553	667462	658017
4	1799023	1723432	1654734	1631628	1650787	1960684	1844905	1783279
5	1564814	2001421	2983486	2912480	2886035	2975780	2844566	2787944
6	648912	650879	915604	893845	873559	857462	809324	792568
7	1898082	1843679	1795064	1780144	1790910	1870221	1940114	2054434
8	265872	239870	221960	207010	202109	237889	213820	217805
9	342543	287213	265105	264915	261162	266701	307133	323419
10	121342	112340	97930	97441	88768	95117	95826	113241
11	79870	64890	58692	58222	56719	65869	61950	65776
12	79903	68903	55630	52831	49752	57557	54506	59898
13	98343	85679	70902	69885	63856	72675	70712	77946
14	1743560	1634289	1592360	1585121	1523994	1606540	1589617	1668703
15	767863	723409	671399	656293	640751	662603	653939	688070
16	379765	343789	322517	298346	311049	321003	303579	279342
17	154321	132890	124066	128952	135680	148935	162256	170682
18	72457	63453	58918	57895	51440	70406	127130	146114
19	124345	226781	201259	192499	190140	275115	263358	269088
20	1289767	1229987	1225418	1251535	1232595	1301654	1242072	1258155
21	5432	20345	72742	70401	66063	67238	62117	65648
22	145321	132456	120628	109211	108684	113484	101115	98989
23	97643	90324	83358	77877	67910	78552	69627	71910
24	564678	786540	1784219	1753240	1783977	1735594	1877887	1908637
25	143098	135765	124412	117496	106881	107869	107874	114204
26	264321	256732	244985	227104	226929	201061	328497	313545

Таблица Б.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27	253210	243210	226324	228315	219085	188046	200028	198155
28	83432	73456	67793	64377	47858	49984	57465	62192
29	3308	3391	3428	4600	4901	5135	5813	7023
30	102876	98732	92382	85870	55711	64858	91581	94347
31	118762	109897	104039	99590	96849	97240	102603	107529
32	329879	321009	305445	295303	279752	279584	366283	355140
33	483984	478431	460539	463284	450108	422148	394610	389906
34	123900	118765	112922	111447	101374	94295	97033	106396
35	58764	53768	49720	48438	44221	45028	55387	64389
36	226872	217890	197708	208285	202917	208216	211976	221438
37	279760	271093	249750	262414	261923	251355	251527	254291
38	154320	147890	110061	158514	127309	131443	139183	141890
39	337654	331780	320747	326876	288510	296778	247183	277757
40	756890	745890	701108	688152	687313	666525	661324	760723
41	53497	51212	49943	45259	42186	56966	62978	70446
42	26121	24789	23253	20564	18020	16828	19566	39946
43	256790	234565	224615	226094	219321	235163	239542	282107
44	157890	145643	140358	133169	122947	135497	140061	145505
45	210987	202343	196658	193525	190325	194117	320804	386783
46	297860	289050	266030	268757	277922	266798	264301	281239
47	166752	160431	143849	153314	140659	141499	84860	82465
48	119872	113908	100677	96701	96398	93459	92798	96176
49	137432	131980	126812	124582	121917	122051	148731	151369
50	228761	221321	210883	213560	205597	206407	294232	312713
51	265872	239870	221960	207010	202109	237889	213820	215627
52	109872	99831	93420	92057	95687	98206	113850	128793
53	181234	175432	163629	168236	165826	159958	202471	219426
54	698902	687907	657297	670270	688482	619681	752670	775462
55	235432	224569	212305	217689	219748	211444	231638	242549
56	297865	285670	276793	280576	276972	265839	355140	339334
57	74565	70657	69640	65123	62942	64957	69762	70220
58	98900	95675	90330	90914	87431	86292	92387	95753
59	97678	94532	91204	84410	91855	91324	81664	86188

Таблица Б.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	88787	85654	80202	83452	81039	84820	87104	96648
61	4486129	4436321	4328892	4337321	4470127	4350763	4332467	4274029
62	2122109	2012389	1959001	1975418	1961632	1897302	1900431	1895691
63	119092	115765	114083	110162	105797	113132	105585	115124
64	1700121	1623217	1569436	1572580	1559220	1329706	1727400	1636428
65	1998232	1945768	1906651	1880413	1801200	1708902	1885250	1947964
66	2465788	2434598	2145237	2334606	2399020	2223860	2173391	2135838
67	809878	798789	758437	763943	807418	745739	795683	810122
68	1934534	1895676	1885377	1871101	1791000	1798322	1819505	1794205
69	398996	387900	369703	382680	384480	321866	380323	358941
70	1367556	1328901	1291935	1262100	1257021	989294	957207	929987
71	139845	135895	133621	126617	116241	122407	168760	157423
72	154565	149012	137096	143857	144022	135253	114813	115270
73	29879	28112	27912	25262	23883	25050	21520	25269
74	278764	273456	261371	261251	247240	242100	266704	265673
75	82341	80321	77794	78962	76116	77460	80253	82185
76	251763	245890	185461	243035	230773	227094	296412	286244
77	452343	442187	416941	415375	390738	372813	295320	313557
78	125091	125890	244080	244696	236804	243448	245588	243966
79	482320	478983	470270	449746	439900	433144	421770	410504
80	234879	229874	213694	208247	187920	190450	183849	208182
81	27632	25643	22016	21175	16140	20823	20800	28837
82	34532	32765	29910	28580	26685	28114	29886	32024
83	49875	47657	46456	44004	45119	45684	49198	50524
84	71002	67658	64988	63643	51730	40672	50836	58959
85	56871	54362	51661	50328	43496	46256	45262	54467
86	219678	87243	181757	180264	169452	171678	199860	185221
87	226543	221873	204735	208603	212108	222137	237638	239018
88	75461	73644	68143	65636	63315	73532	82676	85154
89	60983	57845	53334	53364	49507	38103	36291	40247
90	101324	223876	204749	212929	207071	174622	203944	209570
91	221345	217876	208493	196397	190160	189191	189766	193281

Таблица Б.2 – Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9
92	85440	82321	78439	72813	71729	250161	294095	267166
93	59789	146543	132414	134870	140536	197758	203812	238028
94	208981	198764	192116	188035	188664	185023	189473	182742
95	2137832	2014568	1935212	1915197	1886555	2169226	2126839	2280147
96	79909	75749	72755	71660	68207	70490	78080	68655
97	2021098	1934009	1845912	1882015	1900663	1996965	1960272	1949284
98	151232	147873	140470	135782	121539	128292	76548	72083
99	186787	181934	174478	175476	178077	130518	150702	129697
100	86992	83450	81305	81629	69940	74548	82620	90235
101	357454	351980	320492	329532	347223	379372	333646	313058
102	49874	47343	44582	39628	37577	43286	87832	87401
103	83546	80871	76077	72703	72831	95160	76713	80335
104	1165982	1132875	1090615	1089117	1067185	912520	832082	811838
105	18743232	18500234	17391876	17355356	17719528	17062060	16223997	17855829
106	9321404	9201789	8946518	8416933	9306310	8245541	7565523	9753560
107	20567432	20343982	19475591	19555028	19474235	18621697	18025394	19827738
108	7542343	7348974	7136118	7030574	7054443	4868941	4273597	8118297
109	7964987	8657488	8420295	8442351	8592890	7049862	5849481	8179420
110	10657443	10345983	9722268	9805832	9998217	8843641	8836803	8780720
111	4098744	3912345	3823279	3501735	3499242	3713540	4021907	4215639
112	10655021	10342575	9540469	9366405	9367311	8265927	5800031	8832503
113	10674330	10343298	9289640	9935506	10228035	9423803	9683259	10186292
115	12287640	12003433	11668734	11664253	10845928	10789566	10700757	12612578
116	10799870	10634721	10227004	10113773	10151253	10123827	10076207	11380886
117	23879034	23670981	23283185	22789681	22603255	21558077	20617686	22428426
118	11790048	11589028	11226999	11254519	11355602	11965317	11631942	13917155
119	10873222	10403021	10195915	10130248	9837944	8279132	9372199	9914951
120	14765490	14210980	13892732	13633367	13943355	13143949	14105178	13879536
121	2013456	2123456	3376823	3378970	3320726	3353220	3252583	3416770

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Проверка на соответствие критериям H -распределения

В основе расчетно-графического модуля лежит проверка двух статистических гипотез:

- зависимости первых двух моментов статистического распределения от объёма выборки;
- о наличии сильной ранговой корреляции между ранговыми распределениями, описывающими техноценоз.

Анализ ранговых корреляций

В основе оценки степени согласованности перемещения объектов по ранговой поверхности лежит проверка статистических гипотез в отношении ранговых корреляций. При этом сама ранговая корреляция предназначена для изучения статистической связи между различными упорядочениями (ранжировками) объектов по степени проявления в них того или иного свойства. Под свойством будем понимать электропотребление объектов в различные временные интервалы.

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена является измерителем степени согласованности двух различных ранжировок одного и того же множества объектов.

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

$A :=$  **ORIGIN := 1**
C:\Use...\ep.xls

$m := \text{rows}(A)$ $n := \text{cols}(A)$ $m = 121$ – количество объектов.

$\text{data} := \text{submatrix}(A, 0, m - 1, 1, n - 1)$ – матрица исходных данных.

$R := A^{\langle 0 \rangle}$ – вектор кодов объектов.

2. Построение ранжировок

В модуле «rang» формируется матрица ранжировок после упорядочивания значений каждого столбца по возрастанию.

```

rang(data,R) := | n ← cols(data)
                  m ← rows(data) + 1
                  for i ∈ 0.. n - 1
                    | A ← augment(data<i>,R)
                    | B ← augment(R,csort(A,0))
                    | N<i> ← m - csort(B,2)<0>
                  N
rk_data := rang(data,R)

```

Далее формируется матрица ранжировок объектов (рисунок В.1).

rk_data =

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	43	44	44	45	46	47	48	52
1	19	23	23	23	24	24	24	27
2	38	40	40	40	39	37	38	40
3	27	28	29	29	29	24	28	29
4	28	23	19	19	19	19	19	19
5	28	35	35	35	35	35	35	36
6	26	27	27	27	27	26	23	22
7	55	58	59	66	65	58	65	...

Дополнительные пояснения в таблице:

- «Номера объектов»: указывает на значения в строке 1 (столбцы 1, 2, 3).
- «Индексы объектов»: указывает на значения в строке 0 (столбцы 5, 6, 7).
- «Индексы столбцов»: указывает на значения в строке 5 (столбцы 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Рисунок В.1 – Матрица ранжировок объектов (фрагмент)

3. Вычисление рангового коэффициента корреляции Спирмена

В модуле RKP между различными парами ранжировок вычисляется ранговый коэффициент корреляции Спирмена.

$$\text{RKP}(a) := \left| \begin{array}{l} k \leftarrow 0 \\ m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) - 1 \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \text{for } j \in i+1..n \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} c \leftarrow a^{\langle i \rangle} - a^{\langle j \rangle} \\ b_k \leftarrow 1 - \frac{6 \cdot c^T \cdot c}{m^3 - m} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \quad \quad \quad b \end{array} \right. \quad \text{rkp} := \text{RKP}(\text{rk_data})$$

Затем формируется вектор значений ранговых коэффициентов корреляции Спирмена между возможными парами ранжировок (рисунок В.2).

$\text{rkp}^T =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	0.988	0.986	0.985	0.983	0.972	0.963	0.961	0.992	...

Рисунок В.2 – Вектор значений ранговых коэффициентов корреляции Спирмена между возможными парами ранжировок (фрагмент)

4. Оценка математического ожидания рангового коэффициента корреляции Спирмена по технологии «bootstreap».

$$\text{repeat}(a, N) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ \text{for } i \in 0..N-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} s_i \leftarrow a_i \text{ if } i < m \\ s_i \leftarrow s_{i-m} \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ \quad s \end{array} \right. \quad \text{rep_rkp} := \text{repeat}(\text{rkp}, 2000)$$

Модуль «select» выделяет из выборки a элементы с индексами в I .

$$\text{select}(I, a) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(I) \\ \text{for } i \in 0..m-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} k \leftarrow I_i \\ h_i \leftarrow a_k \end{array} \right. \\ \quad h \end{array} \right.$$

Модуль «AVG» из выборки (a, N) раз случайным образом выделяет подмножество, для которого вычисляет среднее значение.

Таким образом, в результате формируется N случайным образом, рассчитанных средних.

$$\text{AVG}(a, N) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) - 1 \\ \text{for } i \in 0..N-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} I \leftarrow \text{floor}(\text{runif}(200, 0, m)) \\ x_i \leftarrow \text{mean}(\text{select}(I, a)) \end{array} \right. \\ \quad x \end{array} \right.$$

$$\text{boot_rkp} := \text{AVG}(\text{rep_rkp}, 200)$$

Модуль «pocket» вычисляет границы карманов на выборки a .

$$\text{pocket}(a) := \left| \begin{array}{l} h \leftarrow \frac{\max(a) - \min(a)}{\text{round}(\sqrt{\text{rows}(a)})} \\ m \leftarrow \min(a) \\ k \leftarrow 0 \\ \text{while } m \leq \max(a) \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{int}_k \leftarrow \min(a) + h \cdot k \\ k \leftarrow k + 1 \\ m \leftarrow m + h \end{array} \right. \\ \text{int} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{int} := \text{pocket}(\text{boot_rkp}) \\ \text{HS} := \text{hist}(\text{int}, \text{boot_rkp}) \end{array}$$

$MN := \text{mean}(\text{boot_rkp})$

$SKO := \text{stdev}(\text{boot_rkp})$

$T(\text{int}, \text{avg}, \text{sco}) :=$

$$\left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(\text{int}) \\ \text{for } i \in 1.. \text{length}(\text{int}) - 1 \\ \quad t_{i-1} \leftarrow \int_{\text{int}_{i-1}}^{\text{int}_i} \text{dnorm}(x, \text{avg}, \text{sco}) \, dx \\ \quad t \end{array} \right.$$

$Q := T(\text{int}, MN, SKO) \cdot 200$

$\text{left} := \text{qnorm}(0.025, MN, SKO)$

$\text{right} := \text{qnorm}(0.975, MN, SKO)$

На рисунке В.3 показан результат вычислений с помощью модуля «rocket» для вычисления границы карманов на выборки а в виде гистограммы.

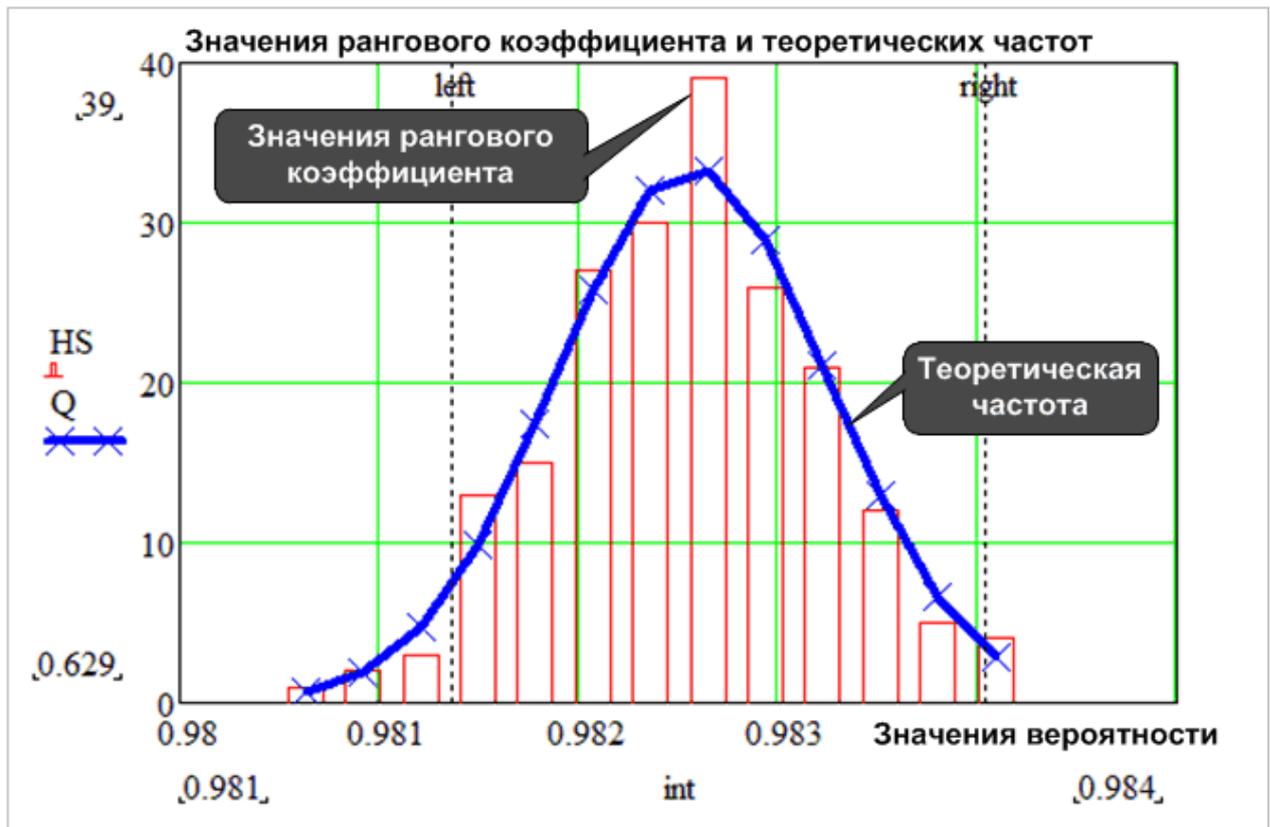


Рисунок В.3 – Гистограмма, построенная для значений рангового коэффициента

Модуль «kendal» вычисляет значение коэффициента ранговой конкордации Кендала для матрицы ранжировок \mathbf{a} .

$$\text{kendal}(\mathbf{a}) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(\mathbf{a}) \\ n \leftarrow \text{cols}(\mathbf{a}) \\ v \leftarrow \frac{n \cdot (m + 1)}{2} \\ b \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0.. m - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} c \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0.. n - 1 \\ \quad c \leftarrow c + a_{i,j} \\ b \leftarrow b + (c - v)^2 \end{array} \right. \\ \frac{12 \cdot b}{n^2 \cdot (m^3 - m)} \end{array} \right.$$

$\text{kendal}(\text{rk_data}) = 0.985$ – значение коэффициента конкордации.

Оценка негауссовости

Понятие негауссовости связывают с нецелесообразностью применения первых двух моментов распределения как информативно насыщенных свертках выборок большого объёма. Согласно центральной предельной теореме при увеличении объема выборки к бесконечности выборочное среднее по вероятности стремится к математическому ожиданию.

Однако в негауссовых выборках увеличение объема не приводит к стабилизации моментов, а наоборот, моменты устремляются в бесконечность. Таким образом, в случае зависимости первых двух моментов выборки от её объема можно констатировать, что анализируемая выборка является негауссовой.

Функционал зависимости первого момента от максимального значения на выборке рассчитывается по следующему выражению:

$$M1(J, \alpha) := \frac{\int_1^J x^{-\alpha} dx}{\int_1^J x^{-(1+\alpha)} dx}$$

Соответственно выражение для функционала зависимости второго момента от максимального значения на выборке выглядит следующим образом:

$$M2(J, \alpha, m) := \frac{\int_1^J (x - m)^2 \cdot x^{-(1+\alpha)} dx}{\int_1^J x^{-(1+\alpha)} dx}$$

Процедура построения зависимости моментов от максимального на выборке значения

```

test_zipf(w) :=
  k ← 0
  n ← rows(w)
  Xo ← min(w)
  t ← sort(w) · Xo-1
  α ←  $\frac{n}{\sum_{i=0}^{n-1} \ln\left(\frac{w_i}{Xo}\right)}$ 
  for i ∈ 1..n - 1
    m1 ← M1(ti, α)
    m2 ← M2(ti, α, m1)
    Dk,0 ← ti
    Dk,1 ← m1
    Dk,2 ← m2
    k ← k + 1
  D
S := test_zipf(data<1>)

```

По результатам вычислений данного модуля строятся графики зависимости двух моментов от объёма выборки (рисунки В.4 и В.5).

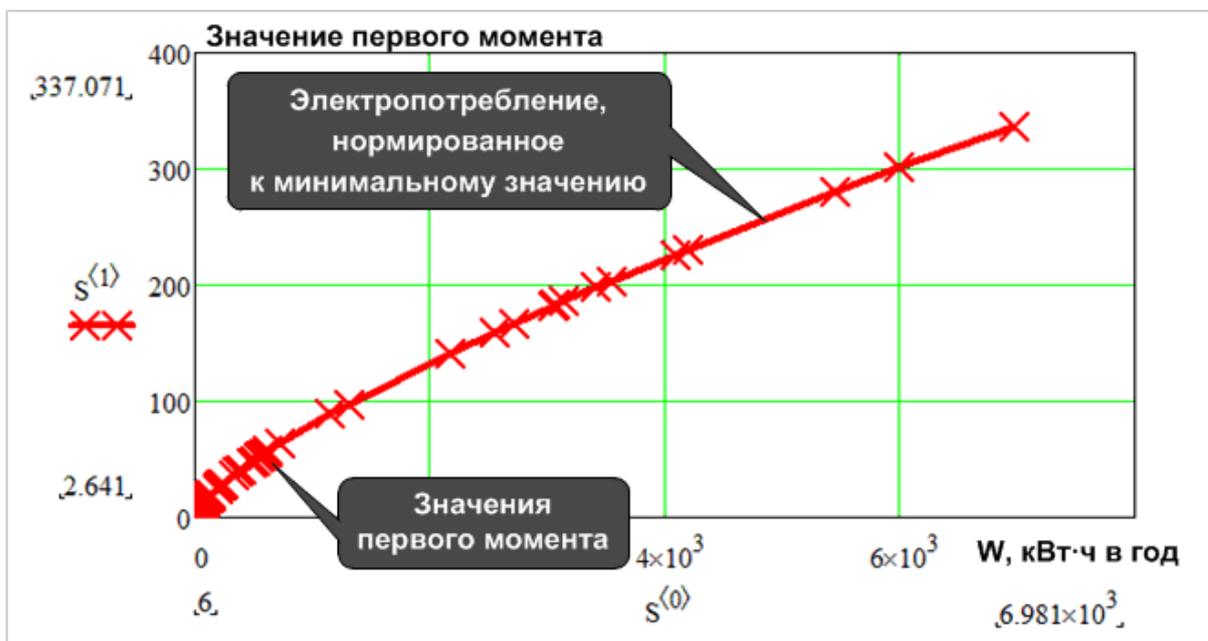


Рисунок В.4 – Зависимости первого момента от объёма выборки

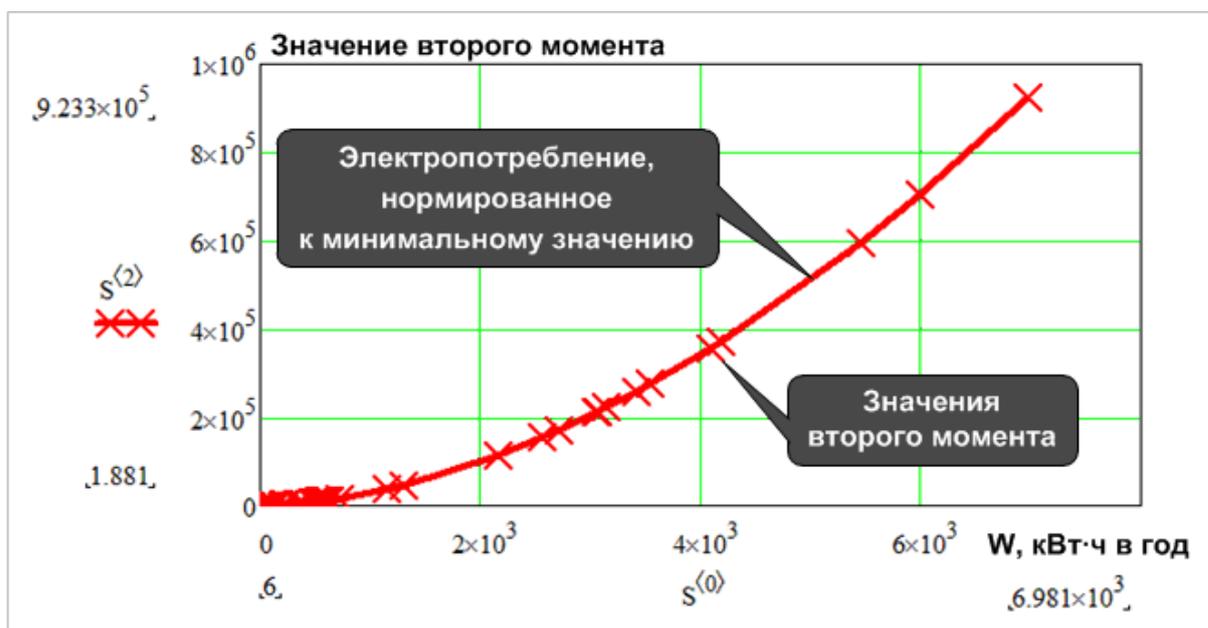


Рисунок В.5 – Зависимости второго момента от объёма выборки

Выводы:

- наблюдаемые на графиках зависимости позволяют заключить, что первые два момента зависят от объёма выборки;
- выявленные зависимости в виду сильной ранговой корреляции характерны и для других векторов данных.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

Расчет границ Z-потенциала

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

A :=

 C:\Us...\ep.xls

data := submatrix(A, 0, rows(A) - 1, 1, cols(A) - 1)

Строки в матрице «data» – объекты, столбцы – годы, элементы – электропотребление объекта на временном интервале.

R := A^{<0>} – вектор рангов.

zp :=

 C:\Us...\ep.xls

zdata := submatrix(zp, 0, rows(zp) - 1, 1, cols(zp) - 1) – матрица ZP-норм.

В матрице «zdata» строки – объекты, столбцы – годы, элемент – ZP-норма объекта на временном интервале.

2. Построение матрицы ранговых распределений

В модуле «rang» формируется матрица ранжировок после упорядочивания значений каждого столбца по возрастанию.

$$\text{zipf}(A) := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{cols}(A) - 1 \\ s^{<i>} \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(A^{<i>})) \\ s \end{cases}$$

Wzp := zipf(zdata) – матрица ранговых распределений, полученная по результатам ZP-нормирования;

W := zipf(data) – матрица ранговых распределений, полученная по исходным данным.

3. Вычисление эмпирических нижних границ 95 %-го системного доверительного интервала

```

lower(a) :=
  m ← rows(a)
  n ← cols(a)
  for i ∈ 0.. m - 1
    b ← submatrix(a, i, i, 0, n - 1)T
    mo ← mean(b)
    sko ← stdev(b)
    ñi ← qnorm(0.024, mo, sko)
  ñ

```

$Z1 := \text{lower}(W)$ – вектор эмпирической нижней границы $Z1$ -потенциала;

$Z2 := \text{lower}(Wzp)$ – вектор эмпирической нижней границы $Z2$ -потенциала.

4. Аппроксимация

Процедура имитационного расчета теоретической кривой рангового распределения Ципфа. Параметр w – эмпирическое распределение, p - количество итераций.

```

randomz(w, p) :=
  n ← rows(w)
  Xo ← min(w)
  J ← max(w)
  α ←  $\frac{1}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \ln\left(\frac{w_i}{Xo}\right)}$ 
  C ←  $\frac{\alpha \cdot (n - 1) \cdot Xo^\alpha \cdot J^\alpha}{J^\alpha - Xo^\alpha}$ 

```

Продолжение алгоритма

```

a ← 0
for k ∈ 1..p
  Seed(k)
  η ← runif(n,0,1)
  for i ∈ 0..n-1
    Si ←  $\frac{1}{\left(\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{\eta_i \cdot n \cdot \alpha}{C}\right)^\alpha}$ 
  a ← a + reverse(sort(S))
a
—
p

```

Z2T := randomz(Z2,200)

Z1T := randomz(Z1,200)

На рисунках Б1 и Б2 показаны результаты построения границ Z1 и Z2-потенциалов.

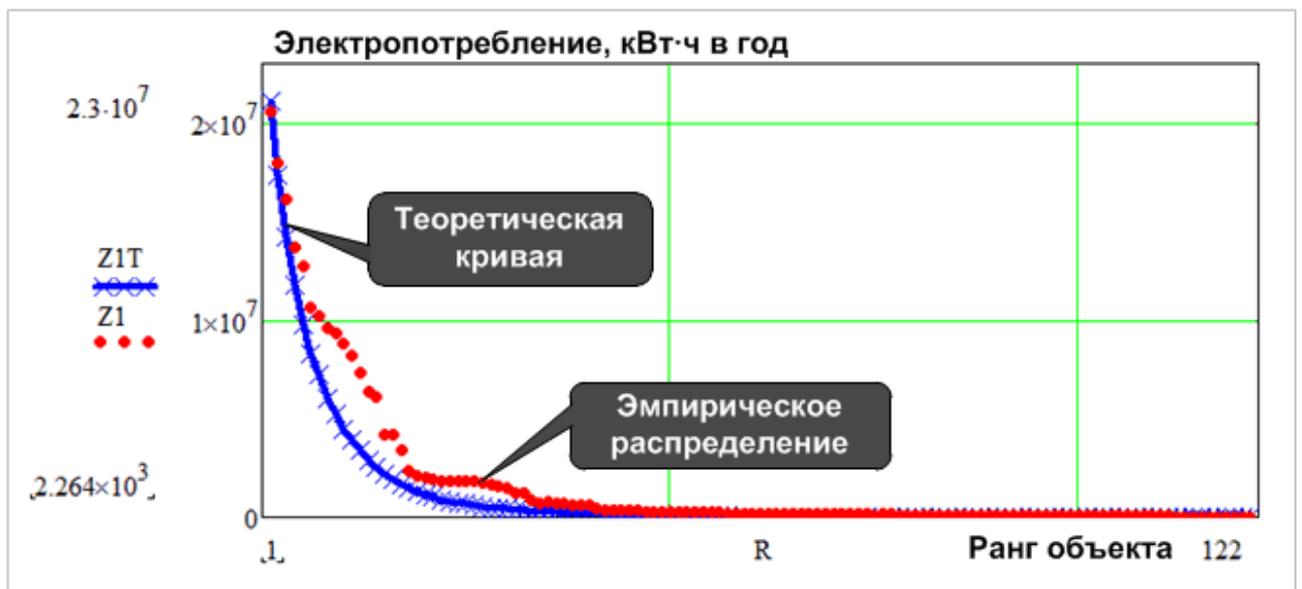


Рисунок Г.1 – Граница Z1-потенциала

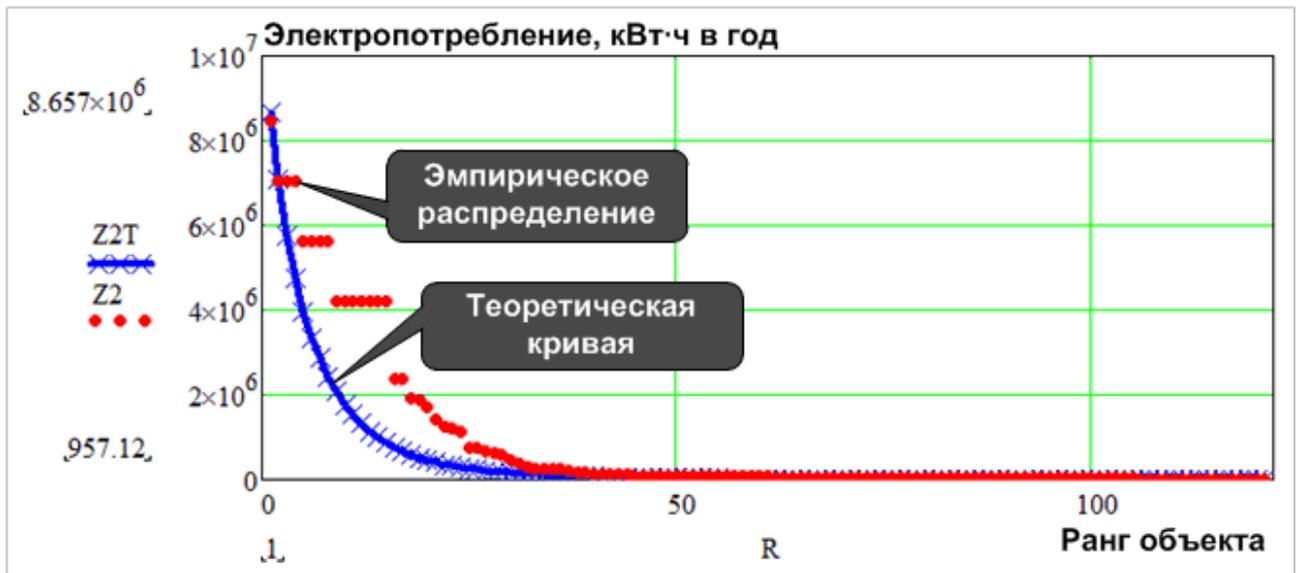


Рисунок Г.2 – Граница Z2-потенциала

5. Анализ сходимости итерационного процесса

Процедура генерации выборки, подчиненной закону Ципфа. X_0 – минимальное значение, α , C – параметры распределения Ципфа, n – объем выборки, k – параметр, определяющий стартовое значение для работы датчика случайных чисел.

$$\text{rzipf}(X_0, \alpha, C, n, k) := \left\{ \begin{array}{l} \text{Seed}(k) \\ \eta \leftarrow \text{runif}(n, 0, 1) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ S_i \leftarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{\eta_i \cdot n \cdot \alpha}{C} \right)^\alpha} \\ \text{reverse}(\text{sort}(S)) \end{array} \right.$$

Процедура анализа сходимости итерационного процесса моделирования распределения, подчиненного закону Ципфа. На выходе формируется вектор суммарного квадратического отклонения.

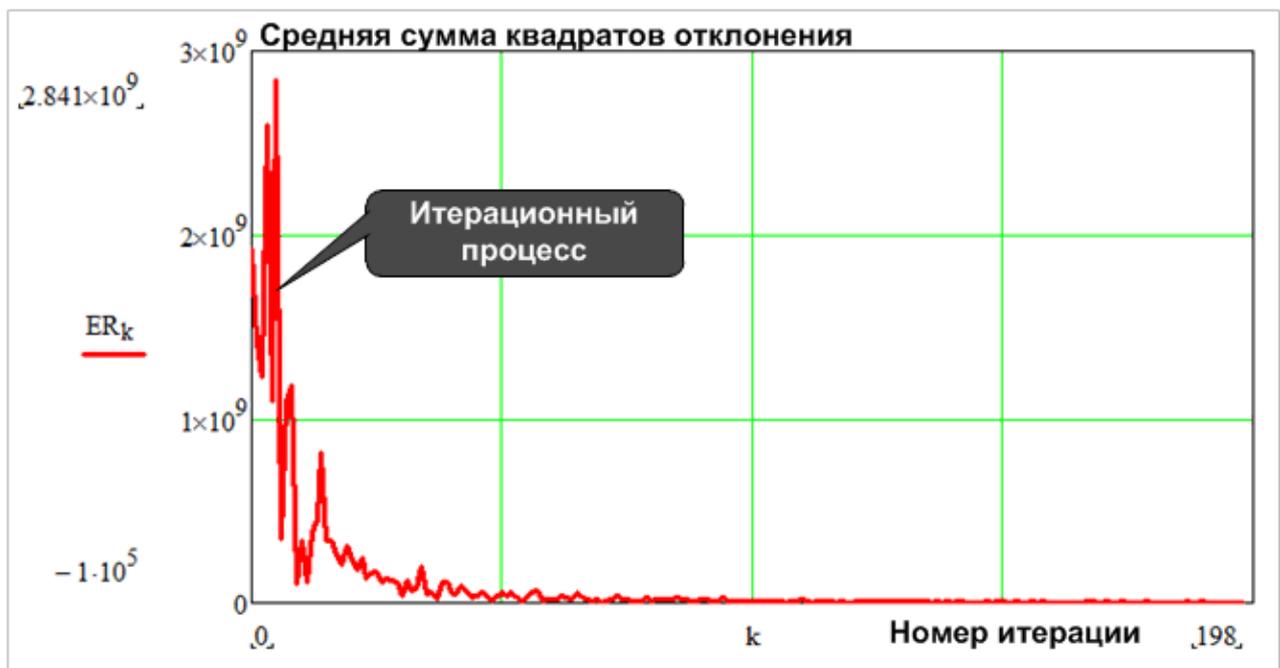
$$IT(w, p) := \begin{cases} n \leftarrow \text{rows}(w) \\ X_0 \leftarrow \min(w) \\ J \leftarrow \max(w) \\ \alpha \leftarrow \frac{1}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \ln\left(\frac{w_i}{X_0}\right)} \\ C \leftarrow \frac{\alpha \cdot (n-1) \cdot X_0^\alpha \cdot J^\alpha}{J^\alpha - X_0^\alpha} \\ Y \leftarrow \text{rzipf}(X_0, \alpha, C, n, 1) \\ \text{for } k \in 2..p \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow Y + \text{rzipf}(X_0, \alpha, C, n, k) \\ er \leftarrow \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{Y}{(k-1)} - \frac{L}{k} \right] \\ V_{k-2} \leftarrow er^T \cdot er \end{array} \right. \\ V \end{cases}$$
 $ER := IT(Z1, 200)$
 $k := 0.. \text{rows}(ER) - 1$


Рисунок Г.3 – График сходимости итерационного процесса

$T := \text{submatrix}(ER, 180, 198, 0, 0)$

$i := 0.. \text{rows}(T) - 1$

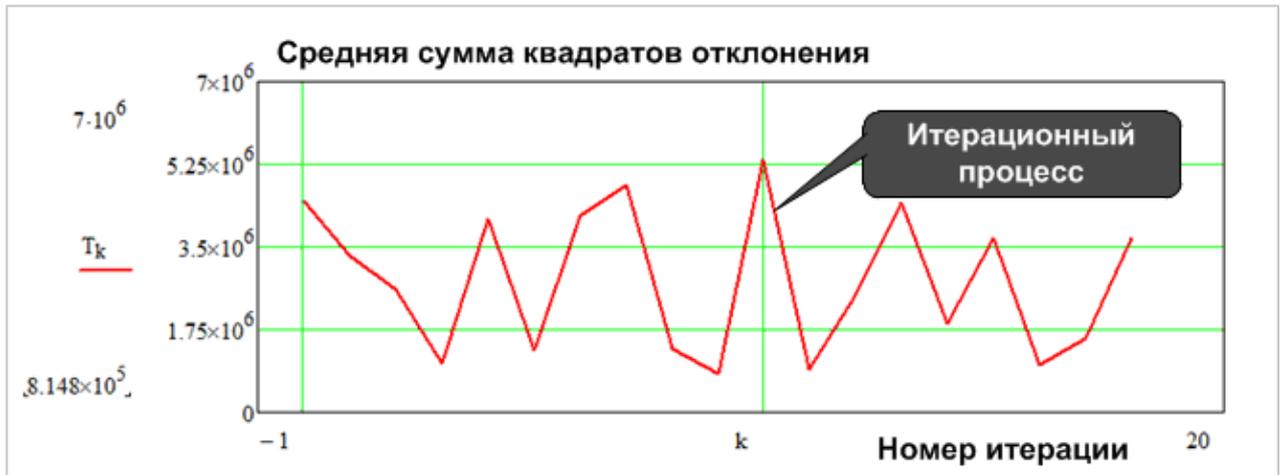


Рисунок Г.4 – График сходимости итерационного процесса с 180 по 198 итерации

6. Сохранение результатов



C:\Users\ol...\z_border.xls

`augment(Z1T, Z2T)`

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Имитационное моделирование

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

```
data :=

C:\...\zaim.xls
```

2. Построение матрицы ранговых распределений

В модуле «rang» формируется матрица ранжировок после упорядочивания значений каждого столбца по возрастанию.

$$\text{zipf}(A) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{cols}(A) - 1 \\ s^{(i)} \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(A^{(i)})) \\ s \end{array} \right.$$

3. Получение матрицы значений математического ожидания и среднеквадратического отклонения

Процедура SR(a) для каждой строки матрицы a определяет математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО). На выходе процедуры формируется матрица, первый столбец, которой есть вектор МО, второй СКО.

$$\text{SR}(a) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0.. m - 1 \\ \left| \begin{array}{l} b \leftarrow \text{submatrix}(a, i, i, 0, n - 1)^T \\ c_{i,0} \leftarrow \text{mean}(b) \\ c_{i,1} \leftarrow \text{stdev}(b) \end{array} \right. \\ c \end{array} \right.$$

$\text{MN} := \text{SR}(W)$ – первый столбец матрицы – это вектор средних, второй столбец – СКО.

4. Центрирование и нормированные данные

Процедура NR предназначена для центрирования и нормирования строк матрицы «a». Параметр «b» – матрица, первый столбец является вектором МО, второй – СКО. На выходе формируется матрица нормированных и центрированных данных.

$$\text{NR}(a, b) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..m-1 \\ \quad \text{for } j \in 0..n-1 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} c_k \leftarrow \frac{a_{i,j} - b_{i,0}}{b_{i,1}} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \quad \quad \quad c \end{array} \right. \quad \text{RES} := \text{NR}(W, MN)$$

5. Статистическая проверка гипотезы

Проверка гипотезы о том, что значения в матрице нормированных и центрированных данных принадлежат нормально распределенной совокупности.

5.1 Процедура построения границ карманов

$$\text{D}(a) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{round}(\sqrt{\text{rows}(a)}) \\ mx \leftarrow \text{max}(a) \\ mn \leftarrow \text{min}(a) \\ h \leftarrow \frac{mx - mn}{n} \\ m \leftarrow mn \\ k \leftarrow 0 \\ \text{while } m \leq mx \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{int}_k \leftarrow m \\ k \leftarrow k + 1 \\ m \leftarrow m + h \end{array} \right. \\ \text{int} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{int} := \text{D}(\text{RES}) \\ \text{H} := \text{hist}(\text{int}, \text{RES}) \\ \text{H} := \frac{\text{H}}{\sum \text{H}} \end{array}$$

Процедура анализа сходимости итерационного процесса моделирования распределения, подчиненного закону Ципфа. На выходе формируется вектор суммарного квадратического отклонения.

5.2 Получение значений теоретических частот

$$T(a, MO, SKO) := \left\{ \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(\text{int}) \\ \text{for } i \in 1..m-1 \\ t_{i-1} \leftarrow \int_{\text{int}_{i-1}}^{\text{int}_i} \text{dnorm}(x, MO, SKO) dx \\ t \end{array} \right.$$

$$HT := T(\text{int}, 0, 1)$$

На рисунке В.1 показана графическая реализация алгоритма построения проверки гипотезы о том, что значения в матрице нормированных и центрированных данных принадлежат нормально распределенной совокупности.

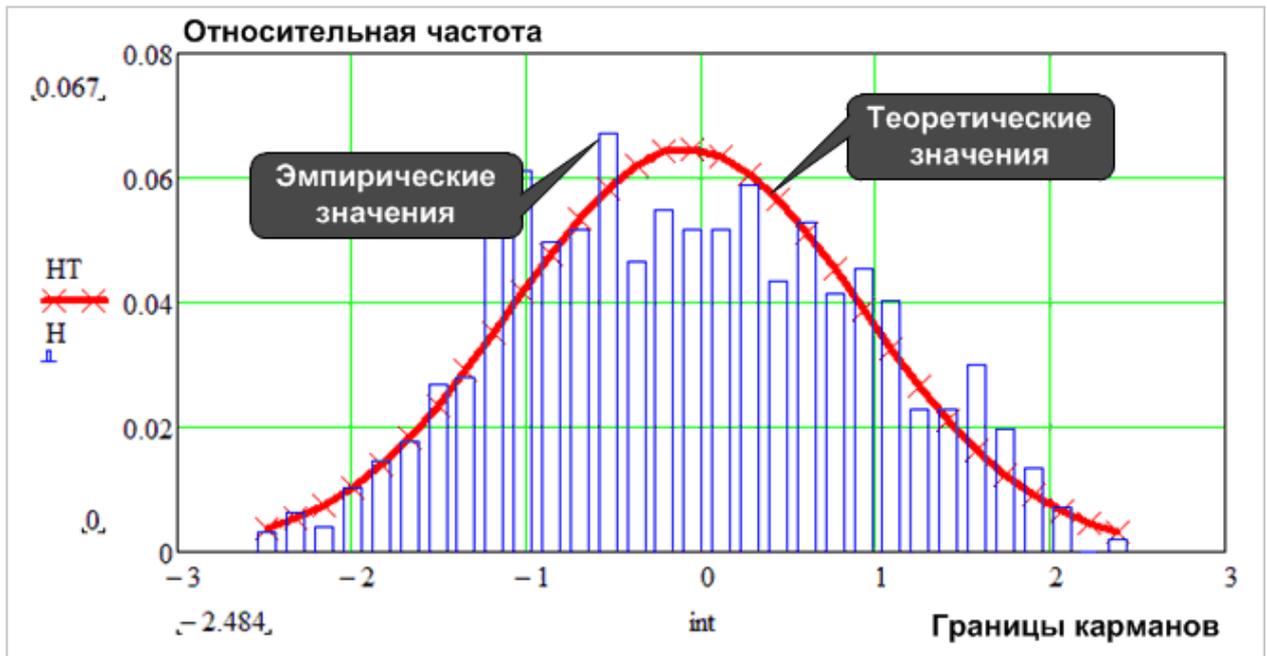


Рисунок Д.1 – Гистограмма остатков после процедуры нормирования и центрирования

Вычисление наблюдаемого значения критерия χ^2 .

$$\chi^{kr} := \sum_{k=0}^{\text{rows}(\text{HT})-1} \frac{(\text{HT}_k - H_k)^2}{\text{HT}_k}$$

$\chi^{kr} = 0.063$ – наблюдаемое значение.

Теоретическое значение критерия

$$\chi := \text{qchisq}(0.95, \text{rows}(\text{HT}) - 3) = 41.337$$

Так как $\chi > \chi^{kr}$, то нулевая гипотеза о принадлежности выборки нормально распределенной совокупности подтверждается.

Таким образом, для вероятностного моделирования можем использовать нормальный закон с $\text{МО} = 0$ и $\text{СКО} = 1$ и вектор МО и СКО объектов техноценоза.

6. Моделирование совокупности, подчиненной распределению Ципфа

$\text{ZPAR}(w, \eta, n) :=$

$X_0 \leftarrow \min(w)$
$J \leftarrow \max(w)$
$\alpha \leftarrow \frac{1}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \ln\left(\frac{w_i}{X_0}\right)}$
$C \leftarrow \frac{\alpha \cdot (n-1)}{\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{1}{J^\alpha}}$
for $i \in 0..n-1$
$S_i \leftarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{\eta_i \cdot n \cdot \alpha}{C}\right)^\alpha}$
reverse(sort(S))

Процедура $\text{ZPAR}(w, \eta, n)$ предназначена для моделирования выборки, подчиненной закону Ципфа на основе выборки w . Входные параметры: исходная выборка W , η равномерно распределенная выборка в интервале $[0, 1]$, n объем выборки. На выходе процедуры формируется ранжированная в порядке убывания выборка, подчиненная закону Ципфа.

7. Моделирование перестановок

Процедура FIRST(m) предназначена для построения нулевой перестановки. На выходе процедуры формируется ряд натуральных чисел от 1 до m.

$$\text{FIRST}(m) := \left| \begin{array}{l} \text{for } k \in 0..m-1 \\ \quad a_k \leftarrow k+1 \\ a \end{array} \right.$$

Функция определения номера перестановки определяется следующей подпрограммой, где A – нулевая перестановка.

$$\text{NUMK}(Q, A) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(Q) \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..m-2 \\ \quad \left| \begin{array}{l} t \leftarrow (m-i-1)! \\ s \leftarrow Q_i \\ \text{ind} \leftarrow \text{match}(s, A)_0 \\ A \leftarrow \text{trim}(A, \text{ind}) \\ k \leftarrow k + \text{ind} \cdot t \end{array} \right. \\ k \end{array} \right.$$

NK := FIRST(rows(data)) – нулевая перестановка.

Формирование матрицы перестановок объектов техноценоза при их ранжировании в порядке убывания по значению электропотребления на каждом временном интервале.

$$\text{PK}(a, K) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} b \leftarrow \text{augment}(a^{\langle i \rangle}, K) \\ c \leftarrow \text{reverse}(\text{csort}(b, 0)) \\ R^{\langle i \rangle} \leftarrow c^{\langle 1 \rangle} \end{array} \right. \\ R \end{array} \right. \quad \text{MK} := \text{PK}(\text{data}, \text{NK})$$

Процедура $SP(a, nk)$ формирует матрицу номеров перестановок относительно перестановок нулевого порядка.

$$SP(a, nk) := \left\{ \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(\text{data}) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} b_i \leftarrow \frac{i+1}{n} \\ r_{i,0} \leftarrow i \\ r_{i,1} \leftarrow \text{NUMK}(a^{(i)}, nk) \end{array} \right. \\ c \leftarrow \text{csort}(r, 1)^{(0)} \\ \text{augment}(b, c) \end{array} \right. \quad Y := SP(MK, NK)$$

Матрица номеров перестановок, отсортированная по номеру относительно нулевой перестановки (рисунок Д.2).

	0	1
0	0.125	7
1	0.25	6
2	0.375	5
3	0.5	2
4	0.625	5
5	0.75	4
6	0.875	1
7	1	6

$Y =$

Значения эмпирической функции распределения

Код перестановки

Рисунок Д.2 – Матрица номеров перестановок, отсортированная по номеру относительно нулевой перестановки

Процедура $\text{minkod}(\eta, Y)$ по значению η и матрице номеров перестановок определяет ближайшее значение функции распределения и связанный с ним код перестановки.

$$\text{minkod}(\eta, Y) := \left| \begin{array}{l} t \leftarrow Y_{0,1} \\ mn \leftarrow |Y_{0,0} - \eta| \\ n \leftarrow \text{rows}(Y) \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a \leftarrow |Y_{i,0} - \eta| \\ \text{if } a < mn \\ \quad \left| \begin{array}{l} t \leftarrow Y_{i,1} \\ mn \leftarrow a \end{array} \right. \end{array} \right. \\ t \end{array} \right.$$

7. Имитационное моделирование

Процедура «simulation» предназначена для вероятностного моделирования ЭП техноценоза. Исходными данными для моделирования являются:

- MN – матрица, первый столбец которой есть вектор МО, второй – вектор СКО;
- МК – матрица перестановок;
- Y – матрица кодов перестановок;
- TR – номер транзакции для ядра ДСЧ.

Процедура simulation работает по следующему алгоритму:

1. Для заданного номера транзакции генерируется совокупность равномерно распределенных чисел в интервале $[0, 1]$.
2. На основе числа из равномерной совокупности определяется число, распределенное по стандартному нормальному закону.
3. Умножение нормальной совокупности на вектор СКО и прибавление к нему вектора МО формирует случайный вектор электропотребления рангов.
4. На основе вектора электропотребления объектов определяются параметры для генерирования выборки, подчиненной закону Ципфа.
5. Генерируется и ранжируется в порядке убывания выборка, подчиненная закону Ципфа.

6. Осуществляется случайный выбор перестановки.

7. Полученная перестановка применяется для обратной сортировки Цифровой выборки, в результате которой каждому объекту ставится в соответствие его электропотребление.

$$\text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, \text{TR}) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{rows}(\text{MN}) \\ \text{Seed}(\text{TR}) \\ \eta \leftarrow \text{runif}(n, 0, 1) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \zeta_i \leftarrow \text{qnorm}(\eta_i, 0, 1) \\ w \leftarrow \text{diag}(\zeta) \cdot \text{MN}^{\langle 1 \rangle} + \text{MN}^{\langle 0 \rangle} \\ Z \leftarrow \text{ZPAR}(w, \eta, n) \\ I \leftarrow \text{minkod}(\text{rnd}(1), \text{Y}) \\ \text{TL} \leftarrow \text{augment}(Z, \text{MK}^{\langle 1 \rangle}) \\ \text{csort}(\text{TL}, 1)^{\langle 0 \rangle} \end{array} \right.$$

Процедура ITER(MN, MK, Y, n) предназначена для анализа сходимости итерационного процесса.

$$\text{ITER}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, n) := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow \text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, 1) \\ k \leftarrow 0 \\ b \leftarrow s \\ \text{for } i \in 2..n \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + \text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, i) \\ \text{avg} \leftarrow \frac{s}{i} \\ e_k \leftarrow \frac{(\text{avg} - b)^T \cdot (\text{avg} - b)}{n} \\ b \leftarrow \text{avg} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ e \end{array} \right.$$

$P := \text{ITER}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, 1000) \quad i := 0..1000$

$P_{998} = 8.667 \times 10^4$

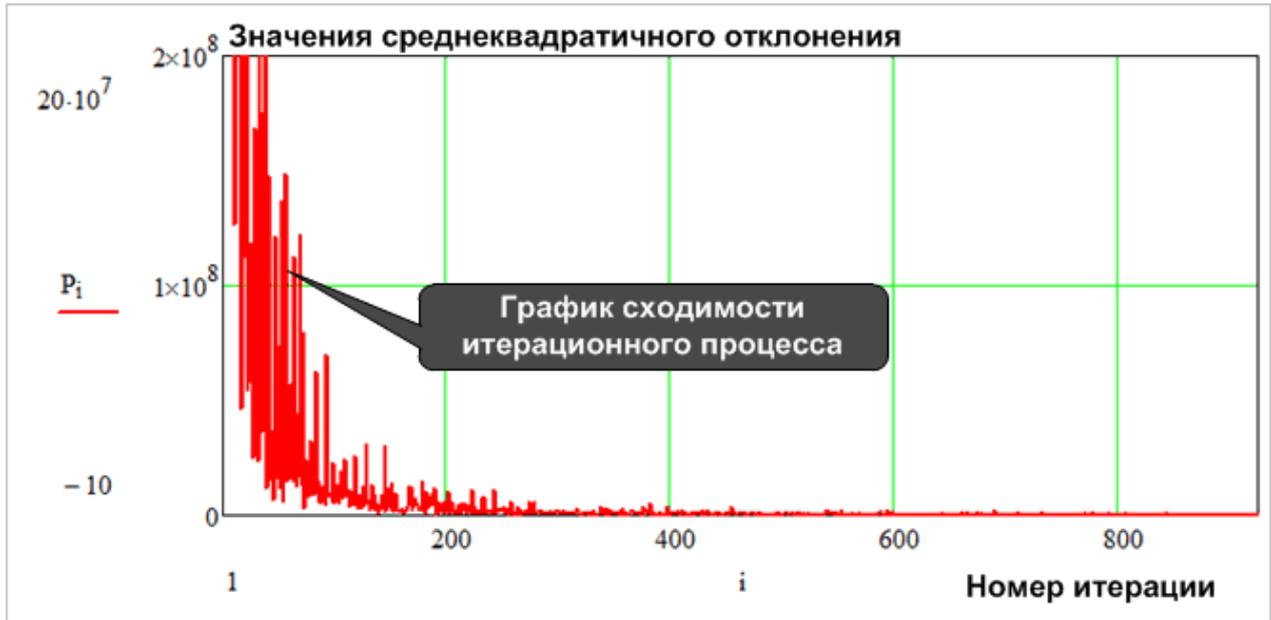


Рисунок Д.3 – Сходимость итерационного
процесса анализа электропотребления

Модуль имитационного моделирования, где n-количество итераций.

$$\text{ITSIM}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, n) := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s \leftarrow s + \text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, i) \\ \quad s \\ \quad \hline n \end{array} \right.$$

$$\text{Result} := \text{ITSIM}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, 1000)$$

$$\text{A1} := \text{reverse}(\text{sort}(\text{Result}^{\langle 0 \rangle})) \text{ – вектор МО.}$$

На основе выше приведённых алгоритмов строится график смоделированного рангового параметрического распределения электропотребления объектов, где абсцисса – ранг объекта; ордината – электропотребление.

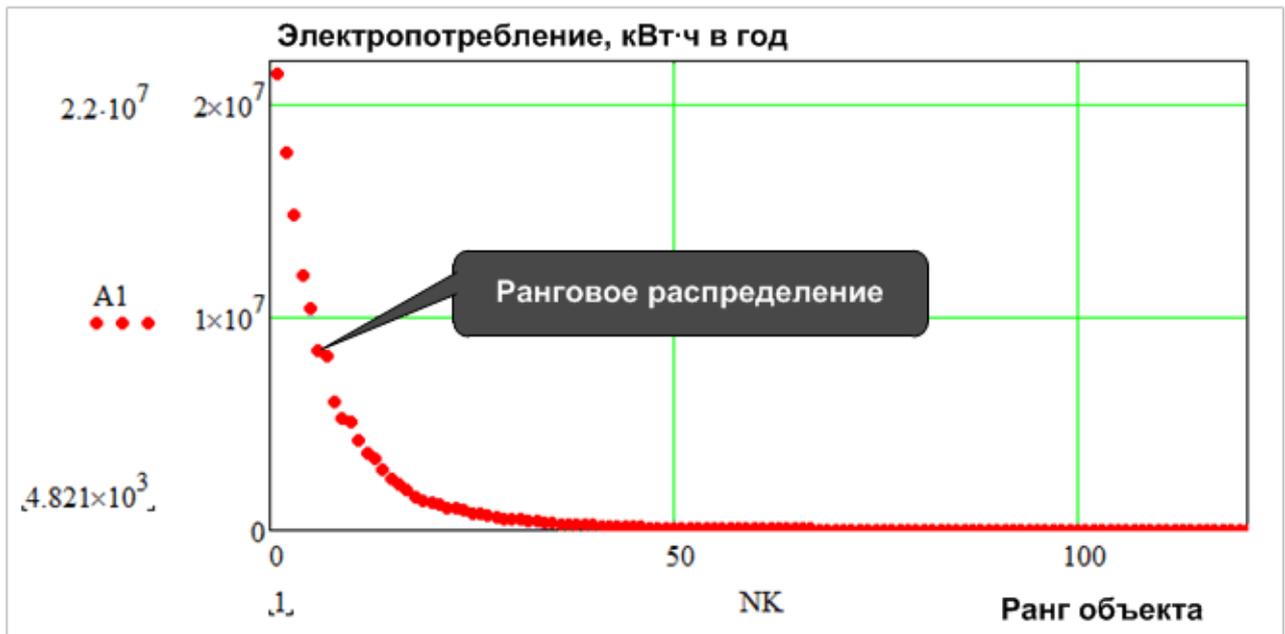


Рисунок Д.4 – Смоделированное ранговое параметрическое распределение электропотребления объектов

Алгоритм «ess(a)» оценивает среднеквадратическое отклонение между возможными парами векторов данных по исходной матрице данных электропотребления объектов.

```

ess(a) := | k ← 1
           | m ← rows(a)
           | n ← cols(a) - 1
           | b ← 0
           | for i ∈ 0.. n - 1
           |   for j ∈ i + 1.. n
           |     c ← a⟨i⟩ - a⟨j⟩
           |     b ← b +  $\frac{c^T \cdot c}{m}$ 
           |     k ← k + 1
           |  $\frac{b}{k}$ 

```

ess(data) = 2.098×10^{11}

Z :=  ...\z_border.xls

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Построение ZP-плана

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

<code>data :=</code>  <code>C:\...\zaim.xls</code>	$\text{rang}(a) := \left \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{cols}(a) - 1 \\ \quad b^{(i)} \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(a^{(i)})) \\ \quad b \end{array} \right.$
---	--

2. Получение матрицы значений математического ожидания и среднеквадратического отклонения

Процедура SR(a) для каждой строки матрицы a определяет математическое ожидание(МО) и среднеквадратическое отклонение (СКО). На выходе процедуры формируется матрица, первый столбец которой есть вектор МО, второй СКО.

$$\text{SR}(a) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0.. m - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} b \leftarrow \text{submatrix}(a, i, i, 0, n - 1)^T \\ c_{i,0} \leftarrow \text{mean}(b) \\ c_{i,1} \leftarrow \text{stdev}(b) \end{array} \right. \\ c \end{array} \right.$$

$\text{MN} := \text{SR}(\text{dataw})$ – первый столбец матрицы – это вектор средних, второй столбец – СКО.

3. Моделирование совокупности, подчиненной распределению Ципфа

Процедура ZPAR(w,η,n) предназначена для моделирования выборки, подчиненной закону Ципфа на основе выборки w. Входные параметры: исходная выборка W, η равномерно распределенная выборка в интервале [0, 1], n объем выборки. На выходе процедуры формируется ранжированная в порядке убывания выборка, подчиненная закону Ципфа.

$$\begin{array}{l}
 \text{ZPAR}(w, \eta, n) := \\
 \left| \begin{array}{l}
 X_0 \leftarrow \min(w) \\
 J \leftarrow \max(w) \\
 \alpha \leftarrow \frac{1}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \ln\left(\frac{w_i}{X_0}\right)} \\
 C \leftarrow \frac{\alpha \cdot (n-1)}{\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{1}{J^\alpha}} \\
 \text{for } i \in 0..n-1 \\
 \quad S_i \leftarrow \frac{1}{\left(\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{\eta_i \cdot n \cdot \alpha}{C}\right)^\alpha} \\
 \text{reverse}(\text{sort}(S))
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

4. Моделирование перестановок

В исходных данных вектор идентификаторов объектов, представляющий ряд натуральных чисел от 1 до 121, является перестановкой нулевого порядка.

Функция определения номера перестановки определяется следующей подпрограммой, где A – нулевая перестановка.

$$\begin{array}{l}
 \text{NUMK}(Q, A) := \\
 \left| \begin{array}{l}
 m \leftarrow \text{rows}(Q) \\
 k \leftarrow 0 \\
 \text{for } i \in 0..m-2 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 t \leftarrow (m-i-1)! \\
 s \leftarrow Q_i \\
 \text{ind} \leftarrow \text{match}(s, A)_0 \\
 A \leftarrow \text{trim}(A, \text{ind}) \\
 k \leftarrow k + \text{ind} \cdot t
 \end{array} \right. \\
 k
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

Формирование матрицы перестановок объектов техноценоза при их ранжировании в порядке убывания по значению электропотребления на каждом временном интервале.

$$PK(a, K) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} b \leftarrow \text{augment}(a^{(i)}, K) \\ c \leftarrow \text{reverse}(\text{csort}(b, 0)) \\ R^{(i)} \leftarrow c^{(1)} \end{array} \right. \\ R \end{array} \right. \quad MK := PK(\text{data}, NK)$$

$MK := PK(\text{data}, ID)$ – матрица перестановок.

Процедура $SP(a, nk)$ формирует матрицу номеров перестановок относительно перестановок нулевого порядка.

$$SP(a, nk) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{cols}(\text{data}) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} b_i \leftarrow \frac{i+1}{n} \\ r_{i,0} \leftarrow i \\ r_{i,1} \leftarrow \text{NUMK}(a^{(i)}, nk) \end{array} \right. \\ c \leftarrow \text{csort}(r, 1)^{(0)} \\ \text{augment}(b, c) \end{array} \right.$$

$Y := SP(MK, NK)$ – матрица номеров перестановок. Первый столбец матрицы содержит значения эмпирической функции распределения, второй – номер временного интервала, в котором наблюдалась данная перестановка.

Процедура $\text{minkod}(\eta, Y)$ по значению η и матрице номеров перестановок определяет ближайшее значение функции распределения и связанный с ним код перестановки.

$$\text{minkod}(\eta, Y) := \left| \begin{array}{l} t \leftarrow Y_{0,1} \\ mn \leftarrow |Y_{0,0} - \eta| \\ n \leftarrow \text{rows}(Y) \\ \text{for } i \in 1..n-1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a \leftarrow |Y_{i,0} - \eta| \\ \text{if } a < mn \\ \quad \left| \begin{array}{l} t \leftarrow Y_{i,1} \\ mn \leftarrow a \end{array} \right. \end{array} \right. \\ t \end{array} \right.$$

5. Имитационное моделирование

Процедура «simulation» предназначена для вероятностного моделирования ЭП техноценоза. Исходными данными для моделирования являются:

- MN – матрица, первый столбец которой есть вектор МО, второй – вектор СКО;
- МК – матрица перестановок;
- Y – матрица кодов перестановок;
- TR – номер транзакции для ядра ДСЧ.

Процедура simulation работает по следующему алгоритму:

8. Для заданного номера транзакции генерируется совокупность равномерно распределенных чисел в интервале $[0, 1]$.

9. На основе числа из равномерной совокупности определяется число, распределенное по стандартному нормальному закону.

10. Умножение нормальной совокупности на вектор СКО и прибавление к нему вектора МО формирует случайный вектор электропотребления рангов.

11. На основе вектора электропотребления объектов определяются параметры для генерирования выборки, подчиненной закону Ципфа.

12. Генерируется и ранжируется в порядке убывания выборка, подчиненная закону Ципфа.

13. Осуществляется случайный выбор перестановки.

14. Полученная перестановка применяется для обратной сортировки Ципфовой выборки, в результате которой каждому объекту ставится в соответствие его электропотребление.

$$\text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, \text{TR}) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{rows}(\text{MN}) \\ \text{Seed}(\text{TR}) \\ \eta \leftarrow \text{runif}(n, 0, 1) \\ \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \zeta_i \leftarrow \text{qnorm}(\eta_i, 0, 1) \\ w \leftarrow \text{diag}(\zeta) \cdot \text{MN}^{\langle 1 \rangle} + \text{MN}^{\langle 0 \rangle} \\ Z \leftarrow \text{ZPAR}(w, \eta, n) \\ I \leftarrow \text{minkod}(\text{rnd}(1), \text{Y}) \\ \text{TL} \leftarrow \text{augment}(Z, \text{MK}^{\langle I \rangle}) \\ \text{csort}(\text{TL}, 1)^{\langle 0 \rangle} \end{array} \right.$$

Модуль имитационного моделирования, где n -количество итераций.

$$\text{ITSIM}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, n) := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad s \leftarrow s + \text{simulation}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, i) \\ \frac{s}{n} \end{array} \right.$$

$\text{model} := \text{ITSIM}(\text{MN}, \text{MK}, \text{Y}, 1000)$ – вектор начального электропотребления до реализации энергосберегающих мероприятий.

6. Программа построения ZP-плана

Корректирующая процедура, устанавливающая электропотребление на границе Z-потенциала, если оно опустилось ниже этого уровня, и вычисляющая абсолютное отклонение. На выходе модуля формируется матрица: первый столбец –

упорядоченные в порядке убывания значения ЭП объектов, приведенные к границе Z-потенциала; второй столбец - коды объектов; третий столбец - значения абсолютных отклонений.

$$\text{correct}(\text{old}, \text{ESP}, \text{new}, z, \text{ID}) := \left| \begin{array}{l} f \leftarrow \text{augment}(\text{old}, \text{ID}) \\ v \leftarrow \text{reverse}(\text{csort}(f, 0)) \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0.. \text{rows}(v) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{if } \text{ESP}_i = 0 \\ \quad \left| \begin{array}{l} A_{i,0} \leftarrow v_{i,0} \\ A_{i,1} \leftarrow v_{i,1} \\ A_{i,2} \leftarrow 0 \end{array} \right. \\ \text{otherwise} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \text{index} \leftarrow v_{i,1} \\ A_{i,0} \leftarrow \text{new}_{\text{index}-1} \\ A_{i,0} \leftarrow z_i \text{ if } A_{i,0} < z_i \\ A_{i,1} \leftarrow \text{index} \\ A_{i,2} \leftarrow A_{i,0} - z_i \end{array} \right. \end{array} \right. \\ A \end{array} \right.$$

Описание логики работы процедуры «correct»:

«old»– вектор по электропотреблению объектов, полученный на предыдущей итерации;

«ESP»– вектор отклонения рангов рангового параметрического распределения на предыдущем шаге от границы Z-потенциала;

«new»– вектор по электропотреблению объектов, полученный на текущей итерации;

z– ранговое параметрическое распределение, соответствующее границе Z-потенциала;

«ID»– вектор идентификаторов объектов.

По данным, полученным на предыдущей итерации, строится ранговое параметрическое распределение. Если отклонение электропотребления ранга от границы Z -потенциала, соответствующее фиксированному объекту, равняется нулю, то все остается без изменений. В противном случае в переменную «index» записывается идентификатор объекта.

В $A_{i,0}$ выделяется электропотребление объекта и, если по результатам моделирования оно находится ниже границы Z -потенциала, то значение фиксируется на уровне границы. В $A_{i,2}$ заносится значение отклонения от границы Z -потенциала.

Процедура построения ZP -плана на перспективу пяти лет.

- Z – граница Z -потенциала;
- MN – матрица средних значений рангов и СКО;
- MK – матрица перестановок
- Y – матрица номеров перестановок;
- er – вектор начальных значений электропотребления до реализации энергосберегающих мероприятий.

Описание работы алгоритма `simpower`:

1. Формирование стартового рангового параметрического распределения W для объектов;
2. Определение величины Z -потенциала и сохранение его в переменной ESP ;
3. Вычисление системной нормы снижения $Wp1$, действующей на всём горизонте планирования и равной 20% от величины Z -потенциала;
4. Сохранение вектора начальных значений `model` в качестве нулевого столбца матрицы S ;
5. Вычисление доли отклонения каждого объекта от границы Z -потенциала в общей величине Z -потенциала .
6. Расчет вектора весового коэффициента V , корректирующего вектор MO и СКО каждого ранга.

7. При помощи метода имитационного моделирования получение нового вектора по электропотреблению объектов W_{new} .

$$\text{simpower}(Z, MN, MK, Y, ep, ID) := \left\{ \begin{array}{l} W \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(ep)) \\ ESP \leftarrow W - Z \\ W_{pl} \leftarrow 0.2 \cdot \sum ESP \\ k \leftarrow 0 \\ S^{\langle k \rangle} \leftarrow ep \\ \text{for } s \in 0..4 \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \Delta W \leftarrow \frac{W_{pl} \cdot ESP}{\sum ESP} \\ V \leftarrow 1 - \frac{\Delta W}{W} \\ MN \leftarrow \text{diag}(V) \cdot MN \\ ep \leftarrow \text{ITSIM}(MN, MK, Y, 1000) \\ WR \leftarrow \text{correct}(S^{\langle k \rangle}, ESP, ep, Z, ID) \\ W \leftarrow WR^{\langle 0 \rangle} \\ ESP \leftarrow WR^{\langle 2 \rangle} \\ L \leftarrow \text{csort}(WR, 1) \\ k \leftarrow k + 1 \\ S^{\langle k \rangle} \leftarrow L^{\langle 0 \rangle} \end{array} \right. \\ S \end{array} \right.$$

8. Корректировка смоделированных данных относительно нижней границы Z -потенциала. Если в результате моделирования электропотребление ранга опустится ниже границы Z -потенциала, то его значение фиксируется на границе Z -потенциала. Матрица WR состоит из трех столбцов:
 нулевой - скорректированное ранговое параметрическое распределение;
 первый - вектор идентификаторов объектов;
 второй - вектор отклонений от границы Z -потенциала.

9. Перезапись нового вектора ранговых параметрических распределений в W данной выборки.

10. Перезапись нового вектора отклонения рангов от границы Z -потенциала в ESP.

11. Сортировка строк полученной матрицы WR по значениям идентификаторов объектов.

12. Сохранение вектора отклонений объектов от границы Z -потенциала в матрице P .

13. Сохранение вектора электропотребления объектов в матрице S .

Импорт данных распределений, соответствующих границам $Z1$ - и $Z2$ - потенциалов.

$Z :=$



...\z_border.xls

$ZP1 := \text{simpower}(Z^{(0)}, MN, MK, Y, \text{model}, ID)$

На рисунке Е.1 показано графическое представление смоделированного рангового распределения. Рисунки Е.2 и Е.3 представляют собой матрицы значений электропотребления первой и второй стратегии ZP -плана.

7. Сохранение результатов



C:\U...\ZP1.xls

ZP1



C:\U...\ZP2.xls

ZP2

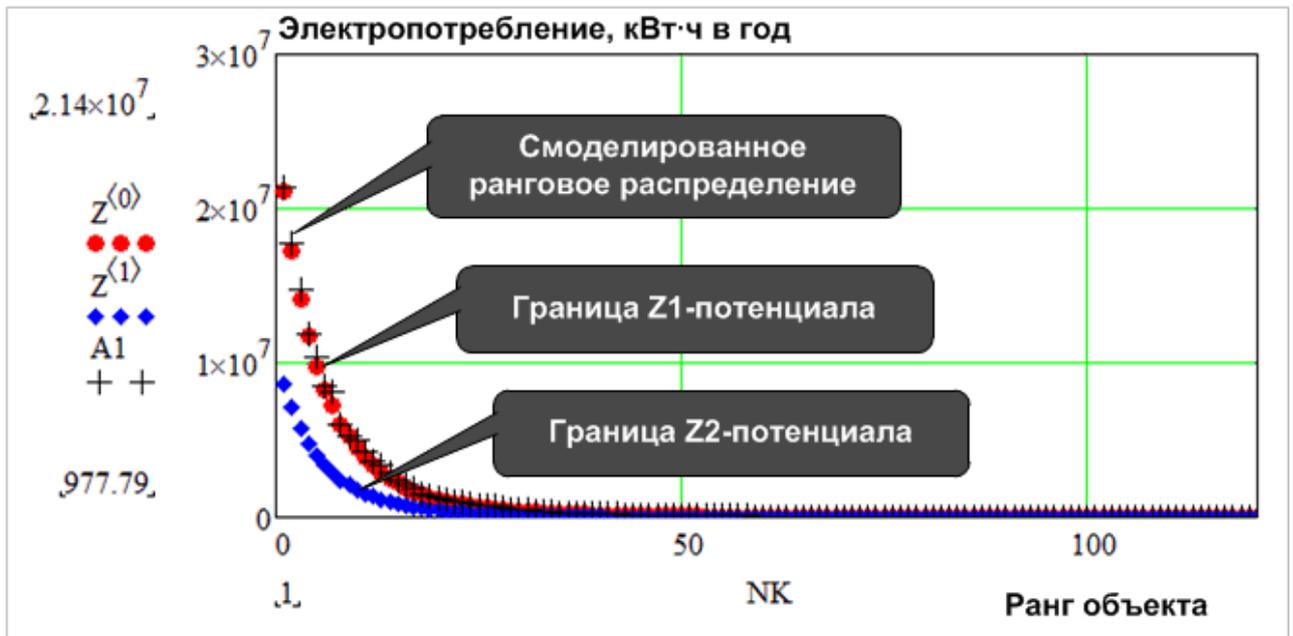


Рисунок Е.1 – Границы потенциалов Z1,Z2 и смоделированное ранговое распределение

	0	1	2	3	4	5
ZP1 =	0	$1.393 \cdot 10^5$	$1.297 \cdot 10^5$	$1.188 \cdot 10^5$	$1.078 \cdot 10^5$	$1.078 \cdot 10^5$
	1	$1.022 \cdot 10^6$	$9.761 \cdot 10^5$	$9.235 \cdot 10^5$	$9.045 \cdot 10^5$	$9.045 \cdot 10^5$
	2	$2.314 \cdot 10^5$	$2.167 \cdot 10^5$	$2.001 \cdot 10^5$	$1.803 \cdot 10^5$	$1.61 \cdot 10^5$
	3	$6.017 \cdot 10^5$	$5.795 \cdot 10^5$	$5.487 \cdot 10^5$	$4.919 \cdot 10^5$	$4.79 \cdot 10^5$
	4	$1.295 \cdot 10^6$	$1.295 \cdot 10^6$	$1.155 \cdot 10^6$	$1.155 \cdot 10^6$	$1.155 \cdot 10^6$
	5	$2.891 \cdot 10^5$	$2.891 \cdot 10^5$	$2.277 \cdot 10^5$	$2.245 \cdot 10^5$	$2.245 \cdot 10^5$
	6	$7.614 \cdot 10^5$	$7.241 \cdot 10^5$	$6.814 \cdot 10^5$	$6.299 \cdot 10^5$	$5.883 \cdot 10^5$

Рисунок Е.2 – Фрагмент матрицы ZP-плана для первой стратегии

	0	1	2	3	4	5
ZP2 =	0	$1.393 \cdot 10^5$	$1.189 \cdot 10^5$	$9.851 \cdot 10^4$	$7.789 \cdot 10^4$	$4.256 \cdot 10^4$
	1	$1.022 \cdot 10^6$	$8.826 \cdot 10^5$	$7.424 \cdot 10^5$	$6.008 \cdot 10^5$	$3.538 \cdot 10^5$
	2	$2.314 \cdot 10^5$	$1.981 \cdot 10^5$	$1.647 \cdot 10^5$	$1.309 \cdot 10^5$	$9.646 \cdot 10^4$
	3	$6.017 \cdot 10^5$	$5.487 \cdot 10^5$	$4.919 \cdot 10^5$	$4.487 \cdot 10^5$	$2.618 \cdot 10^5$
	4	$1.295 \cdot 10^6$	$1.295 \cdot 10^6$	$1.155 \cdot 10^6$	$1.155 \cdot 10^6$	$5.842 \cdot 10^5$
	5	$2.891 \cdot 10^5$	$2.891 \cdot 10^5$	$2.277 \cdot 10^5$	$2.245 \cdot 10^5$	$1.217 \cdot 10^5$
	6	$7.614 \cdot 10^5$	$6.563 \cdot 10^5$	$5.506 \cdot 10^5$	$4.438 \cdot 10^5$	$3.348 \cdot 10^5$

Рисунок Е.3 – Фрагмент матрицы ZP-плана для второй стратегии

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Оценка эффективности

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

M :=

 C:\Use...\ep.xls

data := submatrix(M, 0, 120, 1, 8) – матрица данных;

ID := submatrix(M, 0, 120, 0, 0) – идентификаторы объектов

$$\text{rang}(a) := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{cols}(a) - 1 \\ \quad b^{(i)} \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(a^{(i)})) \\ b \end{cases}$$

dataw := rang(data) – матрица ранговых параметрических распределений.

2. Импорт результатов ZP-анализа

Импорт данных распределений, соответствующих границам Z1- и Z2- потенциалов.

Z :=

 ... \z_border.xls

Импорт данных результатов выполнения ZP-плана.

ZP1 :=



C:\U...\ZP1.xls

ZP2 :=



C:\U...\ZP2.xls

3. Оценки эффективности

Процедура «coeff» на основе относительного отклонения объекта от границы Z-потенциала определяет коэффициенты, корректирующие величину премий за успехи в экономии электроэнергии. На выходе формируется вектор управляющих коэффициентов объектов.

$$\text{coeff}(W, Z, ID) := \left\{ \begin{array}{l} A \leftarrow \text{augment}(W, ID) \\ A \leftarrow \text{reverse}(\text{csort}(A, 0)) \\ A^{\langle 2 \rangle} \leftarrow \left(1 - \frac{A^{\langle 0 \rangle} - Z}{A^{\langle 0 \rangle}} \right) \\ \text{csort}(A, 1)^{\langle 2 \rangle} \end{array} \right.$$

Алгоритм работы процедуры «effect».

Исходные данные: ZP-матрица по электропотреблению, определенная ZP-планом, Z-граница Z-потенциала, γ – коэффициент, определяющий долю средств на премирование персонала; «sc»– величина действующего тарифа; ID - вектор идентификаторов объектов.

В переменной ESP сохраняется величина потенциала энергосбережения. На каждом шаге цикла в Δ сохраняется вектор фактических значений снижения электропотребления. В V сохраняются коэффициенты, определяющие долю отчислений на премирование объектов. Переменной «C» присваивается величина затрат на шаге ZP-плана. Далее переменной IPw присваивается значение интегрального показателя качества, «IPc»– интегрального показателя затрат, «IL»– интегрального показателя конверсии, IP - интегрального показателя эффективности. На выхо-

де модуля формируется массив, первый столбец которого содержит значения «IP», а второй – «IL».

$$\text{effect}(ZP, Z, \gamma, sc, ID) := \left| \begin{array}{l} \text{start} \leftarrow ZP^{\langle 0 \rangle} \\ \Delta W \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(\text{start})) - Z \\ \text{ESP} \leftarrow \sum \Delta W \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1.. \text{cols}(ZP) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} \Delta \leftarrow ZP^{\langle i-1 \rangle} - ZP^{\langle i \rangle} \\ V \leftarrow \text{coeff}(ZP^{\langle i \rangle}, Z, ID) \\ C \leftarrow \gamma \cdot sc \cdot \Delta^T \cdot V \\ \\ \sum \Delta \\ \text{IL}_k \leftarrow \frac{\quad}{C} \\ \\ \sum (\text{start} - ZP^{\langle i \rangle}) \\ \text{IP}_w \leftarrow \frac{\quad}{\text{ESP}} \\ \\ \text{IP}_c \leftarrow 1 + \frac{C}{\text{ESP} \cdot sc} \\ \\ \text{IP}_k \leftarrow \frac{\text{IP}_w}{\text{IP}_c} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \text{augment}(\text{IP}, \text{IL}) \end{array} \right.$$

$\gamma := 0.6$ – коэффициент, определяющий величину премирования для объектов;

$sc := 2.63$ – величина действующего тарифа на электроэнергию;

$k := 0..4$ – индекс шагов ZP-плана.

$RZ1 := \text{effect}(ZP1, Z^{\langle 0 \rangle}, \gamma$

$$RZ1 = \begin{pmatrix} 0.236 & 0.705 \\ 0.469 & 0.686 \\ 0.702 & 0.657 \\ 0.893 & 0.637 \\ 0.99 & 0.634 \end{pmatrix} \quad - \text{ матрица значений показателей для первой стратегии.}$$

$$RZ2 := \text{effect}(ZP2, Z^{(1)}, \gamma, sc, ID)$$

$$RZ2 = \begin{pmatrix} 0.192 & 1.48 \\ 0.381 & 1.266 \\ 0.566 & 1.051 \\ 0.744 & 0.831 \\ 0.9 & 0.634 \end{pmatrix} \quad - \text{ матрица значений показателей для второй стратегии.}$$

На рисунках Ж.1 и Ж.2 показаны графики интегральных показателей эффективности и конверсии для первой и второй.

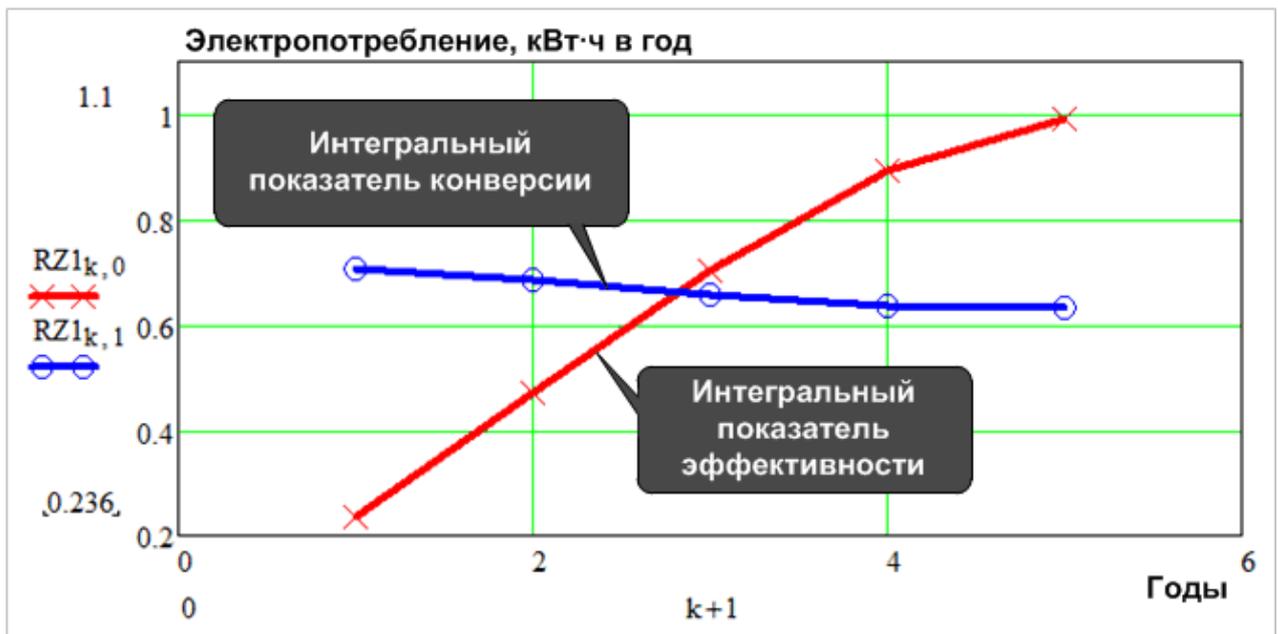


Рисунок Ж.1 – Интегральные показатели эффективности и конверсии при реализации стратегии Z1-потенциала

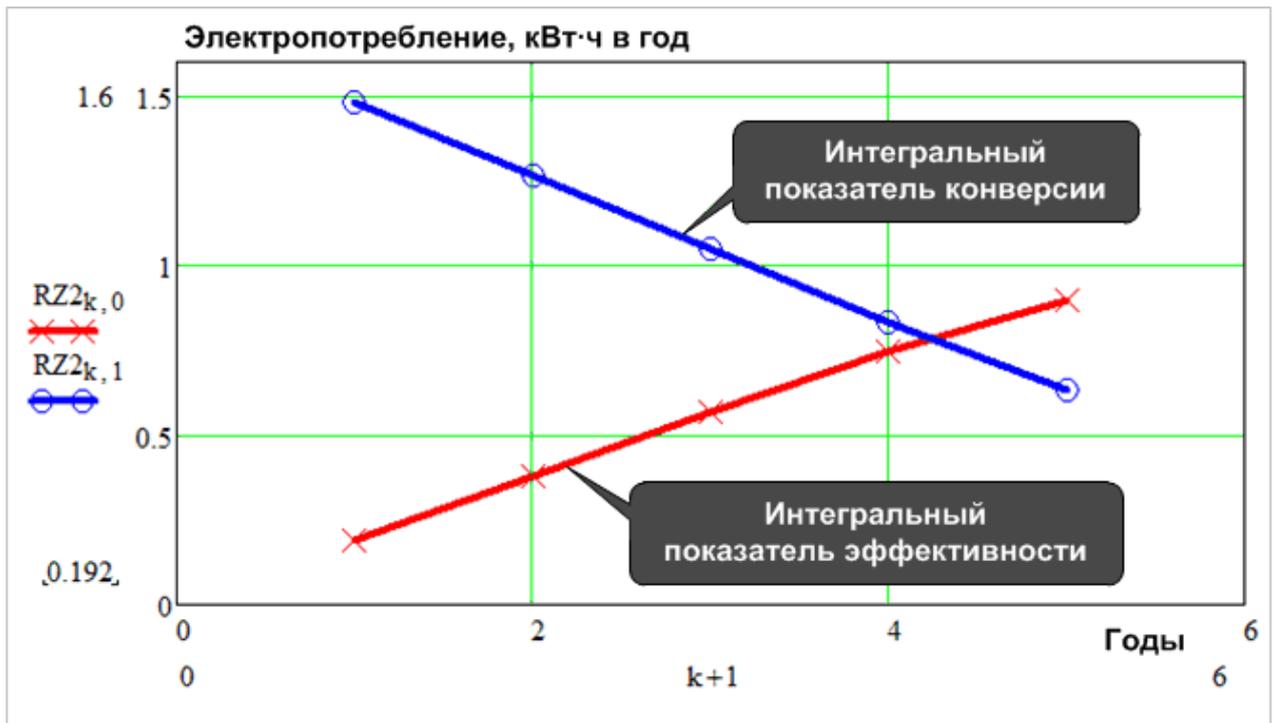


Рисунок Ж.2 – Интегральные показатели эффективности и конверсии при реализации стратегии Z2-потенциала

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Оценка адекватности и работоспособности методики ZP-анализа

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

M := 
C:\Use...\ep.xls

data := submatrix(M, 0, 120, 1, 8) – матрица данных;

ID := submatrix(M, 0, 120, 0, 0) – идентификаторы объектов

$$\text{rang}(a) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{cols}(a) - 1 \\ b^{(i)} \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(a^{(i)})) \\ b \end{array} \right.$$

dataw := rang(data) – матрица ранговых параметрических распределений.

2. Получение матрицы значений математического ожидания и среднеквадратического отклонения

Процедура SR(a) для каждой строки матрицы a определяет математическое ожидание (МО) и среднеквадратическое отклонения (СКО). На выходе процедуры формируется матрица, первый столбец, которой есть вектор МО, второй СКО.

$$\text{SR}(a) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0.. m - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} b \leftarrow \text{submatrix}(a, i, i, 0, n - 1)^T \\ c_{i,0} \leftarrow \text{mean}(b) \\ c_{i,1} \leftarrow \text{stdev}(b) \end{array} \right. \\ c \end{array} \right.$$

$\text{MN} := \text{SR}(W)$ – первый столбец матрицы – это вектор средних, второй столбец – СКО.

3. Проверка статистических гипотез, подтверждающих адекватность полученных результатов

Процедура NR предназначена для центрирования и нормирования строк матрицы a . Параметр b – матрица, первый столбец является вектором средних, второй – СКО. На выходе формируется матрица стандартизированных значений.

$$\text{NR}(a, b) := \left| \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0.. m - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0.. n - 1 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} c_k \leftarrow \frac{a_{i,j} - b_{i,0}}{b_{i,1}} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ c \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{RES} := \text{NR}(\text{dataw}, \text{MN}) \\ i := 0.. \text{rows}(\text{RES}) - 1 \end{array}$$

На рисунке И.1 представлен график стандартизированных значений в рамках доверительного интервала, полученный в результате подпрограммы NR (a,b).

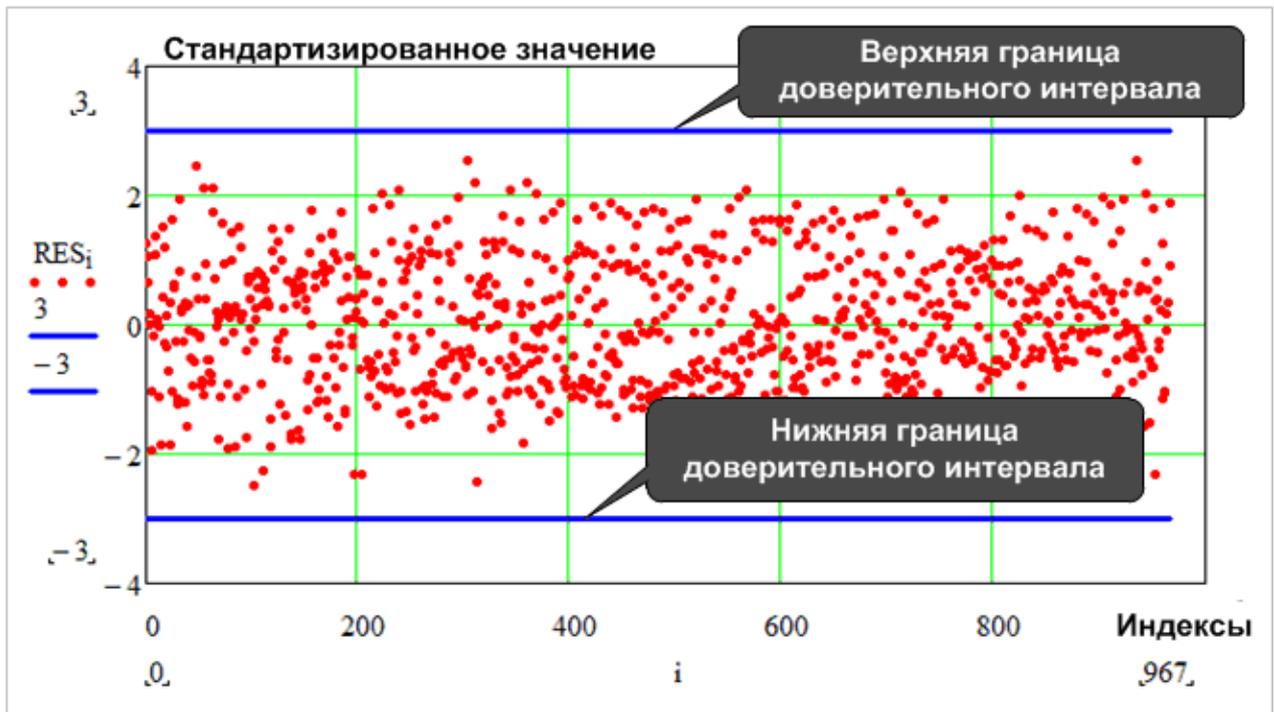


Рисунок И.1 – График стандартизированных значений

```

D(a, n) :=
  mx ← max(a)
  mn ← min(a)
  h ← (mx - mn) / n
  m ← mn
  k ← 0
  while m ≤ mx
    intk ← m
    k ← k + 1
    m ← m + h
  int
  int := D(RES, 16)
  H := hist(int, RES)

```

Функция построения эмпирической функции распределения, где A – вектор границ интервалов группирования, B – эмпирические частоты.

```

Ffact(B) :=
  N ← ∑ B
  s ← 0
  for i ∈ 0.. rows(B)
    if i = 0
      hi ← 0
      continue
    s ← s + Bi-1
    hi ←  $\frac{s}{N}$ 
  h
CumH := Ffact(H)

```

Расчёт теоретических значений функции нормального распределения

```

i := 0.. rows(int) - 1
CumHTi := pnorm(inti, 0, 1)

```

Значение критерия:

$$\gamma := \max(|\overrightarrow{\text{CumH} - \text{CumHT}}|) = 0.031$$

Наблюдаемое значение статистики:

$$N := \sqrt{\sum H} \sqrt{\sum H \cdot \gamma} = 0.969$$

Значение критической точки распределения Колмогорова:

$$\sqrt{\frac{-1}{2} \cdot \frac{\ln(1 - 0.95)}{2}} = 0.865$$

На рисунке И.2 показан график распределения стандартизированных значений, где столбцы – эмпирические значения; линия с крестами – теоретические значения; абсцисса – стандартизированное значение; ордината – значение функции распределения.

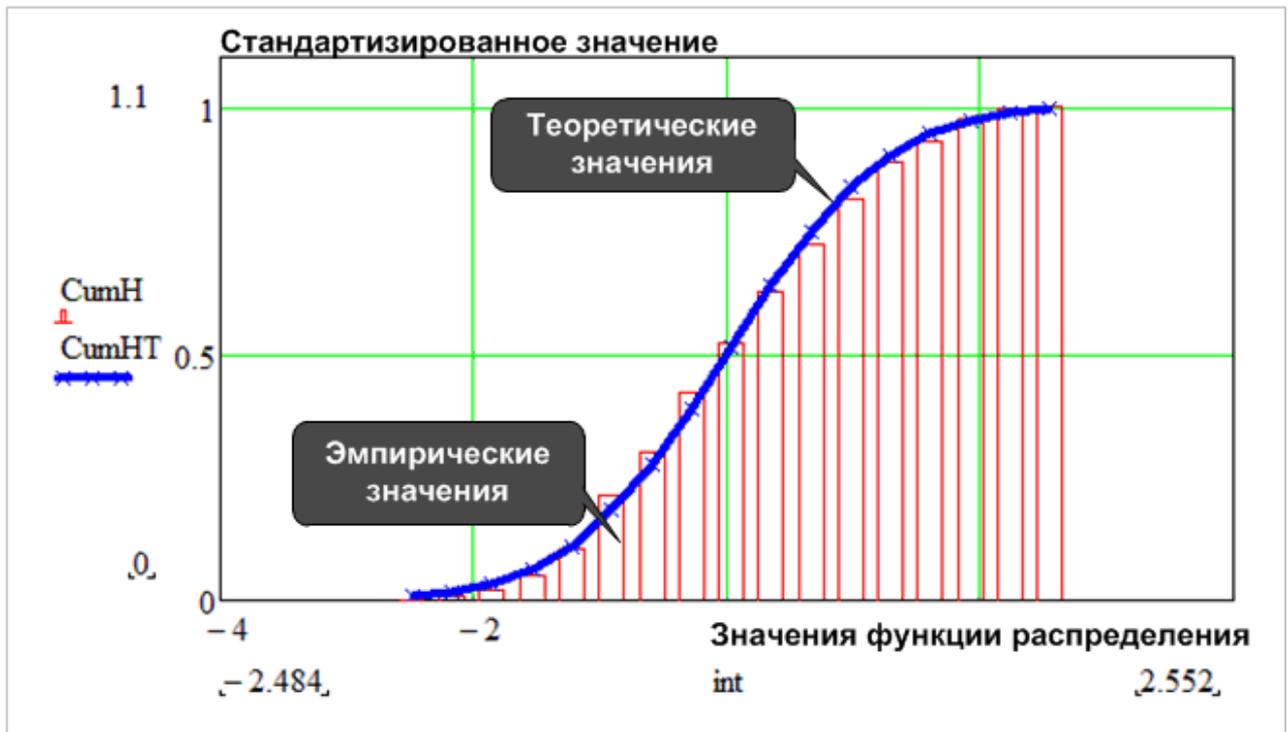


Рисунок И.2 – Функция распределения стандартизованных значений

Проверка о подчинении исследуемой выборки данных по электропотреблению закону распределения Ципфа

В качестве примера рассмотрим первый год функционирования.

$w := \text{data}^{\langle 7 \rangle}$ $N := \text{rows}(w)$
 $S := \text{round}(\sqrt{N}) = 9$ $S := 9$ – количество интервалов группирования.

$Z_{\text{int}} := D(w, S)$ – границы интервалов.

$HZ := \text{hist}(Z_{\text{int}}, w)$ – эмпирические частоты.

$k := 0.. \text{rows}(HZ) - 1$

$\text{CumHZ}_k := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^k HZ_i$ – эмпирические значения функции распределения.

Оценка параметров распределения Ципфа

$X_0 := \min(w)$ $J := \max(w)$

$$\alpha := \frac{1}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \ln\left(\frac{w_i}{X_0}\right)} \quad \alpha = 0.25$$

$$C := \frac{\alpha \cdot (N - 1)}{\frac{1}{X_0^\alpha} - \frac{1}{J^\alpha}} \quad n(x) := \frac{C}{x^{1+\alpha}}$$

$$\text{CumHTZ}_k := \frac{1}{N} \cdot \int_{X_0}^{Z_{int_{k+1}}} n(x) dx \quad \text{— теоретическое значение функции распределения.}$$

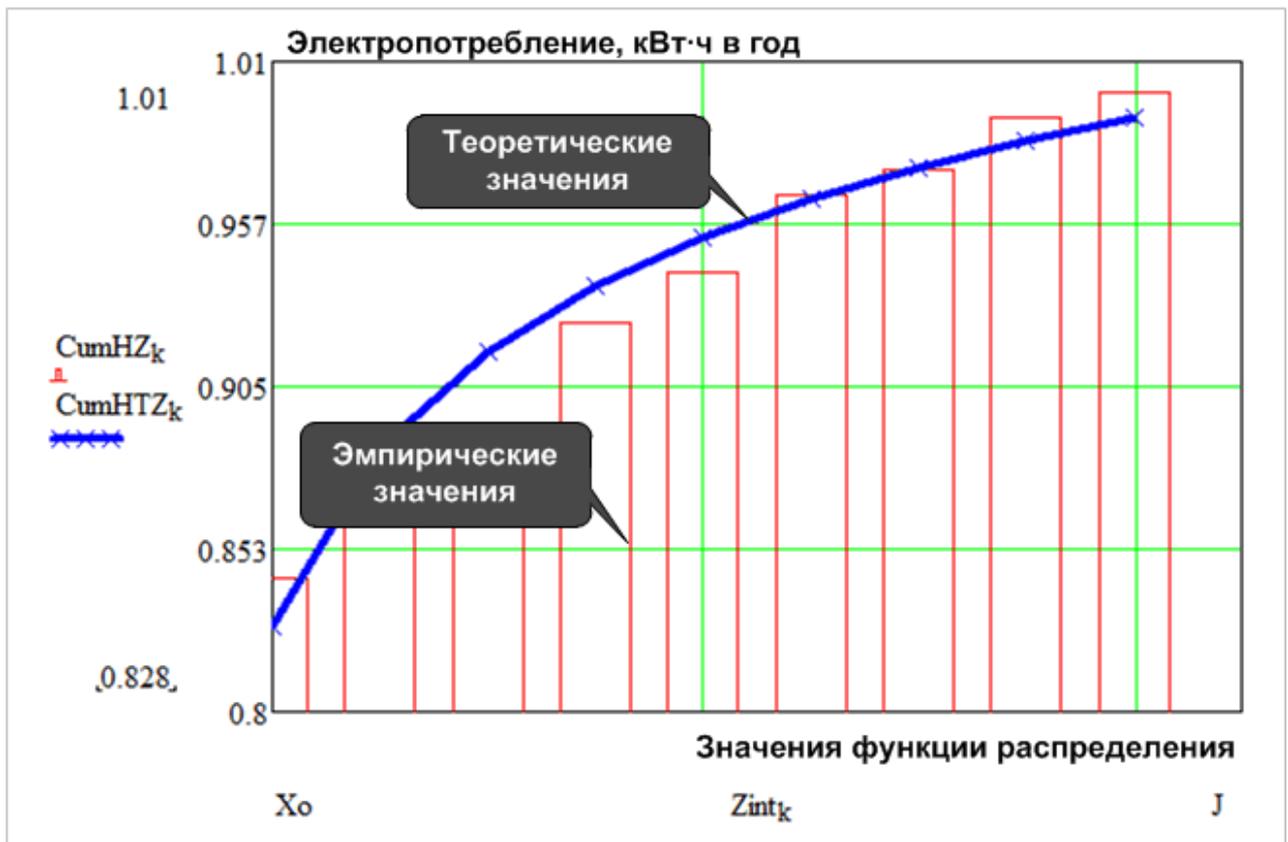


Рисунок И.3 – Функция распределения годового электропотребления

Наблюдаемое значение статистики:

$$\chi_{\text{max}} := \max\left(\overrightarrow{|\text{CumHZ} - \text{CumHTZ}|}\right) = 0.04$$

$\sqrt{N} \cdot \gamma = 0.443$ – значение критерия.

Значение критической точки распределения Колмогорова:

$$\sqrt{\frac{-1}{2} \cdot \frac{\ln(1 - 0.95)}{2}} = 0.865$$

*Проверка гипотезы об однородности
выборок по критерию Колмогорова-Смирнова*

Процедура предназначена для преобразования матрицы в вектор-столбец.

```
set_column(a) := | k ← 0
                  | m ← rows(a) - 1
                  | n ← cols(a) - 1
                  | for i ∈ 0.. m
                  |   for j ∈ 0.. n
                  |     | bk ← ai,j
                  |     | k ← k + 1
                  | b
V := set_column(dataw)
```

Построение границы интервалов:

$S := \text{round}(\sqrt{\text{rows}(\text{dataw})})$

$\text{intD} := D(V, 11)$ – границы интервалов.

```
FT(a, b) := | m ← cols(b)
             | N ← rows(b)
             | for i ∈ 0.. m - 1
             |   h<i> ←  $\frac{1}{N} \cdot \text{hist}(a, b^{\langle i \rangle})$ 
             | h
```

$\text{HF} := \text{FT}(\text{intD}, \text{data})$ – матрица эмпирических значений функции плотности распределения.

$b := \text{KOL}(\text{HF})$

$$\text{KOL}(a) := \left| \begin{array}{l} k \leftarrow 0 \\ N \leftarrow \text{rows}(a) \\ s \leftarrow \sqrt{\frac{N}{2}} \\ \text{for } i \in 0.. \text{cols}(a) - 2 \\ \quad \text{for } j \in i + 1.. \text{cols}(a) - 1 \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} b_k \leftarrow s \cdot \max\left(\overrightarrow{|a^{(i)} - a^{(j)}|}\right) \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \text{b} \end{array} \right.$$

Границы интервалов статистики для расчёта критерия Колмогорова-Смирнова:

$$\max(b) = 0.055 \quad \min(b) = 0.018$$

4. Оценка работоспособности методики ZP-анализа

Импорт данных распределений, соответствующих границам Z1- и Z2- потенциалов.

Z := 
... \z_border.xls

Импорт данных результатов выполнения ZP-плана.

ZP1 :=  C:\U...\ZP1.xls ZP2 :=  C:\U...\ZP2.xls

$$\text{ESP}(W, Z) := \left| \begin{array}{l} k \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1.. \text{cols}(W) - 1 \\ \quad \left| \begin{array}{l} a \leftarrow \text{reverse}(\text{sort}(W^{(i)})) \\ b_k \leftarrow \sum (a - Z) \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \text{b} \end{array} \right.$$

$$P1 := \text{ESP}(ZP1, Z^{(0)}) \quad P2 := \text{ESP}(ZP2, Z^{(1)})$$

$$k := 0..4$$

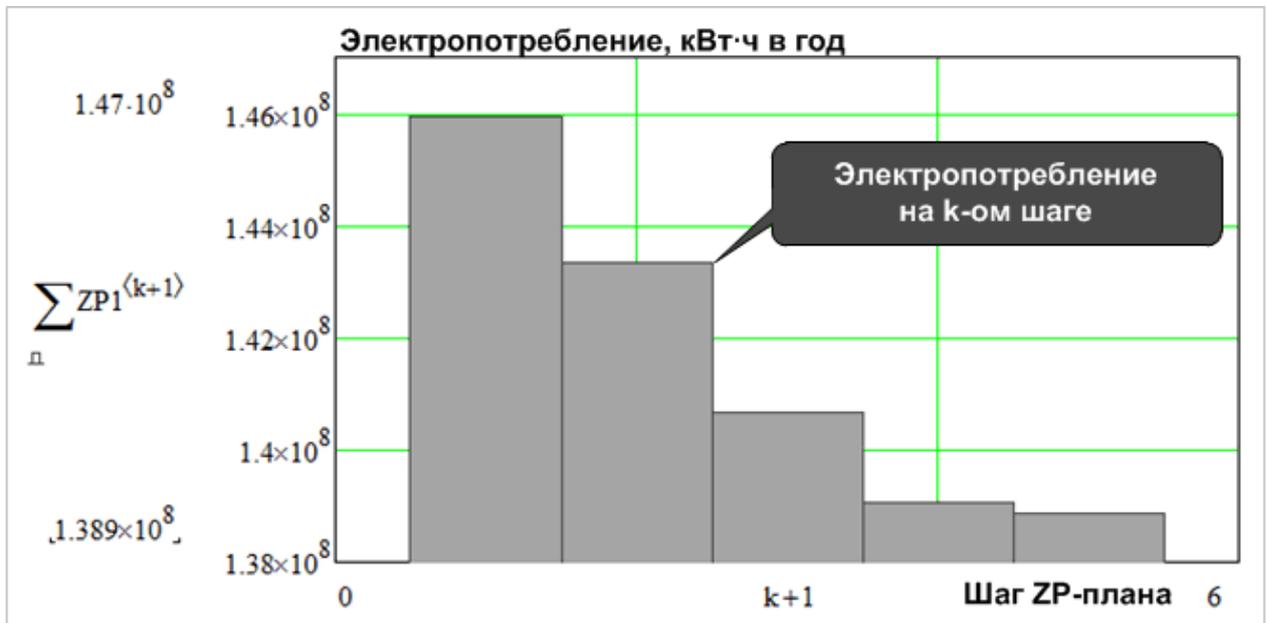


Рисунок И.4 – График снижения электropотребления на каждом шаге ZP-плана для первой стратегии

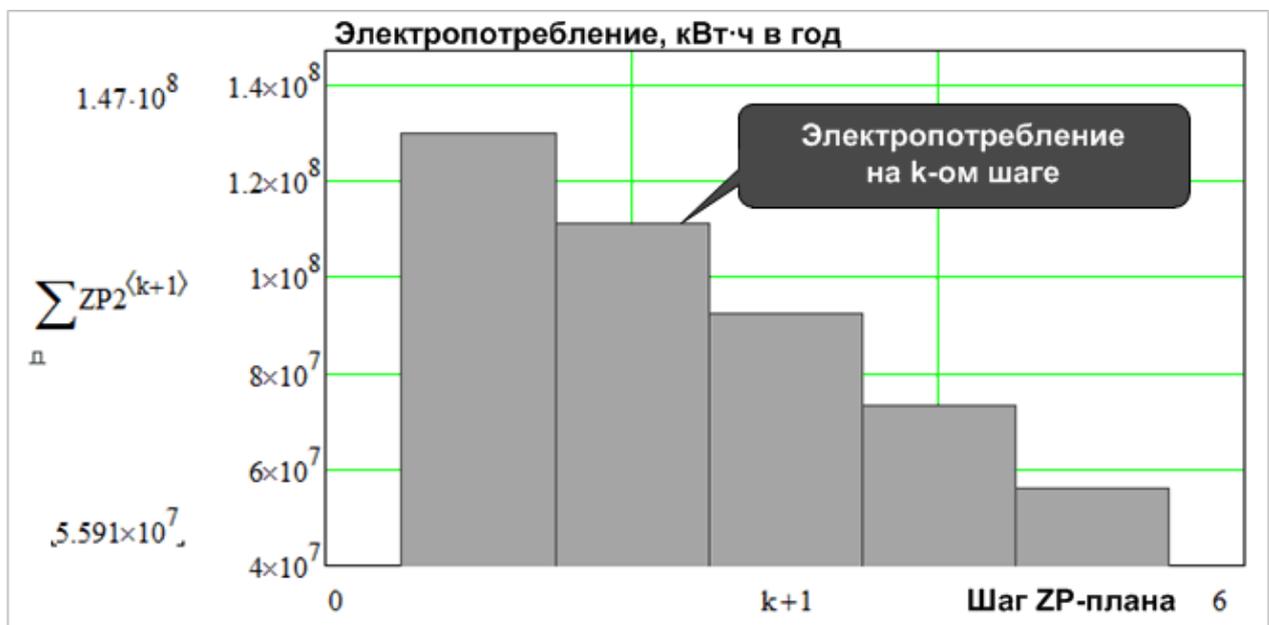


Рисунок И.5 – График снижения электropотребления на каждом шаге ZP-плана для первой стратегии

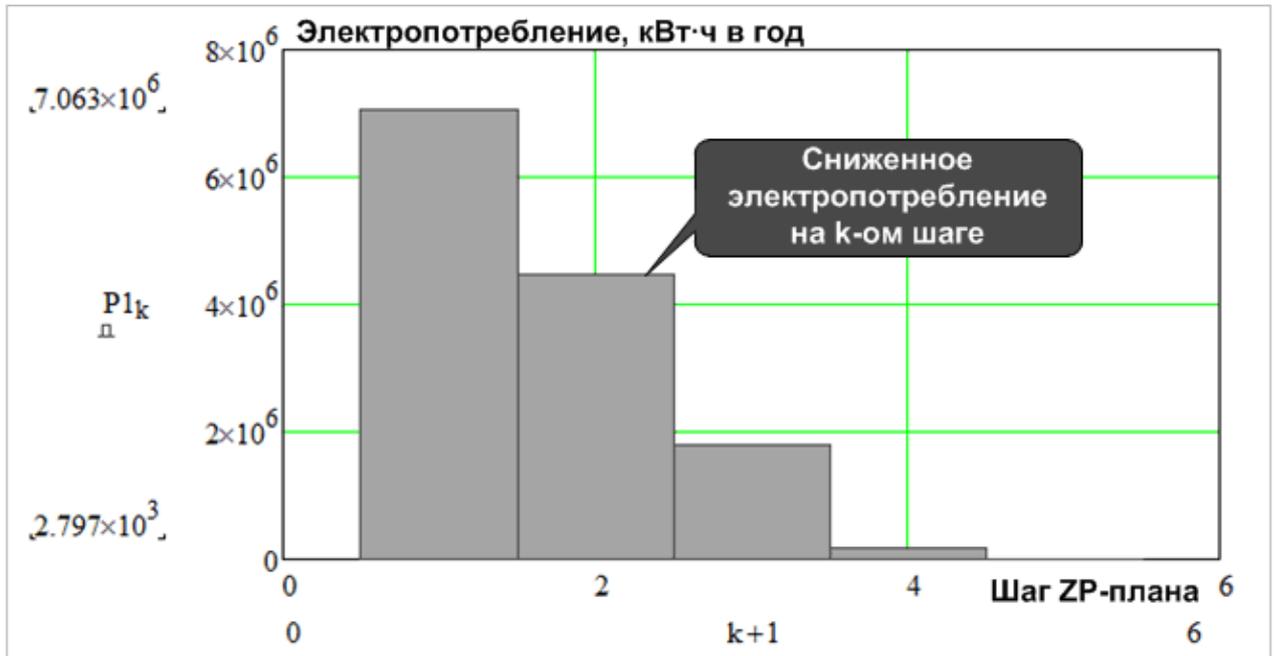


Рисунок И.6 – График снижения потенциала энергосбережения на каждом шаге ZP-плана для первой стратегии

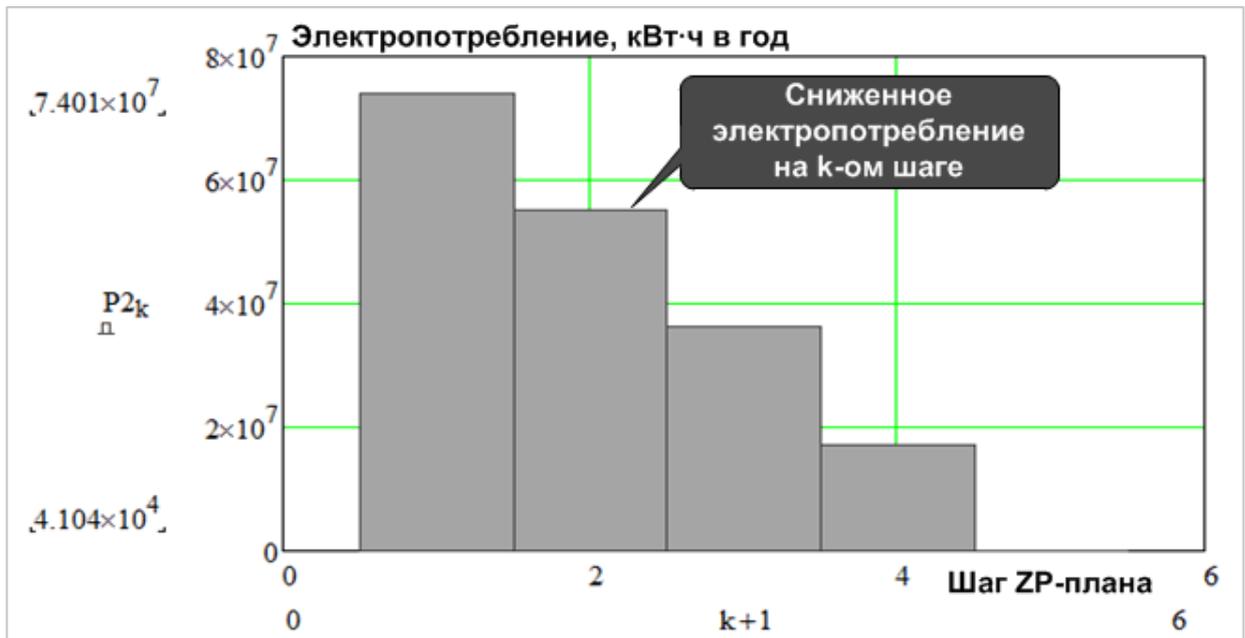


Рисунок И.7 – График снижения потенциала энергосбережения на каждом шаге ZP-плана для второй стратегии

Процедура для расчёта фактических норм снижения электропотребления объектов при выполнении ZP-плана.

$$GL(a) := \left\{ \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) \\ n \leftarrow \text{cols}(a) \\ \text{for } i \in 0..m-1 \\ \quad \text{for } j \in 1..n-1 \\ \quad \quad b_{i,j-1} \leftarrow \frac{a_{i,j-1} - a_{i,j}}{a_{i,j-1}} \\ 100 \cdot b \end{array} \right.$$

norm_power1 := GL(ZP1) – матрица фактических норм снижения электропотребления для первой стратегии.

norm_power2 := GL(ZP2) – матрица фактических норм снижения электропотребления для первой стратегии.

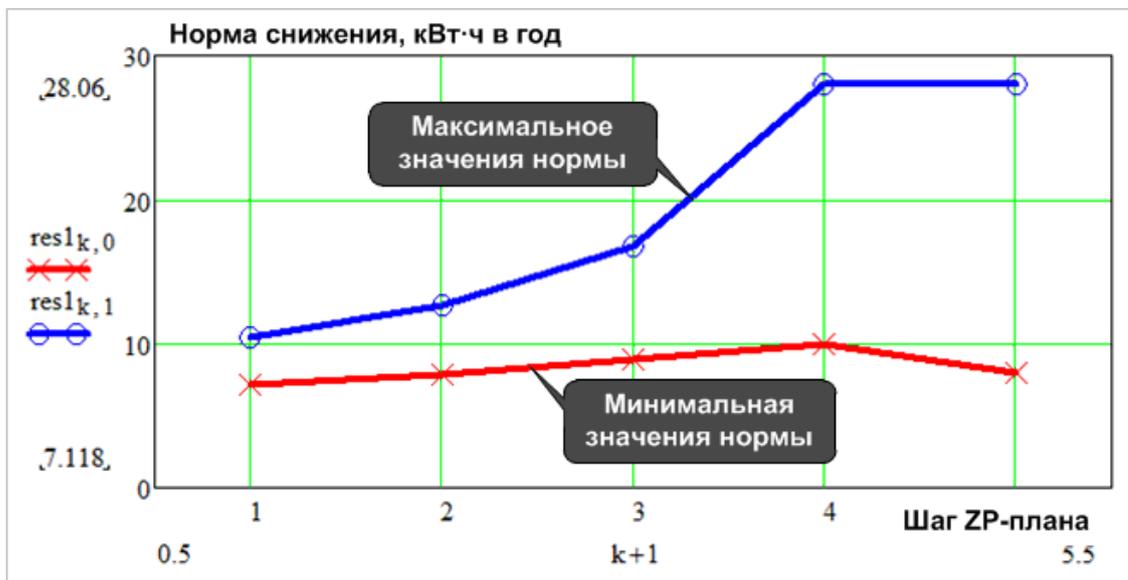
$$LT(a) := \left\{ \begin{array}{l} m \leftarrow \text{rows}(a) - 1 \\ n \leftarrow \text{cols}(a) - 1 \\ k \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 0..n \\ \quad \text{for } i \in 0..m \\ \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} c_k \leftarrow a_{i,j} \\ k \leftarrow k + 1 \end{array} \right. \\ \quad \quad S_{j,0} \leftarrow \text{mean}(c) \\ \quad \quad S_{j,1} \leftarrow \text{max}(c) \\ S \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{res1} := LT(\text{norm_power1}) \\ \text{res2} := LT(\text{norm_power2}) \end{array}$$


Рисунок И.8 – График изменения нормы снижения для первой стратегии

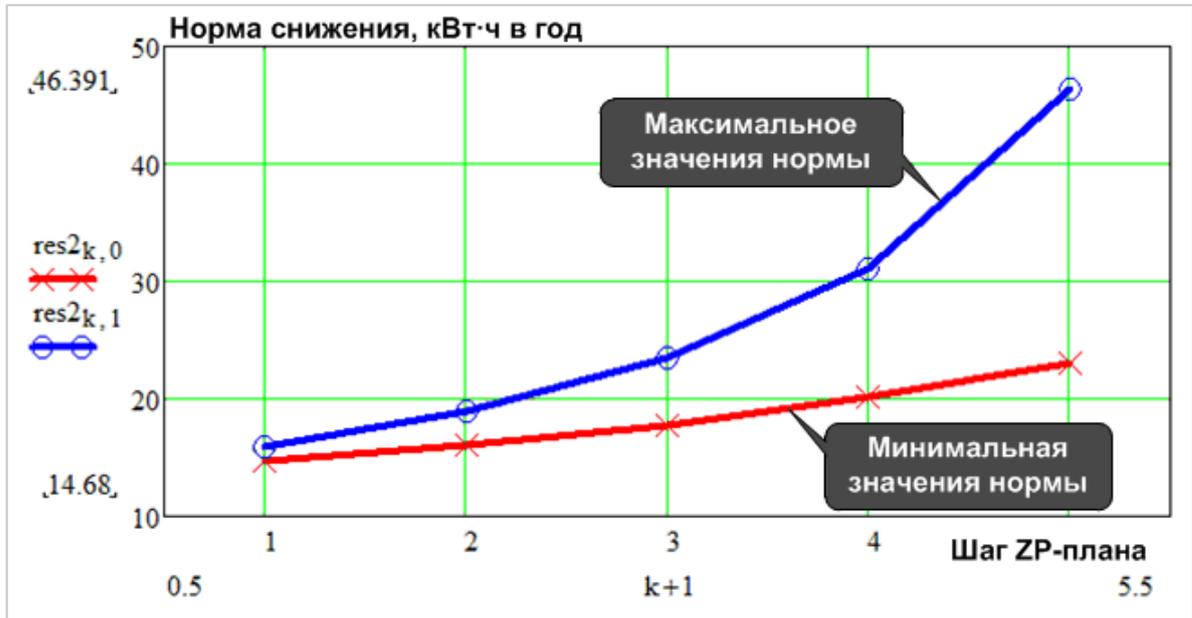


Рисунок И.9 – График изменения нормы снижения для второй стратегии

```

LK(a) :=
  m ← rows(a) - 1
  n ← cols(a) - 1
  k ← 0
  for i ∈ 0.. m
    for j ∈ 0.. n
      bk ← ai,j
      k ← k + 1
  b

LH1 := LK(norm_power1)
LH2 := LK(norm_power2)
int1 := D(LH1, 23)
H1 := hist(int1, LH1)
int2 := D(LH2, 23)
H2 := hist(int2, LH2)
    
```

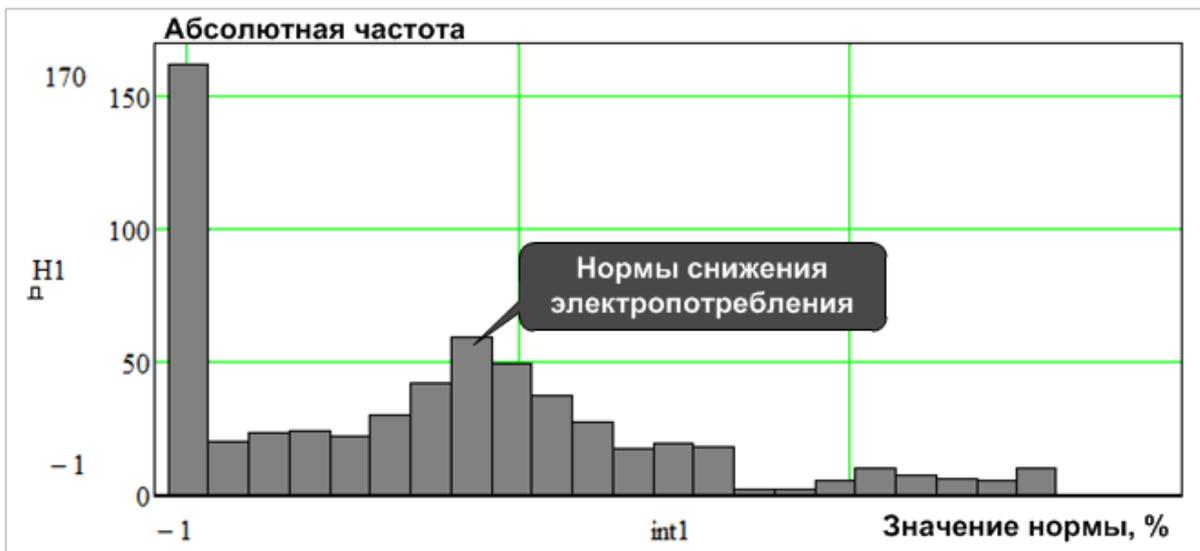


Рисунок И.10 – Гистограмма норм снижения для первой стратегии

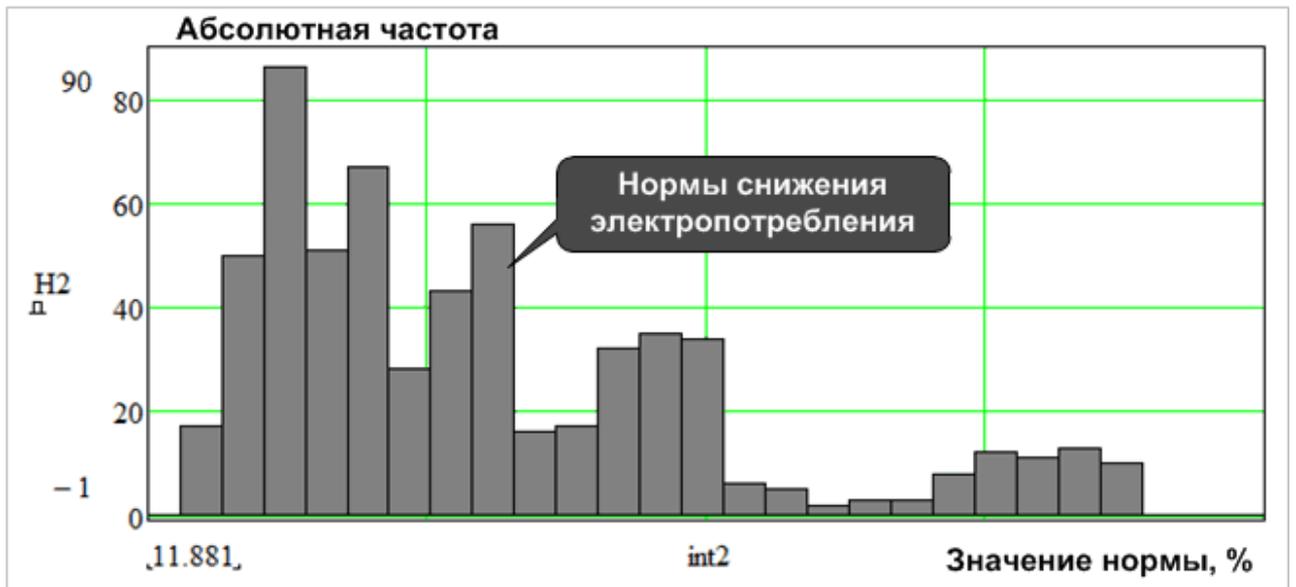
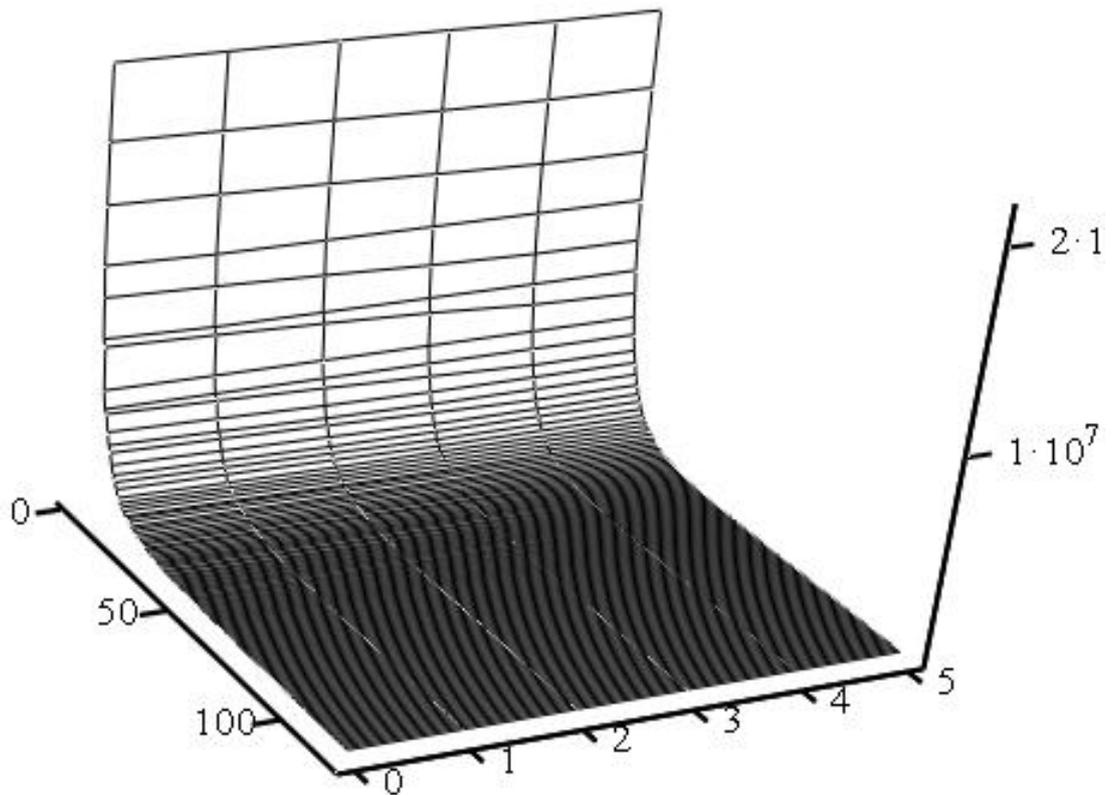
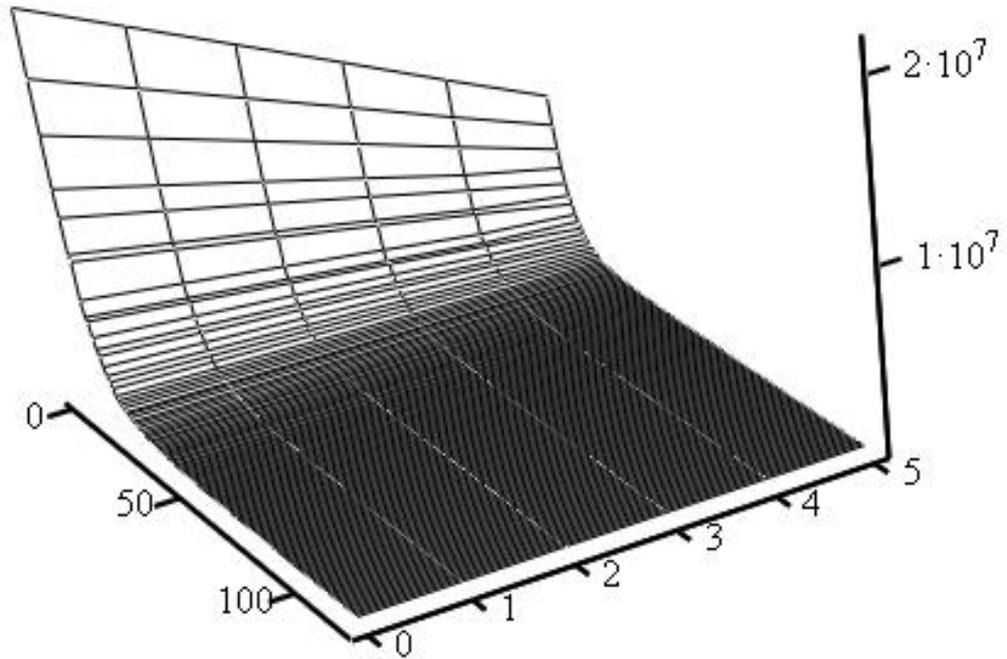


Рисунок И.11 – Гистограмма норм снижения для второй стратегии



$\text{rang}(ZP1)$

Рисунок И.12 – Ранговая поверхность по электропотреблению для стратегии, ориентированной на первую стратегию



$\text{rang}(\text{ZP2})$

Рисунок И.13 – Ранговая поверхность по электропотреблению для стратегии, ориентированной на первую стратегию

Оценка процента выполнения ZP-плана

$$W1zp := \text{reverse}(\text{sort}(\text{ZP1}^{\langle 5 \rangle})) \quad W2zp := \text{reverse}(\text{sort}(\text{ZP2}^{\langle 5 \rangle}))$$

$$\text{start} := \text{reverse}(\text{sort}(\text{ZP1}^{\langle 0 \rangle}))$$

$$\frac{\sum(\text{ZP1}^{\langle 0 \rangle} - \text{ZP1}^{\langle 5 \rangle})}{\sum(\text{start} - \text{Z}^{\langle 0 \rangle})} = 99.971\% \quad \text{– процент реализованного Z1-потенциала.}$$

$$\frac{\sum (ZP2^{\langle 0 \rangle} - ZP2^{\langle 5 \rangle})}{\sum (\text{start} - Z^{\langle 1 \rangle})} = 99.956\% \quad \text{– процент реализованного Z2-потенциала.}$$

Оценка отклонения электропотребления объектов от границы Z-потенциала на последнем шаге ZP-анализа

$$\delta 1 := 100 \cdot \frac{W1_{zp} - Z^{\langle 0 \rangle}}{W1_{zp}}$$

$\max(\delta 1) = 5.928$ – максимальное значение отклонения от границы Z1-потенциала.

$\text{mean}(\delta 1) = 0.28$ – среднее значение отклонения от границы Z1-потенциала.

$$\delta 2 := 100 \cdot \frac{W2_{zp} - Z^{\langle 1 \rangle}}{W2_{zp}}$$

$\max(\delta 2) = 6.406$ – максимальное значение отклонения от границы Z1-потенциала.

$\text{mean}(\delta 2) = 0.205$ – среднее значение отклонения от границы Z1-потенциала.

Оценка фактической системной нормы снижения электропотребления

$$\delta 1_{zp k} := \frac{\sum (ZP1^{\langle k \rangle} - ZP1^{\langle k+1 \rangle})}{\sum (\text{start} - Z^{\langle 0 \rangle})}$$

$$\delta 2z p_k := \frac{\sum (ZP2^{(k)} - ZP2^{(k+1)})}{\sum (start - Z^{(1)})}$$

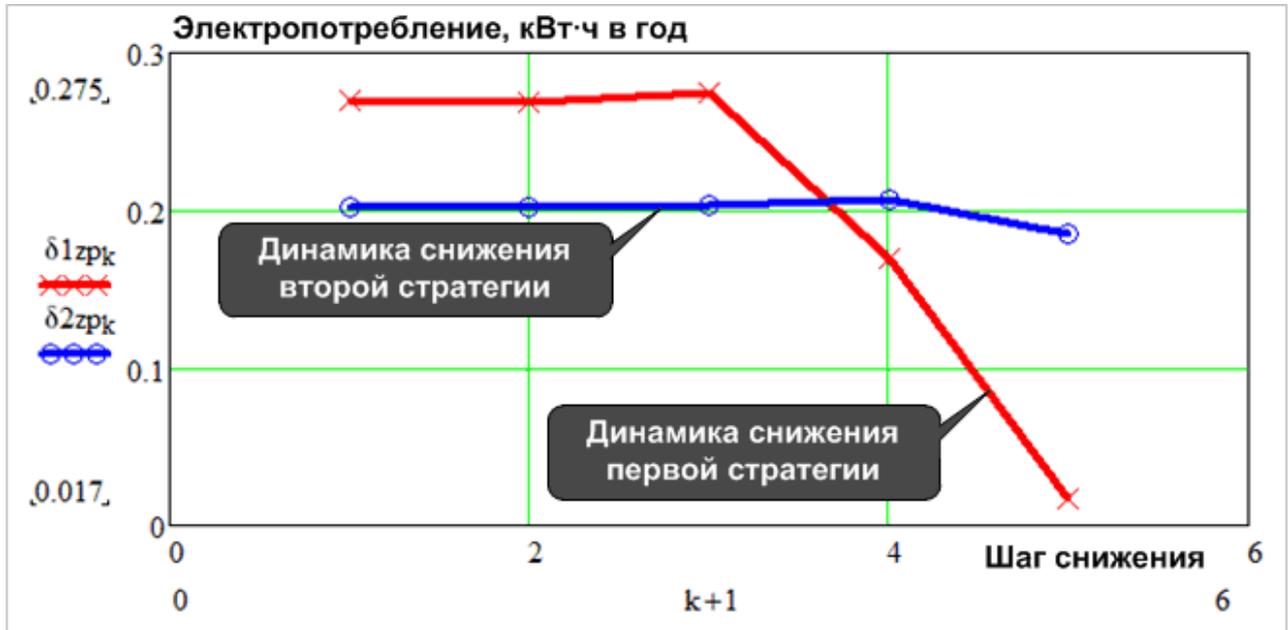


Рисунок И.14 – График фактической системной нормы снижения

Определение количества объектов, достигнувших границы Z-потенциала

$$Nz p_1 := \frac{100 \cdot \sum_{i=0}^{rows(ID)-1} \text{if}(W1z p_i - Z_{i,0} = 0, 1, 0)}{rows(ID)}$$

$Nz p_1 = 85.95$ – количество объектов для первой стратегии.

$$Nz p_2 := \frac{100 \cdot \sum_{i=0}^{rows(ID)-1} \text{if}(W2z p_i - Z_{i,1} = 0, 1, 0)}{rows(ID)}$$

$Nz p_2 = 90.083$ – количество объектов для второй стратегии.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

Экономическая оценка

1. Импорт данных

Задаётся начало отсчёта, считываются исходные данные:

$M :=$



C:\Use...\ep.xls

$data := submatrix(M, 0, 120, 1, 8)$ – матрица данных;

$ID := submatrix(M, 0, 120, 0, 0)$ – идентификаторы объектов

$$rang(a) := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. cols(a) - 1 \\ b^{(i)} \leftarrow reverse(sort(a^{(i)})) \\ b \end{cases}$$

$dataw := rang(data)$ – матрица ранговых параметрических распределений.

2. Импорт результатов ZP-анализа

Импорт данных распределений, соответствующих границам Z1- и Z2- потенциалов.

$Z :=$



...\z_border.xls

Импорт данных результатов выполнения ZP-плана.

$ZP1 :=$



C:\U...\ZP1.xls

$ZP2 :=$



C:\U...\ZP2.xls

3. Процедура экономической оценки

Процедура «coeff» на основе относительного отклонения объекта от границы Z -потенциала определяет коэффициенты, корректирующие величину премий за успехи в экономии электроэнергии. На выходе формируется вектор управляющих коэффициентов для каждого объекта.

$$\text{coeff}(W, Z, ID) := \begin{cases} A \leftarrow \text{augment}(W, ID) \\ A \leftarrow \text{reverse}(\text{csort}(A, 0)) \\ A^{\langle 2 \rangle} \leftarrow \left(1 - \frac{A^{\langle 0 \rangle} - Z}{A^{\langle 0 \rangle}} \right) \\ \text{csort}(A, 1)^{\langle 2 \rangle} \end{cases}$$

Расчёт затрат на реализацию стратегии

Исходные данные для работы процедуры:

- ZP – матрица данных по электропотреблению объектов, определенная результатом выполнения ZP -плана;
- Z – граница Z -потенциала;
- sc – тариф;
- γ – коэффициент, устанавливающий долю отчислений на премирование объектов по результатам экономии электроэнергии;
- r – ставка дисконтирования;
- ID – вектор идентификаторов объектов.

Описание работы процедуры

На начальном шаге ZP -плана сумма получаемого дохода равна нулю, но уже на этом шаге необходимо вложить средства на выплату премий и переоснащение объекта.

На последующих шагах вычисляется размер сэкономленных средств, формирующих фонд энергосбережения. Далее путем вычитания из фонда энергосбережения размера средств на премирование объекта определяется величина дисконтированного дохода и записывается в $Y_{k,2}$. В переменной s суммируется ве-

личина дисконтированного дохода. В $Y_{k,4}$ записывается доля чистой прибыли в фонде энергосбережения на каждом шаге ZP-плана.

```

RS(ZP,Z,sc,γ,r,ID) :=
  k ← 0
  m ← cols(ZP)
  for i ∈ 0.. m - 1
    if i = 0
      Y0,k ← k
      Y1,k ← 0
      Y2,k ← -γ · sc · ∑ (ZP<i> - ZP<i+1>) · 10-6
      Y3,k ← Y2,k
      Y4,k ← 0
    otherwise
      Δ ← ZP<i-1> - ZP<i>
      Y0,k ← k
      Y1,k ← 10-6 · sc · ∑ Δ
      V ← coeff(ZP<i>, Z, ID)
      Y2,k ←  $\frac{sc \cdot \Delta^T \cdot (1 - \gamma \cdot V) \cdot 10^{-6}}{(1 + r)^i}$ 
      Y3,k ← Y3,k-1 + Y2,k
      Y4,k ←  $\frac{\Delta^T \cdot (1 - \gamma \cdot V)}{\sum \Delta}$ 
  k ← k + 1
Y

```

$\gamma := 0.6$ – коэффициент, определяющий величину премирования для объектов;

$r := 0.18$ – ставка дисконтирования.

$sc := 2.63$ – ставка дисконтирования;

$$EC1 := RS(ZP1, Z^{(0)}, sc, \gamma, r, ID)$$

$$\gamma := 0.7$$

$$EC2 := RS(ZP2, Z^{(1)}, sc, \gamma, r, ID)$$

Описание матрицы результатов:

- первая строка – номер шага ZP-плана. При этом нулевой шаг соответствует электропотреблению системы без реализации энергосберегающих мероприятий;
- вторая строка – величина фонда энергосбережения, млн. руб.;
- третья строка – величина дисконтированного дохода;
- четвертая строка – суммарный дисконтированный доход, млн. руб.;
- пятая строка – доля чистой прибыли в общем фонде энергосбережения.

$$EC1 =$$

	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	0	6.87	6.85	6.99	4.3	0.43
2	-4.12	2.68	2.19	1.79	0.89	0.07
3	-4.12	-1.44	0.75	2.54	3.44	3.51
4	0	0.46	0.45	0.42	0.4	0.4

$$EC2 =$$

	0	1	2	3	4	5
0	0	1	2	3	4	5
1	0	49.13	49.31	49.66	50.44	45.13
2	-34.39	29.15	23.01	17.47	12.13	5.93
3	-34.39	-5.24	17.78	35.24	47.37	53.3
4	0	0.7	0.65	0.58	0.47	0.3

Расчет индекса доходности

$$\frac{EC1_{3,5}}{|EC1_{3,0}|} = 0.852 \text{ – для первой стратегии;}$$

$$\frac{EC2_{3,5}}{|EC2_{3,0}|} = 1.55 \text{ – для второй стратегии.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Реализация процедур ZP-анализа средствами языка SQL

М.1 SQL-инструкции по созданию базы данных

1.1 Таблица «Параметр»

```
CREATE TABLE parameters
(id          BYTE
,name VARCHAR(50)
,dim        VARCHAR(50)
,CONSTRAINTpk_param PRIMARY KEY(id)          )
```

1.2 Таблица «Функциональная группа»

```
CREATE TABLE groups
(id          BYTE
,name VARCHAR(50)
,r_param    BYTE
,CONSTRAINTpk_groups      PRIMARY KEY(id)
,CONSTRAINTfk_groups_param FOREIGN KEY(r_param)
REFERENCES parameters(id)          )
```

1.3 Таблица «Объект»

```
CREATE TABLE objects
(id          SMALLINT
,name VARCHAR(50)
,r_group    BYTE
,CONSTRAINTpk_objects     PRIMARY KEY(id)
,CONSTRAINTfk_objects_groups FOREIGN KEY(r_group)
REFERENCES groups(id)          )
```

1.4 Таблица «Процесс»

```
CREATE TABLE process
(id COUNTER(0,1)
,r_object      SMALLINT
```

```

,r_param          BYTE
,pvalue          FLOAT
,reg_date        DATE
,CONSTRAINTpk_process          PRIMARY KEY(id)
,CONSTRAINTfk_process_object   FOREIGN KEY(r_object)
                                REFERENCESobjects(id)
,CONSTRAINTfk_process_params   FOREIGNKEY(r_param)
                                REFERENCESparameters(id)      )

```

М.2 SQL-инструкции, формирующие матрицу ZP-норм

Определение минимального удельного электропотребления в каждой функциональной группе за весь период функционирования. Запрос сохраняется под именем best. Набор данных включает следующие столбцы: дата снятия показаний, наименование функциональной группы, идентификатор функциональной группы, минимальное удельное электропотребление в функциональной группе.

```

SELECT C.reg_date,A.name,A.id,MIN(D.pvalue/C.pvalue) AS pvalue
FROM process      AS D INNER JOIN
(process         AS C INNER JOIN
(groups         AS A INNER JOIN
objects AS B ON A.id = B.r_group)
ON C.r_param = A.r_paramAND C.r_object = B.id)
ON D.r_object = B.id AND C.reg_date = D.reg_dateWHERE D.r_param = 18
GROUP BY A.name,A.id,C.reg_date ORDER BY C.reg_date

```

Получение матрицы ZP-норм. Запрос сохраняется в базе данных под именем zpdata. Набор данных включает столбцы: идентификатор объекта, наименование объекта, значения ZP-норм за все годы функционирования.

```

SELECT B.id, B.name,

```

```
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2004,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2004,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2005,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2005,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2006,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2006,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2007,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2007,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2008,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2008,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2009,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2009,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2010,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2010,  
SUM(IIF(YEAR(A.reg_date)=2011,A.pvalue*C.pvalue)) AS 2011  
FROM process AS C INNER JOIN (best AS A INNER JOIN objects AS B ON  
A.id=B.r_group) ON (C.r_param=A.r_param)AND (C.r_object=B.id)  
WHERE DATEDIFF('yyyy',A.reg_date,C.reg_date)=0GROUP BY B.id, B.name;
```

ПРИЛОЖЕНИЕ М

ЗР-план энергосбережения, ориентированный на достижение границы Z1-потенциала

Таблица М.1 – Нормы электропотребления, кВт·ч в год

Код объекта	Годы				
	2013	2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6
1	129665	118834	107813	107813	107813
2	976063	923517	904471	904471	904471
4	216736	200116	180256	160988	160988
5	570494	534877	491941	479023	479023
6	1240340	1177855	1155446	1155446	1155446
7	271532	251574	227675	224488	224488
8	724077	681447	629947	588307	588307
9	50652	45792	40060	35433	35433
10	98401	89794	79582	68067	68067
11	13458	11935	10162	7624	7509
12	6715	5898	4954	3914	3914
13	6317	5544	4651	3389	3368
14	8607	7587	6404	4723	4676
15	470803	439966	402857	392165	392165
16	229843	212424	191597	174934	174934
17	112435	102830	91421	85210	85210
18	21357	19064	16382	13222	13222
19	10002	8852	7515	5695	5695
20	48798	44152	38672	31251	31251
21	374238	348446	317472	293987	293987
22	6665	5856	4920	3634	3634
23	16073	14291	12213	9399	9399
24	9236	8149	6888	5094	5039
25	514369	481707	442362	430754	430754
26	16920	15054	12876	9894	9894
27	74063	67332	59926	59926	59926
28	48819	44120	38580	30494	29634
29	6686	5873	4933	3795	3795
30	4321	3772	3141	2314	2314
31	10431	9220	7814	5944	5944
32	13762	12207	10397	7806	7780
33	114316	104541	92929	91212	91212
34	177573	163443	146591	136332	136332
35	14498	12871	10975	8536	8536

Таблица М.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6
36	40133	36144	31452	24762	24762
37	73888	67146	59168	56190	56190
38	20664	18438	15835	12105	12105
39	102157	93306	82799	73719	73719
40	247173	228665	206523	206266	206266
41	5931	5201	4358	3168	3151
42	4593	4013	3346	2437	2437
43	59946	54302	47637	42971	42971
44	21421	19121	16431	13892	13892
45	63052	57383	50674	49146	49146
46	88709	80824	71480	63940	63940
47	21007	18763	16138	12636	12636
48	12972	11498	9783	7330	7222
49	18760	16714	14325	10887	10847
50	55416	50177	43993	40061	40061
51	47908	43276	37817	29850	29017
52	13941	12370	10541	8174	8174
53	28950	25952	22437	17956	17956
54	235912	218080	196757	190145	190145
55	49229	44465	38851	33288	33288
56	102449	93541	82968	79022	79022
57	7139	6275	5277	4074	4074
58	11312	10007	8491	6780	6780
59	10810	9558	8103	6491	6491
60	10549	9324	7901	6196	6196
61	2081309	1992424	1895871	1895871	1895871
62	974347	921576	857658	821564	821564
63	15303	13595	11604	8949	8949
64	447469	417810	382136	357268	357268
65	762004	717642	664028	660780	660780
66	1343914	1303140	1303140	1303140	1303140
67	293424	272184	246733	244200	244200
68	655964	616284	568392	537467	537467
69	144667	132748	126464	126464	126464
70	385637	359249	327552	321357	321357
71	19860	17709	15195	11575	11457
72	21795	19461	16732	14539	14539
73	4712	4119	3435	2519	2519
74	72174	65561	57738	52663	52663
75	9015	7951	6716	4961	4909
76	63440	57539	50567	46076	46076
77	143700	131876	117799	116555	116555
78	51835	46925	41131	37617	37617

Таблица М.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6
79	179873	165595	148563	147187	147187
80	38973	35096	30537	23904	23503
81	4581	4003	3337	2400	2395
82	4874	4263	3558	2613	2613
83	5341	4677	3910	2830	2818
84	6169	5412	4539	3304	3284
85	5576	4885	4088	2963	2950
86	26379	23627	20402	16984	16984
87	43979	39659	34573	27163	26429
88	8086	7121	6003	4417	4417
89	5661	4961	4153	3013	2998
90	35334	31788	27621	22223	22223
91	34014	30563	26510	20893	20893
92	30457	27483	23984	19871	19871
93	25871	23187	20041	16050	16050
94	29573	26518	22936	18936	18936
95	1130128	1071125	1029324	1029324	1029324
96	7982	7028	5923	4354	4315
97	892767	842923	782600	734335	734335
98	17818	15878	13614	10355	10332
99	25075	22437	19348	15211	15211
100	9712	8573	7253	5439	5439
101	125912	115321	102729	99357	99357
102	6407	5628	4728	3486	3486
103	9269	8179	6914	5206	5206
104	332509	309030	280866	269118	269118
105	14640441	14500266	14326918	14183252	14183252
106	3262202	3147512	3007136	2897011	2897011
107	17630997	17521454	17386054	17300135	17300135
108	2337288	2241915	2206833	2206833	2206833
109	2746581	2641515	2513111	2513063	2513063
110	4113942	3984923	3898931	3898931	3898931
111	1818219	1736638	1650243	1650243	1650243
112	3546869	3426745	3362462	3362462	3362462
113	4930284	4791521	4621123	4441816	4441816
114	11771184	11771184	11771184	11771184	11771184
115	7996110	7835589	7637720	7332180	7202634
116	6031645	6031645	6031645	6031645	6031645
117	21343582	21284511	21211947	21092234	21062570
118	8313104	8308392	8308392	8308392	8308392
119	5200966	5200966	5200966	5200966	5200966
120	10264592	10102991	9903472	9779597	9779597
121	1494898	1451624	1451624	1451624	1451624

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

ЗР-план энергосбережения, ориентированный на достижение границы Z2-потенциала

Таблица Н.1 – Нормы электропотребления, кВт·ч в год

Код объекта	Годы				
	2013	2014	2015	2016	2017
1	2	3	4	5	6
1	118946	98511	77892	56876	42564
2	882565	742403	600845	456283	353761
4	198148	164689	130915	96460	63316
5	517965	433728	348652	261776	187314
6	1119685	943597	765757	584152	452345
7	247857	206346	164437	121669	88070
8	656286	550586	443830	334803	229989
9	46755	38476	30131	21643	14193
10	90444	74753	58927	42804	27015
11	12532	10223	7900	5546	3080
12	6281	5102	3917	2719	1635
13	5911	4800	3683	2554	1409
14	8038	6539	5032	3507	1915
15	428085	357886	286992	214607	153433
16	210038	174653	138933	102490	68755
17	103237	85418	67440	49121	33727
18	19829	16223	12593	8909	5386
19	9324	7599	5864	4106	2359
20	45028	37069	29046	20885	12542
21	340845	284442	227486	169342	115156
22	6234	5064	3888	2700	1520
23	14950	12209	9452	6656	3854
24	8621	7017	5403	3770	2074
25	467249	391040	314075	235485	168481
26	15733	12853	9955	7015	4053
27	68190	56262	44233	31987	23824
28	45069	37083	29034	20847	12193
29	6254	5080	3900	2707	1586
30	4053	3283	2510	1730	978
31	9728	7924	6110	4273	2460
32	12814	10454	8080	5674	3202
33	104969	86846	68564	49933	36076
34	162574	134920	107009	78546	53698
35	13494	11013	8517	5986	3507

Таблица Н.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6
36	37110	30485	23810	17024	9976
37	68041	56128	44115	31885	22358
38	19189	15696	12181	8613	4939
39	93858	77608	61216	44516	29230
40	225773	187826	149518	110430	80969
41	5552	4507	3456	2394	1314
42	4306	3490	2670	1842	1029
43	55283	45536	35710	25711	17163
44	19888	16271	12631	8936	5654
45	58027	47901	37689	27293	19591
46	81593	67389	53063	38473	25398
47	19499	15957	12392	8774	5152
48	12083	9855	7613	5341	2962
49	17433	14251	11048	7798	4435
50	51116	42095	33002	23749	16017
51	44238	36391	28483	20439	11939
52	12979	10590	8187	5751	3361
53	26825	21990	17120	12174	7274
54	215562	179265	142624	105240	74685
55	45460	37394	29266	20998	13347
56	94140	77829	61376	44613	31307
57	6675	5424	4166	2894	1700
58	10546	8593	6630	4641	2798
59	10081	8212	6333	4430	2682
60	9839	8014	6179	4320	2562
61	1872087	1584161	1293445	996705	744458
62	881145	741078	599612	455140	321273
63	14240	11625	8994	6327	3673
64	407022	340137	272592	203627	139825
65	690444	579443	467332	352834	258319
66	1212630	1022453	830389	634266	510487
67	267694	222991	177857	131794	95752
68	595010	498752	401533	302249	210137
69	132632	109911	86983	63609	49847
70	351144	293112	234511	174686	125825
71	18448	15086	11702	8268	4679
72	20232	16556	12854	9098	5912
73	4417	3580	2740	1891	1063
74	66476	54826	43079	31120	20973
75	8417	6849	5273	3677	2011
76	58472	48190	37825	27275	18384
77	131739	109177	86409	63199	45979
78	47817	39375	30865	22206	15055

Таблица Н.1 – Продолжение

1	2	3	4	5	6
79	164664	136668	108413	79596	57933
80	36038	29604	23121	16530	9574
81	4295	3481	2663	1837	1003
82	4569	3704	2835	1958	1101
83	5003	4058	3109	2150	1153
84	5773	4687	3596	2492	1358
85	5221	4236	3247	2247	1206
86	24453	20037	15591	11075	6887
87	40642	33407	26115	18702	10872
88	7555	6144	4725	3290	1840
89	5301	4301	3297	2282	1226
90	32689	26840	20948	14959	8969
91	31485	25837	20148	14366	8441
92	28139	23137	18096	12971	8035
93	23975	19652	15298	10875	6515
94	27400	22464	17492	12442	7664
95	1021076	859656	696625	530132	402800
96	7458	6064	4663	3246	1769
97	808007	678962	548626	415515	287097
98	16556	13535	10495	7410	4229
99	23255	19047	14810	10508	6180
100	9063	7378	5684	3969	2255
101	115536	95658	75603	55161	39260
102	5993	4868	3738	2595	1459
103	8652	7042	5423	3785	2161
104	303089	252709	201840	149916	105465
105	12971527	11176755	9371968	7543808	5764608
106	2924021	2484410	2040755	1588307	1142278
107	15597925	13464850	11321477	9153420	7070070
108	2100472	1779241	1454928	1123955	867704
109	2465370	2091206	1713511	1328163	989260
110	3681028	3134049	2582214	2019781	1543686
111	1637097	1383705	1127834	866617	647317
112	3177285	2701483	2221351	1731791	1328434
113	4404981	3756982	3103465	2437833	1761984
114	10446272	8981835	7508111	6013157	4761682
115	7118017	6097764	5069890	4024984	2921962
116	5287981	4517200	3740104	2949068	2405893
117	18853707	16306589	13749328	11166740	8657246
118	7397690	6339972	5274482	4191591	3334793
119	4542411	3875137	3202207	2516845	2068852
120	9119592	7831058	6533807	5216823	3939422
121	1347859	1137431	924923	707936	568967

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Акты внедрения



ООО «ИнтелЭнерго-39»

Россия, 236011, г. Калининград, ул. Беланова, 99/36,
 тел.: (4012) 92-28-50, тел. моб. (+7-905) 242-51-52
 Сайт: <http://gipercenose.ru>, e-mail: oleg_kivchun@mail.ru

Исх. № _____

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор ООО «ИнтелЭнерго-39»
 кандидат технических наук
 «__» _____ 2013 г. О.Р. Кивчун

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертационном исследовании Александра Андреевича Заменко, проводимом на соискание учёной степени кандидата технических наук на тему: «Управление электропотреблением регионального электроэнергетического комплекса на основе системного потенциала энергосбережения»

Комиссия в составе: председателя исполнительного директора, Александра Алексеевича Меркулова и членов: ведущего научного сотрудника, к.т.н. Дмитрия Владимировича Луценко; научного сотрудника, к.т.н. Станислава Николаевича Гринкевича; инженера Сергея Алексеевича Дорофеева свидетельствует о том, что в ходе реализации НИОКР «Разработка подсистемы программно-аппаратного комплекса для оценки и применения потенциала энергосбережения регионального электротехнического комплекса по параметру электропотребления на основе понятия Z-потенциала» (государственный контракт № 10939 р / 14350 от 20.08.2012 г) использованы научные результаты, полученные в диссертации А.А. Заменко:

– исследования структурных свойств потенциала энергосбережения регионального электротехнического комплекса, которые позволили ввести понятия Z1 и Z2-потенциалов,

– методика ZP-анализа, включающая процедуры ZP-нормирования, ZP-планирования, вероятностного моделирования и оценки результатов энергосбережения на основе показателей конверсии и эффективности.

Комиссия предлагает результаты диссертационного исследования А.А. Заменко считать реализованными в данном проекте НИОКР.

Председатель комиссии:	исполнительный директор		А.А. Меркулов
Члены комиссии:	ведущий научный сотрудник		Д.В. Луценко
	научный сотрудник		С.Н. Гринкевич
	инженер		С.А. Дорофеев

«__» _____ 2013 г.

объектах ООО «Газпром добыча Уренгой».

Разработаны и реализованы мероприятия по энергосбережению энергоресурсов, а также включены в «Программу энергосбережения и повышения энергетической эффективности ООО «Газпром добыча Уренгой». Мероприятия по реализации Z-1 потенциала, имеют структуру организационно-технических мероприятий:

- организация учета и контроля за потреблением электроэнергии, внедрение АСКУЭ. Экономический эффект в натуральном выражении (далее по тексту ЭЭНВ) – 12 тыс.кВт/год, экономический эффект в денежном выражении (далее по тексту ЭЭДВ) – 30 тыс.руб/год;

- отключение силовых трансформаторов АВО газа в летнее время. ЭЭНВ – 135 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 337 тыс.руб/год;

- поддержания номинальных уровней напряжения в сетях. ЭЭНВ – 48 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 120 тыс.руб/год;

- увеличение коэффициентов загрузки электроприемников с электродвигателями и трансформаторных подстанций и ограничения их холостого хода. ЭЭНВ – 24 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 61 тыс.руб/год;

- оптимизация системы рабочего освещения цехов, делением на 4 зоны рабочего освещения. ЭЭНВ – 108 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 270 тыс.руб/год;

- уменьшение потерь электроэнергии при проведении технического обслуживания распределительных электрических сетей с применением тепловизора. ЭЭНВ – 47 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 117 тыс.руб/год;

- оптимизация работы станций катодной защиты по токовой нагрузке на МГ и УКПГ. ЭЭНВ – 32 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 80 тыс.руб/год;

- перевод постоянного освещения площадок, объектов на ГП, кустов скважин в периодическое, используемое при проведении работ. ЭЭНВ – 29 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 73 тыс.руб/год.

Мероприятия по реализации Z-2 потенциала, направлены на внедрение лучших энергоэффективных решений:

- внедрение энергоэффективных систем наружного и внутреннего освещения, автоматизация управления наружным освещением. ЭЭНВ – 196 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 491 тыс.руб/год.

- внедрение частотно-регулируемого привода и мягкого пуска электродвигателей на УКПГ, ЦПС. ЭЭНВ – 218 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 545 тыс.руб/год.

- применение водяного калорифера для отопления помещений от общей системы теплоснабжения. ЭЭНВ – 185 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 212 тыс.руб/год.

- внедрение глубинных анодных заземлителей "Менделеевец" и эластомерных электродов ЭР-4, ЭР-5 с коксоминеральным активатором. ЭЭНВ – 76 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 190 тыс.руб/год.

- внедрение автоматических преобразователей типа В-ОПЕ-У1 с переводом в автоматический режим работы. ЭЭНВ – 85 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 213 тыс.руб/год.

- замена насосов марки НЦСГ на насосы НДГ в системе подачи и распределения метанола. ЭЭНВ – 141 тыс.кВт/год, ЭЭДВ – 353 тыс.руб/год.

Специалисты Общества рекомендуют главному энергетiku ЛПУ А.А. Заименко, продолжить работу по исследованию данного вопроса на

объектах ООО «Газпром добыча Уренгой».

Специалисты предлагают результаты диссертационного исследования А.А. Заименко считать реализованными в деятельности отдела главного энергетика ООО «Газпром добыча Уренгой».

Главный энергетик

А.А. Володько

**Заместитель начальника
отдела главного энергетика**

Д.Г. Лапаев

**Ведущий инженер
отдела главного энергетика**

Ф.Ф. Богданов

ПРИЛОЖЕНИЕ Р

Свидетельства о регистрации

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013617149

Расчёт потенциала энергосбережения системы
техноценологического типаПравообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
«ИнтелЭнерго-39» (RU)*Авторы: *Гнатюк Виктор Иванович (RU), Дорофеев Сергей
Алексеевич (RU), Заименко Александр Андреевич (RU), Кивчун
Олег Романович (RU), Луценко Дмитрий Владимирович (RU)*

Заявка № 2013614592

Дата поступления 04 июня 2013 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 02 августа 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2009615111

Нормирование электропотребления объектов техноценоза

Правообладатель(ли): *Общество с ограниченной ответственностью
Калининградский инновационный центр «Техноценоз» (RU)*Автор(ы): *Гнатюк Виктор Иванович, Луценко Дмитрий
Владимирович, Шейнин Александр Анатольевич,
Заименко Александр Андреевич (RU)*

Заявка № 2009614000

Дата поступления 27 июля 2009 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 сентября 2009 г.Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов