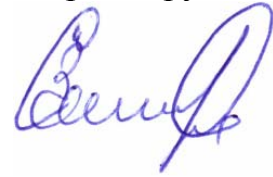


На правах рукописи



ЗАИМЕНКО АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ
РЕГИОНАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Специальность 05.14.01 - «Энергетические системы и комплексы»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет», г. Калининград.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гнатюк Виктор Иванович

Официальные оппоненты: Литвак Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», кафедра атомных и тепловых электростанций, профессор

Чистяков Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, Хакасский технический институт филиал ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», кафедра «Электроэнергетика», и. о. заведующего кафедрой

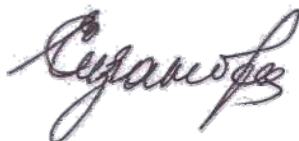
Ведущая организация: Открытое Акционерное Общество «Сибирский научно-исследовательский и проектный институт цветной металлургии» (ОАО «Сибцветметнии-проект»)

Защита состоится 23 сентября 2015 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.099.07 при ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: г. Красноярск, ул. Ленина, 70, ауд. А-204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» <http://www.sfu-kras.ru>.

Автореферат разослан " ____ " _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Сизганова Евгения Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена необходимостью решения задачи развития методов управления энергосбережением в энергетических системах и комплексах. Энергоёмкость отечественной экономики, несмотря на предпринимаемые руководством страны меры, продолжает превышать развитые страны мира, а ресурсосбережение не рассматривается как источник обеспечения возрастающих потребностей, что, в свою очередь, приводит к возникновению следующего противоречия. С одной стороны, растут величина установленной мощности электрооборудования предприятий нефте-газодобывающего комплекса, затраты на электроэнергию и себестоимость добычи нефти и газа, с другой – возрастают требования по сокращению энергоёмкости готовой продукции, а также требования к методам оценки потенциала энергосбережения и программно-оптимизационным комплексам, осуществляющим методическое сопровождение энергосбережения. Исходя из этого, возникла необходимость в рассмотрении задач управления электропотреблением крупного промышленного предприятия с использованием методов оценки потенциала энергосбережения.

Методы, применяемые для оценки потенциала энергосбережения, можно условно разделить на две группы: классические, опирающиеся на гауссовый характер распределения электропотребления отдельного объекта и предполагающие его сравнение с некоторым идеальным аналогом, и техноценологические, учитывающие негауссовость электропотребления рассматриваемой совокупности объектов в целом. Применение рассмотренной совокупности методов по отдельности не позволяет учесть структурные свойства потенциала энергосбережения, что влияет на качество разрабатываемого на их основе плана энергосбережения.

Цель работы: 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.

Методы исследования. В качестве основных в диссертации использованы следующие методы: теории вероятностей, математической статистики, техноценологический, имитационного моделирования.

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.

Практическая ценность 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 энергосберегающих 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.

Положения, выносимы на защиту:

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

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

Достоверность результатов подтверждается корректной экспериментальной проверкой, положительной оценкой работоспособности, а также использованием расчетных выражений и критериев, основанных на общепринятых закономерностях. Алгоритмы вычислений и расчетно-графические модули выполнены с использованием современного прикладного программного обеспечения и реализованы в соответствии с существующими требованиями.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационных исследований реализованы в хозяйственной деятельности ООО «ИнтелЭнерго» (АКТ от 19.12.2013 г.), а также в производственной деятельности ООО «Газпром добыча Уренгой» (АКТ от 10.02.2015 г.).

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались и прошли апробацию на: XXXIX Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений», Московский энергетический институт, ноябрь 2009 г.; VIII, X, XI Международных научных конференциях «Ин-

новации в науке, образовании и бизнесе», Калининградский государственный технический университет, октябрь 2010 г., октябрь 2012 г., сентябрь 2013 г.; XL, XLI Всероссийских научно-практических конференциях с элементами научной школы для молодежи (с международным участием) «Фёдоровские Чтения», Московский энергетический институт, ноябрь 2010 г., 2011 г.; Всероссийской научно-технической интернет-конференции «Инновационная энергетика», Пермский государственный технический университет, февраль 2011 г.; XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII Межвузовских научно-практических конференциях «Проблемы технического обеспечения охраны Государственной границы», Калининградский пограничный институт ФСБ России, март 2009 г., март 2010 г., март 2011 г., март 2012 г., март 2013 г.

Личный вклад автора. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены автором. Общая научная идея, направления исследований были разработаны и реализованы при участии научного руководителя.

Публикации. Автором по теме диссертации опубликовано 29 работ (список основных работ приведен в конце автореферата), из них 2 – в изданиях, определенных ВАК.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, описывается общая структура диссертации.

В первом разделе проведен анализ состояния вопроса и выбор направлений исследования. Для этого рассмотрены современные взгляды на проблему энергосбережения и оценки потенциала энергосбережения, состав и характеристика потребителей регионального электроэнергетического комплекса объекта исследования, освещены проблемы, связанные с электроснабжением северных районов Тюменской области. Выбран уровень, на котором проводятся исследования, проведен анализ научных работ в области оценки потенциала энергосбережения, определены цели и задачи исследования.

Согласно президентскому указу от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» энергоемкость экономики к 2020 г. должна быть снижена на 40%. В государственной программе «Энергоэффективность и развитие энергетики» энергосбережение рассматривается как один из основных источников будущего экономического роста, который в настоящее время задействован в малой степени.

Добыча природного газа и газового конденсата в России в обозримой перспективе будет связана с эксплуатацией месторождений Крайнего Севера. С вводом в эксплуатацию новых месторождений в регионе наблюдается рост электропотребления (рис. 1), который обеспечивают предприятия нефтегазодобывающей отрасли (рис. 2). При этом удовлетворение растущих потребностей в электроэнергии осуществляется за счет ввода новых мощностей.

ООО «Газпром добыча Уренгой» (далее «предприятие») – 100-процентное дочернее предприятие ОАО «Газпром», в котором трудятся более 12 000 человек. В структуре предприятия функционирует 121 объект, которые разнесены территориально

ально, различаются по назначению (детский сад, куст нефтяных скважин и т.д.), составу технологического оборудования и режиму функционирования. Подобъектом понимается пространственно-технологический кластер, включающий потребителей электроэнергии, объединенных сильными электрическими связями, имеющих собственные системы учета и управления. Рассмотренная совокупность объектов является региональным электроэнергетическим комплексом (рис. 3). Для управления энергосбережением на системном уровне, нацеленным на потребителя, необходимо анализировать электропотребление объектов рассматриваемого комплекса.



Рисунок 1 – Динамика роста электропотребления ЯНАО

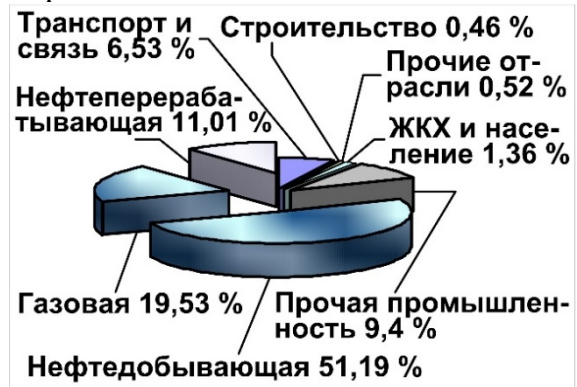


Рисунок 2 – Электропотребление по отраслям ЯНАО

Затраты предприятия на электроэнергию постоянно увеличиваются, что обусловлено ростом тарифов, и в перспективе обострит проблему энергоэффективности в компрессорный период эксплуатации месторождений. Как итог, наблюдается противоречие между ростом установленной мощности электрооборудования, увеличением затрат на электроэнергию, ужесточением требований к энергоэффективности, с одной стороны, и несистемным характером работ по сокращению энергоемкости готовой продукции за счет применения программно-оптимизационных комплексов, осуществляющих методическое сопровождение энергосбережения, с другой стороны. На основании этого возникла необходимость в научном подходе к вопросам управления



Рисунок 3 – Структура регионального электроэнергетического комплекса

электропотреблением крупного промышленного предприятия с использованием методов оценки потенциала энергосбережения.

электропотребления, с одной стороны, и несистемным характером работ по сокращению энергоемкости готовой продукции за счет применения программно-оптимизационных комплексов, осуществляющих методическое сопровождение энергосбережения, с другой стороны. На основании этого возникла необходимость в научном подходе к вопросам управления

Оценка потенциала энергосбережения может осуществляться классическими или техноценологическими методами.

Классические методы (работы Н.И. Данилова, Я.М. Щелокова, В.В. Добродеев, О. Л. Данилова, А.Б. Гаряева, И.В. Яковлева, А.Н. Дмитриева, В.В. Литвака, В.С. Степанова и др.), основывающиеся на гауссовой математической статистике, предполагают нормальное распределение параметров объекта и пересчет электропотребления на основе идеального аналога в модельном технологическом процессе. Определение потенциала энергосбережения одинаковых по составу и работающих в разных условиях объектов приводит к различным оценкам, что учитывает их специфику, но не позволяет корректно оценить данную величину на предприятие в целом.

Техноценологические методы (работы Б.И. Кудрина, В.И. Гнатюка, В.В. Фуфаева, О.Е. Лагуткина, М.Г. Ошуркова, Б.В. Жилина, А.Е. Северина, С.Н. Гринкевича, Е. Ю. Сизгановой и др.) основываются на ципфовой математической статистике и теории гиперболических безгранично делимых H -распределений. При этом объекты предприятия образуют систему особого типа – техноценоз – ограниченную в пространстве и времени взаимосвязанную совокупность функционально законченных технических изделий, объединенных слабыми связями. Связи носят особый характер, обусловленный технологической независимостью и многообразием решаемых задач. Анализ показал, что ООО «Газпром добыча Уренгой» может рассматриваться как техноценоз, для исследования которого применяются методы рангового анализа, а оценка потенциала энергосбережения носит системный характер.

Таким образом, в настоящее время методы оценки потенциала энергосбережения крупного промышленного предприятия имеют следующие основные недостатки: применение классических и техноценологических методов по отдельности не позволяет учесть структурные свойства потенциала энергосбережения; при определении потенциала энергосбережения нет его разделения на уровни, достижение которых реализуется, с одной стороны, организационными мероприятиями, а с другой – за счет переоснащения, требующего капитальных вложений; не разработана процедура анализа техноценоза, определяющая комплексный механизм оценки и реализации потенциала энергосбережения, учитывающий специфику конкретного объекта и системы в целом.

Во втором разделе решена задача определения уровней потенциала энергосбережения и создан механизм их реализации. Разработаны аналитический аппарат процедур ZP-нормирования и ZP-планирования, интегральные показатели эффективности и конверсии, количественно оценивающие результаты энергосбережения, определено место и содержание процедуры ZP-анализа.

К настоящему времени под ранговым анализом понимается метод исследования техноценозов, имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве основного критерия форму видовых и ранговых распределений. На основе общепринятого в техноценологическом подходе аппарата H -распределений, разработаны стандартные процедуры рангового анализа (рис. 4), встроенные в методiku оптимального управления электропотреблением техноценоза.

Задача определения потенциала энергосбережения решается процедурой потенцирования, определяющей интегральное количество электроэнергии, на величину которого на данном временном интервале должно быть сокращено электропотребление без ущерба нормальному функционированию техноценоза.

Под потенциалом энергосбережения техноценоза понимается полученная на расчетную глубину времени абсолютная разница между электропотреблением техноценоза (в кВт·ч) без реализации энергосберегающих процедур, с одной стороны, и электропотреблением на нижней границе системного доверительного интервала, с другой

(рис. 5). Оценка потенциала энергосбережения на основе ранговых распределений техноценоза, придает ей системный характер и осуществляется по выражению вида:

$$\Delta W = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^*(r)dr, \quad (1)$$

где ΔW – потенциал энергосбережения техноценоза; $W(r)$ – аппроксимационная кривая, полученная для эмпирических значений электропотребления объектов; $W^*(r)$ – аппроксимационная кривая, соответствующая нижней границе системного доверительного интервала; r – ранг объекта техноценоза.

Системный доверительный интервал занимает одно из центральных мест в оценке потенциала энергосбережения техноценоза. Многолетние исследования подтвердили предположение о нормальном распределении электропотребления ранга, что позволяет использовать необходимые интервальные оценки (рис. 5). Аппроксимация значений, устанавливающих 95 %-е границы ранговых доверительных интервалов, определяет системный доверительный интервал. При этом площадь под нижней кривой (рис. 6) устанавливает минимальное электропотребление для исследуемого техноценоза.

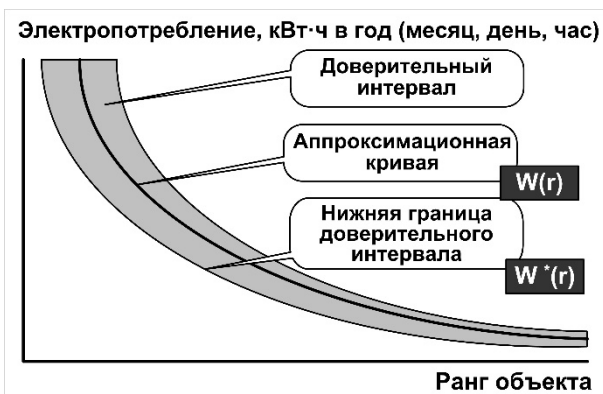


Рисунок 5 – Границы рангового доверительного интервала

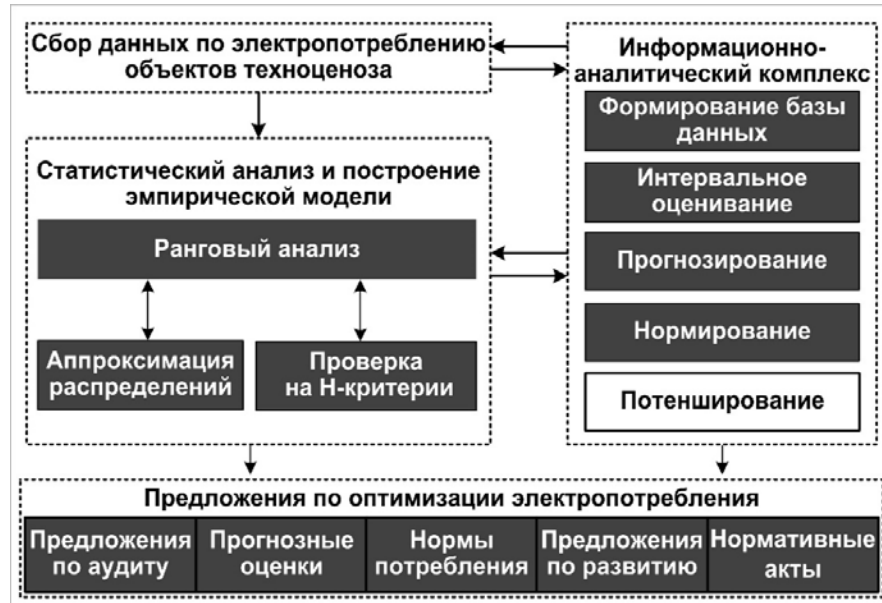


Рисунок 4 – Методика оптимального управления электропотреблением техноценоза

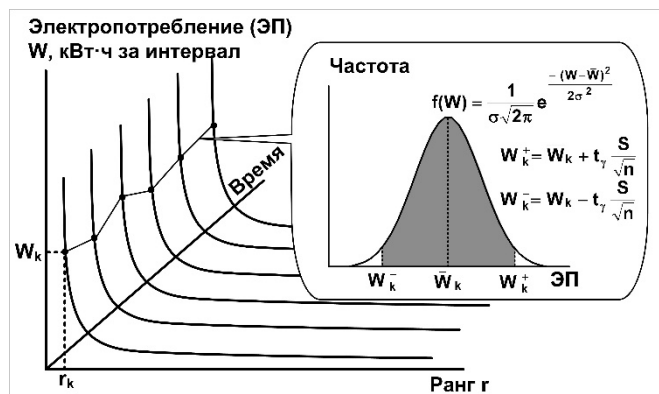


Рисунок 6 – Потенциал энергосбережения техноценоза

Объекты предприятия имеют схожий режим функционирования, предназначение, характер технологического процесса, так что их можно объединять в функциональные группы (газораспределительные станции, кусты нефтяных скважин, установки комплексной подготовки газа и т.д.). При этом главной характеристикой функциональной группы, характеризующей основное общее свойство её объектов, является лидинговый параметр. В практике примерами лидинговых параметров являются следующие: для центральных пунктов сбора нефти – производительность, на базах хранения специальной техники – количество машиномест, в общежитиях – количество койка мест; для складов – размер полезной площади; и т.д. Таким образом, внутри функциональной группы является правомерным сравнение удельного по отношению к лидинговому параметру электропотребления объектов. При этом процедурой ZP-нормирования осуществляется пересчет электропотребления объектов на основе лучшего удельного показателя для определенной функциональной группы.

Аналитически в процедуре ZP-нормирования совокупность объектов представлена множеством вида:

$$B = \{B_k\}_{k=1}^n; \quad B_k = \{W_k, L_k, F_j, I_k\}; \quad F = \{F_j\}_{j=1}^p, \quad (2)$$

где B_k – подмножество, характеризующее k -й объект; W_k – электропотребление k -го объекта; L_k – значение лидингового параметра k -го объекта; F_j – идентификатор функциональной группы; I_k – идентификатор объекта; i, j, k – формальные индексы; n – количество объектов; p – количество функциональных групп.

Группировка объектов по функциональным группам в фиксированный момент времени формирует множество:

$$G = \{G_j\}_{j=1}^p; \quad G_j = \{I_v^{(j)}\}_{v=1}^{s^{(j)}}, \quad (3)$$

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 – формальный индекс; p – количество функциональных групп.

Определено, что одновременно объект принадлежит только одной функциональной группе, в которой для каждого вычисляется удельное электропотребление. На основе минимального удельного электропотребления в группе пересчитывается фактическое электропотребление ее объектов, называемое ZP-нормами.

Для выделенной функциональной группы полученные результаты представляются множеством вида:

$$\{\{\bar{W}_v, W_v^{ZP}, I_v\}\}_{v=1}^s, \quad (4)$$

где $\bar{W}_v = W_v/L_v$ – удельное электропотребление v -го объекта; $W_v^{ZP} = \bar{W}_{\min} \cdot L_v$ – ZP-норма v -го объекта; \bar{W}_{\min} – минимальное (образцовое) удельное электропотребление функциональной группы; 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; s – количество объектов в функциональной группе.

По результатам расчета во всех функциональных группах техноценоза для определенного временного интервала формируется множество вида:

$$\{\{W_k^{ZP}, I_k\}\}_{k=1}^n, \quad (5)$$

где W_k^{ZP} – ZP-норма k-го объекта; I_k – идентификатор k-го объекта; n – количество объектов в техноценозе.

В результате реализации процедуры ZP-нормирования на каждом временном интервале получается матрица ZP-норм:

$$W^{ZP} = \left(w_{i,j}^{ZP} \right)_{i=1,j=1}^{n,m}, \quad (6)$$

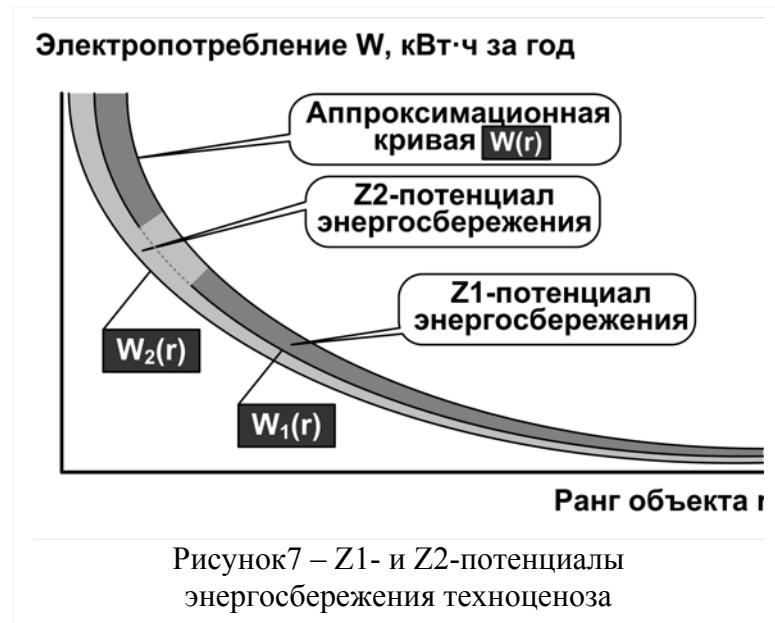
где $w_{i,j}^{ZP}$ – ZP-норма i-го объекта в j-й момент времени; m – количество временных интервалов; n – количество объектов техноценоза.

С использованием матрицы ZP-норм строится 95 %-й доверительный интервала, что определяет в техноценозе две границы (рис. 7): на основе фактических данных границу Z1-потенциала, на основе матрицы ZP-норм – границу Z2-потенциала. При этом мероприятия по реализации Z1-потенциала имеют организационный характер и не требуют капитальных вложений. Достижение уровня Z2-потенциала направлено на внедрение лучших энергоэффективных решений, что сопряжено с существенными затратами на техническое переоснащение. Расчет потенциалов энергосбережения осуществляется по выражению:

$$\Delta W_1 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_1(r)dr; \quad \Delta W_2 = \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W_2(r)dr, \quad (7)$$

где ΔW_1 – величина Z1-потенциала энергосбережения; ΔW_2 – величина Z2-потенциала энергосбережения; $W(r)$ – ранговое распределение техноценоза; $W_1(r)$ –

ранговая граница Z1-потенциала; $W_2(r)$ – ранговая граница Z2-потенциала.



Таким образом, полученная двухуровневая система оценки потенциала энергосбережения техноценоза учитывающего структурные свойства позволяет разрабатывать стратегии энергосбережения, ориентированные на различные по затратам энергосберегающие мероприятия.

Для реализации потенциала энергосбережения разработана процедура ZP-

планирования, определяющая индивидуальные пошаговые нормы снижения электропотребления. Базовой для расчета является величина системой нормы снижения электропотребления ΔW^{PL} рассчитываемая по выражению вида:

$$\Delta W^{PL} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^{\infty} W(r)dr - \int_0^{\infty} W^*(r)dr, \quad (8)$$

где $W^*(r)$ – ранговая граница Z1- или Z2-потенциала; T – горизонт планирования.

Полученная системная норма снижения распределяется между объектами при помощи следующего весового коэффициента:

$$V_k = \frac{W(r_k) - W^*(r_k)}{\int_0^\infty W(r)dr - \int_0^\infty W^*(r)dr}; \sum_{k=1}^n V_k = 1, \quad (9)$$

где $W(r_k)$ – электропотребление k -го объекта; $W^*(r_k)$ – электропотребления k -го объекта на границе Z -потенциала.

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

$$\Delta \overline{W}_k^{PL} = \Delta W^{PL} \cdot V_k, \quad (10)$$

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

С целью гарантированного выполнения ZP -плана вводится система поощрения объектов за успехи в экономии электроэнергии и для чего создается план премирования и инвестиций, использующий средства фонда энергосбережения. Источником для формирования фонда являются выручаемые за счет экономии электроэнергии средства, определяемые действующим тарифом:

$$C_k^{PL} = \Delta \overline{W}_k^{PL} \cdot sc_k, \quad (11)$$

где C_k^{PL} – объем средств, сэкономленных k -м объектом; $\Delta \overline{W}_k^{PL}$ – норма снижения электропотребления k -го объекта; sc_k – тариф на электроэнергию, предъявляемый k -му объекту.

Премия объекту ставится в зависимость от близости его электропотребления к границе Z -потенциала. При этом доля средств, сэкономленных на объекте за счет энергосбережения, расходуется на его модернизацию и премирование персонала. Величина премии зависит от следующего коэффициента:

$$W^\Delta(r_k) = (W(r_k) - W^*(r_k)) / W(r_k), \quad (12)$$

где $W^\Delta(r_k)$ – относительное отклонение электропотребления k -го объекта от границы Z -потенциала; $W^*(r_k)$ – электропотребление k -го объекта на границе Z -потенциала.

Размер премии k -го объекта рассчитываются следующим образом:

$$C_k^{PR} = \gamma_1 C_k^{PL} [1 - W^\Delta(r_k)]; \quad C_k^{IN} = \gamma_2 C_k^{PL} [1 - W^\Delta(r_k)]; \quad 0 \leq (\gamma_1 + \gamma_2) \leq 1, \quad (13)$$

где C_k^{PR} – размер премии, начисляемой персоналу; C_k^{IN} – размер средств, направляемый на переоснащение объекта; γ_1, γ_2 – коэффициенты, учитывающие установленную долю отчислений от сэкономленных средств.

Таким образом, применение разработанных коэффициентов двигает техноценоз к состоянию, соответствующему нижней границе Z -потенциала. По мере этого движения с помощью процедуры ZP -анализа на каждом временном интервале будет осуществляться пересчет отклонений и перераспределение премиальных средств. В зависимости от выбранной в (8) целевой стратегии ZP -план будет ориентироваться на достижение $Z1$ - или $Z2$ -потенциала.

Важным элементом ZP -анализа является оценка результата энергосбережения, осуществляемая на основе показателя конверсии. Данный показатель отражает то, насколько премиальные средства, выделенные объекту, отразились в фактическом снижении электропотребления. Он рассчитывается по итогам двух и более временных интервалов по следующему выражением:

$$IL_k^{t+1} = (W^t(r_k) - W^{t+1}(r_k)) / \bar{C}_k^{PL(t)}, \quad (14)$$

где IL_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; $\bar{C}_k^{PL(t)}$ – объём премиальных средств, вложенных в объект на t -ом временном интервале.

Для техноценоза в целом на $(t+1)$ временном интервале интегральный показатель конверсии имеет следующий вид:

$$IL_{\Sigma}^{t+1} = \left[\int_0^{\infty} W^t(r) dr - \int_0^{\infty} W^{t+1}(r) dr \right] / \sum_{k=1}^n (\bar{C}_k^{PR} + \bar{C}_k^{IN}), \quad (15)$$

Интегральный показатель конверсии техноценоза служит для оценки конвертируемости средств, вкладываемых в энергосбережение. По динамике данного показателя определяется состояние техноценоза, когда средства, вкладываемые в энергосбережение, не приносят ожидаемого эффекта.

Эффективность энергосберегающих мероприятий оценивается сопоставлением двух интегральных показателей, один из которых характеризует положительный эффект, а второй – затраты. Положительный эффект оценивается интегральным показателем, отражающим насколько энергосберегающие мероприятия позволили приблизить техноценоз к соответствующей границе Z -потенциала и имеющим следующий вид:

$$IP_W = \left[\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^t(r) dr \right] / \left[\int_0^{\infty} W(r) dr - \int_0^{\infty} W^*(r) dr \right], \quad (16)$$

где $W(r)$ – ранговое распределение техноценоза до реализации энергосберегающих мероприятий; $W^*(r)$ – ранговая граница Z -потенциала; $W^t(r)$ – ранговое распределение, определяющая состояние техноценоза на t -ом временном интервале.

Затраты оцениваются интегральным показателем, отражающим отличие затрат на энергосбережение от стоимости сэкономленной электроэнергии, соответствующей Z -потенциалу, и вычисляемому по следующему выражению:

$$IP_C = 1 + \int_0^{\infty} C^t(r) dr / \left[sc \cdot \int_0^{\infty} (W(r) - W^*(r)) dr \right], \quad (17)$$

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

Критерием эффективности проводимых энергосберегающих мероприятий является максимизация интегрального показателя эффективности:

$$IP = IP_W / IP_C \rightarrow \max. \quad (18)$$

Показатель IP_W исчисляется в диапазоне $[0,1]$, левая граница которого соответствует отсутствию энергосберегающих мероприятий, а правая – исчерпанию Z -потенциала. В свою очередь, показатель IP_C исчисляется в диапазоне $[1,\infty)$. Левая граница показателя соответствует нулевыми затратам на энергосбережение, правая – бесконечным затратам. При этом показатель эффективности IP находится в пределах $[0,1]$, приобретая свое критерильное значение в единице.

Таким образом, процедура ZP -анализа позволяет учесть структурные свойства потенциала энергосбережения, проявляющиеся наличием уровней $Z1$ и $Z2$, и разработать план энергосбережения, включающий нормы снижения электропотребления, предъявляемые объектам на каждом временном интервале.

В третьем разделе разработаны алгоритм имитационного моделирования электропотребления техноценоза и алгоритмическая система методики в целом, получены количественные оценки результатов энергосбережения на основе интегральных показателей конверсии и эффективности.

Построение среднесрочных стратегий энергосбережения должно опираться начет наблюдаемых в техноценозе вероятностных закономерностей. Установлено, что электропотребление ранга подчиняется нормальному закону распределения, электропотребление совокупности объектов распределению Ципфа, а случайность ранговых перестановок ограничена сильными ранговыми корреляциями, обусловленными устойчивостью техноценоза.

Моделирование электропотребления отдельного ранга осуществляется на основе выражений вида:

$$x = \varphi(\eta); \eta = \int_{-\infty}^x f(y)dy, \quad (19)$$

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

Модельная реализация на основе (19) реализуется следующим образом:

$$w_r = m_r + \sigma_r \cdot \varphi(\eta, m_1, \sigma_1), \quad (20)$$

где m_r , σ_r – математическое ожидание (МО) и среднее квадратичное отклонение (СКО) электропотребления ранга; $\varphi(\eta, m_1, \sigma_1)$ – преобразующая функция нормального распределения с параметрами m_1 и σ_1 ; η – равномерно распределенное число в интервале $[0, 1]$.

Предполагается, что управляющее воздействие в виде индивидуальных норм снижения электропотребления приводит к уменьшению МО и СКО ранга. Выражается это следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{W}^{(t)} &= \mathbf{M}^{(t)} + \mathbf{S}^{(t)T} \cdot \Psi; & \mathbf{M}^{(t)} &= \mathbf{M}^{(t-1)} \cdot \mathbf{U}^{(t-1)}; \\ \mathbf{S}^{(t)} &= \mathbf{S}^{(t-1)} \cdot \mathbf{U}^{(t-1)}; & \mathbf{U}_{k,k}^{(t-1)} &= \left[1 - \Delta \overline{W}_k^{PL} / W(r_k) \right]^{(t-1)}, \end{aligned} \quad (21)$$

где \mathbf{W} – модельный вектор электропотребления рангов; \mathbf{M} , \mathbf{S} – вектор МО и СКО электропотребления; Ψ – диагональная матрица случайных чисел; $\mathbf{U}^{(t-1)}$ – диагональная матрица коэффициентов снижения; $\Delta \overline{W}_k^{PL}$ – норма снижения k -го объекта; $W(r_k)$ – электропотребление k -го объекта; t – время моделирования; n – количество объектов.

Для моделирования электропотребления совокупности объектов техноценозов распределением Ципфа используется преобразующая функция вида:

$$w(\eta) = \left(\frac{1}{w_0^\alpha} - \frac{\eta \cdot n \cdot \alpha}{C} \right)^{\frac{-1}{\alpha}}, \quad (22)$$

где w_0 – минимальное на выборке значение; C , α – параметры распределения; n – количество объектов; η – величина, равномерно распределенная в интервале $[0, 1]$.

Учет наблюдаемой в техноценозе сильной ранговой корреляции реализуется путем моделирования закономерности изменения ранговых перестановок (рис. 7)

при условии их равновероятного появления. Разработанный таким образом алгоритм моделирует электропотребление техноценоза при помощи комбинации различных законов распределения. При этом оценка сходимости итерационного процесса имитации осуществляется на основе следующего выражения:

$$e_w(p) = (W^{(p)} - W^{(p-1)})^T \cdot (W^{(p)} - W^{(p-1)}) / n, \quad (23)$$

где $e_w(p)$ – средняя сумма квадратов отклонений на p -ой итерации; W – вектор электропотребления объектов; p – номер итерации; n – количество объектов.

Результаты моделирования показали, что уже на 1000-й итерации наблюдается достаточная сходимость итерационного процесса имитации (рис. 8).

	0	1	2	3	4	5
19	95	66	66	66	66	66
20	62	62	62	62	62	95
21	97	62	95	95	97	97
22	121	2	95	7	7	7
23	65	97	2	95	2	2
24	68	68	65	65	65	62
25	7	68	8	65	65	65
26	4	7	7	7	7	...

Рисунок 7 – Фрагмент матрицы ранговых перестановок объектов

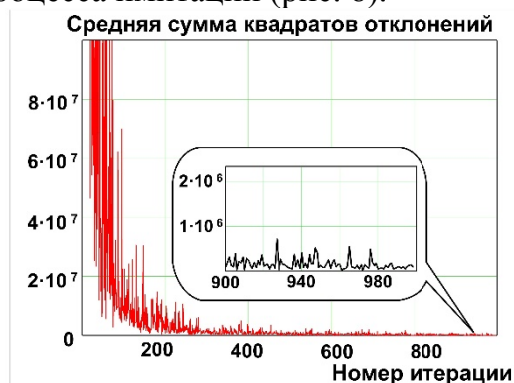


Рисунок 8 – График сходимости имитационного процесса

В общем виде ZP-анализ представляет собой взаимосвязанную совокупность расчетно-графических модулей, реализующих в едином алгоритме процедуры ZP-нормирования, потенцирования, ZP-планирования и оценки результатов энергосбережения (рис. 9).

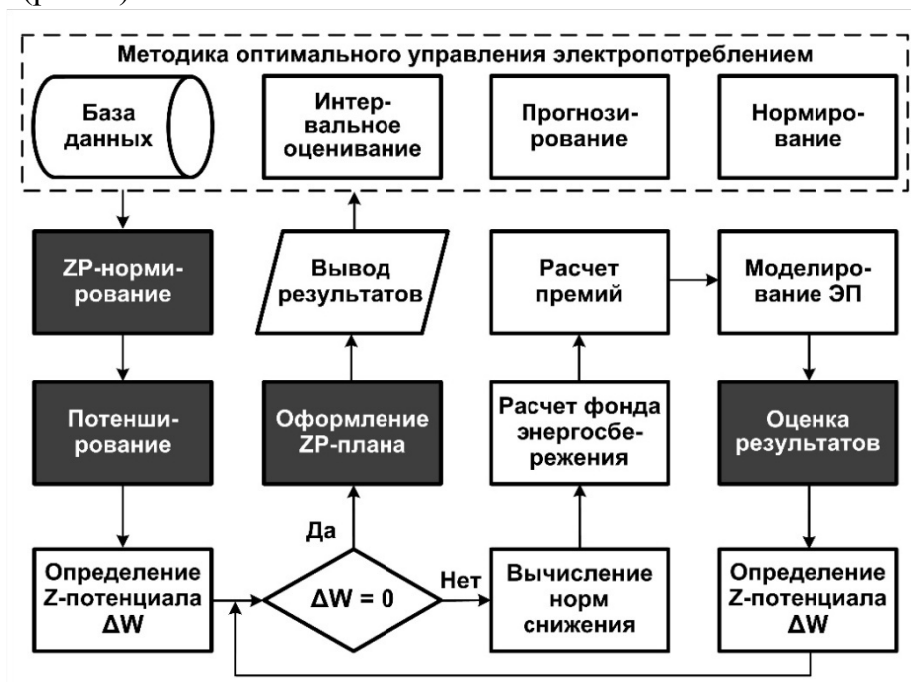


Рисунок 9 – Обобщенный алгоритм ZP-анализа

В ходе ZP-нормирования осуществляется функциональная группировка объектов (рис. 10) и последующий пересчет их электропотребления на основе лучших удельных показателей (рис. 11). Применение процедуры потенцирования определяет границы потенциала энергосбережения (рис. 12, 13).

Для регионального электроэнергетического комплекса ООО «Газпром добыча Уренгой» относительное значение Z1-потенциала составило 13,4 %, Z2-потенциала – 64,4 %. С использованием полученных значений процедура ZP-планирования формирует на перспективу пяти лет два варианта ZP-плана: первый ориентируется на достижение техноценозом к заданному сроку границы Z1-потенциала, а второй – Z2-потенциала. Оценка вариантов ZP-плана выполнена с использованием интегральных показателей конверсии (ИПК) и эффективности (ИПЭ) (рис. 14). Графики показателей соответствуют замыслу ZP-анализа, предусматривающего по мере движения техноценоза к границе Z-потенциала рост ИПЭ и сокращение ИПК. Форма графиков показателей, характеризующих стратегию достижения Z1-потенциала (рис. 14,а), имеет более нелинейную форму. Это объясняется тем, что, во-первых, данная стратегия предполагает реализацию менее затратных энерго-сберегающих мероприятий, носящих организационный характер и, во-вторых, в заданном горизонте планирования ряд объектов за счет системного влияния досрочно достигает границы Z-потенциала.

12	31.12.2010	813,21
13		9801,36
14		33,34
15	31.12.2010	1025,76
16		30684,75
17		1242072
1	31.12.2011	707,76
2	31.12.2011	32341,9

Рисунок 10 – Фрагмент данных функциональных групп

id	2009	2010	2011
101	149786	147034	146210
102	40401	46972	45540
103	2		29416
104	155632	155621	174701
105		22676	12732879
106		73611	7639733
107	8114916	7122676	12732879
108	4868955	4273611	7639733

Рисунок 11 – Фрагмент данных матрицы ZP-норм

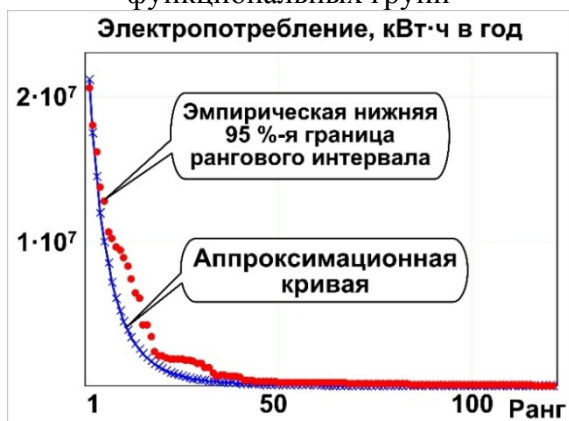


Рисунок 12 – Граница Z1-потенциала

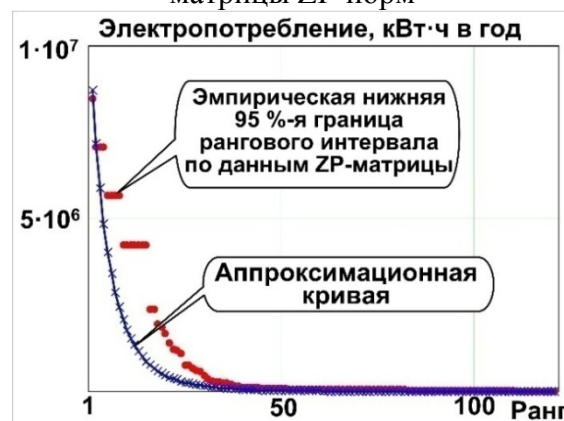
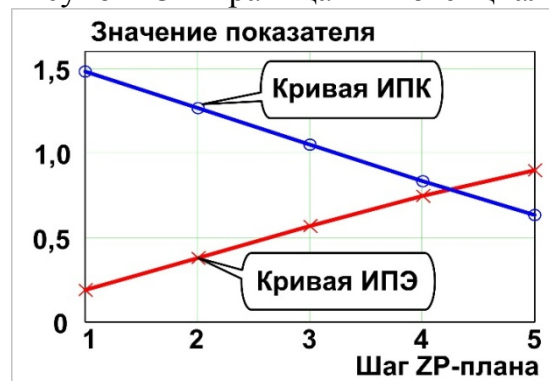


Рисунок 13 – Граница Z2-потенциала



а)



б)

Рисунок 14 – Графики показателей стратегии, ориентированной на достижение Z1-потенциала (а) и Z2-потенциала (б)

Таким образом, полученные оценки результатов энергосбережения на основе двух вариантов ZP-плана подтверждают работоспособность методики ZP-анализа и адекватность разработанных показателей.

В четвертом разделе описываются предложения по построению АИИС КУЭ предприятия, модель базы данных, приводятся результаты экономической оценки, реализуется проверка адекватности и работоспособности.

Рост цен на электроэнергию вызывает необходимость кардинального пересмотра отношения к организации электроэнергетического учета на предприятии. Расчеты за электроэнергию, осуществляющиеся при помощи высокоточного приборного учета, позволят экономить значительные средства. Для его реализации на объектах предприятия необходимо внедрять многоуровневую автоматизированную информационно-измерительную систему контроля и учета электроэнергии (АИИС КУЭ) (рис. 15), наличие которой в условиях оптового рынка позволит использовать наиболее выгодные тарифы.



Рисунок 15 – Обобщенная структура АИИС КУЭ предприятия

Архитектура АИИС КУЭ (рис. 15) должна предусматривать масштабируемость по количеству точек учета и возможность интеграции с другими информационными системами предприятия (планирования производства, комплексной безопасности объектов, бухгалтерского учёта и др.). На первом уровне АИИС КУЭ устанавливаются первичные измерительные приборы, осуществляющие учет по группам потребителей кустов скважин на газовых, нефтегазовых и газоконденсатных промыслах. На втором уровне учет реализуется устройствами сбора и подготовки данных на отдельных объектах. На третьем уровне – в центрах сбора и подготовки данных, развернутых в нефтегазодобывающих и газодобывающих управлениях. На четвертом уровне – в главном центре сбора и подготовки данных отдела главного энергетика.

Внедрение энергосберегающих технологий предполагает достоверную экономическую оценку соответствующих инвестиций, суть которой заключается в количественном сопоставлении затрат с величиной поступающей прибыли. Данное сопоставление осуществляется по сроку окупаемости мероприятий с учётом дисконтирования поступающих доходов, величине индекса доходности инвестиций и

других показателей (таблицы 1, 2). При производстве расчетов предполагался прямой возврат инвестиций, вложенных в энергосбережение.

Таблица 1 – Показатели экономической оценки для стратегии, ориентированной на достижение Z1-потенциала

Показатель	Шаги ZP-плана					
	0	1	2	3	4	5
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 2 – Показатели экономической оценки для стратегии, ориентированной на достижение Z2-потенциала

Показатель	Шаги ZP-плана					
	0	1	2	3	4	5
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

Реализация разработанного ZP-плана для ООО «Газпром добыча Уренгой» позволит при первоначальных инвестициях в 4,12 млн. руб. для Z1-потенциала и 34,39 – для Z2-потенциала 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. Более высокая доходность во втором случае обусловлена, с одной стороны, массовым техническим переоснащением объектов, а с другой – более равномерным формированием фонда энергосбережения на всём горизонте планирования (рис. 16).

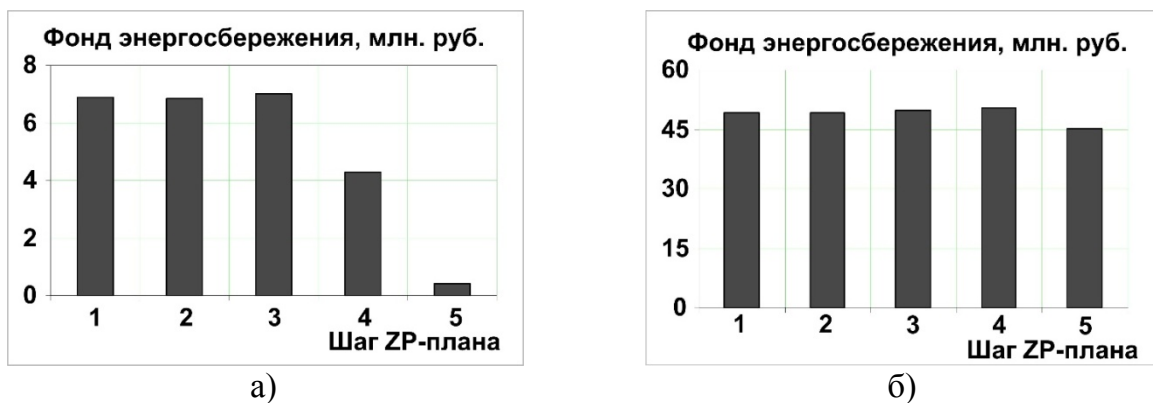


Рисунок 16 – Гистограммы фонда энергосбережения ZP-плана, ориентированного на достижение Z1-потенциала (а) и Z2-потенциала (б)

Первоначальные инвестиции окупятся на втором шаге ZP-плана, и экономичная электроэнергия начнет приносить чистую прибыль. Проведенный анализ подтверждает экономическую целесообразность полученных вариантов ZP-плана, а его результаты можно использовать в формировании соответствующих инвестиционных программ.

Оценка достоверности полученных результатов включает проверку адекватности и оценку работоспособности методики ZP-анализа. Проверка адекватности строится на анализе статистических гипотез, подтверждающих правомерность применения вероятностных законов. Оценки работоспособности строится на анализе с горизонтом пяти лет двух вариантов ZP-плана (таблица 3) при помощи следующей системы пока-

зателей: доля реализованного Z-потенциала энергосбережения Δ , среднее \bar{S} и максимальное S^{\max} относительное отклонение электропотребления объектов от границы Z-потенциала, доля объектов, достигнувших границы Z-потенциала n_{ZP} .

Таблица 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

В ходе проверки адекватности значения статистических критериев не превысили критических. Значения показателей качества обоих вариантов ZP-плана согласуются между собой, соответствуют замыслу методики ZP-анализа и определяется сущностью и особенностями Z1- и Z2-потенциалов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что разработанная методика корректна и её применение обосновано для управления электропотреблением крупного промышленного предприятия.

В заключении представлены основные выводы по работе.

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, 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 позволяет 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, 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.

РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, определенных ВАК:

1. Заименко, А.А. Современные подходы к созданию региональных генерирующих комплексов [Текст] / В.И. Гнатюк, А.М. Дубовик, А.А. Заименко // Известия ВУЗов. ЮРГТУ: Электромеханика. 2010. № 6. С. 58-62.

2. Заименко, А.А. Потенцирование в методике управления электропотреблением техноценоза. [Текст] / В.И. Гнатюк, А.А. Заименко, В.И. Пантелеев // Журнал Сибирского Федерального Университета Серия: Техника и технологии. 2014. Т. 6. № 7. С. 116-124.

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009615111 Нормирование электропотребления объектов техноценоза. Заявка № 2009614000 от 27 июля 2009 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 17 сентября 2009 г.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2013617149 Расчет потенциала энергосбережения системы техноценологического типа. Заявка № 2013614592 от 04 июня 2013 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 02 августа 2013 г.

В других изданиях:

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

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

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

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

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

10. Заименко, А.А. Отчёт по НИР «Разработка методики мониторинга электропотребления регионального электротехнического комплекса ОАО «Янтарьэнерго», шифр «Монитор»[Текст]/Гнатюк В.И., Заименко А.А, Кивчун О.Р., Луценко Д.В.// КИЦ «Техноценоз». – Калининград, 2012.- рег. ВНТИЦ. № 01201250539

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

12. Заименко, А.А.Предельный алгоритм нормирования электропотребления объектов техноценоза [Текст] /Гнатюк В.И., Заименко А.А., Седнев В.А.// Автоматизация и ИТ в энергетике. 2014. № 6.С. 12-24.

Подписано в печать 23.04.2015. Печать плоская. Формат 60x84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 1,1. Тираж 102 экз. Заказ 1305

Отпечатано полиграфическим центром
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел./факс: (391) 206-26-49; тел. (391) 206-26-67
E-mail: print_sfu@mail.ru; <http://lib.sfu-kras.ru>