

На правах рукописи



Демьяненко Татьяна Сергеевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ
НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Специальность 08.00.05 – «Экономика и управление народным хозяйством
(экономика, организация и управление предприятиями, отраслями,
комплексными: промышленность)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Челябинск – 2018

Работа выполнена на кафедре прикладной экономики ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – Мохов Вениамин Геннадьевич, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладная экономика» Высшей школы экономики и управления ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск

Официальные оппоненты: **Гительман Лазарь Давидович**, доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой систем управления энергетикой и промышленными предприятиями ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург

Дзюба Анатолий Петрович, кандидат экономических наук, руководитель направления Департамента технического развития АО «Объединенная судостроительная корпорация», г. Санкт-Петербург

Ведущая организация – Уральский социально-экономический институт (филиал) ОУП ВО «Академия труда и социальных отношений», г. Челябинск

Защита состоится 31 января 2019 г. в 14 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.07 при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. 502.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), <https://www.susu.ru/ru/dissertation/d-21229807/demyanenko-tatyana-sergeevna>

Автореферат разослан «___» ноября 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор экономических наук, профессор

А.Г. Бутрин

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» предполагает комплексную структурную трансформацию энергетического сектора и его переход на качественно новый уровень, обеспечивающий потребности экономического развития страны. Одним из приоритетных направлений энергетической политики, обозначенных в энергетической стратегии России на период до 2035 года, является повышение уровня энергетической эффективности.

Руководствуясь названным приоритетом энергетическая эффективность была выбрана в качестве критерия оценки результатов работы по энергосбережению промышленного предприятия. В соответствии с Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. N 261-ФЗ «Энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю». Выбор критерия обусловлен тем, что в условиях действующих правил работы оптового рынка электрической энергии и мощности (далее ОРЭМ) России ошибка субъекта электроэнергетики в прогнозной заявке приводит к более дорогим, штрафным тарифам балансирующего рынка и, как следствие, к снижению показателя энергоэффективности.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что в России появились новые субъекты управления в сфере производства, распределения и потребления электрической энергии, формируются радикально новые организационно-экономические отношения самого молодого энергетического рынка мира, которые в силу объективных причин не до конца исследованы, но должны учитываться при формировании управленческих решений субъектов электроэнергетики. В ряду резервов повышения энергетической эффективности отечественного рынка электроэнергетики особое место принадлежит совершенствованию инструментальных средств экономических исследований энергорынка, методов их применения для повышения обоснованности управленческих решений субъектов электроэнергетики при планировании и прогнозировании их операционной деятельности для снижения затрат, связанных с продажей и покупкой электрической энергии.

В связи с этим особую своевременность и актуальность приобретает необходимость разработки методического обеспечения промышленных предприятий при формировании заявок на поставку и потребление электрической энергии на ОРЭМ, позволяющего получить достаточно высокую точность прогноза основных параметров ОРЭМ. Разработка методического инструментария, с позиций энергосбережения потребителей электрической энергии по критерию

энергоэффективности, выполнена на основе регионального рынка Объединенной энергосистемы (далее ОЭС) Урала.

Степень научной разработанности проблемы. Проблемами управления энергопотреблением предприятий с учетом его адаптации к особенностям функционирования территориального энергорынка занимаются как отечественные, так и зарубежные ученые, такие как Башмаков И.А., Бушуев В.В., Баев И.А., Гительман Л.Д., Дзюба А.П., Домников А.Ю., Зайцева Л.В., Катренко В.С., Ключев Ю.Б., Киреева Н.В., Копцев Л.А., Кудрявый В.В., Макаров А.А., Меламед Л.Б., Мохов В.Г., Некрасов А.С., Огороков В.Р., Ратников Б.Е., Синютин П.А., Соловьева И.А., Чучуева И.А., Chen K., Greene D.L., Hunt S., Mesarovic M., Thollander P., Wang H. и др.

В работах этих ученых рассматриваются вопросы формирования рынка электроэнергии как на территории РФ, так и за рубежом, исследуется дореформенная энергетика и постреформенный рынок электроэнергетики России, обосновываются методики и алгоритмы прогнозирования тарифов и объемов потребления, делается ряд научных и практических обобщений, составляющих теоретическую и методологическую базу настоящего исследования. При этом исследование динамики основных параметров отечественного рынка электроэнергетики, выявление значимых факторов, оказывающих прямое влияние на изменение тарифов и объемов потребления, а также построение алгоритмов прогнозирования на основе полученных исследований, не смотря на их научную и практическую значимость, объектом отдельного исследования с позиций энергоэффективности не выступало.

Таким образом, необходимость системного подхода в исследовании проблемы управления затратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности и совершенствование методического обеспечения промышленных предприятий в виде комплекса алгоритмов долгосрочного и краткосрочного прогнозирования объемов потребления субъектов электроэнергетики, адекватно описывающих поведение временных рядов данных энергорынка РФ, имеющих высокую скорость вычисления прогнозных значений и сравнимую с подобными авторегрессионными моделями точность прогнозирования, предопределили и обусловили цель и задачи данного диссертационного исследования.

Цель и задачи диссертационного исследования. Целью диссертационного исследования является разработка метода управления затратами на электрическую энергию промышленного предприятия (потребителя и производителя электрической энергии) по критерию энергоэффективности при работе на ОРЭМ России.

Цель исследования обусловила необходимость решения следующих задач.

1. Провести динамический анализ особенностей электроснабжения российских потребителей, на основе которого определить направления совершенствования механизма управления операционной деятельностью промышленных предприятий при работе на ОРЭМ.

2. Определить доминантные факторы, влияющие на объем потребления электроэнергии промышленного предприятия, для обеспечения наиболее релевантных зависимостей предложения и спроса на электроэнергию субъектов электроэнергетики в процессе работы на ОРЭМ.

3. Разработать метод управления энергозатратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности, использующий экономико-математические модели и алгоритмы прогнозирования основных параметров ОРЭМ.

4. Оценить достоверность разработанного метода управления энергозатратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности на практике, на основе фактических данных ОЭС Урала.

5. Разработать стратегию поведения субъекта электроэнергетики, позволяющую снижать энергозатраты за счет ухода из зоны балансирующего рынка при достижении высокой точности прогнозных заявок на поставку и потребление электрической энергии.

6. Разработать механизм управления энергозатратами промышленных предприятий при работе на ОРЭМ РФ по критерию энергоэффективности для обеспечения конкурентоспособности промышленной продукции.

Объектом исследования являются промышленные предприятия, осуществляющие продажу и покупку электрической энергии на ОРЭМ РФ.

Предметом исследования являются организационно-экономические отношения, возникающие в процессе управления энергозатратами промышленных предприятий по критерию энергоэффективности при работе на ОРЭМ РФ.

Теоретической и методологической основой исследования явились научные труды отечественных и зарубежных авторов, посвященные вопросам управления затратами на электропотребление промышленных предприятий, а также краткосрочного и долгосрочного прогнозирования операционной деятельности предприятий при работе на энергетических рынках.

Информационно-эмпирическая база исследования включает в себя нормативные и законодательные акты, статистические данные и справочные материалы Федеральной службы государственной статистики, законодательные и нормативные документы, регламентирующие деятельность субъектов электроэнергетики России, статистические и другие информационные источники, характеризующие деятельность рынка электроэнергетики РФ, данные с официального сайта Системного оператора Единой энергетической системы России, монографии, учебники, научные статьи в периодических изданиях, материалы научных конференций, диссертационных исследований, источники в информационно-коммуникационной сети Интернет.

Научные результаты исследования получены с использованием методов экономико-математического моделирования, сравнительного и функционального анализов, методов обработки, анализа и группировки данных. Прикладное программное обеспечение разрабатывалось с использованием язы-

ка программирования C#, который сочетает в себе объектно-ориентированные и контекстно-ориентированные концепции. Среда разработки: Microsoft Visual Studio. При проведении эмпирического анализа данных Системного оператора Единой энергетической системы России использовались пакет статистического анализа SPSS и MS Excel.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности. Работа выполнена в соответствии с пунктами паспорта специальности ВАК 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством (экономика, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами: промышленность)»: п. 1.1.1. «Разработка новых и адаптация существующих методов, механизмов и инструментов функционирования экономики, организации и управления хозяйственными образованиями в промышленности»; п. 1.1.13. «Инструменты и методы менеджмента промышленных предприятий, отраслей, комплексов»; п.1.1.18. «Проблемы повышения энергетической безопасности и экономически устойчивого развития ТЭК. Энергоэффективность».

В ходе исследования получены следующие **результаты, обладающие научной новизной и являющиеся предметом защиты:**

1. По результатам эмпирического анализа показателей эластичности спроса на электрическую энергию за период с 2009 г. по 2017 г. доказано, что отечественный ОРЭМ является неустоявшимся и декларируемая конкурентность производства и распределения электроэнергии не всегда обеспечивается, что приводит к росту энергоемкости промышленной продукции. Одними из основных причин низкой энергоэффективности на промышленных предприятиях, являются несовершенство методического инструментария промышленных предприятий при определении спроса на электрическую энергию и постоянная трансформация правил работы ОРЭМ. Задача повышения энергоэффективности промышленных предприятий предопределила актуальность и практическую значимость перспективного прикладного направления исследования – совершенствования методического обеспечения промышленных предприятий, наилучшим образом отвечающего правилам ОРЭМ РФ (п. 1.1.1 и п. 1.1.18 Паспорта ВАК специальности 08.00.05).

2. На основе многофакторного регрессионного анализа выявлены доминантные факторы, влияющие на объем потребления электроэнергии промышленного предприятия. Их использование при экономико-математическом моделировании операционной деятельности промышленных предприятий позволило получить новые, наиболее релевантные зависимости предложения и спроса субъектов электроэнергетики на электроэнергию в процессе работы на ОРЭМ, что обеспечивает снижение энергозатрат предприятий и повышение энергоэффективности их производства (п. 1.1.13 Паспорта ВАК специальности 08.00.05).

3. Разработан метод управления затратами на электропотребление промышленного предприятия, с использованием авторских моделей и

алгоритмов управления потреблением электрической энергии по критерию энергоэффективности. Отличительной особенностью метода является учет при прогнозировании электропотребления и объемов электроснабжения разделения выборки максимального подобия на положительные и отрицательные значения с разными уравнениями аппроксимации, что обеспечивает ошибку аппроксимации менее 2 %. Использование предлагаемого метода дает возможность разработать управленческие решения по снижению затрат на электропотребление за счет обеспечения более высокой точности прогноза и ухода субъектов электроэнергетики из зоны штрафных санкций балансирующего рынка ОРЭМ (п. 1.1.1 Паспорта ВАК специальности 08.00.05).

4. Разработан алгоритм автоматизированной экспертизы качества прогнозирования объемов потребления электроэнергии промышленного предприятия, что повышает практическую значимость полученных результатов исследования, т.к. позволяет промышленным предприятиям при реализации программ повышения энергоэффективности полностью исключить необходимость привлечения экспертов из-за автоматической идентификации модели перед каждым построением прогноза (п. 1.1.13 и п. 1.1.18 Паспорта ВАК специальности 08.00.05).

5. Сформирован механизм управления энергозатратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности, в основу которого положены компьютерные технологии обеспечения высокой точности прогнозирования основных параметров рынка на сутки вперед, адекватно отвечающие правилам работы энергорынка. Авторская компьютерная программа имеет государственную регистрацию и находится в свободном доступе, что обеспечивает ее доступность и позволяет при использовании сократить затраты на электропотребление и повысить энергоэффективность производства и конкурентоспособность продукции (п. 1.1.18 Паспорта ВАК специальности 08.00.05).

Практическая ценность работы

Разработанная модель и соответствующие ей алгоритмы прогнозирования по выборке максимального подобия с использованием автоматического приведения временного ряда к стационарному виду и разными уравнениями аппроксимации для положительных и отрицательных значений могут применяться для принятия решений о требуемых для производства и потребления объемах потребления электрической энергии, а также других предметных областей, имеющих значительный объем накопленной статистической информации. Автоматизирована задача идентификации модели, что упрощает ее использование, так как устраняется необходимость привлечения эксперта. Возможность включения в модель неограниченного числа внешних факторов значительно повышает точность прогноза по сравнению с уже разработанными моделями данного класса. Разработанные алгоритмы реализованы на программном уровне и апробированы на практике.

Теоретические аспекты и выводы, содержащиеся в работе, вносят вклад в исследования по моделированию и финансовому планированию субъектов электроэнергетики, а также оптимизации их деятельности на ОРЭМ, что является практически значимым для повышения конкурентоспособности российских промышленных предприятий за счет роста энергоэффективности их производства.

Результаты исследования имеют высокую практическую значимость для субъектов электроэнергетики России, т.к. построенная модель существенно повышает точность прогнозирования основных параметров рынка, а в силу специфики организации работы отечественного энергорынка ошибка в прогнозе потребления приводит к существенному росту затрат за счет действующей системы почасовых тарифов балансирующего рынка. Полученные результаты могут быть использованы: субъектами энергорынка для планирования объемов производства электроэнергии; субъектами энергорынка при составлении заявок планируемых объемов потребления электроэнергии; органами государственной власти при формировании энергетической стратегии и разработке региональных программ энергосбережения.

Апробация работы

Степень достоверности выносимых на защиту результатов прогнозирования объема потребления электроэнергии документально подтверждается ООО «ГазЭнергоСбыт», г. Пермь и ООО «Энергетические технологии», г. Москва, использующих разработанные алгоритмы в операционной деятельности. Адекватность авторских моделей подтверждена на основе статистических критериев.

Основные результаты исследования представлялись в виде докладов и получили положительную оценку на научных семинарах Лаборатории конструктивных методов исследования динамических моделей (г. Пермь, ПГНИУ, 2017-2018 гг.). Основные положения работы докладывались в 2016 г. на Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг», г. Челябинск.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 12 работ общим объемом 9,84 п. л. авторского текста, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в наукометрическую базу Scopus, 7 статей в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК для публикаций научных результатов диссертаций, 1 монография. Получено свидетельство о государственной регистрации программного продукта «Forecast Energy», содержащего программную реализацию механизма управления затратами на электроэнергию промышленного предприятия.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 144 страниц основного текста, 11 таблиц, 44 рисунка. Список использованной литературы включает 150 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи, указана область исследования, раскрыта научная новизна, объект и предмет исследования, отмечена научная и практическая значимость работы.

В первой главе «Актуальные задачи совершенствования управления энергозатратами промышленного предприятия по критерию энергоэффективности» рассмотрены особенности самого молодого в мире энергетического рынка – ОРЭМ России. На основе эмпирического анализа особенностей электропотребления российских потребителей доказана актуальность и практическая востребованность совершенствования методического обеспечения промышленных предприятий при работе на ОРЭМ России для повышения их энергоэффективности. Выполнен анализ существующих методов прогнозирования основных параметров энергетического рынка и исследована их применимость к отечественному рынку электроэнергетики.

Во второй главе «Разработка методического обеспечения операционной деятельности субъектов электроэнергетики на ОРЭМ России» рассмотрены методики формирования цены рынка на сутки вперед и индекса балансирующего рынка, проведен парно-регрессионный и многофакторный регрессионный анализ основных показателей рынка электроэнергии, обоснованы основные внешние факторы, влияющие на изменение тарифа рынка на сутки вперед. Проведен анализ временного ряда потребления электрической энергии в ОЭС Урала ОРЭМ, построена модель долгосрочного прогнозирования электропотребления на основе гармонического анализа. Отличительной особенностью предложенной модели является использование полинома второго порядка в качестве функции тренда и включение сразу двух типов гармоник (годовой и недельной), что обосновано в процессе анализа построенных авторских автокорреляционных функций.

В третьей главе «Экономическая оценка механизма совершенствования управления затратами на электрическую энергию промышленных предприятий» сформирован механизм управления энергозатратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности, в основу которого положены компьютерные технологии обеспечения высокой точности прогнозирования основных параметров рынка на сутки вперед, адекватно отвечающие правилам работы энергорынка. Авторская компьютерная программа, лежащая в основе механизма управления, после ввода исходной информации работает в автоматическом режиме, не требует высокой квалификации компьютерных пользователей. Программа имеет государственную регистрацию и находится в свободном доступе, что обеспечивает ее доступность и позволяет при использовании сократить затраты на электропотребление и повысить энергоэффективность как на уровне отдельного промышленного предприятия, так и на уровне региона и страны в целом. Определены резервы энергоэффективности субъектов электроэнергетики при совершенствовании методического обеспечения в процессе формирования заявок на ОРЭМ. Проведена оценка экономического

эффекта от использования разработанного метода для промышленных предприятий Челябинской области.

В заключении содержатся основные выводы и результаты диссертационного исследования.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. По результатам эмпирического анализа показателей эластичности спроса на электрическую энергию за период с 2009 г. по 2017 г. доказано, что отечественный ОРЭМ является неустоявшимся и декларируемая конкурентность производства и распределения электроэнергии не всегда обеспечивается, что приводит к росту энергоемкости промышленной продукции. Одной из основных причин низкой энергоэффективности на промышленных предприятиях, работающих на ОРЭМ РФ, являются несовершенство методического инструментария промышленных предприятий при определении спроса на электрическую энергию и постоянная трансформация правил работы на ОРЭМ. Задача повышения энергоэффективности промышленных предприятий предопределила актуальность и практическую значимость перспективного прикладного направления исследования – совершенствования методического обеспечения промышленных предприятий, наилучшим образом отвечающего правилам ОРЭМ РФ.

В соответствии со ст. 2 Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ (ред. от 23.04.2018) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», «энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю». Энергоэффективность для промышленного предприятия представляет собой отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам на электропотребление. Абстрагируясь от величины динамики полезного эффекта от использования энергетических ресурсов, в работе поставлена задача обеспечить сокращение удельного потребления энергоресурсов на единицу продукции или услуги.

Из многообразия методов статистического анализа, пригодных для определения функциональных зависимостей в электроэнергетике, была выбрана парная регрессия, т.к. с ее помощью можно исследовать и оценить зависимость потребления электроэнергии от тарифа рынка «на сутки вперед» (далее РСВ).

В рамках исследования были построены парно-регрессионные уравнения линейной, экспоненциальной и гиперболической регрессий объема потребления электроэнергии от тарифа РСВ отдельно для каждого года с 2009 по 2017, для ОЭС Урала. На основе полученных уравнений были рассчитаны коэффициенты

эластичности отдельно для каждого исследуемого года. Графическая интерпретация результатов представлена на рисунке 1.

Оценка коэффициента корреляции на основе статистических данных Системного оператора показала динамику изменения уровня линейной зависимости между объемом потребления электроэнергии и тарифом РСВ (рисунок 2).

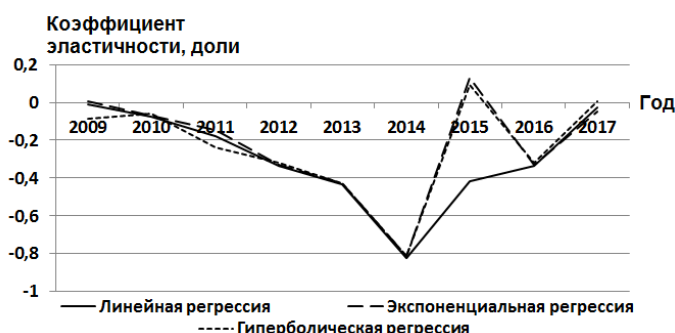


Рисунок 1 – Динамика коэффициентов эластичности для уравнений линейной, экспоненциальной и гиперболической парных регрессий по данным 2009–2017 гг.

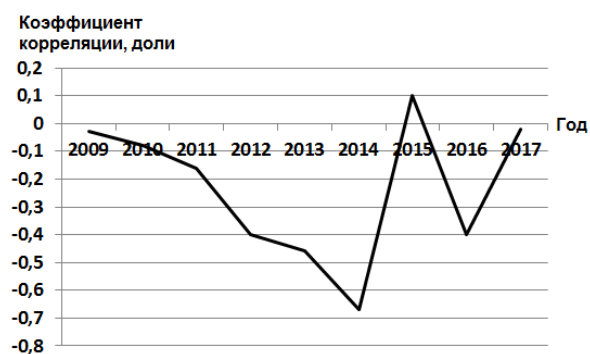


Рисунок 2 – Динамика коэффициента корреляции для уравнений линейной, экспоненциальной и гиперболической парных регрессий по данным 2009–2017 гг.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. В 2009 и 2010 гг. нельзя однозначно говорить о направлении реакции потребителей при изменении тарифа РСВ, т.к. коэффициент эластичности близок к 0. Для всех моделей с 2011 по 2014 гг. реакция потребителей на изменение тарифов по всем исследуемым годам примерно одинакова: при росте тарифного давления, потребление электрической энергии снижается, о чем говорит знак минус в значениях эластичности спроса по цене.

2. С 2009 г. по 2011 г. можно говорить о совершенной неэластичности спроса по цене, что связано с началом реформы ценообразования в электроэнергетике.

3. С 2012 г. по 2014 г. коэффициент эластичности постепенно увеличивается, но в 2012–2013 гг. его значения всё ещё намного меньше 1, что является явным признаком неэластичности.

4. В 2014 г. коэффициент эластичности достигает уровня, при котором можно говорить об эластичности спроса по тарифу, т.к. при росте тарифа на 10 %, спрос на потребление энергии падает более чем на 8 %.

5. Показатели 2015 г. близки к показателям 2009 г., когда происходило начало реформы электроэнергетики и рынок не был конкурентным.

6. До 2014 г. динамика всех показателей улучшалась, функциональная зависимость становилась сильнее и в 2014 г. можно было говорить о значимой обратной зависимости между объемом потребления электроэнергии и тарифом РСВ.

7. Остаточная дисперсия и границы доверительных интервалов достигли своего минимума в 2014 г., но в 2015 г. функциональная зависимость между показателя пропала, что обусловлено мировым экономическим кризисом.

8. С 2009 г. до 2014 г. рынок электроэнергетики стремительно развивался как конкурентный, но в 2015 г. все показатели вернулись к постреформенному периоду.

9. В 2016 г. рынок вновь возобновил свое развитие как конкурентный, но в 2017 показатели вернулись к 2015 г.

2. На основе многофакторного регрессионного анализа выявлены доминантные факторы, влияющие на объем потребления электроэнергии промышленного предприятия. Их использование при экономико-математическом моделировании операционной деятельности промышленных предприятий позволило получить новые, наиболее релевантные зависимости предложения и спроса субъектов электроэнергетики на электроэнергию в процессе работы на ОРЭМ, что обеспечивает снижение энергозатрат предприятий и повышение энергоэффективности их производства.

Для многофакторного анализа были отобраны факторы: тариф рынка на сутки вперед, индекс балансирующего рынка, температура окружающей среды, рабочие дни (с учетом праздничных), время года. Последние 2 фактора были введены в модель как фиктивные переменные. Свою значимость для введения в модель показали только тариф рынка на сутки вперед, температура окружающей среды и рабочие дни. Получена следующая модель многофакторной регрессии:

$$\hat{y} = 594561,7 + 100,9 \cdot x_1 - 4948,9 \cdot x_2 + 18826,8z_1 \quad (1)$$

где $\hat{y}$ – модельное значение объема потребления электроэнергии;

x_1 – тариф рынка на сутки вперед;

x_2 – среднесуточная температура окружающей среды;

z_1 – качественный фактор рабочих и нерабочих дней.

Включения последних двух факторов в модель привело к увеличению коэффициента детерминации с 0,017 до 0,89 и снизило ошибку аппроксимации с 9,09 % до 2,71 %, по сравнению с парной регрессией.

На основе построения автокорреляционной функции было установлено наличие трендовой составляющей, описываемой полиномом второго порядка, полученное уравнение является статистически значимым и дает среднюю ошибку аппроксимации 0,33 % для трендовой составляющей. Доказана периодичность временного ряда объема потребления электрической энергии, период составляет 1 год, что подтверждается коррелограммой (рисунок 3) и обусловлено снижением электропотребления в летний период.

На коррелограмме отчетливо видны слабые колебания малого периода, для подтверждения их наличия была построена коррелограмма для одномесячного периода, она представлена на рисунке 4. Пики функции автокорреляции на ма-

лом периоде приходится на недельные значения, что обусловлено снижением энергопотребления в выходные дни.

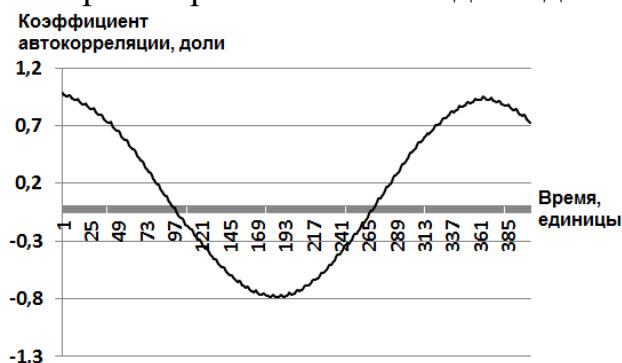


Рисунок 3 – Коррелограмма объема потребления электроэнергии при диапазоне лага от 1 до 401 для данных ОЭС Урала с 2009 по 2017 гг.

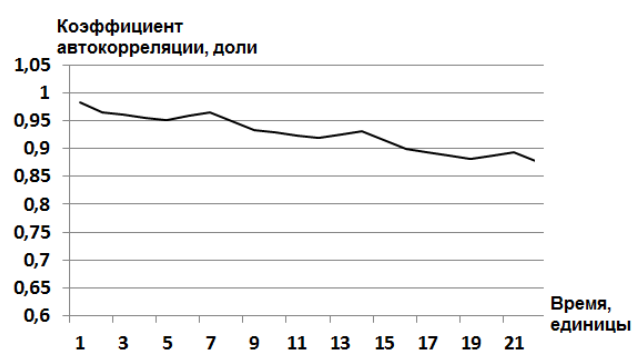


Рисунок 4 – Коррелограмма объема потребления электроэнергии при диапазоне лага от 1 до 21 для данных ОЭС Урала с 2009 по 2017 гг.

Построена аддитивная модель временного ряда объема потребления электроэнергии с учетом трендовой и гармонической сезонной составляющих:

$$\hat{y}_t = -0,0198x^2 + 82,53x + 621322 + 92183,7 \cos\left(t \frac{2\pi}{365}\right) + 16740,9 \sin\left(t \frac{2\pi}{365}\right) + 8931,8 \cos\left(t \frac{2\pi}{7}\right) + 4503,5 \sin\left(t \frac{2\pi}{7}\right) \quad (2)$$

где $\hat{y}_t$ – модельное значение объема потребления электроэнергии;
 x – тариф рынка на сутки вперед;
 t – уровень временного ряда;

Ширина доверительного интервала для полученной модели в среднем составляет 12 %.

Введение двух гармонических составляющих (годовой и недельной) вместо общепринятой одной снизило ошибку аппроксимации для текущей модели с 2,25 % до 2,08 %, что приведет к существенной энергосэкономии предприятия при исключении штрафов балансирующего рынка. Графическое изображение доверительного интервала гармонической составляющей модели представлено на рисунке 5.

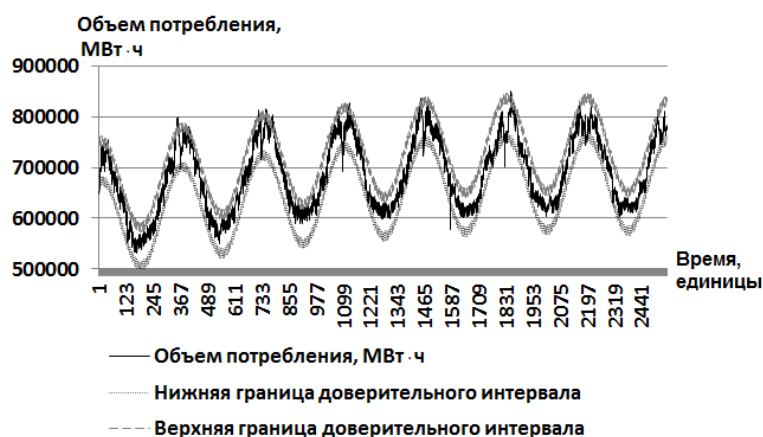


Рисунок 5 – Доверительный интервал гармонической модели сезонных колебаний с учетом трендовой

3. Разработан метод управления затратами на электропотребление промышленного предприятия, с использованием авторских моделей и алгоритмов управления потреблением электрической энергии по критерию энергоэффективности. Отличительной особенностью метода является учет при прогнозировании электропотребления и объемов электроснабжения разделения выборки максимального подобию на положительные и отрицательные значения с разными уравнениями аппроксимации, что обеспечивает ошибку аппроксимации менее 2 %. Использование предлагаемого метода дает возможность разработать управленческие решения по снижению затрат на электропотребление за счет обеспечения более высокой точности прогноза и ухода субъектов электроэнергетики из зоны штрафных санкций балансирующего рынка ОРЭМ.

Оптовый рынок электроэнергетики должен предусматривать обеспечение достаточного количества мощности для покрытия спроса на электрическую энергию с учетом необходимого резерва электрической мощности, с использованием наиболее эффективных ресурсосберегающих технологий. Таким образом, поставщики обязаны поддерживать генерирующее оборудование в состоянии готовности к производству электрической энергии. Контроль за своевременной и надлежащей реализацией инвестиционных программ генерирующих компаний, сформированных по результатам торговли мощностью, осуществляется Системным оператором Единой энергетической системы России. Отбор мощности также проводит Системный оператор.

РСВ организован в форме аукциона ценовых заявок. Основная цель аукциона – установить цены и объемы электрической энергии с максимальной взаимной выгодой для поставщиков и покупателей. Каждая ценовая заявка содержит 24 значения планового объема электроэнергии и 24 значения цены, по которой участник готов купить/продать указанный объем.

После принятия всех заявок от покупателей организатор аукциона ранжирует их в порядке убывания. Это означает, что покупатель всегда готов купить указанный объем по цене ниже, чем он указал в заявке. Таким образом, формируется кривая спроса, которая имеет ступенчатый вид и состоит из всех заявок. Заявки поставщиков сортируются в порядке возрастания цены, формируя тем самым кривую предложения.

Точка пересечения кривых спроса и предложения определяет равновесные цену и объем электропотребления. Участники аукциона, цены в заявках которых совпали с равновесной, называются ценообразующими. Заявки покупателей, которые оказались справа от равновесной цены не могут ничего купить по более дешевой цене, как и поставщики не могут ничего продать по более дорогой цене (рисунок 6).

Из вышесказанного вытекает важность точности прогнозирования объемов потребления и производства электроэнергии. Очевидно, что погрешности в прогнозных значениях объемов возникают регулярно, поэтому помимо рынка

на сутки вперед действует балансирующий рынок, который представляет собой рынок отклонений фактического почасового производства и потребления электроэнергии от планового торгового графика. Объемы на балансирующем рынке регулируются Системным оператором посредством снижения или увеличения производства электроэнергии. Участники рынка, которые допустили ошибки в планировании, могут купить или продать электроэнергию на балансирующем рынке, но цены на нем для потребителей невыгодны.

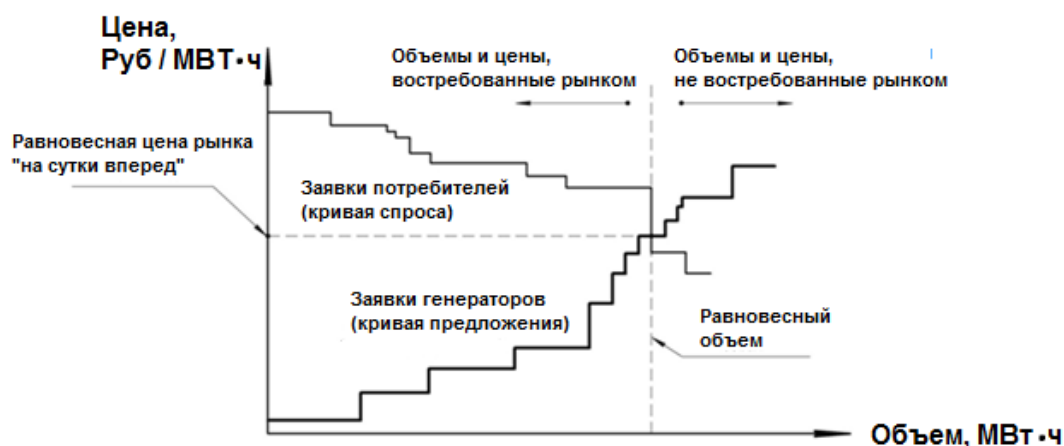


Рисунок 6 – Формирование равновесной цены рынка на сутки вперед

Цены балансирующего рынка формируются на основе рыночного спроса и предложения. Если фактическое электропотребление энергосистемой превысило план, то Системный оператор поочередно рассматривает заявки генераторов, начиная с ближайшей справа от равновесной цены. Заявки генераторов присоединяются пока не будет удовлетворена потребность покупателей в электроэнергии. Цена балансирующего рынка в данном случае будет равна точке пересечения необходимого покупателям объема с кривой предложения.

Если возникла обратная ситуация и фактическое электропотребление энергосистемой оказалось ниже плана, то Системный оператор поочередно снижает нагрузку электростанций, начиная с ближайшей слева от равновесной цены. Цена балансирующего рынка в данном случае будет определена по цене заявки генератора, чья ступень оказалась на пересечении с необходимым потребителям объемом электроэнергии.

В процессе исследования принципов ценообразования балансирующего рынка выявлено, что для снижения издержек на электрическую энергию субъектов электроэнергетики возрастает практическая значимость прогнозирования не только тарифов рынка на сутки вперед, но и отклонений индекса балансирующего рынка от тарифов рынка на сутки вперед. При отрицательном отклонении, то есть когда индекс балансирующего рынка меньше, чем тариф рынка на сутки вперед, происходит разгрузка дорогих генераторов, будут работать более дешевые генераторы, следовательно, если поставщик электроэнергии хочет участвовать в аукционе, то, зная прогнозное отклонение, он подает заявку системному оператору с ценой ниже, чем прогнозный тариф рынка на сутки вперед. Потребитель же при отрицательном отклонении для гарантированного

участия в аукционе может подавать в заявке цену ниже прогнозного тарифа рынка на сутки вперед на величину не превышающей прогнозного отклонения. При положительном отклонении происходит загрузка более дорогих генераторов, для участия в аукционе генераторы могут подавать заявку с ценой выше прогнозного тарифа рынка на сутки вперед на величину прогнозного отклонения.

Таким образом, важность точности прогнозирования выходит на первый план, так как планирование с наименьшими погрешностями приводит к уменьшению затрат, а, следовательно, к росту энергоэффективности.

Разработанная экономико-математическая модель прогнозирования временных рядов основывается на выборке максимального подобия из исторических данных энергопотребления ОЭС Урала с предварительным приведением исходного временного ряда к стационарному виду и построением разных уравнений аппроксимации для положительных и отрицательных уровней ряда. Модель включает в себя 2 базовых авторских алгоритма: алгоритм без учета внешних факторов и алгоритм с учетом внешних факторов.

Алгоритм прогнозирования электропотребления без учета внешних факторов. Блок-схема алгоритма прогнозирования без учета внешних факторов представлена на рисунке 7.

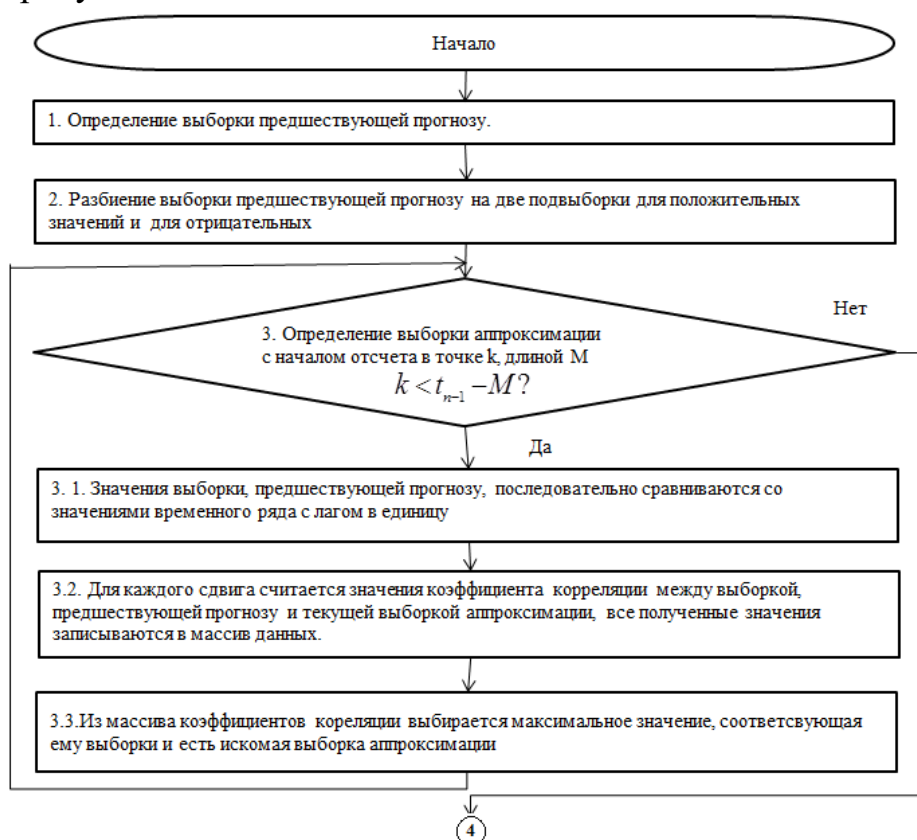
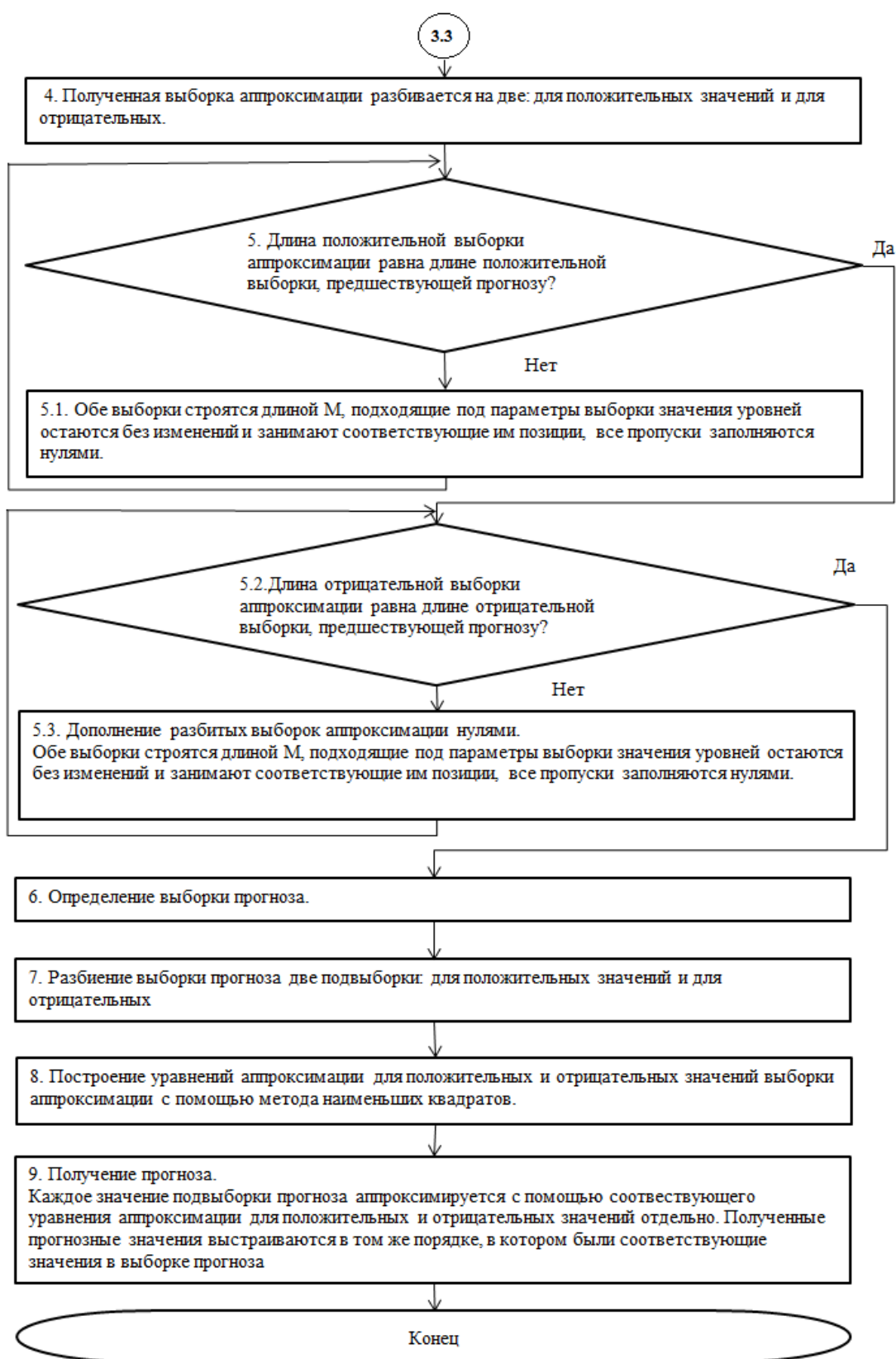


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма прогнозирования основных параметров энергорынка без учета внешних факторов по выборке максимального подобия с разными уравнениями аппроксимации для положительных и отрицательных уровней ряда



Окончание рисунка 7

Алгоритм прогнозирования электропотребления с учетом внешних факторов

Отличительной особенностью алгоритма прогнозирования является введение в модель внешних факторов. Так как каждый из факторов в отдельности является временным рядом, то получение прогнозных значений возможно с помощью алгоритма прогнозирования по выборке максимального подобию с разными уравнениями аппроксимации для положительных и отрицательных значений. Если фактор представлен в виде фиктивной переменной, то его значение находится эмпирически.

Каждому значению уровня временного ряда Y_t соответствуют значения внешних факторов $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$. Таким образом, исходные данные представляют собой матрицу, где столбцами являются временные ряды факторов и исследуемого ряда.

После нахождения и разбиения выборки аппроксимации на положительные и отрицательные значения выборки аппроксимации факторов разбиваются на две подвыборки, которые соответствуют временным участкам $\tilde{Y}_{t-k}^{M+} \geq 0$ и $\tilde{Y}_{t-k}^{M-} < 0$. Аналогичное разбиение происходит с выборкой прогноза. Дополнение нулями происходит так же, как и в алгоритме, описанном выше.

Далее на основе полученных выборок аппроксимации $\tilde{Y}_{t-k}^{M+}$, $\tilde{Y}_{t-k}^{M-}$, $\tilde{X}_{t-k,m}^{M+}$, $\tilde{X}_{t-k,m}^{M-}$ строятся уравнения аппроксимации:

$$\begin{aligned}\hat{\tilde{Y}}_t^{M+} &= \alpha_{m+1}^+ \tilde{X}_{t-k,m}^{M+} + \alpha_m^+ \tilde{X}_{t-k,m-1}^{M+} + \dots + \alpha_2^+ \tilde{X}_{t-k,1}^{M+} + \alpha_1^+ \tilde{Y}_{t-k}^{M+} + \alpha_0^+ \\ \hat{\tilde{Y}}_t^{M-} &= \alpha_{m+1}^- \tilde{X}_{t-k,m}^{M-} + \alpha_m^- \tilde{X}_{t-k,m-1}^{M-} + \dots + \alpha_2^- \tilde{X}_{t-k,1}^{M-} + \alpha_1^- \tilde{Y}_{t-k}^{M+} + \alpha_0^-\end{aligned}\quad (3)$$

где α_i^+ , α_i^- – коэффициенты аппроксимации, где $i \in \{1, 2, \dots, m\}$. Значение коэффициентов аппроксимации должно быть таким, чтобы:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \sum_{t=0}^{M-1} (\tilde{Y}_{t+i}^{M+} - \hat{\tilde{Y}}_{t+i}^{M+})^2 \rightarrow \min \\ \sigma^2 &= \sum_{t=0}^{M-1} (\tilde{Y}_{t+i}^{M-} - \hat{\tilde{Y}}_{t+i}^{M-})^2 \rightarrow \min\end{aligned}\quad (4)$$

т.е. квадрат отклонений модельных значений от реальных должен быть минимален.

Значения коэффициентов аппроксимации находятся с помощью метода наименьших квадратов:

$$Z_X^+ \cdot A^+ = Z_Y^+, \quad (5)$$

где A^+ – матрица коэффициентов для положительных уровней ряда;

Z_X^+ – матрица выборки аппроксимации для положительных уровней ряда;

Z_Y^+ – матрица выборки, предшествующей прогнозу для положительных уровней ряда.

$$Z_X^- \cdot A^- = Z_Y^-, \quad (6)$$

где A^- – матрица коэффициентов для отрицательных уровней ряда;

Z_X^- - матрица выборки аппроксимации для положительных уровней ряда;

Z_Y^- - матрица выборки, предшествующей прогнозу для положительных уровней ряда

Для получения прогноза каждое значение подвыборки $\tilde{Y}_t^{p+}$ аппроксимируется с помощью уравнения:

$$\tilde{Y}_t^{M+} = \alpha_{m+1}^+ \tilde{X}_{t-k,m}^{M+} + \alpha_m^+ \tilde{X}_{t-k,m-1}^{M+} + \dots + \alpha_2^+ \tilde{X}_{t-k,1}^{M+} + \alpha_1^+ \tilde{Y}_{t-k}^{M+} + \alpha_0^+ I^{M+}, \quad (7)$$

а значения подвыборки $\tilde{Y}_t^{p-}$ с помощью уравнения:

$$\tilde{Y}_t^{M-} = \alpha_{m+1}^- \tilde{X}_{t-k,m}^{M-} + \alpha_m^- \tilde{X}_{t-k,m-1}^{M-} + \dots + \alpha_2^- \tilde{X}_{t-k,1}^{M-} + \alpha_1^- \tilde{Y}_{t-k}^{M-} + \alpha_0^- I^{M-}, \quad (8)$$

Полученные прогнозные значения выстраиваются в том же порядке, в котором были представлены соответствующие значения в выборке $\tilde{Y}_t^p$.

4. Разработан алгоритм автоматизированной экспертизы качества прогнозирования объемов потребления электроэнергии промышленного предприятия, что повышает практическую значимость полученных результатов исследования, т.к. позволяет промышленным предприятиям при реализации программ повышения энергоэффективности полностью исключить необходимость привлечения экспертов из-за автоматической идентификации модели перед каждым построением прогноза.

Исходя из решаемой задачи прогнозирования, определяется значение длины прогноза P . Исходный временной ряд объема потребления электроэнергии приводится к стационарному виду, как правило, с помощью нахождения первых разностей уровней ряда.

По алгоритму прогнозирования рассчитываются прогнозные значения для разных значений параметра M , где $M \in [P, N]$, N – длина исходного временного ряда. Значение параметра M последовательно увеличивается на 1.

По результатам прогнозирования определяется средняя абсолютная ошибка прогноза ($MAPE$) для каждого значения параметра M .

$$MAPE = \frac{1}{K} \sum |\hat{y}_i - y_i| \cdot 100\% \quad (9)$$

С помощью теста Дики-Фуллера находятся 2 стационарных участка максимальной длины, рассчитывается их математическое ожидание. Сравниваются полученные результаты математических ожиданий. Если минимальное значение соответствует стационарному участку максимальной длины, то внутри него выбирается наименьшее значение ошибки аппроксимации. Соответствующее ему значение параметра M будет оптимальным. Если минимальное значение математического ожидания соответствует стационарному участку меньшей длины, то с помощью теста Дики-Фуллера находится следующий по длине стационарный участок (рисунок 8).

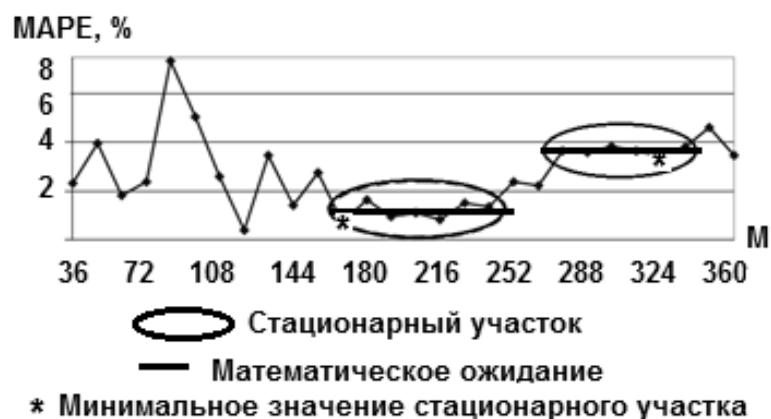


Рисунок 8 – Графическая иллюстрация нахождения оптимального значения длины выборки аппроксимации (параметра M)

Таким образом, находится длина параметра M , при котором ошибка прогноза минимальна.

5. Сформирован механизм управления энергозатратами субъектов электроэнергетики по критерию энергоэффективности, в основу которого положены компьютерные технологии обеспечения высокой точности прогнозирования основных параметров рынка на сутки вперед, адекватно отвечающие правилам работы энергорынка. Авторская компьютерная программа имеет государственную регистрацию и находится в свободном доступе, что обеспечивает ее доступность и позволяет при использовании сократить затраты на электропотребление и повысить энергоэффективность производства и конкурентоспособность продукции.

Субъекты электроэнергетики ежедневно сталкиваются с проблемой определения необходимого объема электроэнергии для текущих нужд как при подаче заявок Системному оператору, так и при планировании энергозатрат.

Электрическая энергия является специфичным товаром, который нельзя купить «впрок», и форма продажи в виде аукциона, управляемым Системным оператором, также накладывает значительные ограничения на способы финансовой экономии. Так как аукцион является закрытым, то предприятия при подаче заявок на объемы электрической энергии Системному оператору не могут заранее знать точную цену. Чем ближе цена поданной заявки к равновесной, тем больше вероятность для предприятия непопадания на балансирующий рынок, где цена покупки или продажи экономически не выгодна.

Из всего вышесказанного вытекают следующие требования к формированию механизма управления энергозатратами:

- высокая точность прогнозирования равновесной цены;
- высокая точность объемов потребления электроэнергии;
- оперативное принятие решений о подаваемых тарифах и объемах потребления в заявках Системному оператору с целью планирования производства и финансовой экономии за счет торгов не на балансирующем рынке;
- простота реализации механизма управления, достигаемая использованием компьютерной технологии;

- универсальность механизма управления, то есть создание единой системы, которая позволит прогнозировать все необходимые предприятию показатели;

- введение в механизм управления не только общих экзогенных факторов, влияющих на изменения цены и объема потребления, но и эндогенных факторов, индивидуальных для каждого конкретного предприятия.

Компьютерное методическое обеспечение для прогнозирования временных рядов, использующее имеющуюся статистическую информацию по выборке максимального подобия с автоматическим приведением временных рядов к стационарному виду (Forecast Energy), разработано на основе построенных экономико-математических алгоритмов прогнозирования электропотребления субъектов электроэнергетики.

Компьютерное методическое обеспечение предназначено для промышленных предприятий, осуществляющих продажи и покупки электрической энергии на ОРЭМ, при прогнозировании временных рядов на основе статистической информации о работе ОРЭМ, содержащейся в открытом доступе Системного оператора Единой энергетической системы России. Авторская компьютерная программа, лежащая в его основе, облегчает задачу прогнозирования временных рядов, позволяя автоматически вычислять выборку аппроксимации и представляя результаты прогнозирования не только в виде цифровой информации, но и в виде графиков. Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- прогнозирование по выборке максимального подобия объемов электропотребления с автоматическим приведением временных рядов к стационарному виду и построением разных уравнений аппроксимации для положительных и отрицательных значений;

- прогнозирование временных рядов с учетом неограниченного количества внешних факторов.

В качестве языка разработки был выбран язык программирования C#, сочетающий объектно-ориентированные и контекстно-ориентированные концепции. Среда разработки: Microsoft Visual Studio.

Программа работает автоматически без вмешательства человека, поэтому алгоритм приведения исходного ряда к стационарному виду для пользователя отображается на дисплее только в ознакомительной форме, где фиксируются все операции, которые происходят с временным рядом.

Предложенный механизм управления позволяет оперативно принимать решения о необходимых объемах электроэнергии и о цене, что обеспечивает в подаваемой заявке приближение к равновесной цене и исключает использование субъектами электроэнергетики ценопринимающих заявок.

На основе разработанного механизма управления затратами на электроснабжение промышленного предприятия формируется стратегия поведения субъекта электроэнергетики, содержащая последовательную совокупность управленческих воздействий промышленного предприятия, направленных на

снижение затрат на электроэнергию за счет ухода из зоны балансирующего рынка. На основе базы данных по ценам РСВ, хранящейся на сайте Системного оператора, субъект электроэнергетики формирует заявку, содержащую прогнозные значения цен РСВ и/или объемов электроэнергии. Системным оператором на основе сложившихся спроса и предложения определяются равновесные цена и/или объем электроэнергии. Далее возможны два варианта сценария развития событий:

1) цена РСВ и/или объем потребления значительно отличаются от равновесных значений, установленных рынком на текущее время, происходит переход заявки субъекта на балансирующий рынок;

2) цена РСВ и/или объем потребления совпадают или имеют незначительное отклонение от равновесных значений, установленных рынком на текущее время, покупка и продажа осуществляются на РСВ.

Очевидно, что вторая стратегия поведения субъекта электроэнергетики экономически более целесообразна, что обеспечивается высокой точностью прогнозных заявок на поставку и/или потребление электрической энергии за счет использования разработанного авторского механизма управления затратами промышленного предприятия.

Для оценки экономической эффективности разработанного механизма управления затратами на электроснабжение промышленного предприятия по критерию энергоэффективности были рассчитаны показатели NPV , ID , IRR , по данным промышленных предприятий Челябинской области за декабрь 2017 г. Значения отмеченных экономических критериев показали высокую экономическую эффективность промышленных предприятий при реализации программ энергосбережения с применением разработанного научного инструментария.

Таким образом, внедрение разработанного механизма управления затратами на электроснабжение промышленного предприятия по критерию энергоэффективности обеспечивает высокую экономическую эффективность и существенное энергосбережение субъектам электроэнергетики.

Авторская компьютерная программа, лежащая в основе предложенного механизма управления, имеет государственную регистрацию, находится в свободном доступе, что позволяет при ее использовании сократить затраты на электропотребление и повысить энергоэффективность как на уровне отдельного промышленного предприятия, так и на уровне региона и страны в целом.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В силу специфики организации работы отечественного энергорынка несовершенство инструментальных методов прогнозирования, используемых промышленными предприятиями при работе на ОРЭМ, приводит к наличию отклонений в заявках на поставку и покупку электрической энергии и удовлетворению их на балансирующем рынке ОРЭМ, тарифы которого существенно вы-

ше тарифов РСВ. Действующие правила работы ОРЭМ обуславливают актуальность и практическую значимость исследований, направленных на разработку методического обеспечения управления затратами на электрическую энергию промышленных предприятий по критерию энергоэффективность, что достигается в результате использования алгоритмов долгосрочного и краткосрочного прогнозирования объемов потребления электроэнергии, адекватно описывающих поведение временных рядов данных ОРЭМ, имеющих высокую скорость вычисления прогнозных значений и сравнимую с подобными авторегрессионными моделями точность прогнозирования объемов электропотребления.

Основным результатом диссертационного исследования является разработанный механизм управления издержками на электропотребление промышленных предприятий, включающий в себя комплекс авторских моделей и алгоритмов прогнозирования тарифов и электропотребления субъекта электроэнергетики, отличительная особенность которых состоит в разделении временного ряда на положительные и отрицательные значения с разными уравнениями аппроксимации, что повышает точность прогнозирования. Разработанный механизм формализован в виде авторской компьютерной программы Forecast Energy, использование которой позволит промышленным предприятиям существенно снизить затраты на электрическую энергию и повысить энергоэффективность промышленного производства.

IV. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК

1. Мохов, В.Г. Прогнозирование потребления электрической энергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности / В.Г. Мохов, **Т.С. Демьяненко** // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2014. – Т. 8. – № 2. – С. 86–92. (авт. 0,3 п.л.).

2. Мохов, В.Г. Формирование цен на оптовом рынке электрической энергии и мощности России / В.Г. Мохов, **Т.С. Демьяненко** // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 12-1 (65-1). – С. 1073–1082. (авт. 0,6 п.л.).

3. Mokhov V.G., **Demyanenko T.S.**, Ostanin I.P. Energy consumption modeling using neural networks of direct distribution on example of Russia united power system // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2016. vol. 3, no. 4, pp. 73–78. (in Russian) (MathSciNet) (авт. 0,3 п.л.).

4. Mokhov V.G., **Demyanenko T.S.**, Demyanenko K.V. Analysis of Formalized Methods for Forecasting the Volume of Electricity Consumption // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2017, vol. 4, no. 4, pp. 3–14. (in Russian) (MathSciNet) (авт. 0,6 п.л.).

5. Мохов, В.Г. Определение значимых факторов при прогнозировании объема потребления электроэнергии по объединенной энергосистеме Урала на основе регрессионного анализа / В.Г. Мохов, **Т.С. Демьяненко** // Вестник

УрФУ: Серия экономика и управление. – 2017. – Т. 16. – № 4. – С. 642–662. (авт. 1,0 п.л.).

6. Demyanenko T.S. Model of short-term forecast of electrical energy consumption of Ural United Power System by separating of a maximal similarity sample into the positive and negative levels // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2017. vol. 4, no. 3, pp. 11–18. (in Russian) (MathSciNet) (авт. 0,6 п.л.).

7. Мохов, В.Г. Построение трендовой составляющей аддитивной модели долгосрочного прогнозирования Оптового рынка электрической энергии и мощности России на примере Объединенной энергосистемы Урала / В.Г. Мохов, Т.С. Демьяненко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2018. – Т. 12. – № 2. – С. 80–87. (авт. 0,4 п.л.).

Статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в базу SCOPUS

1. Mokhov V.G., **Demyanenko T.S.** Modelling of the Time Series Digressions by the Example of the UPS of the Ural // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, 2015, vol. 8, no. 4, pp.127–130. (in Russian). (авт. 0,2 п.л.).

2. Mokhov V.G., Chebotareva G.S., **Demyanenko T.S.** Complex approach to assessment of investment attractiveness of Power Generating Company // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software, 2017, vol. 10, no. 2, pp. 150–154. (in Russian). (авт. 0,06 п.л.)

Монографии

1. Мохов, В.Г. Анализ регионального рынка электрической энергии России: монография / В.Г. Мохов, Т.С. Демьяненко. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. – 183 с. (авт. 5,4 п.л.).

Патенты и программы

1. Программа для прогнозирования временных рядов на основе имеющейся статистической информации по выборке максимального подобию с автоматическим приведением временных рядов к стационарному виду (Forecast Energy) / ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ (НИУ)»; рук. В.Г. Мохов; исполн. Т.С. Демьяненко, В.И. Цимбол, А.И. Цимбол – М., 2017. – гос. рег. № 2017660878 (авт. 0,08 п. л.).

Статьи в журналах РИНЦ и материалы конференций

1. Mokhov V.G., **Demyanenko T.S.** Analysis of Correlation between the Energy Demand and Electricity Rate and Environment Temperature at the Competitive Market of the Ural Grid Company of Unified Energy System // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2015, vol. 2, no. 4, pp. 61–67. (in Russian). (авт. 0,3 п.л.).