

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО»**

УДК 621.311

ТОКОЧАКОВА Надежда Владимировна

**МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ТРАНСПОРТА НЕФТИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

Минск–Гомель, 2007

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете, Гомельском государственном техническом университете имени П.О. Сухого

Научный консультант: Анищенко Вадим Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Белорусский национальный технический университет, кафедра «Электроснабжение»;

Официальные оппоненты: Михалевич Александр Александрович, доктор технических наук, академик НАН Беларуси, главный научный сотрудник, Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси;

Грунтович Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, заведующий отделом, ОАО «Белгорхимпром».

Андрижиевский Анатолий Альгертович, доктор технических наук, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники.

Оппонирующая организация: Объединенный институт энергетических и ядерных исследований НАН Беларуси «СОСНЫ»

Защита диссертации состоится «___» _____ 2007 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.01 в Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220027, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 2, ауд. 201.

Отзывы на автореферат диссертации в 2-х экземплярах просим высылать по адресу: 220027, г. Минск, проспект Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет, главный учебный корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2007 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций

кандидат технических наук, профессор

В. А. Седнин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

За последнее десятилетие произошло качественное и количественное изменение научных и практических задач, решаемых специалистами энергетиками в области энергообеспечения и эффективности использования энергоресурсов, что отражено в принятом в Республике Беларусь Законе «Об энергосбережении» и Концепции энергетической безопасности республики как одних из компонентов национальной и экономической безопасности. Одним из факторов, ослабляющим энергетическую безопасность республики, выделена высокая энергоемкость экономики, а одними из основополагающих принципов обеспечения энергетической безопасности является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и проведение активной энергосберегающей политики на всех уровнях хозяйствования, начиная от транспортировки первичных энергоресурсов, производства электрической и тепловой энергии, их транспортировки к потребителям и заканчивая конечным использованием ТЭР. В этих условиях задача эффективного использования электрической энергии (ЭЭ) в системах топливно-энергетического комплекса (ТЭК), включающего электростанции, электрические и тепловые сети, газо- и нефтепроводы, и в отраслях промышленности приобретает особую значимость.

В качестве показателей энергетической эффективности (ЭЭФ) Законом об энергосбережении определены научно обоснованная абсолютная или удельная величина потребления ТЭР (с учётом их нормативных потерь) на производство единицы продукции (работ, услуг) любого назначения, установленная нормативными документами. Удельные расходы ТЭР на выпуск продукции *необходимы для учета энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости продукции (работ, услуг)* и используются *для оценки ЭЭФ конкретного вида продукции (работ, услуг)* у производителя. Сравнение достигнутых удельных расходов ТЭР на выпуск продукции для различных предприятий, производящих даже один и тот же вид продукции, не всегда корректно, поскольку на формирование удельного расхода ТЭР влияет большое число факторов как объективного, так и субъективного характера. К основным факторам относятся: отличающийся состав технологического оборудования предприятия, различная его загрузка, неодинаковые характеристики используемого сырья. В 1998 г. в республике дополнительно введен еще один показатель, позволяющий оценивать ЭЭФ использования ТЭР, – целевой показатель по энергосбережению (ЦП). Он позволяет, в отличие от общих и удельных расходов ТЭР, оценивать ЭЭФ народно-хозяйственного комплекса в целом, поскольку характеризует уровень ЭЭФ не только выпускающих продукцию предприятий, но и потребителей, не выпускающих ее. ЦП ежегодно устанавливается в качестве одного из

основных показателей социально-экономического развития страны Постановлением Совета Министров Республики Беларусь и доводится республиканским органам государственного управления и иным государственными организациями, подчиненным Правительству Республики Беларусь, областям и городу Минску. Для предприятий и организаций социально-бюджетной сферы, оказывающих услуги населению, осуществляющих перевозки железнодорожным, трубопроводным и другим транспортом, жилищно-коммунального хозяйства и т. д., ЦП определяется как относительное изменение обобщенных энергозатрат в сопоставимых условиях в отчетном периоде по сравнению с базисным периодом. Сопоставимость условий обеспечивается учетом различного влияния факторов на энергопотребление в отчетном и базисном периодах не отражающих результаты энергосберегающих мероприятий. Приведение обобщенных энергозатрат к сопоставимым условиям обеспечивает объективную оценку ЦП.

К задачам управления ЭЭФ относятся задачи энергетического обследования с целью выявления потенциала и формирования программ энергосбережения потребителей, анализа электропотребления для оценки эффективности использования ЭЭ, формирования энергосберегающих режимов работы электрических приемников технологического оборудования, прогнозирования расхода ЭЭ при изменении технологических и энергетических параметров, нормирования расхода ЭЭ на выпуск продукции, прогнозирования и нормирования ЦП.

Решение этих задач требует разработки методического обеспечения, необходимого для объективной оценки экономии потребляемой ЭЭ за счет технологических мероприятий и на ее основе оценки самих показателей ЭЭФ.

Особенно актуальна эта проблема для крупных промышленных комплексов, относящихся к транспорту нефти и газа, химии, нефтехимии и др., технологическую часть которых можно представить в виде системы, состоящей из нескольких подсистем, между которыми существуют взаимные связи. Функционирование таких систем определяется характером взаимосвязей между ее подсистемами, а также внешними и внутренними возмущающими воздействиями. При решении задач управления ЭЭФ часто не учитывается, что технологическая система имеет свои индивидуальные свойства и закономерности функционирования и развития, отличные от закономерностей функционирования и развития отдельных подсистем и элементов, входящих в систему. Учет указанных особенностей возможен посредством разработки математических моделей электропотребления, используемых для определения экономии ЭЭ при энергетическом обследовании, оценки и нормирования показателей ЭЭФ. В конечном итоге это позволит повысить ЭЭФ предприятий за счет принятия обоснованных решений по ее управлению и стимулирования к внедрению энергосберегающих мероприятий.

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Работа выполнялась в соответствии с планом руководства аспирантским грантом по теме «Разработка математических моделей и метода нормирования электропотребления, учитывающих нестабильность и многофакторность производства», ГБ – 9/02, от 05.01.2002 г., в соответствии с НИОКР РУП «Гомельтранснефть Дружба» №815 по теме «Разработка программного комплекса «Модель-Электро» и метода проведения структурных исследований параметров режимов электропотребления с целью повышения ЭЭФ их управления», рег. в ГУ «БелИСА», № гр 2002991 от 16.04.2003 г., в соответствии с НИОКР НРУПТН «Дружба» № 169/03 по теме «Разработка целевого показателя энергосбережения для НРУПТН «Дружба», рег. в ГУ «БелИСА», № гр 20042551 от 30.08.2004 г., в соответствии с НИОКР РУП «Гомельтранснефть Дружба» № 24/06 по теме «Математическое моделирование режимов электропотребления сложных технологических комплексов для выявления потенциала энергосбережения», рег. в ГУ «БелИСА», № гр 20065644 от 28.11.2006 г.

Цель и задачи исследования

Целью работы является создание методологии оценки энергетической эффективности (ЭЭФ) предприятий трубопроводного транспорта нефти (ПТН), позволяющей повысить достоверность оценки, прогноза и нормирования показателей ЭЭФ в условиях внутренних и внешних возмущающих воздействий при решении задач управления ЭЭФ.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Произвести анализ существующей системы управления ЭЭФ ПТН, выявить проблемные зоны, определить пути их устранения.
2. Произвести анализ существующих методов оценки ЭЭФ ПТН и определить возможные пути их совершенствования с учетом влияния внешних и внутренних возмущающих воздействий.
3. Выявить влияние структуры и состояния технологической системы на формирование электропотребления и технологические факторы, определяющие ЭЭФ.
4. Разработать математическую модель электропотребления ПТН, учитывающую влияние технологических факторов для решения задач энергетического обследования, прогнозирования и нормирования показателей ЭЭФ.
5. Разработать методику, включающую в себя совокупность методов оценки экономии ЭЭ от проведения технологических энергосберегающих мероприятий на ПТН.
6. Разработать метод прогнозирования и нормирования электропотребления ПТН с учетом внешних и внутренних возмущающих воздействий.

7. Разработать метод оценки ЦП ПТН в сопоставимых условиях на основе математической модели электропотребления.

8. Разработать методическое и программное обеспечение для решения задач оценки текущего и прогнозного состояния ЭЭФ ПТН.

9. Выявить способы оценки ЭЭФ для промышленных потребителей (ПП) с простой взаимосвязью между электропотреблением и технологическими параметрами, функционирующих в условиях изменяющейся производственной программы.

10. Разработать метод нормирования электропотребления для ПП с собственной сырьевой базой, выпускающих несколько видов продукции.

Положения, выносимые на защиту

1. Методология оценки показателей ЭЭФ, основанная на математической модели электропотребления ПТН, учитывающая многофакторную взаимосвязь между электропотреблением и технологической системой транспортировки нефти в условиях внешних и внутренних возмущающих воздействий.

2. Математическая модель электропотребления ПТН в виде трехфакторного аддитивного уравнения регрессии на выбранном интервале грузооборота, где каждый из факторов является многопараметрической характеристикой подсистемы, участвующей в формировании электропотребления технологической системы в целом.

3. Метод оценки экономии энергии от проведения энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе ПТН, учитывающий сложную взаимосвязь между электропотреблением и технологией с использованием коэффициентов эластичности аддитивной регрессионной модели электропотребления, позволяющий дифференцировать влияние каждого фактора на экономию энергии, учитывать изменение состояния системы нефтепровода при оценке экономии энергии.

4. Метод определения оптимального состава насосных агрегатов (НА) соответствующих технологическим режимам работы участков нефтепровода ПТН, основанный на построении математических моделей общего электропотребления, дифференцированных по составам НА.

5. Метод оценки экономии энергии от технологических мероприятий, приводящих к скачкообразному изменению режимов работы системы нефтепровода (переход с однострубно́го на двухтрубный режим работы со сменой состава насосных агрегатов), основанный на построении математической модели удельного электропотребления.

6. Метод прогнозирования и нормирования удельных и общих расходов ЭЭ ПТН, учитывающий состояние каждой из технологических подсистем, определяющих электропотребление.

7. Метод расчета ЦП ПТН, основанный на приведении к сопоставимым условиям обобщённых энергозатрат в предыдущем (базисном) периоде с учетом

нелинейной связи между электропотреблением и приведенным грузооборотом нефти.

8. Способы оценки ЭЭФ для ПП с простой взаимосвязью между энергопотреблением и технологическими параметрами, функционирующих в условиях изменяющейся производственной программы.

9. Метод нормирования электропотребления для ПП с собственной сырьевой базой, выпускающих несколько видов продукции.

Личный вклад соискателя

Общий анализ проблемы. Постановка задач, организация и проведение всех исследований, представленных в работе. Разработка способа построения математической модели электропотребления ПТН, работающих в условиях внутренних и возмущающих воздействий.

Разработка методов оценки экономии ЭЭ в технологическом процессе транспортировки нефти, прогнозирования и нормирования электропотребления, расчета ЦП и их реализация применительно к ПТН и ПП Гомельской области.

Все результаты, составляющие научную новизну диссертации и выносимые на защиту, получены автором лично или при его непосредственном участии. Под научным руководством автора по тематике диссертационной работы защищена кандидатская диссертация по техническим наукам, защищена магистерская диссертация.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертации и отдельные ее разделы докладывались и обсуждались на международных, всесоюзных конференциях и семинарах, республиканских конференциях, ряде отраслевых совещаний, научно-технических конференциях ВУЗов страны, в том числе:

1. На VIII Международной научно-методической конференции «Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества» (г. Витебск, 2005 г.).

2. На V, VI МНТК «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 2004, 2006 г. г.).

3. На IV, V МНТК «Надежность и безопасность трубопроводного транспорта» (г. Новополоцк, 2003, 2006 г. г.).

4. На семинаре в рамках V международной специализированной выставки «Энерго- и ресурсосбережение» (г. Минск, 2001 г.).

5. На семинаре «Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь» (г. Гомель, 2001 г.).

6. На Международной 52-й научно-технической конференции «Технические ВУЗы – Республике» (г. Минск, 1997 г.).

7. На XII сессии Всесоюзного научного семинара «Кибернетика электрических систем» (г. Гомель, 1991 г.).

8. На X научной конференции «Моделирование электроэнергетических систем» (г. Каунас, 1991 г.).

9. На Научно-технической конференции «Повышение эффективности и качества электроснабжения» (г. Киев, 1990 г.).

10. На XI сессии Всесоюзного научного семинара «Кибернетика электрических систем» (г. Абакан, 1989 г.).

11. На семинаре «Электрические нагрузки и электропотребление в новых условиях хозяйствования» (г. Москва, 1989 г.).

12. На V НТК «Технико-экономические проблемы оптимизации режимов электропотребления промышленных предприятий» (г. Челябинск, 1989 г.).

13. На Научно-практической конференции «Актуальные задачи энергопроизводства и энергопотребления в Белорусской ССР» (г. Минск, 1988 г.).

14. На Научно-практической конференции «Повышение эффективности познавательных действий в науке и практике в свете решений XXVII съезда КПСС» (г. Минск, 1985 г.).

Результаты исследований докладывались в Концерне «Белнефтехим», г. Минск, 2002, 2006 г. г.; в Комитете по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь, г. Минск, 2002–2006 г. г.; на выездном совещании специалистов Комэнергоэффективности, занимающихся нормированием расхода ТЭР (23 июня 2006 г., г. Гомель); на научно-практическом семинаре в РУП «Гомельтранснефть Дружба» «О практике технического перевооружения предприятий нефтепроводного транспорта и обеспечении устойчивой и экологической безопасной транспортировки нефти», г. Гомель, 2002 г.; на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетические системы» МЭИ, г. Москва, 2001 г.

Опубликованность результатов диссертации

По результатам выполненных исследований опубликовано три отраслевые методики и 56 печатные работы, из них 1 монография, 31 статья в научных журналах, 15 статей в сборниках международных и республиканских конференций, 9 тезисов докладов. Общий объем материалов, опубликованных по теме диссертации, составляет 27,8 авторских печатных листа. Основные результаты содержатся в работах, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 357 страниц, 99 рисунков, 47 таблиц, приложения и список использованных источников из 236 наименований занимают 176 страниц, основной текст диссертации занимает 181 страницу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В первой главе рассмотрены ключевые понятия энергосбережения: «энергоэффективность» и «показатели энергоэффективности». Дана характеристика ПТН как объектов управления ЭЭФ. Проведен анализ режимов работы современных ПТН, показаны тенденции их развития и сложности, возникающие при управлении ЭЭФ в современных условиях функционирования.

Система управления ЭЭФ ПТН в диссертационной работе представляется в виде трех подсистем: подсистемы энергетического обследования (энергоаудита), призванной выявлять потенциал энергосбережения с целью формирования программ энергосбережения (годовых, пятилетних); подсистемы нормирования (государственного лимитирования и контроля) расхода ТЭР; подсистемы нормирования ЦП, призванной стимулировать внедрение энергосберегающих мероприятий и отслеживать эффективность использования всех видов ТЭР (рисунок 1). Проблемными зонами существующей системы управления ЭЭФ следует признать:

- отсутствие методического обеспечения объективной оценки экономии ЭЭ за счет мероприятий, воздействующих на технологическую систему;
- неучет результатов энергетического обследования для формирования прогрессивных норм расхода ЭЭ и задания ЦП;
- отсутствие объективно-обоснованного методического обеспечения нормирования расхода ЭЭ при учете внутренних и внешних возмущающих воздействий;
- отсутствие объективно-обоснованного методического обеспечения оценки ЦП, учитывающего фактическую взаимосвязь между электропотреблением и технологией и сопоставимость условий функционирования;
- отсутствие информационной базы данных (ИБД) по технологическим и электрическим показателям;
- отсутствие программного обеспечения для автоматизации расчета и прогнозной оценки показателей ЭЭФ.

При всем многообразии нормативных материалов, которые непосредственно или косвенным образом формируют политику в области энергосбережения слабой остается *методическая база, необходимая для оценивания потенциала энергосбережения в технологическом процессе потребителей ЭЭ, прогнозирования и нормирования как общих, так и удельных расходов ЭЭ с учетом изменения условий их функционирования, определения ЦП в сопоставимых условиях.*

Существующая методика оценки экономии ТЭР ПТН затрагивает режимы работы только единичных приемников и не учитывает изменения условий работы ПТН в целом.



АБСОЛЮТНАЯ ВЕЛИЧИНА РАСХОДА ЭЭ, W, кВт·ч.	ЦЕЛЕВОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ, ЦП, %.
УДЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА РАСХОДА ЭЭ НА ТРАНСПОРТИРОВКУ НЕФТИ, W_{уд}, кВт·ч/ тыс. т·км: $W_{уд} = W / P$	$ЦП = \left(\frac{ОЭЗ^o}{ОЭЗ_{с.у}^6} - 1 \right) \cdot 100, \%$
ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФ	

Рисунок 1– Система управления энергоэффективностью ПТН

Для решения задач энергетического обследования необходимо разработать методики, позволяющие давать оценку возможности улучшения ЭЭФ и

рассчитывать экономию ЭЭ от внедрения различных энергосберегающих мероприятий, направленных на совершенствования технологической системы.

При прогнозировании и нормировании расхода ЭЭ ПТН важным является возможность учета изменения объемов транспортировки нефти, а также общего состояния технологического объекта, которое непрерывно изменяется, вследствие чего нестабильно электропотребление. ПТН характеризуются сложной взаимосвязью между энергетикой и технологией. Для них существует ряд технологических факторов, влияющих на электропотребление, неучет которых приводит к большой погрешности при прогнозировании и нормировании удельных и общих расходов ЭЭ. Аналитически суточное потребление ЭЭ на транспортировку нефти по участку нефтепровода при турбулентном течении нефти в зоне Блазиуса может быть представлено как:

$$W = 4,964 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{P}{l} \right)^{2,75} \frac{\nu^{0,25}}{\rho^{1,25}} \frac{L}{d_{\text{э}}^{4,75} \eta} + 0,278 \cdot \Delta z \cdot g \frac{P}{h \eta}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (1)$$

где P – суточный грузооборот нефти по участку нефтепровода, тыс. т·км; l – протяженность участка нефтепровода на территории РБ, км; ν – кинематическая вязкость нефти, м²/с; ρ – плотность нефти, кг/м³; L – протяженность нефтепровода, км; $d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр нефтепровода, м; η – к.п.д. участка нефтепровода, о. е.; Δz – статический напор участка нефтепровода, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Эквивалентный диаметр нефтепровода – условный диаметр сложного (по количеству ниток, наличию лупингов и последовательно соединенных участков нефтепровода различного диаметра) нефтепровода, представленного в виде однопиточного нефтепровода неизменного диаметра, обеспечивающий равенство гидравлических потерь при заданном расходе нефти по длине однопиточного и сложного нефтепроводов.

Выражение (1) весьма требовательно к точности определения эквивалентного диаметра нефтепровода $d_{\text{э}}$. Ошибка в 1 % при определении эквивалентного диаметра многониточного нефтепровода увеличивает погрешность расчета ЭЭ примерно на 5 %. Весьма трудоемкой и зачастую невыполнимой является задача точного определения к.п.д. нефтепровода, поскольку при расчете используются к.п.д. насосов, которые подвержены постоянным значительным изменениям (обточка рабочих колес, физический износ насосов) и отличаются от паспортных величин.

Анализ существующих методов прогнозирования и нормирования ЭЭ выявил преимущества регрессионных моделей потребления ЭЭ, которые лишены указанных недостатков. Основу построения моделей составляют статистические данные, которые объективно отражают фактическое состояние нефтепровода. В зависимости от организации системы учета ТЭР, дискретизация статистики может варьироваться от месячной и квартальной до суточной. Использование суточной статистики позволяет улучшить качество моделирования электропотребления у предприятий со сложной взаимосвязью между энергетикой и технологией за счет учета большего количества возможных режимов транспортировки нефти.

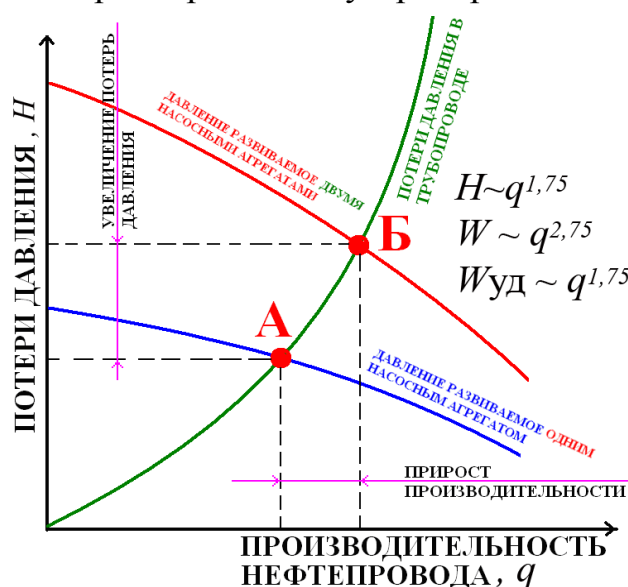


Рисунок 2 – Потери давления в зависимости от производительности нефтепровода

Для ПТН, работающих в условиях высокой загрузки нефтепровода, темп роста электропотребления опережает темп роста грузооборота нефти. Данное утверждение вытекает из анализа выражения (1), из которого видно, что электропотребление теоретически связано с грузооборотом нефти показателем степени 2,75. Прирост производительности (рисунок 2) достигается за счет включения дополнительного НА (режим работы нефтепровода переходит из точки А в точку Б).

При этом увеличение потерь давления больше увеличения производительности в 1,75 раза, что влечет за собой увеличение удельного расхода электроэнергии (УРЭ) в 1,75 раза (или увеличение общего расхода ЭЭ в 2,75 раза). Увеличение УРЭ с ростом грузооборота формально указывает на снижение ЭЭФ, но не соответствует действительности. Объективную оценку уровня ЭЭФ в подобных случаях можно получить, используя ЦП.

Целевой показатель по энергосбережению – интегральный показатель ЭЭФ, характеризующий производственную деятельность всего предприятия по реализации мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование ТЭР на всех стадиях его потребления. Для ПТН, основной деятельностью которых не является производство промышленной продукции, ЦП определяется по формуле:

$$\text{ЦП} = \left(\frac{\text{ОЭЭ}^0}{\text{ОЭЭ}_{\text{с.у}}^6} - 1 \right) \cdot 100, \%, \quad (2)$$

где $OЭЗ^0$ – обобщённые энергозатраты за отчётный период, т у. т.; $OЭЗ_{с.у}^b$ – обобщённые энергозатраты базисного периода, приведенные к сопоставимым с отчетным периодом условиям, т у. т.

Сопоставимые условия обеспечивают объективную оценку ЦП и определяются с учетом совокупности факторов отчетного периода, связанных с изменением энергопотребления, но не отражающих работу по энергосбережению.

Одной из причин искажения ЦП является неприведение или неполное приведение энергозатрат базисного периода к сопоставимым условиям отчетного периода, что не позволяет объективно оценить ЭЭФ за исследуемый период. Другим фактором, вносящим значительную ошибку в определение ЦП, является неучет реального характера зависимости технологического расхода ТЭР от объемов выпуска продукции.

В ранее используемом методе расчета ЦП ПТН не учитывался нелинейный характер зависимости технологического расхода ТЭР от объемов транспортируемой нефти, что приводило к необъективной оценке ЦП. В диссертации предложен метод расчета ЦП на основе однофакторной степенной регрессионной математической модели, учитывающей фактическую зависимость расхода ТЭР от объемов транспортируемой нефти.

Значительный вклад в развитие методов управления электропотреблением внесли Федоров А. А., Праховник А. В., Гордеев В. И., Папков Б. В., Никифоров Г. В., Кудрин Б. И., Гамазин С. И., Васильев И. Е., Лоскутов А. Б., Хронов Г. С., Доброжанов В. И., Журавлев В. Г., Ляхомский А. В., Конюхова Е. А., Червонный Е. М. и др.

В республике Беларусь проблемой энергосбережения активно занимались и занимаются Сбродов Г. П., Каханович В. С., Михалевич А. А., Якушев А. П., Поспелова Т. Г., Баштовой В. Г., Забелло Е. П., Анищенко В. А., Русан В. И., Грунтович Н. В., Прокопчик В. В. и др.

Тем не менее, растущий дефицит энергоресурсов требует совершенствования управления ЭЭФ, для чего необходима разработка методологических основ достоверной оценки ЭЭФ. Разработанная в диссертационной работе методология оценки ЭЭФ ПТН, основанная на математической модели электропотребления, позволяет производить оценку экономии ЭЭ в технологическом процессе, повышает объективность системы прогнозирования и нормирования расхода ЭЭ и достоверность оценки ЦП, что дает возможность целенаправленно воздействовать на технологический объект и улучшать его ЭЭФ. Комплексный подход к решению задач оценки ЭЭФ на основе математической модели электропотребления может быть представлен в виде структурной схемы (рисунок 3).

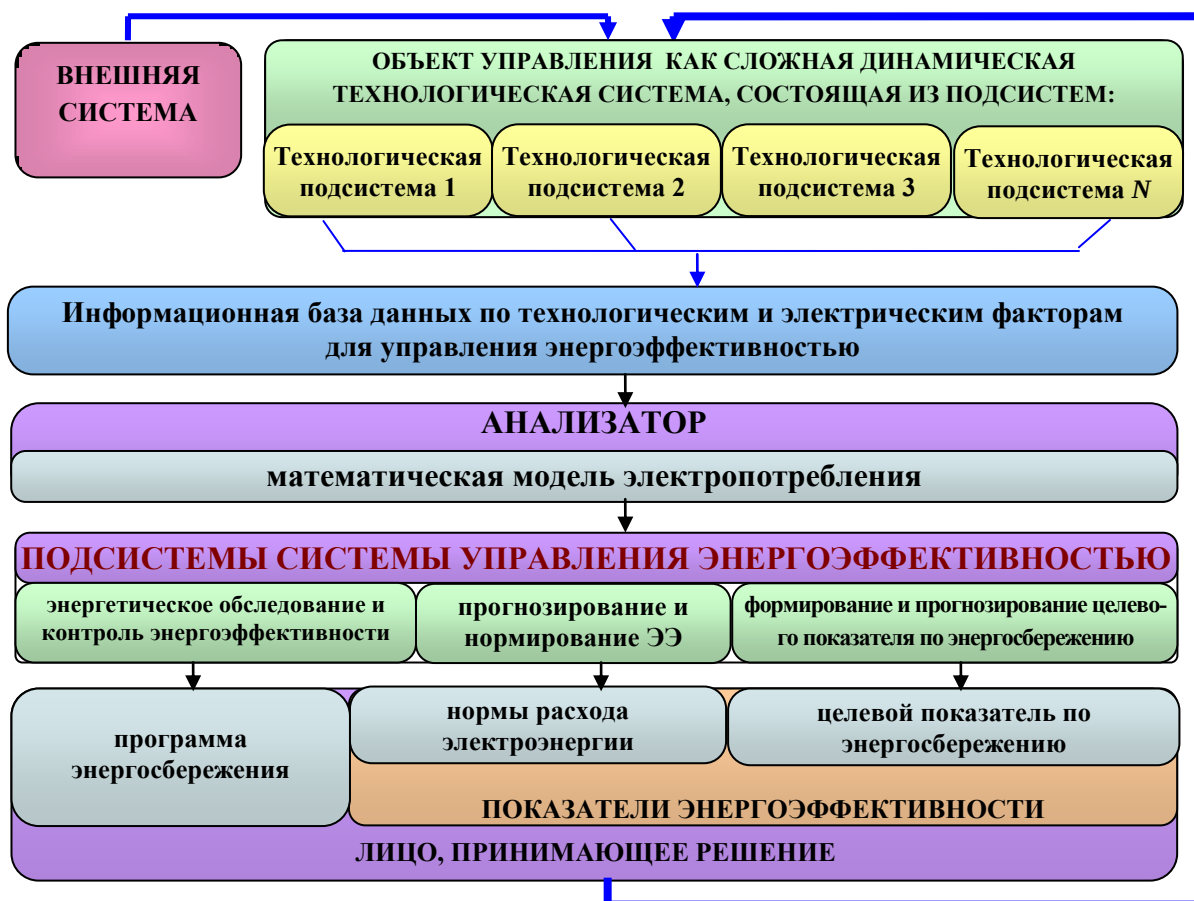


Рисунок 3 – Структурная схема оценки и управления ЭЭФ

Во второй главе рассмотрены ПТН как объекты управления ЭЭФ с позиций системного анализа. Любого потребителя можно представить в виде нескольких подсистем: *технологической, конечной продукции, учета энергетических и технологических параметров*. Подсистема учета энергетических и технологических параметров определяет способ построения математической модели электропотребления, а технологическая подсистема и подсистема конечной продукции определяют ее вид. **Наличие у потребителя современных автоматизированных комплексов по учету энергоресурсов позволяет в качестве базовой статистики использовать суточную информацию и тем самым увеличить ее объем, что повышает адекватность математической модели.**

К ПП с *простой* взаимосвязью между энергетикой и технологией предложено отнести технологическую систему, электропотребление которой описывается через подсистему конечной продукции, а влияние других подсистем на электропотребление пренебрежимо мало. К ПП со *сложной* взаимосвязью между энергетикой и технологией относим технологическую систему, состоящую из нескольких связанных между собой подсистем, существенно влияющих на электропотребление системы.

Для ПТН технологическая система может быть представлена 4 подсистемами, влияющими одна на другую и формирующими электропотребление всей

технологической системы в целом: нефтеперекачивающие станции с установленными НА; линейные сооружения (трубопроводная часть); резервуарные парки; транспортируемая нефть. К основным факторам, формирующим электропотребление и являющимися одновременно характеристиками этих подсистем, относятся: грузооборот нефти (P), ее вязкость (ν) или температура (t), эквивалентный диаметр нефтепровода ($d_э$) (рисунок 4).

Сформированная на основе автоматизированной системы учета ЭЭ и технологических факторов ИБД включает массивы суточной статистической информации об электрических и технологических показателях за пять лет по РУП «Гомельтранснефть Дружба» и НРУПТН «Дружба». В базу данных включены: W – значения суточного электропотребления участка нефтепровода, кВт·ч/сут; P – значения суточного грузооборота нефти по участку нефтепровода, тыс. т·км/сут; ν – усредненные суточные значения вязкости нефти, м²/с; ρ – усредненные суточные значения плотности нефти, кг/м³; t – усредненные суточные значения температуры нефти, °С; h – значения полных напоров на всасе и выкиде нефтеперекачивающих станций (НПС), а также в пунктах приема нефти, м; составы включенных НА с учетом динамики наружных диаметров рабочих колес; протяженности участков нефтепровода, км; геодезические отметки начала и конца трубопроводов, м; уставки системы автоматического регулирования, кПа; пикеты лупингов. Для решения всех задач управления ЭЭФ ПТН была сформирована *единая* ИБД.

В качестве базовой модели для оценки экономии ЭЭ за счет мероприятий, проводимых в технологическом процессе транспортировки нефти, прогнозирования и нормирования расхода ЭЭ, принята аддитивная трехфакторная регрессионная модель на выбранном интервале грузооборота:

$$\hat{W} = \beta_0 + \beta_p \cdot P + \beta_\nu \cdot \nu + \beta_d \cdot d_э, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут}, \quad (3)$$

где β_p – коэффициент регрессии, кВт·ч/тыс. т·км; P – грузооборот нефти, тыс. т·км/сут; β_ν – коэффициент регрессии, кВт·ч·с/(м²·сут); ν – вязкость нефти, м²/с; β_d – коэффициент регрессии, кВт·ч/(м·сут); $d_э$ – эквивалентный диаметр нефтепровода, м; β_0 – свободный член уравнения регрессии, кВт·ч/сут.

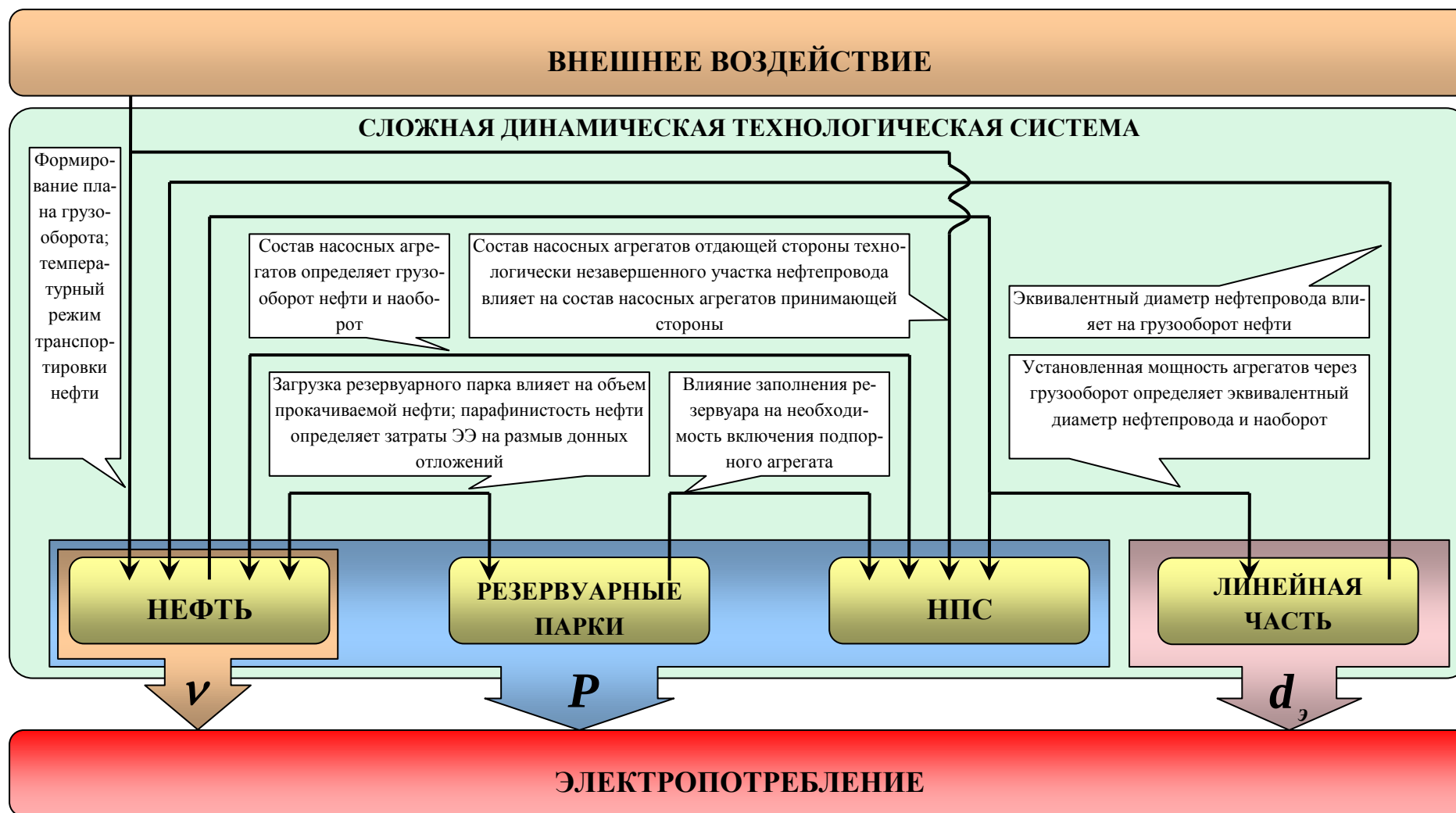


Рисунок 4 – Взаимодействие подсистем, формирующих электропотребление сложной технологической системы нефтепровода

Алгоритм построения модели электропотребления следующий:

1) формируются суточные временные ряды расхода ЭЭ и факторов, включенных в модель на временном интервале $t = 1, 2, \dots, n''$:

$$\{W_t\}_{t=1,2,\dots,n''}, \{P_t\}_{t=1,2,\dots,n''}, \{v_t\}_{t=1,2,\dots,n''}, \{d_{\text{Э}t}\}_{t=1,2,\dots,n''};$$

2) сформированные временные ряды очищаются от календарных эффектов (исключаются сутки, соответствующие первому и последнему числам месяца, из-за несовпадения начала отсчета объемов транспортируемой нефти и расхода ЭЭ в первый день месяца):

$$\{W_t\}_{t=1,2,\dots,n'}, \{P_t\}_{t=1,2,\dots,n'}, \{v_t\}_{t=1,2,\dots,n'}, \{d_{\text{Э}t}\}_{t=1,2,\dots,n'}; n' = n'' - NK,$$

где NK - количество суток, исключенных из временных рядов;

3) в зависимости от длины временных рядов n' и цели построения модели выбирается период усреднения τ и по выражениям (4) рассчитываются сглаженные временные ряды (5):

$$\bar{W}_t = \frac{1}{\tau} \sum_{i=t}^{t+\tau-1} W_i, \bar{P}_t = \frac{1}{\tau} \sum_{i=t}^{t+\tau-1} P_i, \bar{v}_t = \frac{1}{\tau} \sum_{i=t}^{t+\tau-1} v_i, \bar{d}_{\text{Э}t} = \frac{1}{\tau} \sum_{i=t}^{t+\tau-1} d_{\text{Э}i}; \quad (4)$$

$$\{\bar{W}_t\}_{t=1,2,\dots,n}, \{\bar{P}_t\}_{t=1,2,\dots,n}, \{\bar{v}_t\}_{t=1,2,\dots,n}, \{\bar{d}_{\text{Э}t}\}_{t=1,2,\dots,n}; n = n' - (\tau - 1); t = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Для задачи нормирования в настоящее время принято разрабатывать среднеквартальные УРЭ на транспортировку нефти (период усреднения $\tau = 90$ сут); при прогнозировании выбор τ зависит от периода прогнозирования (месяц, квартал) и соответственно $\tau = 30$ (90) сут.; при оценке экономии ЭЭ от проведения энергосберегающих мероприятий $\tau = 30$ сут, поскольку в РБ сложилась система ежемесячной статистической отчетности по экономии ТЭР; при оценке целевого показателя τ увеличивается от 30 сут (за январь) до 360 сут (за декабрь), так как целевой показатель рассчитывается ежемесячно с нарастающим итогом;

4) методом наименьших квадратов на выбранном интервале грузооборота строится модель зависимости расхода ЭЭ от сглаженных значений грузооборота и вязкости нефти, эквивалентного диаметра нефтепровода вида (3);

5) рассчитывается регрессионная статистика, позволяющая оценить максимальную $\delta^{\max}$ и среднеквадратическую σ относительные погрешности;

6) на основе F -критерия Фишера и t -критерия Стьюдента проверяется значимость коэффициентов регрессии;

7) модель (3) для нормирования расхода ЭЭ преобразуется в модель УРЭ:

$$W_{уд} = \beta_p + \frac{\beta_v v + \beta_d d_э + \beta_0}{P}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. т} \cdot \text{км}. \quad (6)$$

Существенным моментом является необходимость сглаживания временных рядов. Выполнен анализ влияния сглаживания скользящим средним на точность моделирования расхода ЭЭ. Фактическое суточное электропотребление W_t отличается от рассчитанного по модели $\hat{W}_t$ на величину стохастической составляющей ε_t :

$$W_t = \hat{W}_t + \varepsilon_t, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{сут}. \quad (7)$$

На рисунке 5 представлены максимальная и среднеквадратическая погрешности модели в функции от периода усреднения τ .

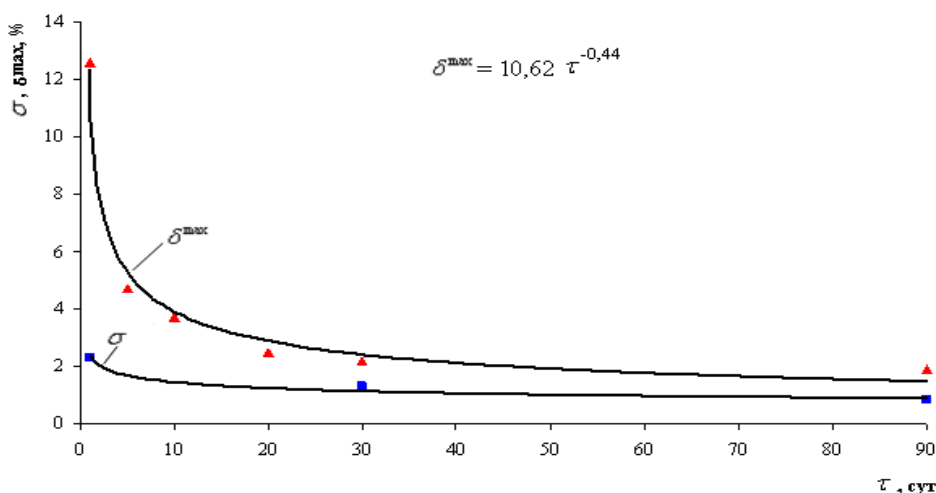


Рисунок 5 – Относительные погрешности модели $\sigma^{\max}$ и σ

В третьей главе разработана методика, включающую в себя совокупность трех методов: метод оценки экономии ЭЭ в технологическом процессе ПТН от мероприятий, воздействующих (или сводящихся к воздействию) на параметры $d_э$ и v ; метод оценки экономии ЭЭ от управления составом НА; метод оценки экономии ЭЭ при скачкообразном изменении состояния системы нефтепровода. Для оценки экономии ЭЭ при проведении технологических мероприятий определена степень влияния факторов, формирующих электропотребление, а также оценена возможность воздействия на данные факторы посредством проведения технологических мероприятий. Значительная часть энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти сводится к целенаправленному воздействию на $d_э$ и v .

К энергосберегающим мероприятиям, влияющим на $d_э$, относятся: очистка линейной части нефтепровода; изменение станционной технологии с

целью минимизации энергетических затрат; изменение линейной технологии с целью минимизации энергетических затрат; снижение энергетических затрат на транспортировку нефти в условиях роста производственной программы путем строительства лупингов; применение противотурбулентных присадок в условиях производственной необходимости; подбор оптимальных характеристик НА в условиях изменяющейся производственной программы.

К энергосберегающим мероприятиям, влияющим на v , относятся: предварительный подогрев нефти; применение депрессорных присадок.

Применительно к задаче оценки экономии ЭЭ в технологическом процессе транспортировки нефти в качестве базовой принимается трехфакторная **аддитивная** модель суточного расхода ЭЭ на выбранном интервале грузооборота (4).

Экономию ЭЭ при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти предложено оценивать изменением среднесуточного расхода ЭЭ:

$$\Delta W_i = \frac{\Pi_i}{100} \cdot W_{\text{баз}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (8)$$

где Π_i – процентное изменение расхода ЭЭ в результате i -го проведенного энергосберегающего мероприятия, %; $W_{\text{баз}}$ – базисное электропотребление до проведения энергосберегающего мероприятия, кВт·ч/сут.

Величина Π_i характеризует процентное изменение расхода ЭЭ или УРЭ от изменения фактора f_i :

$$\Pi_i = e_i \left(1 - \frac{f'_i}{f_{\text{баз},i}} \right) \cdot 100, \%, \quad (9)$$

где e_i – коэффициент эластичности расхода ЭЭ по фактору f_i , о. е.; f'_i – измененное значение фактора f_i в результате проведенного мероприятия, ед. изм.; $f_{\text{баз},i}$ – базисное значение фактора f_i (до проведения мероприятия), ед. изм.

Коэффициент эластичности представляет собой отношение темпов роста зависимой переменной (W_i) к темпам роста независимой переменной (f_i) и позволяет судить, на сколько процентов изменится зависимая переменная при изменении независимой переменной на 1 %:

$$e_{f_i} = \frac{\Delta W_i / W_{\text{баз}}}{\Delta f_i / f_{\text{баз},i}} = \frac{\beta_i \cdot f_{\text{баз},i}}{\beta_0 + \beta_1 \cdot f_{\text{баз},1} + \dots + \beta_k \cdot f_{\text{баз},k}}, \text{ о. е.}, \quad (10)$$

где ΔW_i – изменение расхода ЭЭ за счет изменения исследуемого i -го фактора, кВт·ч/сут; $W_{\text{баз}}$ – базисное (текущее) значение расхода ЭЭ, кВт·ч/сут; Δf_i – изменение исследуемого фактора при проведении энергосберегающего мероприятия, ед. изм.; $f_{\text{баз},i}$ – базисное (текущее) значение исследуемого фактора, ед. изм.; $\beta_1, \dots, \beta_k$ – коэффициенты уравнения регрессии вида (3), кВт·ч/(сут·ед. изм.); β_0 – свободный член уравнения регрессии вида (3), кВт·ч/сут; $f_{\text{баз},1}, \dots, f_{\text{баз},k}$ – значения факторов, характеризующих базисное состояние технологической системы до проведения энергосберегающего мероприятия.

Потенциал энергосбережения предлагается оценивать процентным снижением расхода ЭЭ при проведении энергосберегающих мероприятий относительно базисного значения расхода ЭЭ. Для оценки потенциала энергосбережения разработан следующий алгоритм:

- 1) на основе информационной базы данных формируется модель (3);
- 2) рассчитываются коэффициенты эластичности модели (10);
- 3) производится оценка изменения факторов в результате проведения энергосберегающих мероприятий (f'_i);
- 4) рассчитываются потенциалы энергосбережения (9) по каждому мероприятию в отдельности.

Результаты исследований степени влияния факторов на электропотребление с использованием коэффициентов эластичности модели показали, что коэффициент эластичности по грузообороту нефти составил 2,33, коэффициент эластичности по эквивалентному диаметру – 1,43, коэффициент эластичности по вязкости нефти – 0,1. Поскольку коэффициент эластичности по вязкости нефти пренебрежимо мал, а грузооборот нефти жестко определяется заданной производственной программой, то приоритетными энергосберегающими мероприятиями являются мероприятия, воздействующие на эквивалентный диаметр нефтепровода.

Определение экономии ЭЭ за счет управления составом НА производится с использованием регрессионных моделей электропотребления участков нефтепровода общего вида (3), дифференцированных по составам НА. Это позволяет оценить влияние последних на электропотребление участков нефтепровода и выявить энергосберегающие составы НА.

Метод оценки ЭЭФ различных составов НА базируется на суточных статистических данных о электропотреблении участков нефтепровода с относительно неизменной конфигурацией и факторах, его формирующих, и описывается следующим алгоритмом:

- 1) выполняется кодировка состояний НА;

2) формируется информационная база данных (ИБД) по суточному электропотреблению, технологическим параметрам транспортировки нефти, а также по коду состава НА (θ);

3) формируются на основе ИБД исходные временные ряды суточных значений расхода электроэнергии $\{W_i\}_{i=1,\overline{n}}$, грузооборота $\{P_i\}_{i=1,\overline{n}}$, вязкости нефти $\{v_i\}_{i=1,\overline{n}}$ (температуры нефти $\{t_i\}_{i=1,\overline{n}}$), кода состава НА $\{\theta_i\}_{i=1,\overline{n}}$ на исследуемом интервале времени (n – количество суток); при изменении конфигурации нефтепровода дополнительно формируется временной ряд значений $\{d_{эi}\}_{i=1,\overline{n}}$;

4) исключаются из сформированных временных рядов сутки с недостоверными данными (выбросы):

$$\{W_i\}_{i=1,\overline{k}}; \{P_i\}_{i=1,\overline{k}}; \{v_i\}_{i=1,\overline{k}}; \{d_{эi}\}_{i=1,\overline{k}}; \{\theta_i\}_{i=1,\overline{k}}; (k \leq n);$$

5) сформированные временные ряды дифференцируются по коду состава НА, определяются характерные составы НА:

$$\begin{bmatrix} \{W_i\}_{i=1,\overline{f_1}} & \{P_i\}_{i=1,\overline{f_1}} & \{v_i\}_{i=1,\overline{f_1}} & \{d_{эi}\}_{i=1,\overline{f_1}} & \theta_1 \\ \{W_i\}_{i=1,\overline{f_2}} & \{P_i\}_{i=1,\overline{f_2}} & \{v_i\}_{i=1,\overline{f_2}} & \{d_{эi}\}_{i=1,\overline{f_2}} & \theta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \{W_i\}_{i=1,\overline{f_m}} & \{P_i\}_{i=1,\overline{f_m}} & \{v_i\}_{i=1,\overline{f_m}} & \{d_{эi}\}_{i=1,\overline{f_m}} & \theta_m \end{bmatrix},$$

где m – количество характерных составов НА; f_m – количество суток работы состава θ_m ;

6) полученные временные ряды для m составов НА сглаживаются скользящим средним с периодом усреднения τ :

$$\overline{W}_i = \frac{1}{\tau} \sum_{j=i}^{i+\tau-1} W_j; \quad \overline{P}_i = \frac{1}{\tau} \sum_{j=i}^{i+\tau-1} P_j; \quad \overline{v}_i = \frac{1}{\tau} \sum_{j=i}^{i+\tau-1} v_j; \quad \overline{d}_{эi} = \frac{1}{\tau} \sum_{j=i}^{i+\tau-1} d_{эj};$$

$$\begin{bmatrix} \{\overline{W}_i\}_{i=1,\overline{f_1-\tau+1}} & \{\overline{P}_i\}_{i=1,\overline{f_1-\tau+1}} & \{\overline{v}_i\}_{i=1,\overline{f_1-\tau+1}} & \{\overline{d}_{эi}\}_{i=1,\overline{f_1-\tau+1}} & \theta_1 \\ \{\overline{W}_i\}_{i=1,\overline{f_2-\tau+1}} & \{\overline{P}_i\}_{i=1,\overline{f_2-\tau+1}} & \{\overline{v}_i\}_{i=1,\overline{f_2-\tau+1}} & \{\overline{d}_{эi}\}_{i=1,\overline{f_2-\tau+1}} & \theta_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \{\overline{W}_i\}_{i=1,\overline{f_m-\tau+1}} & \{\overline{P}_i\}_{i=1,\overline{f_m-\tau+1}} & \{\overline{v}_i\}_{i=1,\overline{f_m-\tau+1}} & \{\overline{d}_{эi}\}_{i=1,\overline{f_m-\tau+1}} & \theta_m \end{bmatrix}.$$

Выбор параметра τ ведется по наименьшей продолжительности работы характерного состава НА (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендуемые значения периода усреднения

$\min\{f_m\}$, сут	от...до		от...до		от...до		от...до		от...до		от...до	
	21	25	26	30	31	40	41	50	51	60	61	...
τ	7		9		12		16		20		30	

7) на основе сглаженных временных рядов строятся модели электропотребления, дифференцированные по составам НА:

$$\begin{bmatrix} \bar{W} = a_1 \cdot \bar{P} + b_1 \cdot \bar{v} + c_1 \cdot \bar{d}_3 + d_1, & \text{КОД НА} = \theta_1 \\ \bar{W} = a_2 \cdot \bar{P} + b_2 \cdot \bar{v} + c_2 \cdot \bar{d}_3 + d_2, & \text{КОД НА} = \theta_2 \\ \vdots & \vdots \\ \bar{W} = a_m \cdot \bar{P} + b_m \cdot \bar{v} + c_m \cdot \bar{d}_3 + d_m, & \text{КОД НА} = \theta_m \end{bmatrix};$$

8) построенные модели попарно сравниваются; на рисунке 6 показаны модели электропотребления θ_{m-1} и θ_m составов НА, приведенные к одинаковым условиям;

9) экономия ЭЭ за интервал времени f_m определяется следующим образом:

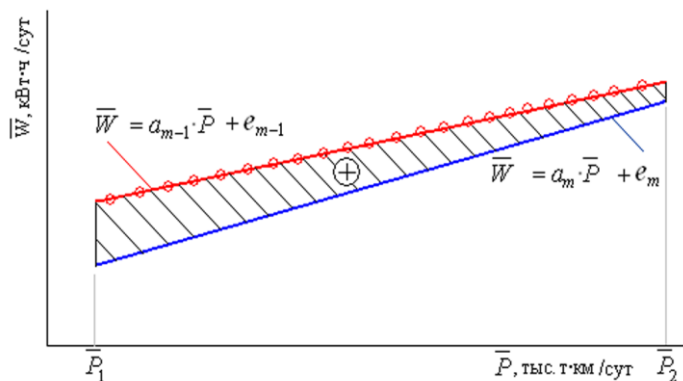


Рисунок 6 – Модели электропотребления θ_{m-1} и θ_m составов НА

$$\Delta W_m = \left[\int_{P_1}^{P_2} (a_{m-1} \cdot \bar{P} + e_{m-1}) d\bar{P} - \int_{P_1}^{P_2} (a_m \cdot \bar{P} + e_m) d\bar{P} \right] \cdot \frac{f_{m-1}}{P_2 - P_1} = \left[(a_{m-1} - a_m) \cdot \frac{P_2 + P_1}{2} + (e_{m-1} - e_m) \right] \cdot f_{m-1}. \quad (11)$$

Если технологическое мероприятие приводит к скачкообразному изменению состояния системы нефтепровода (переход с однетрубного на двухтрубный режим работы с изменением состава НА), оценка экономии ЭЭ производится по изменению УРЭ до и после проведения мероприятия, определенного на основе модели в виде полинома второй степени, где в качестве фактора, включенного в модель, используется только грузооборот нефти:

$$W_{уд} = a \cdot P^2 + b \cdot P + c, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. т} \cdot \text{км}, \quad (12)$$

где a – коэффициент регрессии, $\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{сут}^2 / (\text{тыс. т} \cdot \text{км})^3$; b – коэффициент регрессии, $\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{сут} / (\text{тыс. т} \cdot \text{км})^2$; c – свободный член уравнения регрессии, $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. т} \cdot \text{км}$; P – грузооборот нефти, $\text{тыс. т} \cdot \text{км} / \text{сут}$.

Экономия ЭЭ рассчитывается по выражению:

$$\Delta W = (W_{уд1} - W_{уд2}) \cdot P_{пл}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (13)$$

где $W_{уд1}$ – УРЭ при однострубно́м режиме транспортировки нефти, кВт·ч/тыс. т·км; $W_{уд2}$ – УРЭ при двухтрубно́м режиме транспортировки нефти, кВт·ч/тыс. т·км; $P_{пл}$ – планируемый объем транспортируемой нефти за рассматриваемый период, тыс. т·км.

Описанные методы легли в основу «Методики оценки экономии электрической энергии при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти». Указанная методика позволила выявить и обосновать годовую экономию ЭЭ в технологическом процессе транспортировки нефти для РУП «Гомельтранснефть Дружба» в объеме 4101 т у. т. и НРУПТН «Дружба» – 786,4 т у. т.

В четвертой главе для ПТН, характеризующихся сложной взаимосвязью между энергетикой и технологией, на основе многофакторной регрессионной модели электропотребления (3) разработан метод прогнозирования и нормирования ЭЭ. Показано, что число учитываемых факторов, формирующих электропотребление, может варьироваться и определяется значимой активностью подсистем, входящих в состав технологической системы. Под **значимой активностью подсистемы** предложено понимать существенное влияние количественной характеристики подсистемы на электропотребление.

На рисунке 7 представлены виды моделей электропотребления для прогнозирования и нормирования электропотребления в зависимости от активности технологических подсистем нефтепровода. В этих моделях коэффициент k_v дифференцирован по кварталам и косвенно учитывает вязкость нефти при ее стабильной динамике (рисунок 8).

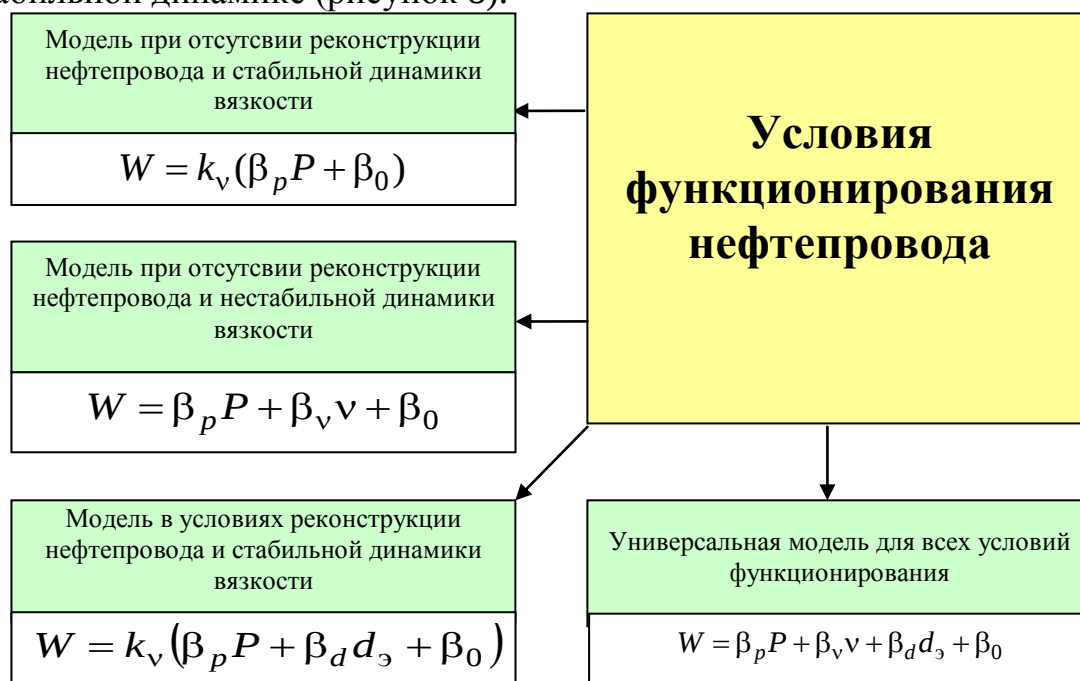
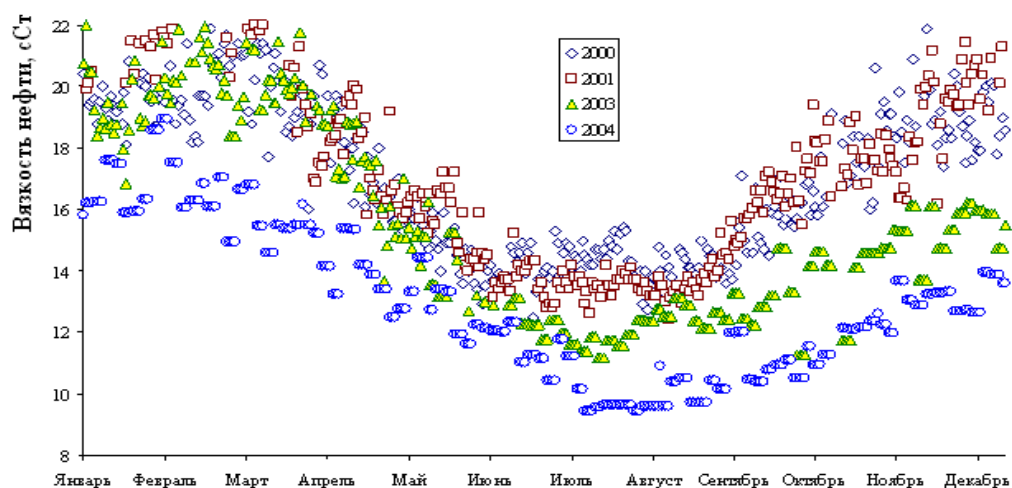


Рисунок 7 – Трансформация модели электропотребления в зависимости от условий функционирования нефтепровода



2000–2001 г. г. – стабильная динамика вязкости; 2003 – 2004 г. г. нестабильная динамика вязкости

Рисунок 8 – Динамика вязкости нефти на годовом интервале времени

В таблице 2 представлены значения параметров и показатели точности модели расхода ЭЭ при неизменной конфигурации нефтепровода и стабильной динамике вязкости с учетом поправочного коэффициента на вязкость k_v .

Таблица 2 – Модели расхода ЭЭ с учетом коэффициента k_v

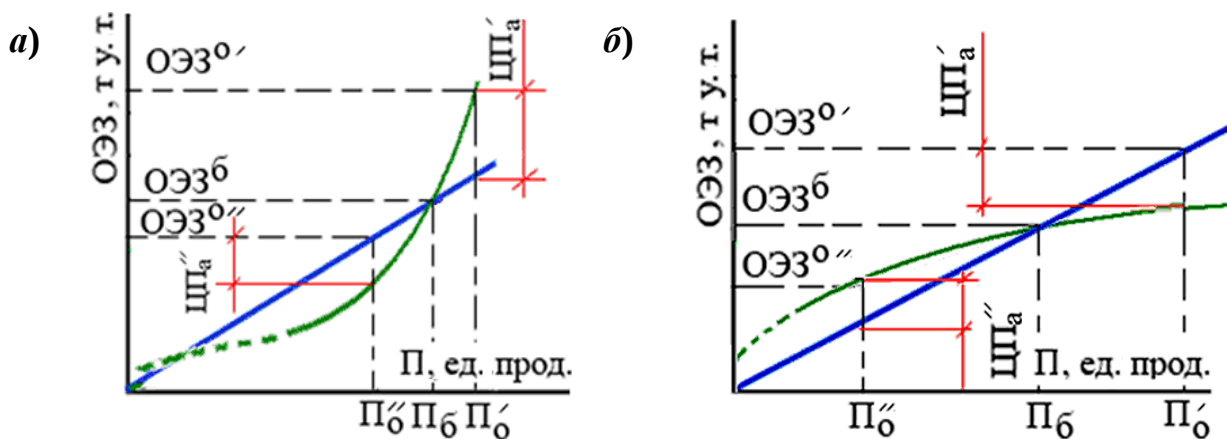
Квартал	I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.
Коэффициент k_v	1,024	0,983	0,986	1,008
Модель расхода ЭЭ, кВт·ч	$W = 16,6 \cdot P - 84567$	$W = 15,9 \cdot P - 81179$	$W = 15,9 \cdot P - 81443$	$W = 16,4 \cdot P - 83303$
$\delta_{\max}$, %	1,7	2,3	2,7	1,3
σ , %	0,75	0,81	1,54	0,56

По результатам исследований разработана отраслевая «Методика нормирования электрической энергии на транспортировку нефти по трубопроводам». Суммарный экономический эффект от внедрения данной методики на НРУПТН «Дружба» составил 16140 USD/квартал или 64560 USD/год.

Под руководством и личном участии диссертанта разработан программный комплекс «Модель-Электро», позволяющий прогнозировать и оценивать эффективность потребления ЭЭ на транспортировку нефти по участкам нефтепровода с учетом динамики их конфигурации, рассчитывать ЦП ПТН в сопоставимых условиях. Годовой экономический эффект от внедрения программного комплекса составил 4314 USD.

В пятой главе рассматривается подход к объективной оценке ЦП с использованием закономерностей формирования электропотребления ПТН как с возрастающей, так и падающей характеристикой УРЭ.

Для объективной оценки ЦП приведение обобщенных энергозатрат базисного периода к сопоставимым условиям с отчетным следует вести с учетом характера зависимости технологического расхода ТЭР от объемов перекачиваемой нефти. Для ПТН, работающих в условиях высокой загрузки нефтепровода, темп роста электропотребления опережает темп роста грузооборота нефти (рисунок 2). В данных условиях значение ЦП будет приобретать положительное значение при увеличении объема грузооборота нефти и отрицательное при его снижении (рисунок 9 а).



а – высокая загрузка нефтепровода (отсутствует дросселирование); б – низкая загрузка нефтепровода (регулирование производительности нефтепровода производится дросселированием)

Рисунок 9 – Формирования ЦП ПТН в зависимости от загрузки нефтепровода

Для ПТН, работающего в условиях низкой загрузки нефтепровода (рисунок 9 б), при расчете ЦП складывается обратная ситуация. Так, для НРУПТН «Дружба» значение ЦП за отчетный период в условиях роста грузооборота нефти составило практически недостижимое значение: ЦП = – 69,7 %. Такое значение ЦП не подтверждается мероприятиями по экономии ТЭР, что указывает на несовершенство методики его определения.

Для объективного приведения обобщенных энергозатрат базисного периода к отчетному характер взаимосвязи между потреблением ТЭР и грузооборотом нефти предложено учитывать на основе однофакторной степенной математической модели вида:

$$W = \beta \cdot P_{\text{пр}}^{\alpha}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/сут}, \quad (14)$$

где W – суточное электропотребление участка нефтепровода, кВт·ч/сут; $P_{\text{пр}}$ – приведенный суточный грузооборот нефти участков нефтепровода, тыс. т·км/сут; α – показатель степени, характеризующий взаимосвязь между **энергозатратами** и **приведенным грузооборотом** нефти; β – коэффициент пропорциональности между энергозатратами и приведенным грузооборотом нефти.

Анализ временных рядов электропотребления и приведенного грузооборота нефти позволил установить нелинейность их взаимосвязи. Параметр α в зависимости от состояния системы нефтепровода варьировался на годовом интервале времени от 0,185 до 0,781 для НРУПТН «Дружба» и от 2,79 до 3,98 для РУП «Гомельтранснефть Дружба». Учет этой нелинейности позволяет объективно оценивать значение ЦП за счет приведения к сопоставимым условиям обобщённых энергозатрат $ОЭЗ_{с.у}^б$ (т у. т.) в предыдущем (базисном) периоде в условиях изменения грузооборота нефти:

$$ОЭЗ_{с.у}^б = ОЭЗ^б + \Delta ОЭЗ_9^б = ОЭЗ^б + ОЭЗ_9^б \left(\left(\frac{\sum_{1 \leq i \leq n} P_{oi} K_{li}}{\sum_{1 \leq j \leq m} P_{oj} K_{lj}} \right)^\alpha - 1 \right), \quad (15)$$

где $ОЭЗ^б$ – обобщённые энергозатраты базисного периода, т у. т.; $\Delta ОЭЗ_9^б$ – поправка обобщённых энергозатрат базисного периода, обеспечивающая сопоставимые условия, т у. т.; $ОЭЗ_9^б$ – затраты ЭЭ базисного периода на транспорт нефти, т у. т.; i, j – номер участка нефтепровода, работающего в отчетном и базисном периоде соответственно; n, m – количество технологических участков нефтепровода, работающих в отчетном и базисном периоде соответственно, шт.; P_{oi}, P_{oj} – грузооборот нефти в отчетном и базисном периоде соответственно, тыс. т·км; K_{li}, K_{lj} – коэффициенты приведения грузооборота нефти к фактической протяженности участка, о. е.

Для приведения энергозатрат к сопоставимым условиям при изменении грузооборота в действующей ранее методике по расчету ЦП использовалась зависимость:

$$\Delta ОЭЗ_9^б = ОЭЗ_9^б \left(\frac{P_o}{P_б} - 1 \right), \text{ т у. т.}, \quad (16)$$

На рисунке 10 показаны результаты расчета ЦП согласно формуле (15) по предлагаемой методике ($\alpha = \text{var}$) и по методике, не учитывающей нелинейный характер взаимосвязи между электропотреблением и грузооборотом нефти ($\alpha = 1$). Во втором случае ЦП > 0 , что приводит к необоснованным выводам об ухудшении ЭЭФ в отчетных периодах относительно базисных. Учет изменения параметра α отражает улучшение ЭЭФ (ЦП < 0).

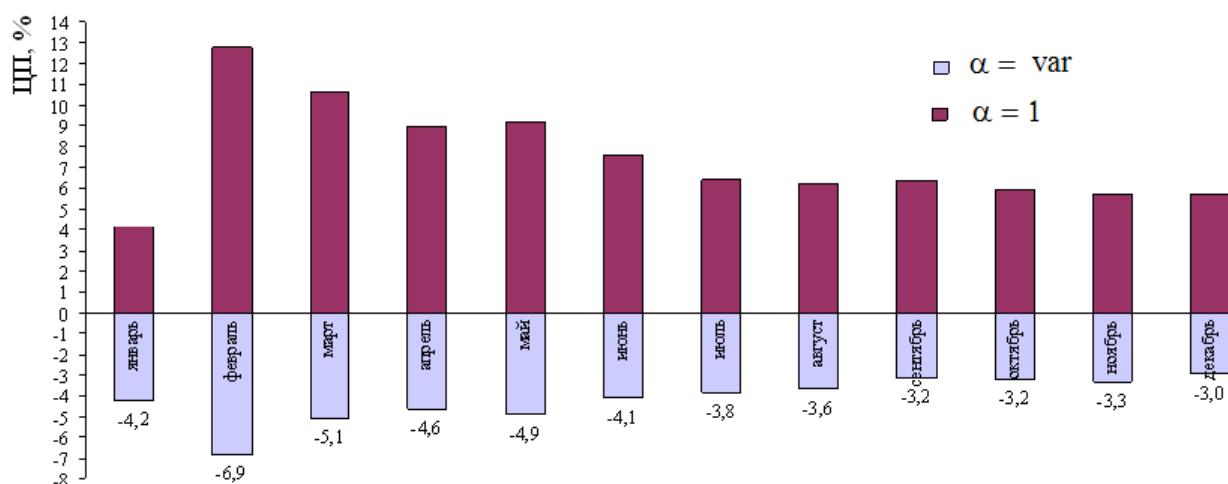


Рисунок 10 – Динамика целевого показателя РУП «Гомельтранснефть Дружба» за 2004 г.

На основе проведенных исследований разработана отраслевая «Методика расчета целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти в сопоставимых условиях». Годовой экономический эффект от внедрения данной методики на НРУПТН «Дружба» составил 86160 USD.

Разработанная методология оценки ЭЭФ ПТН на основе регрессионных моделей электропотребления, позволяет определять экономию ЭЭ в технологическом процессе ПТН, автоматизировать расчет и повысить достоверность текущей и прогнозной оценок показателей энергетической эффективности, что подтверждается семью актами внедрения с суммарным экономическим эффектом 449654 USD/год.

В шестой главе показано, что подходы к оценке показателей ЭЭФ, разработанные для ПТН, могут быть адаптированы для ПП с простой взаимосвязью между энергетикой и технологией. Для таких ПП формируется однофакторная математическая модель расхода ЭЭ в зависимости от объемов произведенной продукции, которая позволяет:

- *выполнять анализ существующих режимов производства и оценивать их энергоэффективность;*
- *производить расчет плановой потребности ТЭР в условиях изменяющейся производственной программы;*
- *оценивать потенциал энергоэффективности за счет повышения загрузки технологического оборудования и наращивания объемов выпуска продукции;*
- *производить оценку эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий;*
- *рассчитывать ЦП в сопоставимых условиях.*

Общезаводской УРЭ на производство продукции определяется формулой:

$$W_{уд} = W_{уд.техн} + W_{общ} / П, \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед. прод.}, \quad (17)$$

где $W_{уд.техн}$ – технологический УРЭ на производство продукции, кВт·ч/ед. прод.; $W_{общ}$ – условно-постоянная составляющая расхода ЭЭ, не зависящая от объемов производства продукции, кВт·ч/квартал; $П$ – объем выпуска продукции, ед. прод./квартал.

Анализ ПП различных отраслей промышленности с падающими характеристиками УРЭ позволяет выделить зоны энергетической эффективности в зависимости от загрузки технологического оборудования (рисунок 11) для оценки эффективности использования ЭЭ и выявления приоритетных направлений улучшения показателей ЭЭФ. Зона низкой эффективности (загрузка технологического оборудования менее 30 %) характеризуется значительными изменениями УРЭ при незначительных изменениях объема производства продукции. Зона средней эффективности (загрузка технологического оборудования от 30 до 70 %) соответствует средним нагрузкам технологического оборудования. Зона высокой эффективности (загрузка технологического оборудования свыше 70 %) характеризуется незначительными изменениями УРЭ при значительных изменениях объемов производства продукции.

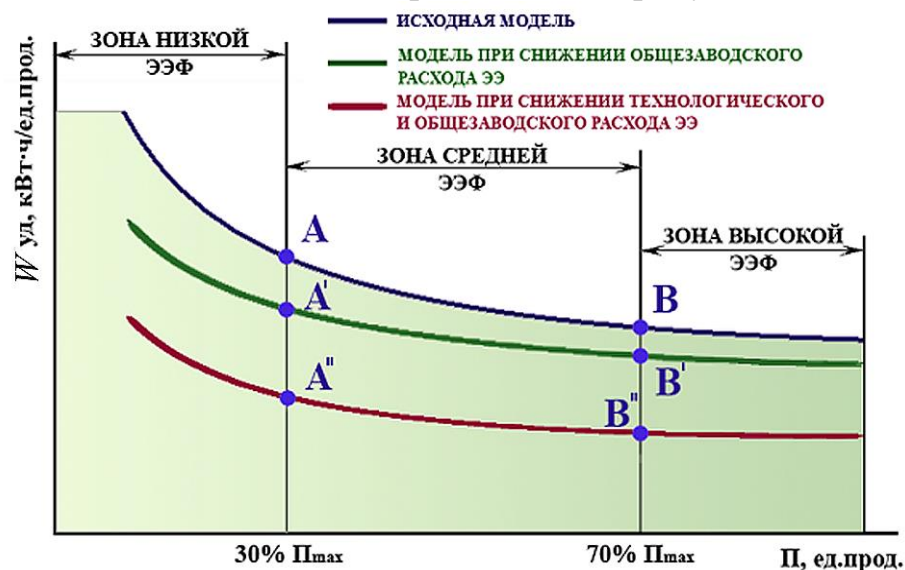


Рисунок 11 – Пути улучшения ЭЭФ ПП

Рисунок 11 показывает возможные пути улучшения ЭЭФ для ПП:

1. $A \rightarrow A' \rightarrow B' \rightarrow B''$. Снижение УРЭ достигается внедрением мероприятий, снижающих условно-постоянную часть электропотребления. Повышается конкурентоспособность продукции из-за снижения энергетической составляющей затрат в структуре ее себестоимости. Нарастают объемы произ-

водства продукции. Дальнейшее снижение УРЭ достигается за счет модернизации либо замены технологического оборудования.

2. $A \rightarrow A' \rightarrow A'' \rightarrow B''$. Снижение УРЭ достигается внедрением мероприятий, снижающих условно-постоянную часть электропотребления и за счет изменения технологического процесса, что приведет к переходу из точки А в точку А''. Дальнейшее улучшение ЭЭФ происходит при наращивании объемов выпуска продукции.

3. $A \rightarrow B \rightarrow B' \rightarrow B''$. Улучшение ЭЭФ и конкурентоспособности продукции достигается за счет увеличения объемов выпуска продукции. Дальнейшее снижение УРЭ обеспечивается уменьшением условно-постоянной составляющей электропотребления и заменой либо модернизацией технологического оборудования.

Для ПП, выпускающих несколько видов продукции, разработан метод расчета норм расхода ЭЭ по видам продукции, основанный на выделении из суммарного общезаводского электропотребления индивидуальных затрат ЭЭ по группам продукции за вычетом общезаводских затрат ЭЭ на подготовку сырьевой базы (выделение компонент) с последующим определением общезаводских УРЭ на общий выпуск продукции и общезаводских УРЭ по каждой группе продукции. Нормы расхода ЭЭ по каждому виду продукции определяются на основе однофакторной математической модели зависимости УРЭ от объемов выпускаемой продукции $W_{уд} = f(\Pi)$.

Наиболее сложным этапом при решении этой задачи является разделение общезаводского расхода ЭЭ по отчетным группам продукции. Разделение общезаводского расхода ЭЭ и построение моделей удельного расхода ЭЭ от объемов выпущенной продукции по каждой ее группе производится в соответствии со следующим алгоритмом:

1) из общезаводского электропотребления выделяются дополнительные затраты ЭЭ по группам продукции относительно затрат ЭЭ на подготовку сырьевой базы:

$$W_{i,j}^{\text{var}}; W_{i,j}^{\text{const}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где i – индекс группы продукции; j – индекс месяца; W^{var} – технологическая составляющая расхода ЭЭ, зависящая от объема выпущенной i -й группы продукции; W^{const} – общецеховые затраты ЭЭ на выпуск i -й группы продукции;

2) рассчитываются общезаводские затраты ЭЭ на подготовку сырьевой базы путем вычитания из суммарного электропотребления ПП за период выделенных дополнительных затрат, отличающих основные группы продукции:

$$W_j^{03} = W_{\Sigma,j} - \sum_{i=1}^n (W_{i,j}^{var}(\Pi_{i,j}) + W_{i,j}^{const}), \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (18)$$

где $W_{\Sigma,j}$ – суммарное месячное электропотребление предприятия, кВт·ч;
 $\Pi_{i,j}$ – объем выпуска продукции за j -й месяц i -й группы; n – количество групп выпускаемой продукции, ед. прод.;

3) рассчитывается базисный удельный общезаводской расход ЭЭ на суммарный выпуск продукции:

$$W_{уд,j}^{баз} = W_j^{03} / \sum_{i=1}^n \Pi_{i,j}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед. прод.}; \quad (19)$$

4) рассчитываются удельные расходы ЭЭ по каждой группе продукции путем добавления к базисному общезаводскому удельному расходу ЭЭ составляющей, соответствующей данной группе продукции:

$$W_{уд,i,j} = W_{уд,j}^{баз} + (W_{i,j}^{var}(\Pi_{i,j}) + W_{i,j}^{const}) / \Pi_{i,j}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/ед. прод.}; \quad (20)$$

5) по каждой группе продукции формируются временные ряды удельного расхода ЭЭ и объемов выпущенной продукции:

$$\{W_{уд,i,j}\}_{j=1,m}; \{ \Pi_{i,j} \}_{j=1,m};$$

6) полученные временные ряды сглаживаются скользящим средним с периодом усреднения $\tau = 90$ сут (для суточных временных рядов), $\tau = 3$ мес (для месячных временных рядов);

7) строятся модели удельного расхода ЭЭ на выпуск i -й группы продукции вида (17).

На рисунке 12 приведена схема выделения компонент для построения математических моделей УРЭ по группам продукции на примере Гомельского ликеро-водочного завода.

Под руководством и личном участии диссертанта разработана республиканская «Методика нормирования расхода электрической энергии на выпуск продукции и оценки эффективности ее использования на основе расчетно-статистических моделей режимов электропотребления промышленных потребителей». Использование методики ПП подтверждается актом внедрения с годовым экономическим эффектом в размере 2466 USD США.

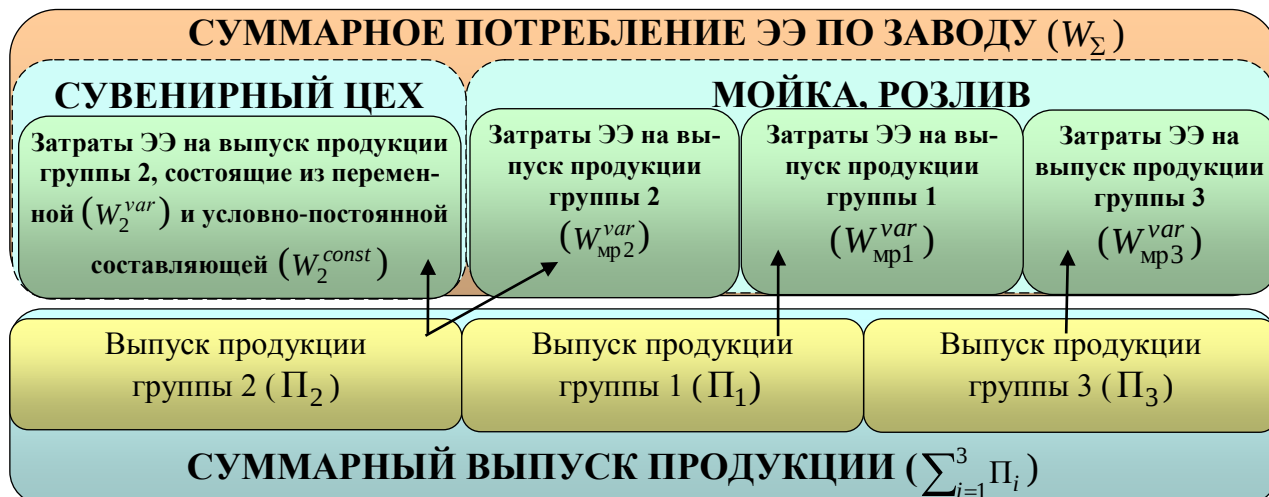


Рисунок 12 – Структурная схема выделения компонент для построения математических моделей УРЭ для трех групп продукции

Для целей прогнозирования и нормирования расхода ТЭР объектов соцкультбыта под руководством и непосредственным участии диссертанта разработано программное обеспечение АНТЭР-Электро и АНТЭР-Тепло. Суммарный годовой экономический эффект от внедрения программного обеспечения составил 1376 USD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе обобщения теоретических и практических исследований разработана методология оценки энергоэффективности (ЭЭФ) предприятий транспорта нефти (ПТН), характеризующихся сложной взаимосвязью между электропотреблением и технологической системой транспортировки нефти. Методология представляет собой совокупность методов, основанных на использовании регрессионных моделей электропотребления, позволяющих оценивать экономию электроэнергии, а следовательно, энергоресурсов в технологическом процессе при энергетическом обследовании, повысить достоверность прогнозирования, нормирования электропотребления и оценки целевого показателя энергосбережения (ЦП).

Основные научные результаты диссертации

1. Показано на основе анализа существующих методов оценки ЭЭФ, что в современных условиях функционирования ПТН целесообразным является развитие расчетно-статистических методов прогнозирования и нормирования общих и удельных расходов ЭЭ, определения ЦП, учитывающих фактическую связь между энергетикой и технологией на основе использования эмпирических моделей электропотребления [1, 22, 23, 24, 31, 47].

2. Выделены технологические подсистемы ПТН, оказывающие влияние на электропотребление и характеризующие их факторы, используемые для оценки ЭЭФ: грузооборот, вязкость нефти, эквивалентный диаметр нефтепровода [1, 22].

3. Разработана для ПТН аддитивная трехфакторная регрессионная модель электропотребления на выбранном интервале грузооборота, позволяющая решать задачи проведения энергетического обследования; прогнозирования и нормирования ЭЭ [1, 18, 22, 25, 47].

4. Разработана методика оценки экономии ЭЭ при проведении энергосберегающих мероприятий объединяющая три метода:

4.1. Метод оценки экономии ЭЭ при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти, основанный на аддитивной трехфакторной модели электропотребления на выбранном интервале грузооборота, отличающийся учетом коэффициентов эластичности по изменяющимся (в результате внедрения энергосберегающих мероприятий) факторам, что позволяет учитывать изменение состояния системы нефтепровода при оценке экономии ЭЭ [1, 19, 22, 26, 28, 29, 41, 42, 45].

4.2. Метод определения оптимального состава насосных агрегатов (НА), основанный на математических моделях электропотребления, дифференцированных по составам НА, позволяющий оценить влияние энергоэффективности состава на электропотребление участков нефтепровода [1, 15, 16, 21, 22, 55].

4.3. Метод оценки экономии ЭЭ при скачкообразном изменении состояния системы нефтепровода (переход с одноструйного на двухтрубный режим работы с изменением состава НА), отличающийся сравнением удельных расходов электроэнергии (УРЭ) до и после проведения мероприятия, определяемых с использованием модели удельного электропотребления, что позволяет повысить адекватность оценки экономии ЭЭ в условиях изменения производственной программы [1, 21, 22].

5. Разработан для ПТН метод прогнозирования и нормирования потребления ЭЭ, основанный на аддитивной трехфакторной регрессионной модели электропотребления, учитывающий состояние нефтепроводной системы в целом и условий транспортировки нефти, что повышает достоверность прогноза потребления и норм расхода ЭЭ [1, 22, 25, 30, 47,].

6. Разработан метод расчета ЦП в условиях изменения грузооборота ПТН, отличающийся учетом нелинейной взаимосвязи между электропотреблением и приведенным грузооборотом нефти при приведении обобщенных энергозатрат в предыдущем (базисном) периоде к сопоставимым условиям отчетного периода, что позволяет повысить точность оценки ЦП [1, 13, 22, 23, 24, 44].

7. Определены способы расчета плановой потребности ЭЭ, оценки потенциала улучшения энергоэффективности за счет повышения загрузки технологического оборудования и наращивания объемов выпуска продукции, оценки эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий, расчета ЦП в сопоставимых условиях для ПП с простой взаимосвязью между электропо-

реблением и технологической системой производства, на основе однофакторной модели зависимости электропотребления от объемов выпускаемой продукции [1, 20, 23, 27, 30, 31, 43, 56].

8. Разработан метод расчета норм расхода ЭЭ для ПП с собственной сырьевой базой, специализирующихся на выпуске нескольких видов продукции, отличающийся выделением из общезаводского электропотребления индивидуальных затрат ЭЭ по группам продукции за вычетом общезаводских затрат ЭЭ на подготовку сырьевой базы с последующим определением общезаводских УРЭ на общий выпуск продукции и общезаводских УРЭ по каждой группе продукции, что позволяет повысить достоверность оценки УРЭ для каждой группы продукции в условиях изменения производственной программы [20].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Представленные в диссертации материалы внедрены в учебный процесс в виде лекций и практических занятий по курсу «Основы энергосбережения» в Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого. Лекционная тема «Показатели эффективности использования ТЭР. Методы разработки норм ТЭР и их утверждение. Роль современного программного обеспечения в повышении эффективности нормирования ТЭР» используется в учебном процессе повышения квалификации инженеров-электриков предприятий добычи и транспорта нефти на ФПК и ПК ГГТУ им. П. О. Сухого, а также в Учебно-выставочном и издательском центре Комэнергоэффективности.

2. Разработанная методология оценки ЭЭФ ПТН позволила реализовать системный подход при решении задач энергетического обследования технологического процесса, прогнозирования и нормирования показателей ЭЭФ в условиях внешних и внутренних возмущающих воздействий в результате чего:

2.1. Защищена и согласована в Комитете по энергетической эффективности при СМ РБ и утверждена Концерном «Белнефтехим» в качестве отраслевой в 2005 г. «Методика оценки экономии электрической энергии при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти». Указанная методика позволила выявить и обосновать годовую экономию ЭЭ в технологическом процессе транспортировки нефти для РУП «Гомельтранснефть Дружба» в объеме 4101 т у. т. и НРУПТН «Дружба» – 786,4 т у. т., что эквивалентно суммарному экономическому эффекту 293244 USD/год.

2.2. Разработана «Методика нормирования электрической энергии на транспортировку нефти по трубопроводам». Первый вариант методики защищен и согласован в Комитете по энергетической эффективности при СМ РБ в 2002 г. Второй, переработанный вариант методики, согласован и утвержден в

2005 г., что подтверждается актом внедрения с суммарным экономическим эффектом, который оценен стоимостью скорректированной плановой потребности электрической энергии на транспортировку нефти по одному из участков НРУПТН «Дружба» и составил 16140 USD/квартал или 64560 USD/год.

2.3. Разработана «Методика расчета целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти в сопоставимых условиях». Методика согласована в Комитете по энергетической эффективности при СМ РБ и утверждена Концерном «Белнефтехим» в качестве отраслевой для предприятий трубопроводного транспорта нефти Республики Беларусь. Годовой экономический эффект от внедрения методики на НРУПТН «Дружба» составил 86160 USD.

2.4. Внедрены программные средства «Модель-Электро», «АНТЭР-Электро», «АНТЭР-Тепло» в РУП «Гомельтранснефть Дружба», НРУПТН «Дружба». Суммарный годовой экономический эффект от внедрения программных средств для РУП «Гомельтранснефть Дружба» составил 5690 USD.

3. Методы и подходы, разработанные в диссертационной работе, направлены на оценку ЭЭФ предприятий транспорта нефти, работающих в условиях внутренних и внешних возмущающих воздействий и могут быть распространены на предприятия транспорта газа, нефтепродуктов, а также ПП различных отраслей промышленности:

3.1 Разработана и принята к внедрению для ПП Республики Беларусь «Методика нормирования расхода электрической энергии на выпуск продукции и оценки эффективности ее использования на основе расчетно-статистических моделей режимов электропотребления промышленных потребителей». Методика утверждена в Комитете по энергетической эффективности при СМ РБ. Квартальный экономический эффект за счет повышения точности расчета и предотвращения штрафных санкций составит при оценке удельных расходов энергоресурсов на производство продукции составил 2466 USD/квартал или 9864 USD/год.

Суммарный экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы на ПТН Республики Беларусь составил 449654 USD/год,

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Монография:

1 Анищенко, В. А. Оценка и нормирование показателей энергоэффективности предприятий трубопроводного транспорта нефти / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2007. – 233 с.

Статьи в научных журналах:

2 Иванова, Н. В. О распределении лимитов мощности по промышленным предприятиям различных отраслей, объединенных территориально / Н. В. Иванова // Сб. науч. тр. № 210 / Московск. энерг. ин-т. – Москва, 1989. – С. 44–48.

3 Токочакова, Н. В. Типологический анализ структуры потребителей энергосистемы / Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Оптимизация режимов электропотребления промышленных предприятий и районов: межвузовский сб. / Красноярск. политехн. ин-т – Красноярск, 1990. – С. 37–41.

4 Кудрин, Б. И. Определение договорной мощности промышленных предприятий / Б. И. Кудрин, В. В. Прокопчик, Н. В. Иванова // Промышленная энергетика, 1991. – № 2. – С. 2–4.

5 Родина, Л. С. Разработка универсальных структурных моделей суточного электропотребления промышленных предприятий / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Известия вузов. Электромеханика. – 1992. – № 2. – С. 101–104.

6 Родина, Л. С. Структурные закономерности суточного электропотребления энергосистемы / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Промышленная энергетика. – 1996. – № 11. – С. 26–28.

7 Родина, Л. С. Регулирование напряжения в сетях Речицкого управления технологического транспорта с целью снижения уровня электропотребления / Л. С. Родина, Т. В. Алферова, Н. В. Токочакова // Сб. науч. тр. / МГТУ. – Магнитогорск, 2000. – Вып. 5: Электротехнические системы и комплексы. – С. 229–232.

8 Токочакова, Н. В. Структурное моделирование суточного электропотребления промышленных предприятий энергосистемы для быстрой оценки электросбережения / Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков, Т. В. Алферова // Энергоэффективность. – 2001. – № 2. – С. 18–21.

9 Токочакова, Н. В. Оптимизация уровней напряжения промышленных потребителей с целью снижения энергозатрат / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2001. – № 3. – С. 23–29.

10 Родина, Л. С. Управление потреблением энергии на основе существующих систем автоматизированного учета и сбора данных / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник // Электрика. – 2002. – № 1. – С. 26–30.

11 Родина, Л. С. Моделирование режимов электропотребления предприятий транспорта нефти / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова,

Ю. Н. Колесник // Вестн. МЭИ. – 2002. – № 3. – С. 71–76.

12 Токочакова, Н. В. Номографическая оценка энергетической эффективности реконструкции и строительства линейной части нефтепровода / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник, А. М. Перегуд, О. П. Каптуров // Энергоэффективность. – 2003. – № 3. – С. 17–19.

13 Токочакова, Н. В. К вопросу расчета и использования целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник // Энергоэффективность. – 2003. – № 7. – С. 8–9, № 8. – С. 6–7.

14 Колесник, Ю. Н. Внедрение программного комплекса АНТЭР-Тепло для решения вопросов энергосбережения / Ю. Н. Колесник, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков, А. В. Коновалов, А. С. Маркаров // Энергоэффективность. – 2004. – № 8. – С. 8–9.

15 Родина, Л. С. Моделирование электропотребления участков нефтепровода с учетом состава насосных агрегатов / Л. С. Родина, Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник, С. И. Половинко // Вестн. Моск. энергет. ин-та. – 2005. – № 2. – С. 61–65.

16 Колесник, Ю. Н. Использование математического моделирования для повышения эффективности работы участков нефтепровода / Ю. Н. Колесник, Н. В. Токочакова, С. И. Половинко // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2005. – № 2 – С. 32–36.

17 Колесник, Ю. Н. Математическая модель электропотребления нестабильно работающих участков нефтепровода / Ю. Н. Колесник, Н. В. Токочакова // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объедин. СНГ – Энергетика. – 2005. – № 2. – С. 29–35.

18 Анищенко, В. А. Способ построения модели режимов электропотребления участка нефтепровода / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Изв. высш. учеб. завед. и энергет. объедин. СНГ – Энергетика. – 2005. – № 6. – С. 44–47.

19 Токочакова, Н. В. Номографическая оценка энергетической эффективности изменения станционной технологии с целью минимизации энергетических затрат / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – □ 2006. – № 1. – С. 37–42.

20 Токочакова, Н. В. Способы построения расчетно-статистических моделей электропотребления промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – □ 2006. – № 2. – С. 37–46.

21 Токочакова, Н. В. Оценка экономии электрической энергии от управления составом насосных агрегатов при транспортировке нефти / Н. В. Токочакова // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – □ 2006. – № 2. – С. 47–59.

22 Токочакова, Н. В. Управление энергоэффективностью промышленных

потребителей на основе моделирования режимов электропотребления / Н. В. Токочакова // Изв. высш. учеб. завед. и энергет. объедин. СНГ – Энергетика. – 2006. – № 3. – С. 67–75.

23 Токочакова, Н. В. Показатели энергоэффективности промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – □ 2006. – № 3. – С. 66–75.

24 Токочакова, Н. В. Повышение достоверности оценки целевого показателя энергосбережения предприятий транспорта нефти / Н. В. Токочакова // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – □ 2006. – № 3. – С. 83–93.

25 Токочакова, Н. В. Нормирование и прогнозирование расхода электрической энергии предприятий транспорта нефти в заданных условиях функционирования / Н. В. Токочакова // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 67 – 77.

26 Токочакова, Н. В. Математическое обеспечение задач энергетического обследования в технологическом процессе транспортировки нефти / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Вестн. Могилев. гос. техн. ун-та. – 2006. – № 2. – С. 169–177.

27 Особенности формирования экономии электрической энергии промышленных потребителей и подходы к ее оценки / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков, Д. Р. Мороз // Вестн. Могилев. гос. техн. ун-та. – 2006. – № 2. – С. 28–38.

28 Анищенко, В. А. Оценка экономии электрической энергии при применении противотурбулентных присадок на нефтепроводе / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объедин. СНГ – Энергетика. – 2006. – № 6. – С. 27–34.

29 Анищенко, В. А. Оценка экономии электрической энергии от очистки нефтешлама линейной части нефтепровода / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. объедин. СНГ – Энергетика. – 2006. – № 5. – С. 12–19.

30 Токочакова, Н. В. Учет результатов энергетического обследования промышленных потребителей для разработки прогрессивных норм расхода электрической энергии на выпуск продукции / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков, Д. Р. Мороз // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 93–103.

31 Анищенко, В. А. Перспективы применения расчетно-статистических моделей режимов электропотребления промышленных потребителей для повышения их энергоэффективности / В. А. Анищенко, Н. В. Токочакова, А. С. Фиков, Д. Р. Мороз // Инженерный вестник – 2006. – № 2. – С. 5–10.

32 Токочакова, Н. В. Разработка математических моделей режимов электропотребления промышленных потребителей на примере предприятий тру-

бопроводного транспорта нефти / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Вестн. Гом. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 1. – С. 71–84.

Статьи в сборниках международных и республиканских конференций:

33 Иванова, Н. В. О повышении эффективности управления электропотреблением промышленных предприятий / Н. В. Иванова, Ю. В. Афанасьев // Электрические нагрузки и электропотребление в новых условиях хозяйствования: материалы семинара, Москва, 1989 г. / Моск. дом науч. – техн. пропаг. им. Ф. Э. Держинского; науч. ред. Б. И. Кудрин – Москва, 1989. – С. 99–102.

34 Иванова, Н. В. Определение резерва регулирования электропотребления промышленных потребителей энергосистемы / Н. В. Иванова, Ю. В. Афанасьев // Кибернетика электрических систем: материалы XI сессии Всесоюз. науч. сем-ра, Абакан, 19–22 сентября 1989 г. / Абаканский ф-ал Красноярск. политех. ин-та; редкол.: В. И. Максак [и др.]. – Абакан, 1989. – С. 24.

35 Токочакова, Н. В. Оценка структуры электропотребления молочного комбината / Н. В. Токочакова // Технические ВУЗы – Республике: материалы 52-й науч.-технич. конф. профес., препод., науч. работ., аспирант. и студен. БГПА: в 7 ч., Минск 1997 г. / Бел. гос. политех. акад.; редкол.: ред. Л. Э. Ляшенко. – Минск, 1997. – С. 18.

36 Токочакова, Н. В. О расширении функциональных возможностей систем автоматизированного сбора и обработки данных с целью совершенствования системы управления потреблением ТЭР / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник // Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь: материалы семинара, Гомель, 15–19 января 2001 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2001. – С. 30–41.

37 Токочакова, Н. В. Оптимизация уровней напряжения промышленных потребителей с целью снижения энергозатрат / Н. В. Токочакова, Т. В. Алферова, Ю. Н. Колесник // Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь: материалы семинара, Гомель, 15–19 января 2001 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2001. – С. 57–65.

38 Токочакова, Н. В. Исследование структурных закономерностей режимов электропотребления участков нефтепровода / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник // Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь: материалы семинара, Гомель, 15–19 января 2001 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2001. – С. 84–93.

39 Колесников, П. М. Разработка моделей расхода котельно-печного топлива объектов соцкультбыта РУП «Гомельтранснефть Дружба» / П. М. Колесников, Н. В. Токочакова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы V междунар. межвуз.

науч.-техн. конф. студ., магистр. и асп., Гомель, 12–13 мая 2005 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2005. – С. 126–128.

40 Добродей, А. О. Использование аппарата кластерного анализа для исследования структуры графиков электрических нагрузок промышленных потребителей / А. О. Добродей, Н. В. Токочакова // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: сб. материалов VIII междунар. науч.-методич. конф., Витебск, 19–20 мая 2005 г. / Ин-т современных знаний им. А. М. Широкова, ЗАО «Современные знания»; ред. Д. Р. Амирханов [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 243–245.

41 Фиков, А. С. Математическое обеспечение оценки энергоэффективности энергосберегающих мероприятий при транспортировке нефти по трубопроводам / А. С. Фиков, Н. В. Токочакова // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: материалы VIII междунар. науч.-метод. конф., Минск, 19 – 20 мая 2005 г. / Ин-т современных знаний им. А. М. Широкова, ЗАО «Современные знания»; ред. Д. Р. Амирханов [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 270–273.

42 Токочакова, Н. В. Снижение энергетических затрат на транспортировку нефти в условиях роста производственной программы за счет строительства лупингов / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Perspektivní novinky vědy a technici – 2005: materiály II Mezinárodní vědecko – praktická konference. – Díl 12: Techické vědy, Praha, 21–29 listopadu 2005 r. / Publishing House «Education and Science s. r. o.». – Praha, 2005. – S. 67–71.

43 Мороз, Д. Р. Определение энергетической эффективности промышленных предприятий с помощью расчетно-статистических моделей $C_{уд}=f(\Pi)$ / Д. Р. Мороз, Н. В. Токочакова // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы IX Респуб. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 13–15 марта 2006 г. / Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Г. Лин [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 63–64.

44 Мороз, Д. Р. Построение расчетно-статистических моделей электропотребления промышленных предприятий / Д. Р. Мороз, Н. В. Токочакова // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы IX Респуб. науч. конф. студ. и асп., Гомель, 13–15 марта 2006 г. / Изд-во ГГУ им. Ф. Скорины; редкол.: Д. Г. Лин [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 64–66.

45 Токочакова, Н. В. Оценка экономии электрической энергии при проведении энергосберегающих мероприятий в технологическом процессе транспортировки нефти / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 7–9 июня 2006 г. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2006. – С. 273–275.

46 Токочакова, Н. В. Оценка целевого показателя по энергосбережению для предприятий транспорта нефти / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 7–9 июня 2006 г. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2006. – С. 275–277.

47 Токочакова, Н. В. Нормирование расхода электрической энергии для предприятий транспорта нефти / Н. В. Токочакова, А. С. Фиков // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 7–9 июня 2006 г. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2006. – С. 278–279.

Тезисы докладов:

48 Прокопчик, В. В. Пути управления программой «ЭНЕРГИЯ» в промышленном регионе / В. В. Прокопчик, Н. В. Иванова // Повышение эффективности познавательных действий в науке и практике в свете решений XXVII съезда КПСС: тезисы докладов науч.-практ. конф., Минск, 27–28 марта 1986 г. / Минск. радиотех. ин-т; редкол.: Е. М. Бабосов [и др.]. – Минск, 1986. – С. 99–101.

49 Прокопчик, В. В. О необходимости изменения принципов нормирования электропотребления / В. В. Прокопчик, Г. А. Прокопчик, Н. В. Иванова // Актуальные задачи энергопроизводства и энергопотребления в Белорусской ССР: тезисы докладов науч.-практ. конф., Минск, 31 марта–1 апреля 1988 г. / Белглавэнерго; редкол.: Г. Е. Поспелов [и др.]. – Минск, 1988. – С. 48–49.

50 Дуйсенова, М. Б. Применение баз данных для отрасли и региона / М. Б. Дуйсенова, Н. В. Иванова // Технич.-экономические проблемы оптимизации режимов электропотребления промышленных предприятий: тезисы докладов V науч.-техн. конф., Челябинск, 12–15 сентября 1989 г. / Свердлов. горный ин-т им. В. В. Вахрушева; Уральск. дом науч.-техн. пропаганды общества «Знание»; редкол.: Г. С. Хронусов [и др.]. – Челябинск, 1989. – С. 8–9.

51 Прокопчик, В. В. Определение договорных значений мощности потребителей энергосистемы / В. В. Прокопчик, Н. В. Токочакова, В. И. Токочаков // Повышение эффективности и качества электроснабжения: тезисы докладов науч.-технич. конф., Мариуполь, 22 – 25 мая 1990 г. / Мариуп. металлургич. ин-т; науч. ред. Е. К. Шевцова. – Киев, 1990. – С. 127–128.

52 Родина, Л. С. Применение структурных моделей суточного электропотребления для перспективного определения расхода электрической энергии / Л. С. Родина, В. И. Токочаков, Н. В. Токочакова // Моделирование электроэнергетических систем: тезисы докладов X науч. конф., Каунас, 19–21 апреля 1991 г. / Каунасский технологический университет; ред. А. Купик. –

Каунас, 1991. – С. 110–111.

53 Родина, Л. С. Использование структурной модели суточного электропотребления энергосистемы для перспективного определения расхода электрической энергии / Л. С. Родина, В. И. Токочаков, Н. В. Токочакова // Кибернетика электрических систем: тезисы докладов XII сессии Всесоюзн. науч. сем-ра, Гомель, 19–22 ноября 1991 г. / Гом. политех. ин-т; редкол.: В. И. Гордеев [и др.]. – Гомель, 1991. – С. 18.

54 Токочакова, Н. В. Оценка потенциала энергосбережения в РУП «Гомельтранснефть Дружба» / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник, О. П. Каптуров // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта: тезисы докладов IV междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 21–23 октября 2003 г. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2003. – С. 35–37.

55 Токочакова, Н. В. Исследование режимов электропотребления участков нефтепровода / Н. В. Токочакова, Ю. Н. Колесник, С. И. Половинко // Современные проблемы машиноведения: тезисы докладов V междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 1–2 июля 2004 г. / Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, редкол.: В. М. Кенько [и др.]. – Гомель, 2004. – С. 137–138.

56 Токочакова, Н. В. Анализ энергетической эффективности промышленных потребителей / Н. В. Токочакова, Д. Р. Мороз // Современные проблемы машиноведения: тезисы докладов VI междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 19–20 октября 2006 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гом. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, ОАО «ОКБ Сухого»; под общ. ред. С. Б. Сарело. – Гомель, 2006. – С. 126–127.

РЕЗЮМЕ

Токочакова Надежда Владимировна

Методология оценки энергоэффективности предприятий транспорта нефти на основе моделирования электропотребления

Ключевые слова: энергетическая эффективность, предприятие транспорта нефти, моделирование электропотребления, экономия электроэнергии, нормирование электропотребления, целевой показатель по энергосбережению.

Цель работы – создание методологии оценки энергетической эффективности предприятий трубопроводного транспорта нефти, позволяющей повысить достоверность оценки, прогноза и нормирования показателей энергетической эффективности в условиях внутренних и внешних возмущающих воздействий при решении задач управления энергетической эффективностью.

Методологической основой исследований являются положения системного анализа, классические методы расчета процессов транспортировки жидкости по трубопроводам, положения регрессионного анализа и методы сглаживания временных рядов, пассивный и вычислительный эксперименты.

Разработана методология оценки энергетической эффективности предприятий транспорта нефти, характеризующихся сложной взаимосвязью между электропотреблением и технологической системой, которая представляет совокупность методов, основанных на использовании регрессионных моделей электропотребления, позволяющих оценивать экономию электрической энергии в технологическом процессе при энергетическом обследовании, повысить достоверность прогнозирования, нормирования электропотребления и оценки целевого показателя по энергосбережению. Предложены способы оценки энергетической эффективности для промышленных потребителей с простой взаимосвязью между энергетикой и технологией, функционирующих в условиях изменяющейся производственной программы.

Результаты работы используются в концерне «Белнефтехим» для нормирования электропотребления, оценки целевого показателя по энергосбережению, оценке экономии электрической энергии от энергосберегающих мероприятий в технологической системе двух предприятий транспорта нефти, что позволило выявить и обосновать годовую экономию электрической энергии в технологическом процессе транспортировки нефти в объеме 4887 т у. т., скорректировать годовую плановую потребность в электрической энергии в объеме эквивалентном 1076 т у. т., обеспечить сопоставимость расход энергоресурсов при расчете целевого показателя по энергосбережению в объеме 1436 т у. т. Общий годовой экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составил 459 518 USD.

Область применения результатов диссертации – предприятия транспорта нефти, а также промышленные потребители топливно-энергетических ресурсов различных отраслей промышленности.

SUMMARY

Tokochakova Nadezhda Vladimirovna

Methodology of Evaluating Energy Efficiency of Oil Transport Enterprises on the Basis of Electric Power Consumption Modeling

Key words: energy efficiency, oil transport enterprise, electric power consumption modeling, electric power saving, electric power consumption standard setting, target energy saving index.

Research objective: developing the methods of evaluating energy efficiency of oil pipeline transport enterprises, enabling to improve adequacy of evaluating, prediction and energy efficiency index standard setting in the conditions of internal and external disturbances when solving the problem of energy efficiency control.

Methodological basis of the study includes the concepts of system analysis, classical methods of designing the processes of oil pipeline transport, the concepts of regression analysis and the methods of smoothing time sequences, passive and computational experiments.

The methodology of evaluating energy efficiency of oil transport enterprises characterized by a complex interaction of electric power consumption and technological system has been developed. It represents the combination of methods, based on the use of regression models of electric power consumption enabling to evaluate electric energy saving in the technological process during energy inspection, and improve the adequacy of prediction, electric energy consumption standard setting and evaluating target index of electric energy saving. The methods of evaluating energy efficiency are proposed for industrial consumers with simple interaction between power and technology, operating in the conditions of a changing production program.

The results of the research are applied at Belarus State Concern of Oil and Chemistry “Belneftekhim” for electric power consumption standard setting, evaluating target energy saving index, evaluating electric energy saving due to energy saving measures in the technological system of two oil transport enterprises, which enabled to reveal and validate annual electric power saving in the technological process of oil transport in the amount of 4887 t of equivalent fuel, to correct planned demand for electric power in the amount of 1076 t of equivalent fuel, to provide comparability of consumption of services in the process of calculating target energy saving index in the amount of 1436 t of equivalent fuel. Total economic benefit due to introducing the results of the dissertation work amounted to USD 459 518.

Field of Application: oil transport enterprises and industrial electric power consumers of various industries.

РЭЗЮМЕ

Такачакава Надзея Уладзіміраўна

Метадалогія ацэнкі энергаэфектыўнасці прадпрыемстваў транспарту нафты на аснове мадэліравання электраспажывання

Ключавыя словы: энергетычная эфектыўнасць, прадпрыемства транспарту нафты, мадэліраванне электраспажывання, эканомія электраэнергіі, мэтавы паказчык па энергасберажэнні.

Мэта работы – стварэнне метадалогіі ацэнкі энергетычнай эфектыўнасці прадпрыемстваў трубаправоднага транспарту, якая дазваляе павысіць дакладнасць ацэнкі, прагнозу і нармавання паказчыкаў энергетычнай эфектыўнасці ва ўмовах унутраных і знешніх уздзеянняў пры рашэнні задач кіравання энергетычнай эфектыўнасцю.

Метадалагічнай асновай даследванняў з’яўляецца палажэнні сістэмнага аналізу, класічныя метады разліку працэсаў транспарціроўкі вадкасці па трубаправодах, палажэнні рэгрэсіўнага аналізу і метады згладжвання часовых радоў, пасіўны і вылічальны эксперыменты.

Распрацавана метадалогія ацэнкі энергетычнай эфектыўнасці прадпрыемстваў транспарту нафты, якія характэрызуюцца складанай узаемасувяззю паміж энергаспажываннем і тэхналагічнай сістэмай, якая ўяўляе сабой сакупнасць метадаў, заснаваных на выкарыстанні рэгрэсіўных мадэлей электраспажывання, што дазваляюць ацэньваць эканомію электрычнай энергіі ў тэхналагічным працэсе пры энергетычным даследванні, павысіць дакладнасць прагнозу, нармавання электраспажывання і ацэнкі мэтавага паказчыка па энергасберажэнні. Прапанаваны спосабы ацэнкі энергетычнай эфектыўнасці для прамысловых спажыўцоў з простаю узаемасувяззю паміж энергетыкай і тэхналогіяй, якія функцыянуюць ва ўмовах змяняемай вытворчай праграмы.

Вынікі работы выкарыстоўваюцца ў канцэрне “Белнафтахім” для нармавання электраспажывання, ацэнкі мэтавага паказчыка па энергасберажэнні, ацэнцы эканоміі электрычнай энергіі ад энергасберагаючых мерапрыемстваў у тэхналагічнай сістэме двух прадпрыемстваў транспарту нафты, што дазволіла выявіць і абгрунтаваць гадавую эканомію электрычнай энергіі ў тэхналагічным працэсе транспарціроўкі нафты ў аб’ёме 4887 т у.п., скарыкціраваць гадавую планавую патрэбу ў электрычнай энергіі ў аб’ёме эквівалентным 1076 т у.п., забяспечыць супастаўляльнасць расхода энергарэсурсаў пры разліку мэтавага паказчыка па энергасберажэнні ў аб’ёме 1436 т у.п. Агульны гадавы эканамічны эфект ад укаранення вынікаў дысертацыйнай работы складае 459 518 USD.

Галіна выкарыстання вынікаў дысертацыі – прадпрыемствы транспарту нафты, а таксама прамысловыя спажыўцы паліўна –энергетычных рэсурсаў розных галін прамысловасці.