

На правах рукописи

УДК 621.311

КОЛЕСНИК Юрий Николаевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ НЕСТАБИЛЬНО РАБОТАЮЩИХ
УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА**

05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Учреждении образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

Научный руководитель: – кандидат технических наук, доцент
Токочакова Н. В., Гомельский государственный технический университет им.
П. О. Сухого, кафедра «Электроснабжение».

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, профессор
Анищенко В. А., Белорусский национальный технический университет, заведующий
кафедрой «Электроснабжение»;

– кандидат технических наук Пекелис В. Г.,
заведующий научно-исследовательской
лабораторией НИПИ Белэнергосетьпроект.

Оппонирующая организация: – РУП «Белорусский теплоэнергетический
институт».

Защита диссертации состоится «27» июля 2003 г. в 10 часов на
заседании совета по защите диссертаций Д. 02.05.02 в Белорусском национальном
техническом университете по адресу: 220027, г. Минск, проспект
Ф. Скорины, 65, корп. 2, ауд. 201.

Отзывы на автореферат диссертации в 2-х экземплярах просим высылать по адресу: 220027, г. Минск, проспект Ф. Скорины, 65, Белорусский
учебный корпус.

библиотеке Белорусского на-

2003 г.

И. И. Сергей

© Колесник Ю. Н., 2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Предприятия транспорта нефти относятся к крупнейшим промышленным потребителям (ПП) электрической энергии (ЭЭ). Доля энергетической составляющей затрат в структуре себестоимости транспортировки нефти по участкам нефтепровода РУП «Гомельтранснефть Дружба» достигает 50 %, а годовое потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) может превышать 100000 т.т. При этом около 98,5 % общего потребления ТЭР приходится на ЭЭ технологических нужд. Поэтому эффективность работы предприятий транспорта нефти тесно связана с управлением потреблением ЭЭ.

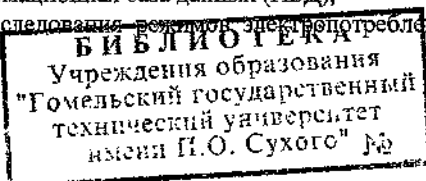
Изменения условий функционирования предприятий транспорта нефти, обусловленные появлением технологически незавершенных участков нефтепровода (в связи с распадом СССР), проводимой реконструкцией и модернизацией технологического оборудования, зависимостью объемов транспортировки нефти от конъюнктуры рынка привели к нестабильности работы участков нефтепровода. В этих условиях требуется разработка уточненной математической модели и новых способов анализа режимов потребления ЭЭ участков нефтепровода, направленных на повышение энергоэффективности их управления.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена в соответствии с аспирантским грантом по теме «Разработка математических моделей и метода нормирования электропотребления, учитывающих нестабильность и многофакторность производства», ГБ – 9/02, от 05.01.02 г; в соответствии с НИОКР РУП «Гомельтранснефть Дружба» №2002991 по теме «Разработка программного комплекса «Модель-Электро» и метода проведения структурных исследований параметров режимов электропотребления с целью повышения эффективности их управления», рег. в БелИСА, № 815 от 16.04.2003 г.

Цель и задачи исследований. Целью работы является разработка математической модели и способов анализа режимов электропотребления нестабильно работающих участков нефтепровода, направленных на повышение энергоэффективности при управлении ими.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- выполнен анализ и показаны недостатки системы управления электропотреблением в условиях нестабильной работы нефтепровода;
- применительно к задачам управления электропотреблением предприятий транспорта нефти в рамках системного подхода выполнено морфологическое и функциональное описание участков нефтепровода; систематизирована статистика по суточным значениям технологических факторов и потребления ЭЭ для участков нефтепровода за 3 года; сформирована автоматически пополняемая информационная база данных (ИБД);
- выполнены исследования режимов электропотребления участков нефтепровода;



- разработаны математическая модель и программа для моделирования режимов электропотребления нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода;
- разработаны способы и программа для анализа режимов электропотребления участков нефтепровода и оперативного управления ими.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является система управления электропотреблением предприятий транспорта нефти в нестабильных условиях работы участков нефтепровода. Предметом исследований являются режимы электропотребления участков нефтепровода.

Гипотеза. Принято предположение о том, что эффективность управления электропотреблением предприятий транспорта нефти может быть повышена за счет применения уточненной математической модели и способов анализа потребления ЭЭ, основанных на использовании ретроспективных данных, характеризующих суточные режимы работы участков нефтепровода. В результате проведенных исследований данное предположение подтвердилось.

Методология и методы проведения исследований. Теоретической и методологической основой работы является системный анализ. Для информационного описания системы использовалась ИБД. Для морфологического описания системы применялся кластерный анализ. Функциональное описание системы основывалось на классических методах расчета процессов передвижения жидкости по трубопроводам, на положениях регрессионного анализа и методах сглаживания временных рядов. Теоретические исследования сопровождалась разработкой математических моделей, реализованных в виде программ на ПЭВМ. Разработанные научные положения, выводы и рекомендации обоснованы адекватной математической постановкой задачи и сопоставлением теоретических расчетов со статистическими данными расчетных параметров. Статистические данные включают суточные значения потребленной ЭЭ, объемов и характеристик перекаченной нефти, данные по составу работавших насосных агрегатов и трубопроводов за 1999–2002 гг. для четырех участков нефтепровода РУП «Гомельтранснефть Дружба».

Научная новизна и значимость полученных результатов

1. Предложены принципы информационного описания режимов транспортировки нефти для моделирования электропотребления технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода в нестабильных условиях их работы, основанные на использовании суточных характеристик технологического процесса транспортировки нефти.
2. Разработана уточненная математическая модель потребления ЭЭ, позволяющая моделировать режимы электропотребления по временным циклам прогнозирования нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода.
3. Разработана номограмма для определения расхода ЭЭ с учетом объемов и характеристик перекачиваемой нефти, конфигурации и конструктивных параметров нефтепровода, позволяющая оценивать энергетическую эффективность реконструкции и строительства его линейной части.

4. Разработан способ классификации режимов электропотребления участка нефтепровода на группы с однородными технологическими состояниями, позволяющий ранжировать достигнутые варианты работы электрооборудования по степени эффективности использования ЭЭ, оценивать эффективность управления электрооборудованием в группах с однотипными режимами электропотребления.

5. Разработан способ оценки энергетической эффективности и потенциала энергосбережения при управлении электрооборудованием, позволяющий выявлять энергосберегающие режимы работы электрооборудования из ретроспективных данных и формировать их под заданную производственную программу, конфигурацию и конструктивные параметры нефтепровода, характеристики нефти.

6. Разработан программный комплекс «Модель-Электро» для моделирования и анализа режимов электропотребления участков нефтепровода, позволяющий расширить функциональные возможности системы автоматизированного управления технологическим процессом (АСУТП).

Практическая и экономическая значимость полученных результатов

Разработанные способы и программы для ПЭВМ позволяют моделировать и анализировать режимы потребления ЭЭ, оценивать энергетическую эффективность и потенциал энергосбережения при управлении электрооборудованием, выявлять и формировать энергосберегающие режимы работы электрооборудования нестабильно работающих участков нефтепровода.

Внедрение «Методики оценки эффективности использования электрической энергии на перекачку нефти по трубопроводам» в РУП «Гомельтранснефть Дружба» позволило предотвратить штрафные санкции за превышение норм электропотребления, эквивалентные экономии в количестве 3588 тыс.кВт·ч за квартал. Применение способа оценки энергетической эффективности и потенциала энергосбережения при управлении электрооборудованием в РУП «Гомельтранснефть Дружба» позволяет реализовать потенциал энергосбережения в размере до 667 тыс.кВт·ч в 2003 г. за счет формирования энергосберегающих режимов работы нефтепровода. Внедрение программного комплекса «Модель-Электро» в РУП «Гомельтранснефть Дружба» позволило расширить функциональные возможности системы управления электропотреблением. «Методика нормирования электропотребления на перекачку нефти по трубопроводам» включена концерном «Белнефтехим» в состав отраслевой в 2002 г.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

- математическая модель потребления ЭЭ нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода, основанная на использовании суточных характеристик режима работы нефтепровода с учетом динамики гидравлических потерь мощности при изменении конфигурации и конструктивных параметров его участков, а также тенденций режимов электропотребления в различных диапазонах

грузооборота нефти и временных интервалах усреднения, позволяющая повысить достоверность расчета потребления ЭЭ;

- способ расчета характеристики конфигурации участка нефтепровода, основанный на анализе лишь изменившейся части трубопроводной системы, позволивший разработать номограммы для инженерных расчетов потребления ЭЭ с учетом объемов и вязкости нефти, конфигурации и конструктивных параметров нефтепровода; номограмма позволяет оценивать энергоэффективность реконструкции и строительства линейной части нефтепровода;

- способ классификация режимов электропотребления участка нефтепровода, позволяющий ранжировать достигнутые режимы работы электрооборудования по степени эффективности использования ЭЭ, оценивать энергетическую эффективность управления электрооборудованием по группам с однородными режимами электропотребления;

- способ оценки энергетической эффективности и потенциала энергосбережения при управлении электрооборудованием, позволяющий выявлять и формировать энергосберегающие режимы перекачки нефти под заданную производственную программу и характеристики нефти, конфигурацию и конструктивные параметры нефтепровода, основанный на сравнении достигнутых режимов работы участка нефтепровода.

Личный вклад соискателя. Постановка задачи, основная часть аналитических исследований, анализ и интерпретация результатов осуществлены совместно с научным руководителем. Математическая модель, способы анализа и управления электропотреблением и их программная реализация выполнены соискателем.

Апробация результатов работы. Положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и республиканских конференциях и семинарах: семинар «Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования РБ», г. Гомель, 2001 г.; семинар в рамках V международной специализированной выставки «Энерго-и ресурсосбережение», г. Минск, 2001 г.; на ММНТК студентов, аспирантов и магистрантов, г. Гомель, 2001, 2002 гг.; на МНТК «Металлы-2001», г. Жлобин, 2001 г.; V РНТК студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях», ГТУ им. Ф. Скорины, Гомель 2002 г.; МНТК «Современные проблемы машиноведения», ГГТУ им. П. О. Сухого, Гомель, 2002 г.; научно-практический семинар «О практике технического перевооружения предприятий нефтепроводного транспорта и обеспечении устойчивой и экологически безопасной транспортировки нефти», РУП «Гомельтранснефть Дружба», г. Гомель, 2002 г.; на МНТК вузов приграничных регионов славянских государств, г. Брянск, 2002 г. Результаты исследований докладывались в концерне «Белнефтехим», Минск, 2002 г.; в Комитете по энергоэффективности при Совете Министров Республики Беларусь, г. Минск, 2002 г.; на расширенном заседании кафедры «Электроэнергетические системы» МЭИ, г. Москва, 2001 г.

Опубликованность результатов. Основные результаты диссертационной

работы опубликованы в 14 печатных работах, из них 6 статей в научных журналах, 5 статей в сборниках международных и республиканских конференций, 3 тезиса докладов. Общее количество страниц опубликованных материалов составляет 71.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Полный объем диссертации составляет 144 страницы, при этом 53 рисунка, 19 таблиц, приложение и список использованных источников из 112 наименований занимают 60 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении показана актуальность проблемы для предприятий транспорта нефти, обоснована необходимость разработки математической модели, способов анализа режимов потребления ЭЭ нестабильно работающих участков нефтепровода и оперативного управления ими, сформулированы наиболее важные задачи работы и показана их практическая значимость.

В первой главе дана общая характеристика нефтепровода как сложной технической системы, состоящей из подсистем: линейные сооружения – трубопроводная часть протяженностью в сотни километров с лупингами и перемычками между отдельными нитками трубопровода; нефтеперекачивающие станции (НПС) с суммарной установленной мощностью магистральных насосных агрегатов (МА) 30-60 МВ·А каждая; АСУТП. Высокий уровень автоматизации учета потребления ЭЭ и технологических факторов позволяет иметь обширную, достоверную информацию, которая может стать основой для решения задач управления электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода (рис. 1). Нестабильная работа участков нефтепровода обусловлена часто изменяющейся производственной программой, появлением технологически незавершенных участков нефтепровода, реконструкцией и модернизацией технологического оборудования, многовариантностью режимов работы МА НПС.

Анализ существующей системы управления электропотреблением показал, что массивы собираемой суточной статистической информации не используются. При этом существующие математические модели режимов электропотребления неприемлемы для нестабильных условий работы нефтепровода. Так, с использованием формулы Дарси-Вейсбаха для определения потерь напора при основном характере движения нефти (турбулентном в зоне Блазиуса) расход ЭЭ можно выразить аналитически:

$$W = \frac{\rho^{2,75} \cdot \nu^{0,25}}{11,55 \cdot 10^5 \cdot (\rho \cdot L)^{1,75} \cdot D^{4,75} \cdot \eta} + \frac{P \cdot \Delta Z}{367,2 \cdot L \cdot \eta}, \quad (1)$$

где P – грузооборот нефти, т·км; ν – вязкость нефти, сСт; D – эквивалентный диаметр трубопроводов, м; ΔZ – разность геодезических отметок конца и начала участка нефтепровода, м; L – протяженность участка нефтепровода, км;

ρ – плотность нефти, кг/м^3 ; η – КПД участка нефтепровода, о.е.

Поскольку расход ЭЭ W связан с эквивалентным диаметром D через показатель степени 4,75, ошибка в 1 % при определении только лишь эквивалентного диаметра D многониточного нефтепровода может увеличить погрешность расчета ЭЭ примерно на 5%. В нестабильных условиях работы расчетные значения КПД участка нефтепровода могут колебаться в пределах до 40 %. Кроме того, показано, что эмпирические модели электропотребления, разрабатываемые традиционными методами, характеризуются низкой аппроксимирующей способностью. Проблему моделирования усложняет проводимая реконструкция и модернизация технологического оборудования, которая приводит к изменениям конфигурации и конструктивных параметров участков нефтепровода и влияет на режимы их электропотребления.



Рис. 1. Логическая схема управления электропотреблением

Для преодоления указанных недостатков при управлении электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода необходимо разработать уточненную математическую модель, способы анализа режимов потребления ЭЭ и управления ими на основе системного подхода, с использованием суточных данных, собираемых с помощью систем учета ЭЭ и технологических факторов. И на основе разработанных моделей и способов повысить эффективность электропотребления (см. рис. 1).

Вторая глава посвящена проблеме информационного и математического обеспечения задач управления электропотреблением участков нефтепровода.

Для информационного описания задач управления электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода создана ИБД на основе возможностей системы учета ЭЭ и технологических факторов, определяющих электропотребление. База данных включает массивы суточной статистической информации электрических и технологических показателей

за три года: $W_{сут}$, $P_{сут}$, $v_{сут}$, $\gamma_{сут}$ ($t_{сут}$) – значения суточного электропотребления, грузооборота, вязкости и плотности (либо температуры) транспортированной нефти по участкам нефтепровода соответственно; сведения по реконструкции и модернизации технологического оборудования; технические характеристики участков нефтепровода. Реконструкция и модернизация технологического оборудования приводит к изменениям конфигурации и конструктивных параметров участков нефтепровода. Эти изменения описываются числовой характеристикой Ω , способ определения которой представлен в главе 4.

В условиях нестабильной работы участков нефтепровода структура данных, характеризующих режим электропотребления, является неоднородной. Для оптимизации структуры данных используется морфологическое описание, основанное на теории распознавания образов (кластерный анализ).

Мера сходства при кластеризации по электропотреблению

$$R_{K_j K_l} = \sqrt{(A_{K_j} - A_{K_l})^2}, \quad (2)$$

где A_{K_j} , A_{K_l} – средние значения электропотребления по классам K_j и K_l . Структура разбиения характеризуется коэффициентом вариации (чистотой):

$$V = [\sigma_{K_i(j)} / A_{K_i(j)}] \cdot 100, \% \quad (3)$$

где $\sigma_{K_i(j)}$ – среднее квадратическое отклонение по классам K_j и K_l .

Для кластеризации структуры двумерного пространства признаков (удельное электропотребление $W_{уд}$ и грузооборот P), характеризующих режим работы нефтепровода, адаптирована целевая функция:

$$MKP = \begin{cases} \min(d_{ij}^2, i \neq j), \text{ при } N_{кл} \leq 2, \\ \min(d_{ij}^2, i \neq j; \sigma_{ij}^2, i \neq j), \text{ при } N_{кл} \geq 3, \end{cases} \quad (4)$$

где MKP – междуклассовое расстояние; d_{ij} – Евклидово расстояние между классами i, j ; $N_{кл}$ – количество классов; σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение от тренда.

Для автоматизации кластерного анализа разработана программа CLUSTER. Выделение однородных режимов по рассмотренным алгоритмам повышает адекватность моделирования режимов потребления ЭЭ.

Функциональное описание позволяет установить количественные соотношения между электропотреблением и технологическими факторами. Для учета различной информационной ценности членов исходных временных рядов в работе используется метод экспоненциального сглаживания, а для выявления тенденций формирования электропотребления по циклам прогнозирования – метод сглаживания с помощью скользящей средней. Математическая модель электропотребления ищется в виде уравнения множественной регрессии первого порядка. Критериями адекватности модели электропотребления служат:

- скорректированный коэффициент детерминации

$$R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot (n - 1) / (n - k - 1), \quad (5)$$

где n, k – количество измерений и регрессоров соответственно;

- среднеквадратическая относительная погрешность

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i - W_p^i}{W_i} \right)^2} \cdot 100, \% \quad (6)$$

где W_i, W_p^i – значения фактического и расчетного потребления ЭЭ.

С точки зрения системного подхода модель, с помощью которой достигается поставленная цель, является адекватной этой цели. Поэтому проверка адекватности модели проводилась путем сравнения результатов моделирования с данными фактического электропотребления.

В третьей главе выполнены исследования режимов электропотребления участков нефтепровода и показаны пути повышения адекватности эмпирических моделей электропотребления. Исследование закономерностей работы участков нефтепровода по временным циклам прогнозирования позволило установить нестабильность технологических (грузооборот, характеристики нефти) и энергетических (общее и удельное электропотребление, состав работающих МА НПС) показателей в условиях динамики конфигурации и конструктивных параметров участков нефтепровода. Нестабильность особенно сильно отражается на суточных данных, поэтому их предложено использовать для моделирования. Установлено, что одному и тому же суточному грузообороту нефти соответствует диапазон расхода ЭЭ, обусловленный различными параметрами нефти, изменением конфигурации и конструктивных параметров участков нефтепровода, различным составом работающих МА НПС. Более высокий коэффициент детерминации модели общего электропотребления, по сравнению с моделью удельного электропотребления, указывает на целесообразность поиска зависимости именно общего потребления ЭЭ от влияющих факторов. Для повышения точности моделирования электропотребления по временным циклам прогнозирования предложен способ, основанный на следующем алгоритме:

1) используя ИБД, формируются исходные массивы характеристик суточных режимов работы нефтепровода за исследуемый промежуток времени t :

$$Y_t = \left\{ P_{сут}, v(t)_{сут}, \Omega_{сут}, W_{сут} \right\}, t = [1 \dots N]; \quad (7)$$

2) определяются элементы $S_t[1 \dots N]$ - сглаженных значений рядов Y_t :

$$S_t = a \cdot Y_t + (1 - a) \cdot Y_{t-1}, \quad S_{t=0} = 0, \quad t = [1 \dots N]; \quad (8)$$

где a – постоянная экспоненциального сглаживания, определяется методом подбора; N – количество дней в промежутке времени t ;

3) выбирается период усреднения K (определяется циклом прогнозирования),

например месяц ($K=30$ – количество суток в месяце), и определяются элементы массивов $Y_{cp,j}[1...N]$ для регрессионного анализа:

$$Y_{cp,j} = \begin{cases} \sum_{t=j}^{k+j-1} S_t, & j = [1...(N-k+1)], \\ \sum_{t=j}^N S_t + \sum_{t=1}^{j-(N-k+1)} S_t, & j = [(N-k+2)...N]. \end{cases} \quad (9)$$

Сглаженные значения $Y_{cp,j}$ используются для разработки многофакторных уравнений регрессии электропотребления.

Для выявления закономерностей режимов электропотребления в двумерном пространстве признаков ($W_{уд}$, P_{cp}) определены элементы массива $W_{уд,cr,j}[1...N]$ – месячных ($K=30$) значений удельного потребления ЭЭ:

$$W_{уд,cr,j} = P_{cp,j} / W_{cp,j}, \quad (10)$$

каждому из которых соответствует элемент массива $P_{cp,j}[1...N]$, и построена зависимость $W_{уд,cr} = f(P_{cp})$ за квартал (рис. 2, б), которая характеризуется более высокой аппроксимирующей способностью уравнения регрессии по сравнению с моделью, построенной по исходным данным (рис. 2, а).

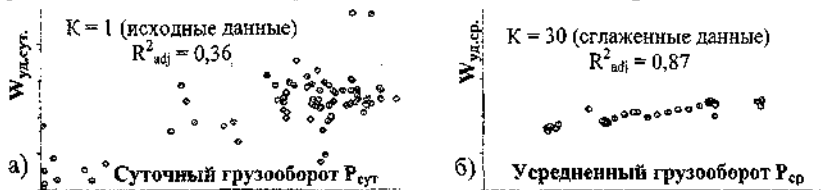


Рис. 2. Зависимости среднесуточного удельного электропотребления $W_{уд}$ от грузооборота P в квартальном временном интервале ($N=91$)

По разработанному способу получены и исследованы квартальные модели зависимости усредненного ($K=30$) удельного расхода ЭЭ $W_{уд,cr}$ от грузооборота нефти P_{cp} для двух участков нефтепровода за 3 года. Исследования показали, что все многообразие этих моделей в зависимости от условий работы нефтепровода может быть представлено тремя видами (рис. 3): структурно-однородная модель; структурно-разнородная модель; структурно-разнородная модель с внутриклассовой вариацией.



Рис. 3. Характерные типы моделей удельного электропотребления

Структурно-однородная модель (рис. 3, а) характерна для стабильной работы нефтепровода; структурная разнородность моделей (рис.3, б, в) объясняется динамикой конфигурации и конструктивных параметров участков нефтепровода; внутрикласовая вариация (рис. 3, в) характерна для режимов с частым изменением состава работающих МА НПС.

Режимы электропотребления нестабильно работающих участков нефтепровода целесообразно описывать с учетом изменений их конфигурации и конструктивных параметров с помощью эмпирической дискретно-непрерывной модели (ДНМ), построенной на ранжированных интервалах грузооборота нефти.

В четвертой главе изложены способы повышения эффективности управления электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода. При разработке ДНМ электропотребления на ранжированных интервалах грузооборота нефти предлагается дополнительно вводить в модель численную характеристику Ω (Вт), которая позволяет учесть структурную разнородность (рис. 3, б, в) и характеризует влияние конфигурации и конструктивных параметров участка нефтепровода на гидравлические потери мощности в момент времени t :

$$\Omega_t = \Omega_{t-1} + \sum_{i=1}^m \Delta\Omega_i, \quad (11)$$

где Ω_{t-1} (Вт) – характеристика Ω до изменения конфигурации и конструктивных параметров (на момент времени $t-1$); m – количество изменений конфигурации и конструктивных параметров в момент времени t ; $\Delta\Omega_i$ (Вт) – степень влияния i -го изменения на гидравлические потери мощности в участке нефтепровода:

$$\Delta\Omega_i = \Delta N_{t-1} - \Delta N_t, \quad (12)$$

где $\Delta N_t, \Delta N_{t-1}$ (Вт) – гидравлические потери мощности в изменившейся части участка нефтепровода в момент времени t при конфигурации и конструктивных параметрах этой части участка нефтепровода на момент времени t и $t-1$ соответственно, определяемые классическими методами.

Полученные по выражениям (8), (9) значения фактического электропотребления $W_{cp,j}$, кВт·ч, грузооборота $P_{cp,j}$, тыс.т·км, вязкости $\nu_{cp,j}$, сСт, плотности $\gamma_{cp,j}$, кг/м³, характеристики $\Omega_{cp,j}$, Вт, ранжируются на $n=[1...k]$ интервалов грузооборота $[P'_{2k-1}, P'_{2k}]$, где k – номер интервала грузооборота. С помощью многофакторного регрессионного анализа определяются коэффициенты a, b, c, d, f ДНМ электропотребления W_p (кВт·ч) вида

$$W_p^i = a_k \cdot P_{cp,j} + b_k \cdot \nu_{cp,j} + c_k \cdot \gamma_{cp,j} - d_k \cdot \Omega_{cp,j} + f_k, \quad (13)$$

где $P_{cp,j} \in (P_{k-1}, P_k]$, $[\bar{P}_{cp}, \bar{\nu}_{cp}, \bar{\gamma}_{cp}, \bar{\Omega}_{cp}] \in [P'_{2k-1}, P'_{2k}]$.

Проверка моделей потребления ЭЭ на адекватность показала, что максимальная ошибка расчетов по годовой модели ($K=365$) составила 0,46%, 2,5 % по квартальной модели ($K=90$), 4,5 % по месячной модели ($K=30$), 28 % по

суточной модели ($K=1$). ДНМ вида (13) используется для прогнозирования и планирования расхода ЭЭ, оценки эффективности реконструкции и строительства линейной части нефтепровода.

Для участка нефтепровода выполнен расчет норм расхода ЭЭ по разработанной методике, с использованием ДНМ вида (13). Разница между фактическим и расчетным расходом ЭЭ снизилась с 16 % (при расчете по существующей методике) до 1,4 % (при расчете по разработанной методике). Это позволило предотвратить штрафные санкции, эквивалентные экономии ЭЭ в количестве 3588 тыс.кВт·ч за квартал (табл. 1).

Таблица 1. Оценка экономических санкций за перерасход ЭЭ

Наименование показателя	Расчет по методике:		факт
	действующая	разработанная	
Норма расхода ЭЭ, млн.кВт·ч/квартал	9,076	11,026±5%	10,87
Перерасход ЭЭ за квартал, тыс.кВт·ч	1794	0	–
Стоимость перерасхода с учетом штрафных санкций, USD/квартал	122926		

Для инженерных расчетов электропотребления с учетом изменяющихся грузооборотов $P_{ср}$ (тыс.т·км) и вязкости нефти ν (сСт), конфигурации нефтепровода разработана номограмма, позволяющая оценивать энергетическую эффективность реконструкции и строительства линейной части нефтепровода (рис.4).

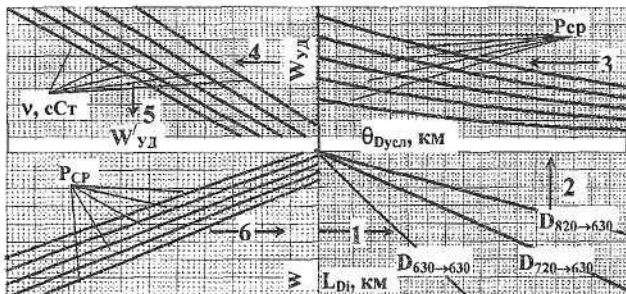


Рис.4. Номограмма для определения расхода электроэнергии

При разработке номограммы использовался способ расчета характеристики конфигурации линейной части нефтепровода, основанный на сравнении изменения гидравлических потерь мощности в участке многониточного нефтепровода ΔN_i при последовательном выводе каждой из его ниток. В результате установлены коэффициенты $K_{L,d \rightarrow L_{dysel}}$, позволяющие пересчитать длину вводимого либо выводимого участка трубопровода диаметром D к длине трубопровода с условным диаметром D_{ysel} . (табл. 2).

Таблица 2. Расчет значений $K_{L,d \rightarrow L_{dysel}}$ для 3-ниточного нефтепровода

Диаметр трубопровода выводимой нитки D , мм	630	720	820
Изменение гидравлических потерь мощности ΔN_i , Вт	15727	28531	55064
Коэффициент приведения, $K_{L,d \rightarrow L_{dysel}}$	1	1,81	3,5

В отличие от эквивалентного диаметра для расчета характеристики конфигурации предлагаемым способом достаточно рассматривать лишь ту часть трубопроводной системы, конфигурация которой изменялась.

На основе ДНМ вида (13) разработаны способы анализа режимов электропотребления для решения следующих задач управления: ранжирование достигнутых режимов работы электрооборудования по степени эффективности потребления ЭЭ; оценка энергетической эффективности и потенциала энергосбережения при управлении электрооборудованием; формирование энергосберегающих режимов работы электрооборудования нестабильно работающих участков нефтепровода.

Каждый достигнутый режим работы электрооборудования участка нефтепровода характеризуется фактическим электропотреблением и составом работавших МА НПС. Для выполнения заданной производственной программы состав работающих МА НПС может быть **различным** и определяется диспетчерским персоналом. Так как при расчете значений W_p по ДНМ вида (13) учтены все факторы, кроме состава включенных МА НПС, то разница dW между расчетным W_p и фактическим электропотреблением W_ϕ участка нефтепровода в целом характеризует эффективность работы МА НПС. Сравнение имевших место в прошлом вариантов включения МА НПС целесообразно производить в группах с близкими значениями W_p участка нефтепровода. Такой подход позволяет использовать сведения об эффективности того или иного состава МА НПС при его выборе диспетчерским персоналом в нестабильных условиях работы, когда **строго задана** производственная программа и характеристики нефти, конфигурация и конструктивные параметры нефтепровода. При ином подходе выбор оптимального состава МА НПС будет сопровождаться изменением грузооборота нефти и может привести к срыву производственной программы.

Для ранжирования достигнутых режимов работы электрооборудования по степени эффективности потребления ЭЭ разработан способ их классификации на группы с однородными технологическими состояниями, позволяющий оценивать эффективность управления электрооборудованием. В качестве характеристики технологического состояния предложено использовать **расчетное значение потребления ЭЭ W_p** . Способ основан на следующем алгоритме:

- разрабатывается ДНМ электропотребления вида (13) и определяются значения W_p^i для каждого достигнутого режима работы нефтепровода;
- по программе CLUSTER разрабатывается структурная модель значений W_p за выбранный промежуток времени t (например, за год, рис. 5, а). Классы структурной модели объединяют однотипные режимы электропотребления участка нефтепровода и характеризуются временной емкостью (количество режимов в классе), средним электропотреблением $A_{ср.кл.}$ чистой V .

Для сравнения достигнутых режимов работы МА НПС в рамках одного класса значения фактического электропотребления этих режимов W_ϕ приводятся к одинаковым условиям – среднему электропотреблению класса $A_{ср.кл.}$:

$$W_{\text{ф.прив.}}^i = W_{\text{ф}}^i \cdot A_{\text{ср.кл.}} / W_{\text{р}}^i \quad (14)$$

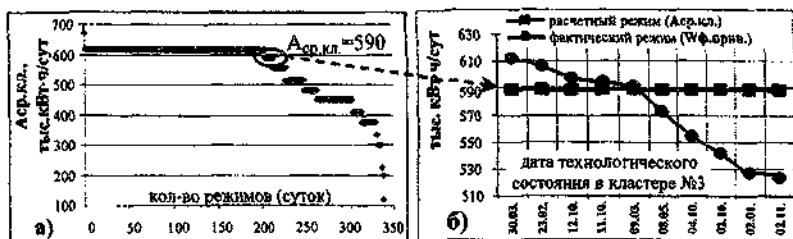


Рис. 5. Анализ эффективности режимов работы нефтепровода:

а) структурная модель расчетного электропотребления за год; б) ранжирование достигнутых режимов работы участка нефтепровода в рамках кластера № 3

Использование значений $W_{\text{ф.прив.}}^i$ позволяет устранить погрешность при определении эффективности работы МА НПС, обусловленную вариацией значений $W_{\text{р}}^i$ внутри класса. Данным, объединенным в один класс, ставятся в соответствие значения $W_{\text{ф.прив.}}^i$, которые ранжируются по убыванию (рис. 5, б). В результате даты с однородными технологическими состояниями будут также расположены по степени эффективности потребления ЭЭ (рис. 5, б).

Средняя эффективность управления электрооборудованием для j -го класса с однородными технологическими состояниями определяется по выражению

$$\Delta W_j = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} \frac{W_{\text{ф.прив.}}^i - A_{\text{ср.кл.}}^j}{W_{\text{ф.прив.}}^i} \cdot 100, \% \quad (15)$$

где n_j – количество режимов работы электрооборудования в j -м классе.

Отрицательные значения ΔW_j свидетельствуют об эффективном управлении электрооборудованием в классе и наоборот. Оценка эффективности управления электрооборудованием по классам однотипных технологических состояний позволяет выявлять режимы, работа с которыми может дать **наибольший эффект** в области энергосбережения.

Для определения энергетической эффективности режимов работы МА НПС и потенциала энергосбережения разрабатывается режимная карта нефтепровода – зависимость $dW=f(A_{\text{ср.кл.}})$ энергетической эффективности управления электрооборудованием dW от среднего электропотребления по j классам $A_{\text{ср.кл.}}$ (рис. 6, на примере годовой режимной карты, $K=365$). Для этого определяются энергетические эффективности dW для каждого i -го способа управления МА НПС в рамках каждого j -го класса:

$$dW_j^i = [(W_{\text{ф.прив.},j}^i - A_{\text{ср.кл.},j}) / W_{\text{ф.прив.},j}^i] \cdot 100, \% \quad (16)$$

Потенциал энергосбережения $\Delta \mathcal{E}$, %^с, определяется:

– по принципу «от достигнутого» (от достигнутого электропотребления предшествующего режима $W_{\text{ф.прив.}}$) – при отнесении режимов предшествующего и рассматриваемого периодов в один класс (рис. 6, а):

$$\Delta \mathcal{E} = [(W_{\text{ф.прив.}} - W_{\text{ф.прив.}}^{\min}) / A_{\text{ср.кл.}}] \cdot 100, \% \quad (17)$$

– по принципу «от среднего» – при отнесении предшествующего и рассматриваемого режимов в разные классы (рис. 6, б):

$$\Delta \mathcal{E} = [(A_{\text{ср.кл.}} - W_{\text{ф.прив.}}^{\min}) / A_{\text{ср.кл.}}] \cdot 100, \% \quad (18)$$

где $W_{\text{ф.прив.}}^{\min}$ – приведенное к среднему электропотреблению класса фактическое электропотребление наиболее эффективного способа управления электрооборудованием в классе.



Рис. 6. Годовые режимные карты участков нефтепровода (K=365):

- рассматриваемый и предшествующий режимы попали в один класс;
- рассматриваемый и предшествующий режимы попали в разные классы

С помощью годовых режимных карт участков нефтепровода РУП «Гомельтранснефть Дружба» (рис. 6) установлен потенциал энергосбережения за счет управления электрооборудованием, **который оценивается в размере 667 тыс. кВт·ч в год.** Для реализации потенциала энергосбережения разработан способ формирования энергосберегающих режимов работы МА НПС под заданную производственную программу, конфигурацию и конструктивные параметры нефтепровода, характеристики нефти:

- разрабатывается режимная карта нефтепровода (рис. 7);
- под заданную суточную производственную программу Р, характеристики Ω и параметры нефти ν и γ, используя ДНМ вида (13), определяется W_p , которое попадает в один из j-х классов режимной карты (рис. 7);
- из кластера возможных способов реализации данного технологического состояния выбирается рациональный (с электропотреблением $W_{\text{ф.прив.}}$ ниже среднего), который рекомендуется при заданных условиях работы;
- комбинации работавших МА НПС рекомендуемых режимов воспроизводятся диспетчерским персоналом по оперативным журналам, либо по ИБД.

Прогнозное значение потребления ЭЭ определяется как

$$W_p = W_p \cdot W_{\text{ф.прив.}} / A_{\text{ср.кл.}} \quad (19)$$

По представленному алгоритму был выполнен расчет для одного из режимов (режим 29.08.2001). Экономия ЭЭ, определяемая по выражению

$$\Delta \Xi = [(W_{\phi} - W_{п}) / W_{\phi}] \cdot 100, \% \quad (20)$$

составляет от 7 до 15 %, или (42589 ~ 91263) кВт·ч за сутки.

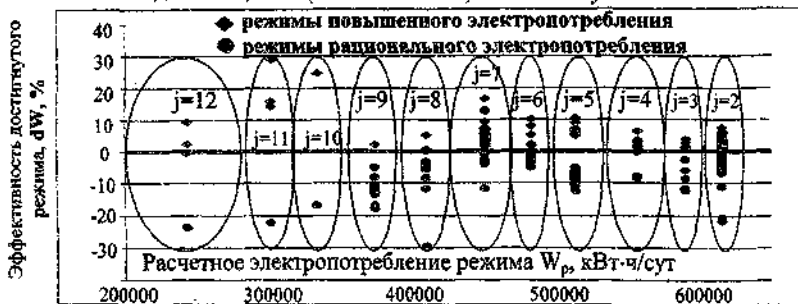


Рис. 7. Режимная карта участка нефтепровода (K=1)

Разработанные математическая модель и способы реализованы в виде программного комплекса «Модель-Электро», внедрены в РУП «Гомельтранснефть Дружба» и используются для решения задач управления электропотреблением (см. рис. 1) нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что управление электропотреблением современных систем нефтепроводного транспорта требует поиска новых научных подходов в рамках системного анализа, учитывающих появление технологически незавершенных участков нефтепровода, нестабильность объемов перекачки и характеристик нефти, работу технологического оборудования с изменяющимся КПД, максимальную загруженность резервуарного парка, реконструкцию и модернизацию технологического оборудования [2, 4, 6, 8, 9, 11].

2. На основе системы суточных электрических и технологических показателей режима работы нефтепровода, собираемых с помощью автоматизированных систем учета, создана база данных, которая обеспечивает информационные потребности задач управления электропотреблением [1, 2, 6, 8, 13, 14].

3. Получены и исследованы однофакторные модели зависимости усредненного удельного электропотребления от грузооборота при различных условиях работы участков нефтепровода: структурно-однородная модель, структурно-разнородная модель, структурно-разнородная модель с внутри-классовой вариацией. Основным типом модели нестабильно работающих участков нефтепровода является структурно-разнородная модель с внутри-классовой вариацией. Структурная разнородность обусловлена изменениями конфигурации и конструктивных параметров участка нефтепровода, а внут-

рикласовая вариация – работой различного состава насосных агрегатов для выполнения заданной производственной программы [7, 8].

4. На основе классического описания процессов передвижения жидкости по трубопроводам, сочетания методов сглаживания временных рядов с аппаратом многофакторного регрессионного анализа разработаны математическая модель и программа для моделирования режимов электропотребления нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода [1, 3, 5, 8, 12].

5. Разработана номограмма для инженерных расчетов электропотребления с учетом изменяющихся объемов и вязкости перекачиваемой нефти, конфигурации и конструктивных параметров нефтепровода, позволяющая оценивать энергетическую эффективность реконструкции и строительства линейной части нефтепровода при анализе лишь изменившейся части трубопроводной системы [5, 10].

6. Предложены способы и программа для анализа режимов электропотребления участков нефтепровода, позволяющие их классифицировать на группы с однородными технологическими состояниями, ранжировать достигнутые варианты работы электрооборудования по степени эффективности электропотребления, оценивать энергетическую эффективность и потенциал энергосбережения при управлении электрооборудованием, выявлять и формировать энергосберегающие составы насосных агрегатов под заданные условия работы, внедрение которых в производство позволяет повысить энергоэффективность управления и снизить электропотребление РУП «Гомельтранснефть Дружба» [2, 4, 6, 9, 14].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Колесник Ю. Н. Особенности расчета удельных расходов электрической энергии для предприятий транспорта нефти: Сб. материалов ММНТК студентов, аспирантов и магистрантов, 15-17 мая 2001 г. / УО «ГТТУ им. П. О. Сухого». – С. 179-181.
2. Колесник Ю. Н. Особенности структурных моделей показателей суточных режимов работы промышленных предприятий: Сб. материалов ММНТК студентов, аспирантов и магистрантов, 15-17 мая 2001 г. / УО «ГТТУ им. П. О. Сухого». – С. 176-179.
3. Токочакова Н. В., Колесник Ю. Н. Исследование структурных закономерностей режимов электропотребления участков нефтепровода / Организация и проведение энергетического обследования субъектов хозяйствования Республики Беларусь: Материалы семинара, 15–19 января 2001 г. – Гомель, 2001. – С. 56–66.
4. Колесник Ю. Н. О расширении функциональных возможностей систем автоматизированного сбора и обработки данных с целью совершенствования системы управления потреблением ТЭР // Вестник ГТТУ им. П. О. Сухого. – 2001. – № 3, 4. – С. 30–40.

5. Колесник Ю. Н. Методика оценки эффективности использования электрической энергии на перекачку нефти по трубопроводам // Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого. – 2002. – №1. – С. 33–45.
6. Родина Л. С., Токочакова Н. В., Колесник Ю. Н. Управление потреблением энергии на промышленных предприятиях на основе существующих систем автоматизированного учета и сбора данных // Электрика. – 2002.–№1. – С. 26–30.
7. Колесник Ю. Н. Способ выявления разнородности режимов электропотребления / Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях. Материалы V Республиканской научной конференции студентов и аспирантов, 18–20 марта 2002 г. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2002. – С. 88–89.
8. Родина Л.С., Токочакова Н.В., Колесник Ю.Н. Моделирование режимов электропотребления предприятий транспорта нефти // Вестник МЭИ. – 2002.– №3. – С. 71-76.
9. Колесник Ю. Н., Колесников П. М. Моделирование суточных режимов электропотребления для расширения функциональных возможностей систем учета электрической энергии: Материалы МНТК вузов приграничных регионов славянских государств, 26–27 ноября 2002 г. – Брянск, 2002. – С.33–36.
10. 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.
11. Токочакова Н. В., Колесник Ю. Н. К вопросу расчета и использования целевого показателя энергосбережения для предприятий транспорта нефти // Энергоэффективность. – 2003.–№7. – С. 7–8; №8. – С. 6–7.
12. Токочакова Н. В., Колесник Ю. Н. Способ получения статистических характеристик параметров энергоиспользования: Сборник тезисов выступлений на II МНТК молодых специалистов «Металл-2001». – Жлобин, 2001. – С. 22–23.
13. Токочакова Н. В., Колесник Ю. Н. Повышение энергетической эффективности систем автоматизированного учета и сбора данных: Сборник тезисов выступлений на II МНТК «Металл-2001».–Жлобин, 2001. – С. 23-24.
14. Колесник Ю. Н. Моделирование энергоэффективного состава насосных агрегатов для перекачки нефти по трубопроводам / Тез. докл. МНТК Современные проблемы машиноведения. УО «ГГТУ им. П. О. Сухого». – Гомель, 2002. – С. 64.

Колесник Юрий Николаевич

Моделирование, анализ и управление электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода

Ключевые слова: нефтепровод, моделирование, анализ электропотребления, нормирование, управление, насосный агрегат, конфигурация нефтепровода, энергетическая эффективность, структурная модель, режимная карта, потенциал энергосбережения.

Объект исследования – система управления электропотреблением предприятий транспорта нефти в нестабильных условиях работы участков нефтепровода. Предмет исследования – режимы электропотребления участков нефтепровода.

Цель работы – разработка математической модели и способов анализа режимов электропотребления нестабильно работающих участков нефтепровода, направленных на повышение энергоэффективности при управлении ими.

Методологической основой исследований являются информационное, морфологическое и функциональное описание системы нефтепроводов в рамках системного подхода, пассивный и вычислительный эксперименты.

Разработана уточненная математическая модель потребления электроэнергии для нестабильно работающих технологически завершенных и незавершенных участков нефтепровода. Разработана номограмма для определения расхода электроэнергии, позволяющая оценивать энергетическую эффективность реконструкции и строительства линейной части нефтепровода. Разработан способ классификации фактических режимов работы нефтепровода на группы с однородными технологическими состояниями, позволяющий ранжировать достигнутые пути работы электрооборудования по степени эффективности использования электроэнергии. Разработан способ оценки энергетической эффективности и потенциала энергосбережения при управлении электрооборудованием, позволяющий выявлять и формировать энергосберегающие режимы работы электрооборудования под заданный грузооборот и характеристики нефти, конфигурацию нефтепровода.

Результаты работы использованы в концерне «Белнефтехим» для нормирования электропотребления предприятий транспорта нефти Республики Беларусь, что позволило предотвратить штрафные санкции, равные экономии 3588 тыс.кВт·ч за квартал, в РУП «Гомельтранснефть Дружба» для оценки энергоэффективности и потенциала энергосбережения, что позволяет снизить электропотребление на 667 тыс.кВт·ч за год.

Область применения результатов диссертации – предприятия транспорта нефти и другие промышленные потребители электрической энергии, на которых установлены системы автоматизированного сбора данных по суточным значениям электропотребления и технологических факторов.

РЭЗЮМЕ

Калеснік Юрый Мікалаевіч

Мадэліраванне, аналіз і кіраванне электраспажываннем нестабільна працуючых участкаў нафтаправода

Ключавыя словы: нафтаправод, мадэліраванне, аналіз электраспажывання, нармаванне, кіраванне, помпавы агрэгат, канфігурацыя нафтаправода, энергетычная эфектыўнасць, структурная мадэль, рэжымная карта, патэнцыял энергазберажэння.

Аб'ект даследавання – сістэма кіравання электраспажываннем прадпрыемстваў транспарту нафты ў нестабільных умовах работы участкаў нафтаправода. Прадмет даследавання – рэжымы электраспажывання участкаў нафтаправода.

Мэта работы – распрацоўка матэматычнай мадэлі і спосабаў аналізу рэжымаў спажывання электрычнай энергіі для нестабільна працуючых участкаў нафтаправода, накіраваных на павышэнне энергаэфектыўнасці кіравання імі.

Метадалагічнай асновай даследаванняў з'яўляюцца інфармацыйнае, марфалагічнае і функцыянальнае апісанні сістэмы нафтаправода ў рамках сістэмнага падыходу, пасіўны і вылічальны эксперыменты.

Распрацавана ўдакладнёная матэматычная мадэль спажывання электраэнергіі для нестабільна працуючых тэхналагічна завершаных і незавершаных участкаў нафтаправода. Распрацавана намаграма для вызначэння расхода электраэнергіі, якая дазваляе ацэньваць энергетычную эфектыўнасць рэканструкцыі і будаўніцтва лінейнай часткі нафтаправода. Распрацаваны спосаб класіфікацыі фактычных рэжымаў работы нафтаправода па групах з аднароднымі тэхналагічнымі станамі, які дазваляе ранжыраваць дасягнутыя шляхі работы электраабсталявання па ступені эфектыўнасці выкарыстання электраэнергіі. Распрацаваны спосаб ацэнкі энергетычнай эфектыўнасці і патэнцыялу энергазберажэння пры кіраванні электраабсталяваннем, што дазваляе выяўляць і фарміраваць энергаэфектыўныя рэжымы работы электраабсталявання пад даную вытворчаю праграму, канфігурацыю нафтаправода і ўласцівасці нафты.

Вынікі работы выкарыстаны ў канцэрне "Белнафтахім" для нармавання электраспажывання прадпрыемстваў транспарту нафты Рэспублікі Беларусь, што дазволіла прадухіліць штрафныя санкцыі ў памеры эканоміі 3588 тыс. кВт·г за квартал, у РУП "Гомельтранснафта Дружба" для ацэнкі энергетычнай эфектыўнасці і патэнцыялу энергазберажэння, што дазваляе рэалізаваць патэнцыял энергазберажэння ў памеры да 667 тыс. кВт·г у год.

Галіна прымянення вынікаў дысертацыі – прадпрыемствы транспарту нафты і іншыя прамысловыя спажывальцы электрычнай энергіі, на якіх устаноўлены сістэмы аўтаматызаванага збору далзеных па сутачных значэннях электраспажывання і тэхналагічных фактараў.

SUMMARY

Kolesnik Yuri Nikolajevich Modeling, Analysis and Control of Electric Power Consumption Of Unsteady Performing Oil Line Sections

Key words: oil line, modeling, electric power consumption analysis, consumption standard setting, control, pump unit, oil line configuration, energy efficiency, structural model, operating mode chart, energy-saving potential.

Research object: electric power consumption control system for oil transport enterprises in unsteady conditions of oil line sections performance.

Research subject: modes of electric power consumption for oil line sections.

Research objective: developing a mathematical model and the methods of analyzing electric power consumption modes in unsteady conditions of oil line section performance aimed at improving electric power consumption control.

Methodology basis for the research is information, morphological and functional description of oil line system in the frames of system approach and passive and calculation experiments.

A detailed model of electric power consumption has been developed for unsteady performing technologically complete and incomplete oil line sections. A nomogram for electric power consumption determination has been developed enabling to evaluate energy efficiency of reconstruction and construction of linear section of oil line. A method of classification of actual modes of oil line operating modes as groups with similar technological conditions, allowing to range electrical equipment operation ways according to the efficiency of electric power utilization has been developed. A method of energy efficiency and energy saving potential evaluation in the process of electrical equipment control has been developed, enabling to reveal and provide energy saving modes of electrical equipment operation according to a preset production program, oil line configuration and the performances of oil.

The results of the research have been applied at Belarus State Concern of Oil and Chemistry «Belneftekhim» for setting consumption standards for the oil transport enterprises, evaluation of energy efficiency and energy-saving potential at the Republic Unitary Enterprise «Gomełtransneft Družba» that allowed to prevent from penal sanctions, equivalent to 3588 thousand kW·hr saving per quarter, and to implement energy-saving potential in the amount of up to 667 thousand kW·hr per year.

Field of Application: oil transport enterprises and other industrial electric power consumers, having automated data acquisition systems operation according to 24-hour power consumption values and technological factors.

КОЛЕСНИК Юрий Николаевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ НЕСТАБИЛЬНО РАБОТАЮЩИХ
УЧАСТКОВ НЕФТЕПРОВОДА**

05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редактор Т. Н. Микулик

Подписано в печать 14.10.2003.

Формат 60x84/16. Бумага типографская №2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,2. Уч. - изд. л. 0,9. Тираж 100 экз. Заказ 719.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский национальный технический университет».

Лицензия ЛВ № 155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф. Скорины, 65.