

На правах рукописи



МАСКОВ ЛИНАР РАМИЛЬЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА**

Специальность 2.4.2 – Электротехнические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» (КГЭУ) на кафедре «Приборостроение и мехатроника».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Корнилов Владимир Юрьевич

Официальные оппоненты: **Хакимьянов Марат Ильгизович**, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование предприятий», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», доцент.

Сухачев Илья Сергеевич, кандидат технических наук, заведующий базовой кафедрой АО «СУЭНКО», доцент кафедры «Электроэнергетика», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», доцент.

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», г. Казань**

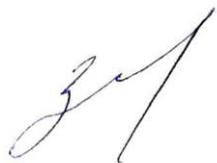
Защита состоится «25» марта 2025 г. в 11 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 24.2.310.02 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51, ауд. Д- 224, тел./факс (843) 519-42-55.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим присылать по адресу: 420066, г. Казань, ул. Красносельская, д.51., КГЭУ, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.310.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» <https://kgeu.ru>.

Автореферат разослан «___»_____2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зиганшин Ш.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень разработанности темы исследования.

Одним из приоритетных научно-технических направлений исследований для нефтегазовой промышленности является повышение эффективности электротехнических комплексов (ЭТК). Актуальность данной тематики обусловлена ростом производственных мощностей, усложнением систем автоматизации и технологических процессов, повышенными требованиями к надежности и непрерывности технологических процессов промышленных предприятий нефтегазового сектора. Практическая значимость заключается в том, что от эффективности управления и функционирования всего ЭТК и его отдельных элементов зависят удельные затраты топливно-энергетических ресурсов на единицу добываемой или производимой продукции, снижение которых является одной из приоритетных задач для нефтегазовой отрасли, и имеет важное прикладное значение как с технической, так и с экономической точки зрения.

Проблематике повышения эффективности различных ЭТК в нефтегазовой промышленности посвятили свои работы отечественные авторы: Меньшов Б.Г., Ершов М.С., Суд И.И., Яризов А.Д., Артюхов И.И., Аршакян И.И., Шабанов В.А., Пашкин В.В., Городнов А.Г., Козярук А.Е и др. В зарубежной литературе в данной области известны работы авторов: Ortega A., Milano F., Xiaodong L., Omid G., Wilsun X., Jorge Andres Prada Mejia, Luis Angel Silva, Julion Andres Peca Flyrez и др. Основной акцент в данных работах ставится на повышение энергетической эффективности ЭТК и КПД ее отдельных элементов: коррекции коэффициента мощности, фильтрации гармоник, модернизации кабельной системы, снижении удельного расхода топлива для автономных систем электроснабжения и т.д. Несмотря на обширность научных работ и публикаций по данной тематике, основные исследования и предлагаемые методы повышения эффективности ЭТК направлены на решение задач для объектов нефтедобычи и переработки. Одновременно с этим в газовой промышленности задачи, связанные с повышением эффективности ЭТК, которые отличны от объектов нефтяной промышленности и имеют особенности функционирования, как для централизованной, так и для автономной системы электроснабжения (СЭС), проработаны недостаточно. Таким образом, повышение эффективности ЭТК газового промысла (ГП) при питании от двух независимых источников электроэнергии является актуальной задачей, решить которую можно за счет разработки новых способов и алгоритмов эффективного управления и функционирования ЭТК, способствующих экономии топливно-энергетических ресурсов и повышению эффективности работы основного оборудования установки комплексной подготовки газа (УКПГ) и дожимной компрессорной станции (ДКС) ГП.

Объект исследования. Электротехнический комплекс газового промысла №1 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ) ООО «Газпром добыча Ямбург» с централизованной и автономной системой электроснабжения.

Предмет исследования. Методы повышения эффективности электротехнического комплекса газового промысла.

Цель диссертационной работы. Повышение эффективности электротехнического комплекса газового промысла при питании от двух

независимых источников электроэнергии: централизованного и автономного от дизельных электростанций.

Для достижения цели в диссертационной работе необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести анализ структуры, оценку технико-энергетических параметров и эффективности работы электротехнического комплекса газового промысла №1 ООО «Газпром добыча Ямбург» с централизованной и автономной системой электроснабжения как объекта исследования.

2. Разработать компьютерную модель для электротехнического комплекса газового промысла на основе расчетно-экспериментальных данных его отдельных элементов в программном комплексе MATLAB/SIMULINK с целью исследования динамических режимов работы электроприводов исполнительных механизмов, энергетических и электромеханических характеристик электротехнического комплекса при использовании предлагаемых решений по повышению эффективности работы основного оборудования газового промысла.

3. Провести расчетно-экспериментальное определение времени пуска асинхронного двигателя (АД) аппарата воздушного охлаждения газа (АВО) со стеклопластиковым рабочим колесом типа ГАЦ-50-4М2 на валу с прямой системой пуска с целью: 1) повысить достоверность компьютерной модели с реальным объектом; 2) определить на компьютерной модели границу перегрузочной способности источника электроэнергии при запуске группы электродвигателей вентиляторов за наименьший промежуток времени в автоматическом режиме запуска.

4. Разработать систему автоматического управления (САУ) аппаратами воздушного охлаждения природного газа типа 2АВГ-75С, обеспечивающую повышение эффективности работы в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

5. Разработать методические рекомендации по повышению эффективности работы электротехнического комплекса газового промысла с централизованной и автономной системой электроснабжения по результатам исследования и предлагаемых решений на компьютерных моделях.

Научные задачи диссертации.

1. Разработка научных основ повышения эффективности электротехнического комплекса газодобывающего предприятия.

2. Совершенствование функционирования основного оборудования газового промысла в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

Методы исследования. Представленные в диссертационной работе научные положения получены с использованием теоретических и расчетно-экспериментальных исследований. Решение поставленных задач осуществлялось в соответствии с положениями теоретических основ электротехники и электрических машин, теории автоматического управления, аналитических и численных методов прикладной математики, методов современного компьютерного моделирования (MATLAB/SIMULINK).

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Подтверждается корректным применением апробированных методов компьютерного моделирования электротехнических комплексов, сбором и обработкой экспериментальных данных с помощью средств визуального контроля и записи электрических величин, обработкой актуальной информации об энергетических и электромеханических характеристиках основного

электрооборудования газового промысла №1 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения ООО «Газпром добыча Ямбург».

Научная новизна:

1. Впервые на основе экспериментальных данных получены зависимости кривых свободного выбега, определены времятоковые, разгонные характеристики и приведенный момент инерции (ПМИ) для АД серий ВАСО16-14-24, ВАСО4-37-24 со стеклопластиковым рабочим колесом типа ГАЦ-50-4М2 на валу.

2. Разработана трехступенчатая защита от гидратообразования в трубках теплообменного аппарата воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С, которая включает в себя строгий алгоритм включения вентиляторов, жалюзи и реверс вентиляторов в секциях АВО.

3. Разработан алгоритм последовательного включения группы вентиляторов АВО газа без перегрузки источника электроэнергии в автоматическом режиме пуска, который позволит обеспечить восстановление технологического процесса за наименьший промежуток времени по сравнению с ручным режимом запуска группы вентиляторов.

4. Разработаны алгоритмы для систем пуска и функциональные силовые схемы работы вентиляторов АВО газа с использованием преобразователей частоты (ПЧ) и систем плавного пуска (СПП) по схемам: «один ПЧ (СПП) – один вентилятор», «один ПЧ (СПП) – группа вентиляторов», «комбинированный (СПП+ПЧ)» (патент РФ на изобретение №2807138).

5. Установлено, что при объединении нескольких дизельных электростанций (ДЭС) в единый центр генерации увеличивается коэффициент загрузки, что позволяет увеличить ресурс работы двигателей электростанций и сократить расход дизельного топлива по сравнению с действующей системой автономного электроснабжения электротехнического комплекса газового промысла.

Теоретическая значимость работы заключается в совершенствовании алгоритмов управления электроприводами вентиляторов и исполнительных механизмов газового промысла в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

Практическая значимость работы определяется разработкой методических рекомендаций по повышению эффективности электротехнического комплекса при питании от централизованной и автономной системы электроснабжения, которые позволяют снизить топливно-энергетические затраты и повысить эффективность работы основного оборудования УКПГ и ДКС газового промысла.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Компьютерная модель электротехнического комплекса, отличающаяся высокой степенью достоверности с реальным объектом на основе расчетно-экспериментальных данных асинхронного двигателя серии ВАСО16-14-24 (ВАСО4-37-24) со стеклопластиковыми рабочими колесами (вентиляторами) типа ГАЦ-50-4М2 на валу в программном комплексе MATLAB/SIMULINK.

2. Разработанный алгоритм трехступенчатой защиты от гидратообразования в трубках теплообменного аппарата воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С.

3. Разработанный алгоритм автоматического группового запуска вентиляторов АВО газа без перегрузки источника электроэнергии в автоматическом режиме пуска.

4. Разработанный алгоритм управления и функциональные силовые схемы для систем пуска с использованием преобразователей частоты, систем плавного пуска по схемам: «один ПЧ (СПП) – один вентилятор», «один ПЧ (СПП) – группа вентиляторов», «комбинированный (СПП+ПЧ)».

5. Методические рекомендации по совершенствованию эффективности работы электротехнического комплекса с централизованной и автономной системой электроснабжения.

Апробация работы. Основные положения проведенных исследований и результаты работы докладывались на второй международной научной конференции «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности» (г. Казань, 28.02.2021 г.), на международной научно-практической конференции «Science and technology research 2022» (г. Петрозаводск, 19.04.2022 г.), на VI всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы энергетики и пути их решения» (г. Махачкала, 15-16 декабря 2021 года), на национальной (с международным участием) научно-практической конференции «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы» (Казанский государственный энергетический университет, 19–20 мая 2022 года), на 12-ой научно-практической конференции «Молодые ученые и специалисты ООО «Газпром добыча Надым» (г. Надым, 9-10 ноября 2023г.), на V-ой арктической совместной научно-практической конференции «ООО «Газпром добыча Уренгой» и ООО «Газпром добыча Ямбург» (г. Новый Уренгой, 14-18 мая 2024 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 печатных работах, в том числе: 3 статьи в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, имеется один патент РФ на изобретение.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 173 страницах, содержит 75 рисунков, 46 таблиц, 9 приложений. Список использованной литературы включает 109 наименований.

Личный вклад заключается в постановке и реализации поставленных задач; научно-техническом обосновании целесообразности комплекса мероприятий по повышению эффективности функционирования электротехнического комплекса газового промысла; анализе результатов; апробации; в проведении экспериментальных исследований с тихоходными АД серии ВАСО4-37-24, ВАСО16-14-24 с композитным стеклопластиковым рабочим колесом типа ГАЦ-50-4М2 на валу; опубликование и использование результатов исследования в качестве объекта патентного права на газовом промысле №1 ЯНГКМ ООО «Газпром добыча Ямбург».

Соответствие диссертации паспорту специальности. По направлению исследования диссертационная работа соответствует пп.1,3,4 паспорта специальности 2.4.2. – «Электротехнические комплексы и системы».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы, представлены объект и предмет исследования, сформулированы цель и научные задачи работы, раскрываются методы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, обосновывается достоверность и обоснованность полученных результатов, приводятся сведения об опубликованных работах и апробации по данной теме исследования, а также основные положения, выносимые на защиту, соответствие диссертации пунктам паспорта научной специальности, дана информация о структуре и объеме диссертации.

В первой главе рассматриваются задачи, связанные с анализом электротехнического комплекса газового промысла №1 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения ООО «Газпром добыча Ямбург» как объекта исследования. Приводится общая характеристика технологического процесса добычи и подготовки природного газа на установке комплексной и дожимной компрессорной станции газового промысла, выявлены особенности и актуальные проблемы функционирования, поставлены задачи исследования ЭТК.

В диссертационной работе рассмотрена структура, особенности построения и функционирования электротехнического комплекса газового промысла в зависимости от технологического режима, в обеспечении которых участвует множество различных электропотребителей с различными режимами работы и графиками нагрузок. Проведен анализ энергетических параметров системы электроснабжения, произведена оценка потребления электрической энергии и энергетической эффективности ЭТК.

Выполнен анализ показателей показания коэффициентов мощности ($\cos \varphi$) (рисунок 1) и реактивной мощности ($\text{tg } \varphi$) с централизованной СЭС, снятых на узлах учета электрических сетей 6 кВ при энергетическом обследовании на первом и втором вводе закрытого распределительного устройства, который показал на наличие резервных возможностей повышения энергоэффективности. Разработана структурная динамическая схема электротехнического комплекса газового промысла с централизованной системой электроснабжения (рисунок 2), с помощью которых получены выражения для расчета суммарных потерь электрической энергии.

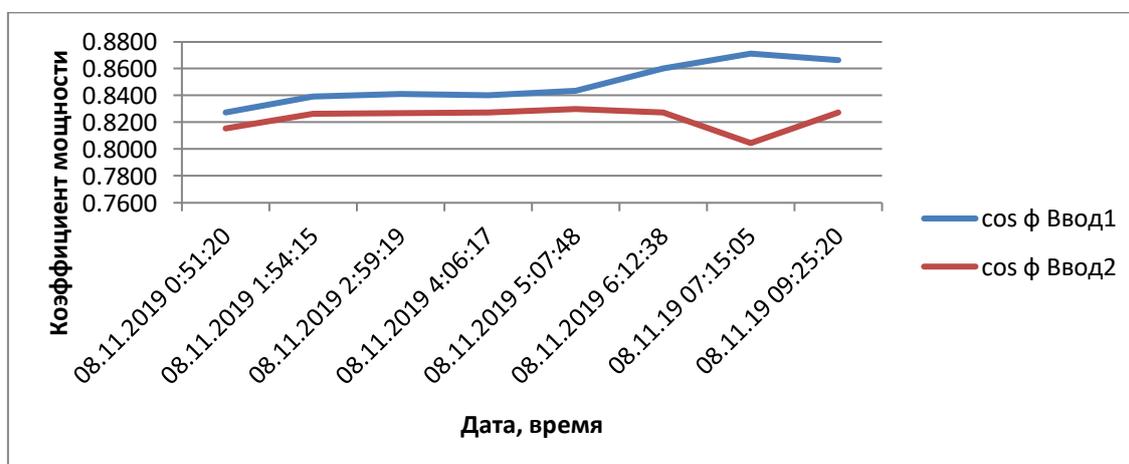


Рисунок 1. Диаграмма коэффициента мощности ($\cos \varphi$)

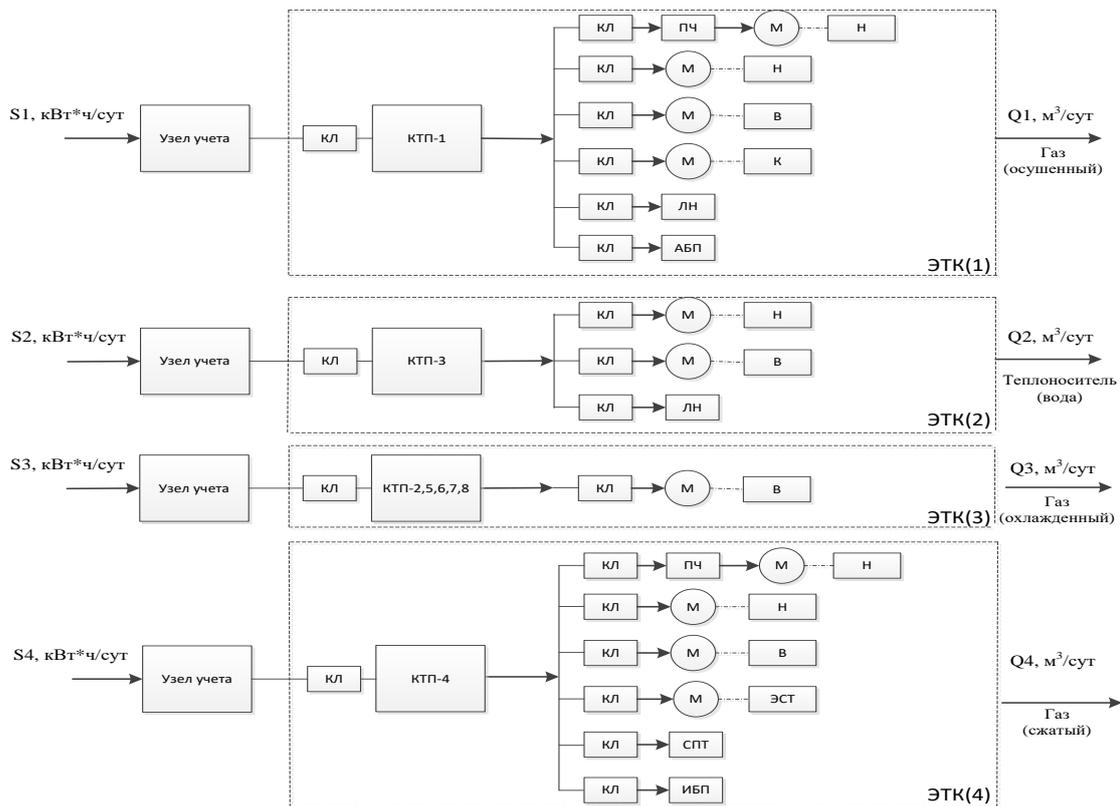


Рисунок 2. Структурная динамическая схема электротехнического комплекса газового промысла с централизованной системой электроснабжения: КЛ – кабельная линия; ПЧ – преобразователь частоты; М – электродвигатель; Н – насос; В – вентилятор; К – компрессор; ЛН – линейная нагрузка; АБП – агрегат бесперебойного питания; ЭСТ – электростартер; СПТ – система постоянного тока; ИБП – источник бесперебойного питания; S_1 - S_4 – суточный расход электрической энергии; Q_1 , Q_3 , Q_4 – суточный объем газа; Q_2 – суточный объем воды

В диссертационной работе был проведен анализ структуры ЭТК, анализ данных о расходе дизельного топлива и выработке электрической энергии, произведен расчет топливно-энергетических параметров для автономной СЭС от ДЭС. Выполнено сравнение тока генерации ДЭС с пиковым током групповой нагрузки, рассчитаны месячные коэффициенты загрузки дизельных электростанций (рисунок 3), разработана структурная динамическая схема (рисунок 4).

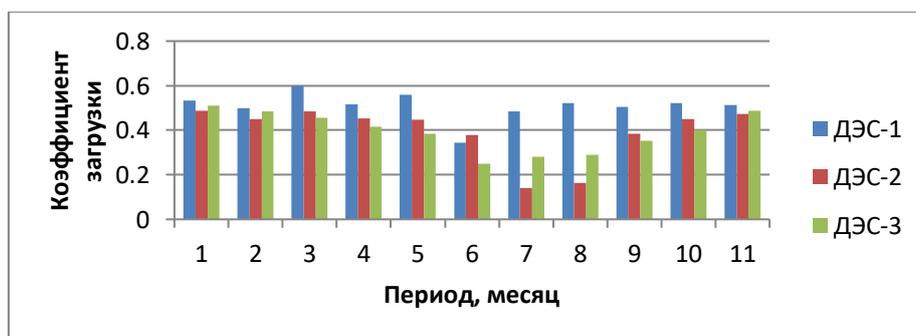


Рисунок 3. Гистограмма месячных коэффициентов загрузки ДЭС (2019г.)

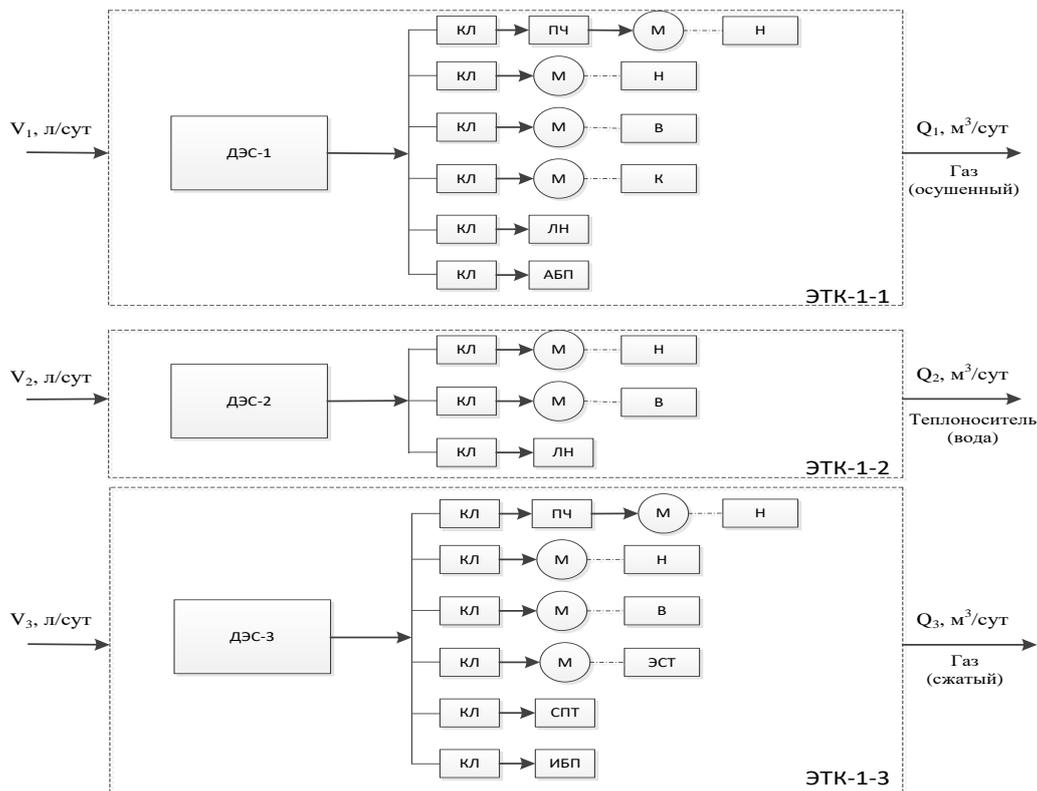


Рисунок 4. Структурная динамическая схема ЭТК ГП с автономной СЭС:
 V_1 - V_3 – суточный расход дизельного топлива; Q_1 , Q_3 – суточный объем газа;
 Q_2 – суточный объем воды; ДЭС-1,2,3 – дизель-генераторные электростанции

Во второй главе рассматриваются задачи, связанные с разработкой компьютерной модели электротехнического комплекса, которая отличается приближением к реальному объекту на основе расчетно-экспериментальных данных асинхронного двигателя серии ВАСО16-14-24 (ВАСО4-37-24) со стеклопластиковыми рабочими колесами (вентиляторами) типа ГАЦ-50-4М2 на валу, которые используются для аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа, в программном комплексе MATLAB/SIMULINK.

Для разработанной модели ЭТК АВО (рисунок 5) расчёт параметров схемы замещения произведен для источника питания, кабельных линий, понижающего трансформатора, асинхронного двигателя по каталожным данным, а инерционно-механические характеристики вращающихся частей пары «АД – рабочее колесо» определены расчетно-экспериментальными методиками и расчетными данными.

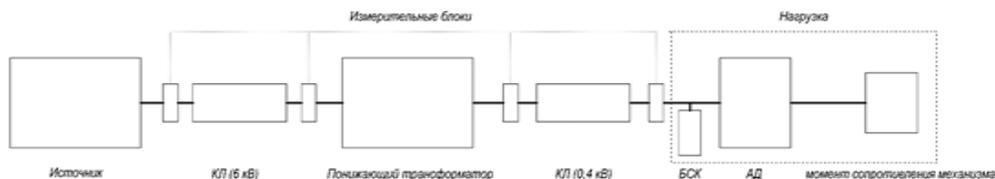


Рисунок 5. Структурная схема модели ЭТК АВО: БСК – батарея статических конденсаторов

Во второй главе были проведены две серии экспериментов: 1) определение кривой свободного выбега с помощью бесконтактного лазерного тахометра; 2) регистрация тока в пусковых режимах с помощью осциллографа. Первая и вторая серия экспериментов были проведены поочередно для ЭТК АВО на действующих установках АВО газа УКПГ и ДКС для АД серий ВАСО4-37-24, ВАСО16-14-24 с композитным стеклопластиковым рабочим колесом типа ГАЦ-50-4М2 на валу (таблица 1).

Таблица 1. Технические характеристики рабочего колеса ГАЦ-50-4М2

Наименование параметра	Значение
Диаметр рабочего колеса	4,98 м
Диаметр ступицы	1,28 м
Число лопастей	4
Масса рабочего колеса	140 кг
Масса лопасти	30 кг
Номинальный расход воздуха	510000 м ³ /ч
Номинальный статический напор	200 Па

В ходе первой серии экспериментов были получены кривые свободного выбега для АД серии ВАСО и на их основе построена зависимость потерь мощности электродвигателя от времени (рисунок 6), которые были использованы для определения ПМИ с помощью графоаналитических методов.

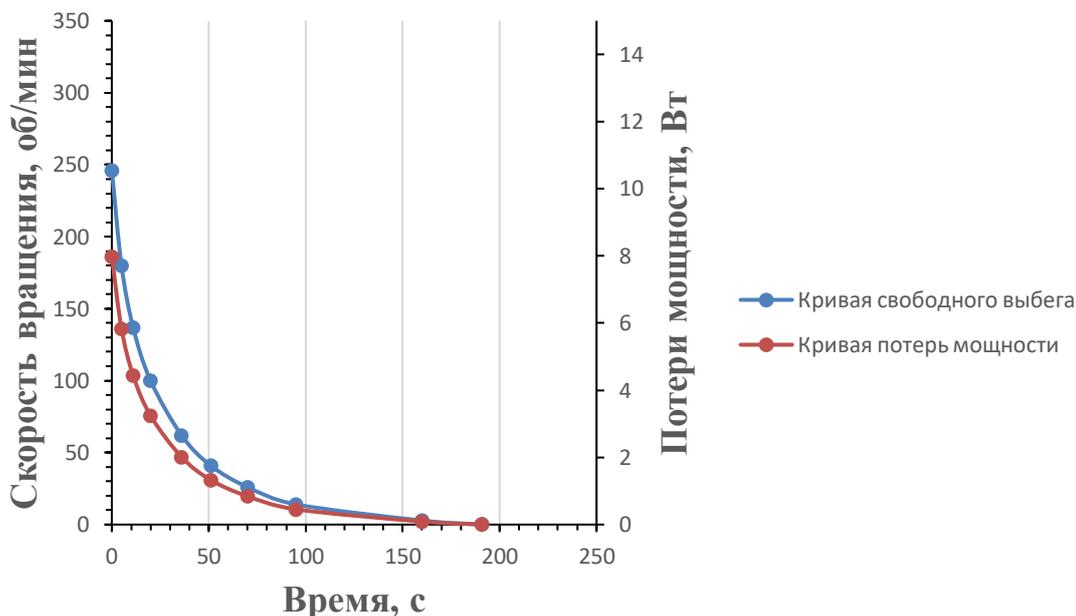


Рисунок 6. Экспериментальные характеристики для ВАСО4-37-24

Регистрация тока в переходных динамических режимах для второй серии экспериментов произведена с помощью портативной цифровой USB приставки-осциллографа серии HANTEK 6022BE и токовых клещей HOLDPEAK-605A. Схема подключения измерительных приборов показана на рисунке 7. Результаты измерения сигнала от токовых клещей после подачи напряжения через автоматический выключатель на магнитный пускатель

передаются через USB-порт на ноутбук в виде массива данных, который отображается в компьютерной программе с помощью осциллограммы (рисунок 8).

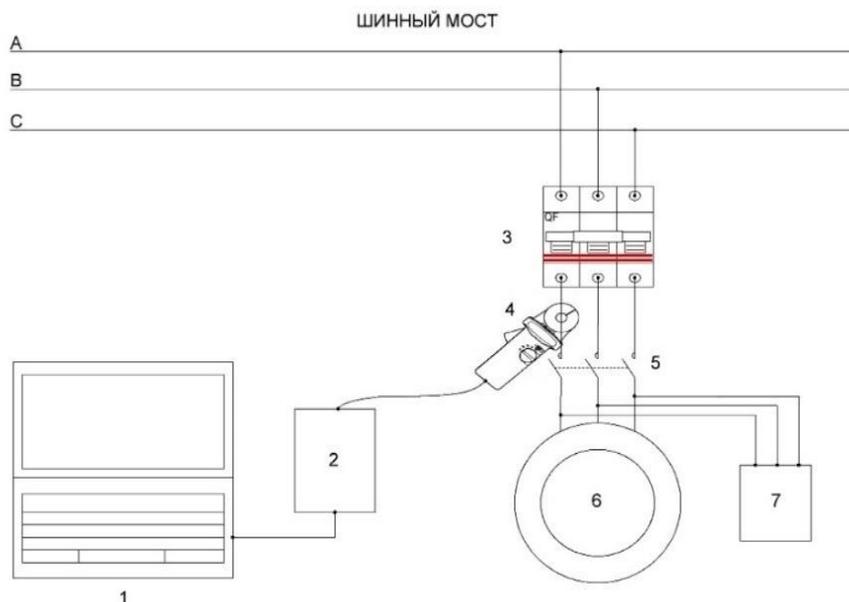


Рисунок 7. Схема проведения эксперимента:

1 – ноутбук; 2 – осциллограф; 3 – автоматический выключатель; 4 – токовые клещи; 5 – магнитный пускатель; 6 – вентилятор АВО газа; 7 – батарея статических конденсаторов

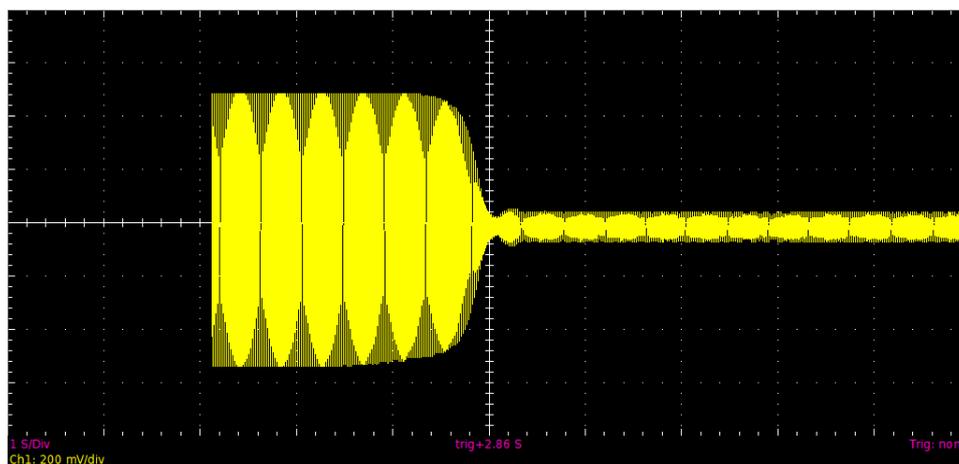


Рисунок 8. Осциллограмма тока при пуске АД серии ВАСО4-37-24 с вентилятором на валу

Полученные значения времени переходного процесса были использованы для определения ПМИ вращающихся частей системы «АД – рабочее колесо» ЭТК АВО газа на компьютерной модели в программном комплексе MATLAB/SIMULINK (рисунок 9). Полученные значения ПМИ на компьютерной модели были сравнены (таблица 2) с расчетно-экспериментальными методами и расчетными данными.

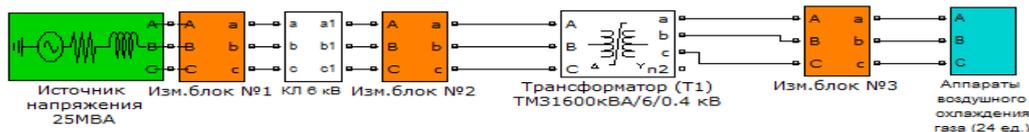


Рисунок 9. Модель ЭТК АВО газа для централизованной СЭС

Таблица 2. Сравнение результатов значения приведенного момента инерции из расчетно-экспериментальных методик с компьютерной моделью

Значение ПМИ, кг·м ²	ВАСО4-37-24	ВАСО16-14-24
Компьютерная модель (а)	47,6	48,1
Графоаналитический метод №1 (b)	46,73	45,11
Графоаналитический метод №2 (b)	44,75	44,79
Расчетные данные (b)	34,72	
Разница (a-b)/a, %	1,83/5,99/27,06	6,21/6,88/27,82

В третьей главе решаются задачи по разработке системы автоматического управления ЭТК АВО газа типа 2АВГ-75С, обеспечивающую повышение эффективности работы в нормальных и аварийных условиях эксплуатации.

В диссертационной работе была разработана трехступенчатая защита от гидратообразования в трубках теплообменного аппарата воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С (рисунок 10), которая включает в себя алгоритм включения вентиляторов и жалюзи в секциях АВО, реверс вентиляторов. Алгоритм включения заключается во включении вентиляторов в следующей последовательности:

$$1_1 \dots N_1 \longrightarrow 1_2 \dots N_2 \longrightarrow 1_3 \dots N_3 \longrightarrow 1_4 \dots N_4, \quad (1)$$

где 1_1 – первый вентилятор первой секции; N_1 – первый вентилятор - N -ной секции.

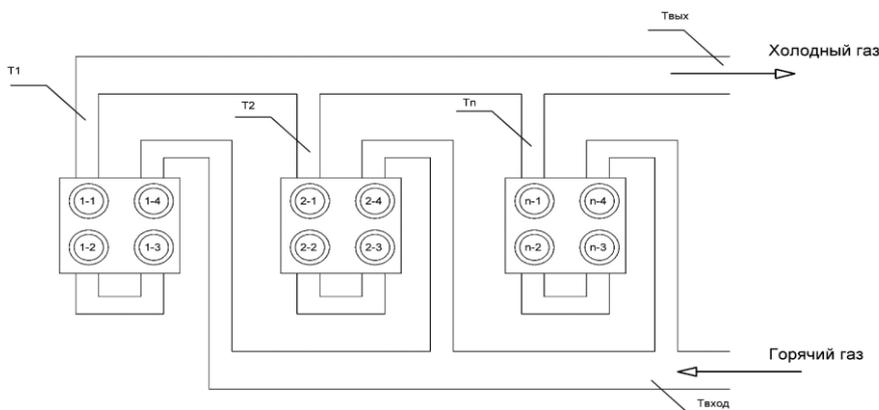


Рисунок 10. Структурная схема АВО газа типа 2АВГ-75С: n-ная секция АВО газа; T_n - температурный датчик на выходе из N-ной секции

Разработан алгоритм для блока автоматического группового пуска вентиляторов АВО газа. Произведено исследование закономерности влияния одиночных (групповых) прямых запусков на перегрузочную способность источника электроэнергии на компьютерной модели в программном комплексе MATLAB/Simulink (рисунок 11) с помощью которого был определен наименьший промежуток времени запуска группы вентиляторов.

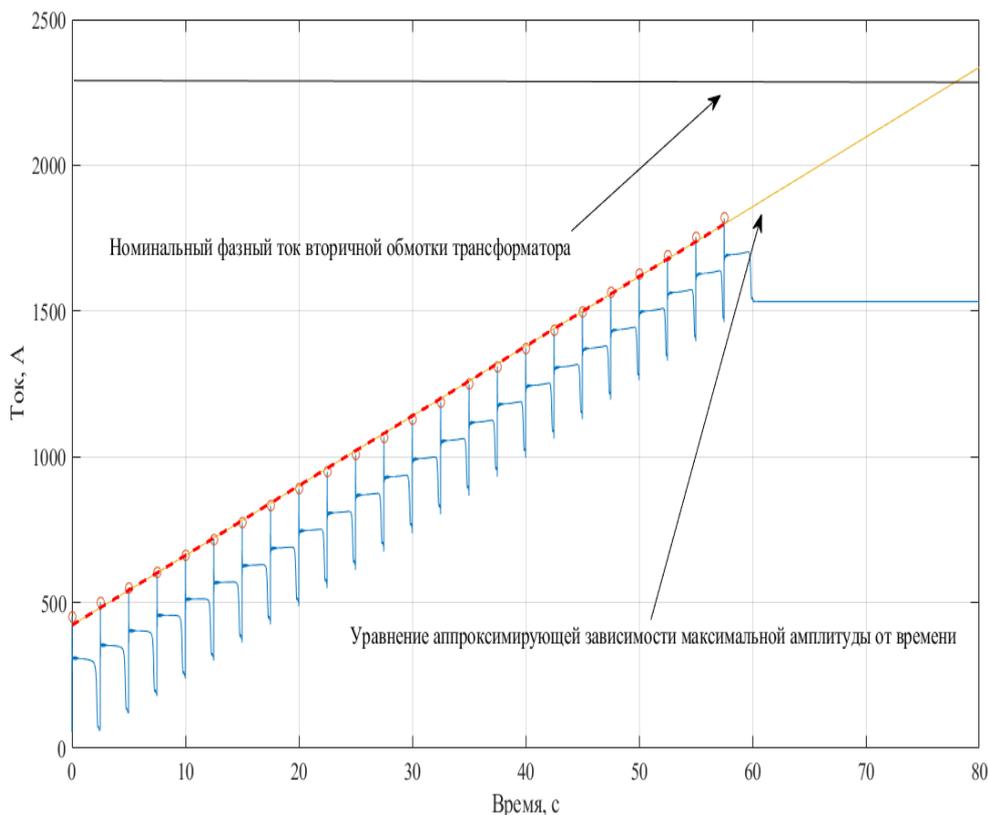


Рисунок 11. Поочередная последовательность включения группы вентиляторов АВО газа (24 ед.) без перегрузки источника питания

Разработаны алгоритмы для систем пуска и функциональные силовые схемы работы вентиляторов АВО газа с использованием преобразователей частоты (ПЧ) и систем плавного пуска (СПП) по схемам: «один ПЧ (СПП) – один вентилятор», «один ПЧ (СПП) – группа вентиляторов», «комбинированный (СПП+ПЧ)» (патент РФ на изобретение № 2807138).

В четвертой главе предложены методические рекомендации по повышению эффективности работы электротехнического комплекса газового промысла с централизованной и автономной СЭС.

Разработан алгоритм и функциональная силовая схема для ЭТК АВО газа с комбинированной системой запуска «СПП + ПЧ» в составе трехуровневой системы САУ. Проведено компьютерное моделирование, где были определены потери в пусковых режимах для системы прямого пуска, с использованием преобразователя частоты и системы плавного пуска (таблица 3).

Решена проблема перегрузки источника питания для электротехнического комплекса теплоснабжения промысла. Были представлены решения на компьютерной модели, которые обеспечили пуск насосов узла подключения теплоносителя без перегрузки источника электроэнергии.

Таблица 3. Таблица результатов моделирования пусков АВО газа с АД серии ВАСО4-37-24

Способ пуска	Время пуска, с	Потери мощности, Вт	Потери мощности, %
Прямая система	2,86	2495,22	6,74
ПЧ	7,46	578,21	1,56
СПП	5,67	593,45	1,6

Даны методические рекомендации по совершенствованию работы существующего ЭТК ГП с автономной системой электроснабжения (ЭТК-1) за счет создания единого комплекса генерации электрической энергии (ЭТК-2). Исследование показало, что внедрение ЭТК-2 позволит: обеспечить снижение перерасхода дизельного топлива (таблица 4), увеличить годовой средневзвешенный коэффициент загрузки, повысить перегрузочную способность ДЭС в переходных режимах за счет подключения дополнительных электростанций.

Таблица 4. Показания ежемесячного и годового расхода дизельного топлива для ЭТК-1 и ЭТК-2, кг

№ ЭТК	1	1	1	2	Разница расхода топлива между ЭТК-2 и ЭТК-1, %
январь	82,04	69,35	78,85	229,75	
февраль	78,44	65,63	75,67	195,55	
март	90,23	69,18	73,44	232,45	
апрель	80,42	65,8	68,13	190,29	
май	85,3	65,46	64,71	191,37	
июнь	60,62	58,52	51,2	144,67	
июль	76,65	38,92	54,24	139,29	
август	81,14	40,15	55,06	146,76	
сентябрь	78,98	59,17	61,53	174,95	
октябрь	81,14	65,46	66,86	189,38	
ноябрь	80,06	68,16	76,23	200,46	
декабрь	84,03	73,1	84,14	240,74	
всего	2508,03			2275,66	9,265

Предложен вариант построения автономной системы электроснабжения для ЭТК АВО газа, которая в настоящее время отсутствует на ГП №1, по схеме ЭТК-2. Решения на компьютерной модели показали, что внедрение ЭТК-2 с алгоритмом группового последовательного запуска в автоматическом режиме позволит сократить общее время запуска по сравнению с ручным пуском, который осуществляет местный оперативный персонал в пределах от 92,67 до 94 % для 24 вентиляторов, и от 92,34 до 93,67 % для 48 вентиляторов АВО газа без перегрузки источника электроэнергии (таблица 5).

Таблица 5. Решения на компьютерной модели при последовательном пуске вентиляторов АВО газа для автономной системы электроснабжения

диспетчерское наименование	кол-во АВО, ед.	уравнение линии тренда	общее время запуска, с
11ТП-2	24	$y = 99.452 * x + 879.022$	18-20
	48	$y = 191.549 * x + 1316.414$	22.5-23
11ТП-21(22)	24	$y = 116.404 * x + 955.2242$	21-22
	48	$y = 213.3704 * x + 1390.404$	20-22
11ТП-23(24)	24	$y = 85.3534 * x + 729.8523$	21-22
	48	$y = 184.151 * x + 1243.089$	19-20

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В представленной диссертационной работе получены следующие основные **выводы и результаты**:

1. Проведен анализ структуры, оценка технико-энергетических параметров и эффективности работы электротехнического комплекса газового промысла №1 ООО «Газпром добыча Ямбург» с централизованной и автономной системой электроснабжения. Установлено, что электротехнический комплекс газового промысла является сложной технической системой с переменной структурой. Выявленные в ходе исследования особенности функционирования и недостатки электротехнического комплекса указывают на наличие резервных возможностей повышения эффективности, что является актуальной задачей.

2. Разработана компьютерная модель электротехнического комплекса газового промысла с централизованной системой электроснабжения. Сравнительный анализ показал сходимость результатов значения времени пуска асинхронного двигателя серии ВАСО16-14-24 (ВАСО4-37-24) со стеклопластиковым рабочим колесом типа ГАЦ-50-4М2 на валу на разработанной компьютерной модели с экспериментальными данными в диапазоне до 6-7%, что говорит о высокой степени достоверности модели к реальному объекту газового промысла.

3. Разработана трехступенчатая защита от гидратообразования в трубках теплообменного аппарата воздушного охлаждения газа типа 2АВГ-75С. Был предложен алгоритм включения каждого вентилятора в секции АВО газа, обеспечивающий снижение гидратообразования за счет увеличения пути прохождения теплого газа через секцию теплообменного аппарата. Разработаны алгоритмы работы исполнительных механизмов (жалюзи), реверса в составе трехуровневой системы автоматического управления.

4. Разработан алгоритм автоматического группового запуска вентиляторов АВО газа без перегрузки источника электроэнергии в автоматическом режиме пуска. Получены аппроксимирующие зависимости для группы вентиляторов АВО газа с помощью, которых был определен наименьший промежуток времени для последовательных пусков без перегрузки источника питания в автоматическом режиме запуска. Результаты моделирования показали, что было сокращено общее время запуска по сравнению с ручным пуском в пределах от 92,67 до 94 % для 24 вентиляторов.

5. Разработан и запатентован алгоритм управления и функциональные

силовые схемы для систем пуска с использованием преобразователей частоты, систем плавного пуска по схемам: «один ПЧ (СПП) – один вентилятор», «один ПЧ (СПП) – группа вентиляторов», «комбинированный (СПП+ПЧ)». Результаты исследования показали практическую значимость и эффективность в производственном процессе, получен акт об использовании объекта патентных прав на ГП №1 ООО «Газпром добыча Ямбург».

6. Разработаны методические рекомендации по совершенствованию эффективности работы электротехнического комплекса с централизованной и автономной системой электроснабжения. Было установлено, что использование комбинированного метода управления для вентиляторов АВО газа дает снижение потерь мощности при пусках по сравнению с прямой системой пуска в диапазоне до 77%. Решена проблема перегрузки источника питания для электротехнического комплекса газового промысла. Были представлены решения на компьютерной модели, которые обеспечили пуск насосов узла подключения теплоносителя с выдержкой времени в диапазоне 5-6 секунд с прямым пуском без перегрузки источника электроэнергии. Была доказана технологическая и экономическая эффективность предложенного способа объединения нескольких отдельных ДЭС в единый центр генерации, который показал увеличение годового средневзвешенного коэффициента загрузки до 23,53 % и снижение расхода дизельного топлива до 9,265 % по сравнению с существующим электротехническим комплексом газового промысла с автономной системой электроснабжения.

Задачи, поставленные в данном диссертационном исследовании, решены в полном объеме. Цель диссертационной работы достигнута.

Рекомендации.

Подходы, используемые в разработанной компьютерной модели электротехнического комплекса газового промысла на основе расчетно-экспериментальных данных в программном комплексе MATLAB/SIMULINK, могут быть использованы для любых асинхронных двигателей серии ВАСО и установленных на их валу рабочих колес.

Перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Тенденциями дальнейшего приоритетного развития результатов диссертационного исследования являются:

- 1) совершенствование методов повышения эффективности электротехнических комплексов и средств оценки технического состояния электрооборудования газового промысла с учетом параметров эксплуатации;
- 2) создание компьютерной модели дизельной электростанции, в которой учитывается расход дизельного топлива в зависимости от параметров загрузки и климатических условий эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованные в ВАК:

1. Масков, Л. Р. Расчетно-экспериментальное исследование инерционных характеристик мехатронных модулей движения аппаратов воздушного охлаждения газа / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Наука и техника в газовой промышленности. – 2023. – № 3(95). – С. 50-59.

2. Масков, Л.Р. Разработка модели электротехнического комплекса для аппаратов воздушного охлаждения газа газового промысла №1 ООО "Газпром добыча Ямбург" с централизованной системой электроснабжения в программе

MATLAB/SIMULINK / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 2. – С. 50-71.

3. Масков, Л.Р. Анализ структуры и энергетических параметров электротехнического комплекса газового промысла №1 ООО "Газпром добыча Ямбург" / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 6. – С. 66-86.

Патент РФ на изобретение:

4. Патент № 2807138 С1 Российская Федерация, МПК F04D 27/00. Система автоматического управления аппаратами воздушного охлаждения природного газа: № 2023111829: заявл. 04.05.2023: опубл. 09.11.2023 / Л.Р. Масков; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Газпром добыча Ямбург".

Публикации в других научных журналах и изданиях:

5. Масков, Л.Р. Методика определения инерционных характеристик мехатронного модуля движения аппарата воздушного охлаждения газа / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: Материалы VIII Национальной научно-практической конференции, Казань, 08–09 декабря 2022 года. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2023. – С. 220-222.

6. Масков, Л.Р. Методика определения инерционных характеристик мехатронного модуля движения аппарата воздушного охлаждения газа / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Российская наука в современном мире: Сборник статей III международной научно-практической конференции, Москва, 28 февраля 2023 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Актуальность. РФ", 2023. – С. 52-53.

7. Масков, Л.Р. Разработка модели электротехнического комплекса для газовых промыслов в программе MATLAB/SIMULINK / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Актуальные проблемы управления в ТЭК - 2022: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 20–21 апреля 2022 года / Редколлегия: В.Я. Афанасьев [и др.]. – Москва: Государственный университет управления, 2022. – С. 117-118.

8. Масков, Л.Р. Разработка модели электротехнического комплекса для газовых промыслов в программе MATLAB/Simulink / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы: национальная (с международным участием) научно-практическая конференция, Казань, 19–20 мая 2022 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 248-251.

9. Масков, Л.Р. Модернизация автономной системы электроснабжения газового промысла № 1 ООО «Газпром добыча Ямбург» / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // SCIENCE AND TECHNOLOGY RESEARCH 2022: сборник статей Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 19 апреля 2022 года. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2022. – С. 23-30.

10. Масков, Л.Р. Модернизация автономной системы электроснабжения газового промысла №1 ООО «Газпром добыча Ямбург» / Л.Р. Масков // Современные проблемы энергетики и пути их решения: Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции, Махачкала, 15–16 декабря 2021 года. – Махачкала: Типография ФОРМАТ, 2021. – С. 124-130.

11. Масков, Л.Р. Анализ электрических потерь в автономной системе электроснабжения газового промысла / Л.Р. Масков, В.Ю. Корнилов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: Сборник научных статей по итогам II международной научной конференции, Казань, 27–28 февраля 2021 года. Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2021. – С. 88-90.

Подписано в печать 22.01.2025.

Формат 60x84^{1/16}. Печать цифровая.

Усл. печ. 1,05 л. Печ. 1,12 л. Тираж 322 экз. Заказ № 13.

420111, Казань, Дзержинского, 9/1. Тел. сот.:8-9172-64-84-83

Отпечатано с готового оригинал-макета
в редакционно-издательском центре «Школа».

E-mail: ric-school@yandex.ru