

О. В. КРЮКОВ, И. В. ГУЛЯЕВ, М. Н. СЫЧЕВ, Н. И. СЫЧЕВ, М. И. ЕРАЗУМОВ



# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ



«Инфра-Инженерия»

С.150 л.дк  
з.12 л.зз  
с.68

# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Монография

Под общей редакцией доктора технических наук О. В. Крюкова  
и доктора технических наук И. В. Гуляева

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2022

УДК 621.3

ББК 31.2

Э65

*Авторы:*

Крюков О. В., Гуляев И. В., Сычев М. Н., Сычев Н. И., Еразумов М. И.

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,  
профессор кафедры электрооборудования, электропривода и автоматики НГТУ  
им. Р. Е. Алексеева *В. Г. Титов*;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электропривода  
Липецкого государственного технического университета *В. Н. Мещеряков*

Э65 **Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования  
компрессорных станций** : монография / [Крюков О. В. и др.] ; под общ.  
ред. д-ра техн. наук О. В. Крюкова и д-ра техн. наук И. В. Гуляева. –  
Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 548 с. : ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0884-4

Рассмотрены особенности функционирования и технологическое оборудование современных компрессорных станций магистрального транспорта газа. Представлены инновационные методы в разработке энергоэффективных систем электроснабжения и автоматизированного электропривода центробежных нагнетателей, аппаратов воздушного охлаждения газа и масла, а также вспомогательного оборудования компрессорных станций. Предложены методы и результаты комплексного проектирования АСУ ТП, включая мониторинг, телемеханику и диспетчеризацию магистрального транспорта газа.

Для специалистов электроэнергетических направлений, занятых в проектировании и эксплуатации оборудования компрессорных станций ЕГС России. Может быть полезно студентам при выполнении курсовых и дипломных проектов, при обучении в магистратуре и аспирантуре по соответствующим направлениям.

УДК 621.3  
ББК 31.2

ISBN 978-5-9729-0884-4

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	5
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ .....</b>	7
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	9

<b>1. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ.....</b>	10
1.1. Современное состояние и перспективы развития электрооборудования компрессорных станций.....	10
1.2. Особенности применения регулируемого электропривода в основном оборудовании компрессорных станций .....	35
1.3. Особенности управления электропотреблением КС в условиях рыночных отношений .....	62
1.4. Электроснабжение линейных потребителей магистральных газопроводов.....	85
1.5. Особенности энергосбережения в электроприводе турбокомпрессоров КС «Карталы» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» .....	100
1.6. Оценка качества проектных решений систем электроснабжения КС ....	118
1.7. Анализ повреждаемости синхронных двигателей ГПА на КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» .....	125
1.8. Система автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей с идентификатором угла нагрузки .....	140
1.9. Проектирование щитового электрооборудования систем электроснабжения и автоматизации объектов МГ «Починки – Грязовец» .....	167
1.10. Анализ эффективности применения систем электромагнитного подвешивания валов электродвигателей и нагнетателей КС .....	176
<b>2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ АГРЕГАТОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ.....</b>	187
2.1. Современный комплекс диагностики коррозионного состояния трубопроводов БИТА-1 .....	187
2.2. Алгоритмическое и программное обеспечение комплекса диагностики трубопроводов БИТА-1 .....	206
2.3. Методы диагностирования оборудования газотранспортной системы на базе граф-моделей.....	214
2.4. Встроенная система мониторинга технического состояния приводных синхронных двигателей ГПА .....	234

2.5. Результаты спектрального мониторинга работы ГПА средствами вибродиагностики ИВ-Д-ПФ с компьютерной обработкой данных .....	245
2.6. Комплексная система диагностирования электроприводных газоперекачивающих агрегатов .....	269
2.7. Опыт проектирования и реализации АСУ электротехнических систем КС на базе сетей <i>Ethernet</i> .....	279
2.8. Принципы инвариантного управления электроприводами газотранспортных систем при случайных возмущениях.....	299
2.9. Расширение функциональных возможностей агрегатов КС средствами мультипроцессорного управления .....	315
2.10. Сравнительный анализ уровня автоматизации электроприводных систем КС.....	339
<b>3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И УСТАНОВКИ ЛПУ МГ .....</b>	<b>356</b>
3.1. Интеллектуализация поддержки принятия решений для предприятий газовой отрасли .....	356
3.2. Учебно-инструментальный комплекс для обучения, тренинга и аттестации оперативно-диспетчерского персонала, обслуживающего магистральные газопроводы .....	371
3.3. Электрооборудование и автоматизация вспомогательных систем охлаждения, водоподачи и канализации КС .....	385
3.4. Разработка и реализация АСУ приточно-вытяжной вентиляции помещений ПЭБов компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» .....	396
3.5. Технико-экономическое обоснование выбора систем электропривода вентиляторов АВО газа на КС «Новоивдельская» ООО «Газпром трансгаз Югорск».....	418
3.6. Нейрокомпьютерные технологии в задачах автоматизированной наладки, регулирования и мониторинга электроприводов КС .....	428
3.7. Компьютерное моделирование процессов в технологических агрегатах компрессорных станций .....	452
3.8. Применение тензорной методологии моделирования электромагнитных процессов в синхронных двигателях большой мощности .....	472
3.9. Разработка лабораторного практикума для изучения НКУ технологических агрегатов компрессорных станций .....	500
3.10. Решение вопросов метрологического обеспечения объектов ПАО «Газпром» при проектировании энергетических объектов .....	523
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>536</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>537</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ

Важнейшим направлением повышения технико-экономической эффективности, экологической безопасности и надёжности функционирования технологических процессов в топливно-энергетическом комплексе является оснащение локальных объектов современным электротехническим оборудованием и интеграция их в АСУ производств. В первую очередь это относится к внедрению автоматизированных систем с частотно-регулируемым электроприводом (АЭП) в технологиях добычи, транспортировки и переработки нефти и газа [1–12].

В настоящее время более 70 % оборудования нефтегазовой промышленности имеет срок службы выше 15 лет, оснащено системами на базе нерегулируемых двигателей, без систем мониторинга, что приводит к перерасходу электроэнергии, вредному воздействию на окружающую среду и исполнительные механизмы, снижая их долговечность. Это привело к устойчивой тенденции увеличения аварийности основного и вспомогательного электрооборудования.

Несмотря на специфику отраслевого применения оборудования топливно-энергетического комплекса, оснащение его автоматизированным электроприводом с преобразователями частоты (ПЧ) и интеграция его в рамках АСУ ТП обеспечивает оптимизацию режимов работы каждого объекта, энерго- и ресурсосбережение, а также их системную безаварийность. Высокая эффективность применения регулируемого АЭП для насосных и вентиляционных установок, работающих с переменными режимами нагрузки, подтверждена многолетним опытом авторов по их проектированию и внедрению в промышленности и на объектах нефтегазовой промышленности [12–23].

Для эффективного транспорта газа необходимо обеспечение требуемой производительности компрессорных станций (КС) в условиях изменяющихся условий подачи и потребления газа. Это необходимо для поддержания оптимального давления в магистральном газопроводе (МГ) и обеспечения надёжной работы газотранспортной системы. Данная задача требует системного, комплексного подхода и включает в себя несколько аспектов: технологический (гарантированное обеспечение транспорта газа в оптимальных режимах в соответствии с непрерывно изменяющимися внешними воздействиями различного характера); экономический (окупаемость затрат на модернизацию системы электроснабжения и оборудования за счёт эффектов строгого соблюдения графика газоподачи, энергосбережения при регулировании и снижения аварийности); надёжность (безаварийность работы каждого элемента силовой схемы нагнетателя и непрерывную диагностику с системой прогнозирования неисправностей); автоматизация (диспетчеризация на уровне КС должна содержать полную информацию о состоянии аппаратов).

Примерами успешной реализации проектов и технических решений с использованием программно-технических средств и систем автоматизации в области АСУТП объектов газовой промышленности, в том числе и объектов магистрального транспорта газа, являются следующие.

- Автоматизированный мягкий запуск и регулирование производительности турбокомпрессоров средствами высоковольтного частотно-регулируемого АЭП по оптимальному закону с функциями мониторинга и прогнозирования отказов.
- Внешнее электроснабжение КС (вводные электросиловые шкафы, агрегатные электрощиты, аппараты ввода резерва и другое оборудование) с дистанционным управлением и мониторингом, обеспечивающее гарантированное питание всех систем, быстрое подключение резервных и аварийных источников электроснабжения.
- Инвариантное управление вентиляторами аппаратов воздушного охлаждения газа, обеспечивающее автоматическую стабилизацию температуры газа на выходе КС в условиях воздействия нескольких метеорологических и технологических возмущений стохастического характера.
- Оптимальное управление вспомогательными системами (насосами собственных нужд и охлаждения агрегатов, штатным и аварийным освещением и т. п.) с мониторингом в рамках АСУ КС.
- Автоматизация систем отопления и вентиляции зданий и помещений производственно-энергетического блока КС, обеспечивающая комфортные климатические условия работы обслуживающему персоналу и оборудованию.

В монографии рассмотрены характерные особенности электроснабжения и силового электрооборудования КС, организация систем технической диагностики и автоматизации, а также вспомогательные системы и установки КС. Большой спектр рассматриваемых проблем обусловил участие в его создании многих ведущих специалистов, долгое время занимающихся отдельными аспектами создания эффективных методов и систем КС.

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам – доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ, профессору кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» НГТУ им. Р. Е. Алексеева В. Г. Титову и доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Электропривод» Липецкого государственного технического университета В. Н. Мещерякову за ценные замечания по редактированию структуры и текста монографии.

Настоящая монография предназначена для специалистов проектных и эксплуатационных подразделений ПАО «Газпром», магистрантов и аспирантов, а также для научных работников в области электрооборудования и электроснабжения объектов компрессорных станций магистральных газопроводов.

*Авторы*

Научное издание

КРЮКОВ Олег Викторович  
ГУЛЯЕВ Игорь Васильевич  
СЫЧЕВ Максим Николаевич  
СЫЧЕВ Николай Иванович  
ЕРАЗУМОВ Максим Иванович



# ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

*Монография*

ISBN 978-5-9729-0884-4

9 785972 908844

Подписано в печать 11.10.2021  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Гарнитура «Таймс».

Издательство «Инфра-Инженерия»  
160011, г. Вологда, ул. Козленская, д. 63  
Тел.: 8 (800) 250-66-01  
E-mail: [booking@infra-e.ru](mailto:booking@infra-e.ru)  
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает  
к сотрудничеству авторов  
научно-технической литературы