

О. В. Крюков, И. В. Гуляев, А. Л. Жеребцов, М. Н. Сычев, Н. И. Сычев

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА ГАЗА



КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Монография

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

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 621.3
ББК 31.2
К65

Авторы:

Крюков О. В., Гуляев И. В., Жеребцов А. Л., Сычев М. Н., Сычев Н. 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*

К65 **Концепция применения электропривода на объектах транспорта газа** : 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, 2023. – 288 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1209-4

Представлена концепция применения современного автоматизированного электропривода в основных технологических установках на линейных компрессорных станциях магистрального транспорта природного газа – газоперекачивающих агрегатах, вентиляторах аппаратов воздушного охлаждения газа и масла, а также для различных насосных установок собственных нужд. Систематизированы инновационные возможности электрического привода по реализации задач повышения энергоэффективности, безопасности и экологичности газотранспортных систем. Приведены примеры алгоритмов и схемных решений по проектированию и комплексной автоматизации компрессорных станций.

Для специалистов электротехнических, электроэнергетических и электромеханических направлений, занятых в проектировании, модернизации и эксплуатации современного оборудования нефтегазопроводов.

УДК 621.3
ББК 31.2

ISBN 978-5-9729-1209-4

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Список принятых сокращений.....	6
Введение	8
Глава 1. Актуальность проблемы.....	10
Глава 2. Современное состояние парка электроприводных ГПА.....	16
2.1. Состав парка ЭГПА.....	16
2.1.1. Распределение ЭГПА по моделям.....	16
2.1.2. Распределение ЭГПА по КС добычи, транспорта и ПХГ ПАО «Газпром».....	17
2.1.3. Распределение ЭГПА в диапазонах наработки с начала эксплуатации.....	24
2.1.4. Распределение ЭГПА по срокам службы	24
2.1.5. Распределение ЦБН по моделям	31
2.1.6. Распределение приводных двигателей по моделям	31
2.2. Распределение ЭГПА по времени эксплуатации.....	33
2.2.1. Распределение относительного времени нахождения ЭГПА в работе.....	33
2.2.2. Распределение относительного времени нахождения ЭГПА в резерве	36
2.2.3. Распределение относительного времени нахождения ЭГПА в ремонте... ..	36
2.2.4. Распределение относительного времени нахождения парка ЭГПА в вынужденном простое.....	41
2.3. Показатели надежности парка ЭГПА.....	44
2.3.1. Средняя наработка на отказ парка ЭГПА.....	44
2.3.2. Средняя наработка на отказ парка ЭГПА по газотранспортным и газодобывающим обществам и обществам подземного хранения газа.....	49
2.3.3. Классификация проявившихся отказов парка ЭГПА.....	49
2.4. Применение регулируемых гидродинамических муфт «Фойт Турбо» в составе регулируемого привода ЭГПА	53
2.5. Динамика изменения коэффициента технического использования Кти.....	56
2.6. Динамика изменения коэффициента готовности Кг парка ЭГПА.....	61
2.7. Динамика изменения коэффициента оперативной готовности Ког парка ЭГПА	61
2.8. Прогнозирование наработки парка ЭГПА.....	68
2.9. Выводы и рекомендации	76
Глава 3. Состояние нормативно-технической базы применения электропривода для ГПА в ГТС	78
Глава 4. Новая техника и технологии электропривода для ГПА. Состав основного оборудования, рекомендуемого к применению при реконструкции, модернизации и новом строительстве КС с ЭГПА.....	80
4.1. Устройства плавного и безопасного пуска приводных электродвигателей ЭГПА	80
4.1.1. Сопоставление технических характеристик высоковольтных МП для ЭГПА.....	80

4.1.2. Основные параметры и конструктивы применения МП ЭГПА.....	91
4.1.3. Техничко-экономические аспекты применения МП.....	94
4.2. Средства регулирования технологических параметров ЭГПА	96
4.2.1. Актуальность и сравнительный анализ способов регулирования производительности ЭГПА	96
4.2.2. Оценка потребности в высоковольтных ЧРП	105
4.2.3. Основные схемные решения и примеры реализации ЧРП	107
4.2.4. Техничко-экономические аспекты применения ЧРП.....	112
4.3. Системы автоматического регулирования возбуждения синхронных электродвигателей.....	123
4.3.1. Актуальность модернизации систем возбуждения СД ЭГПА	123
4.3.2. Направления и технические средства модернизации систем возбуждения СД	124
4.3.3. Законы регулирования тока возбуждения для обеспечения устойчивости СД	126
4.3.4. Цифровые тиристорные возбудители нового поколения	132
4.4. Реализация безмасляных технологий ЭГПА на основе электромагнитного подвеса ротора и валов агрегатов	137
4.4.1. Особенности использования ЭМП для турбоагрегатов и ЭГПА.....	137
4.4.2. Современное состояние развития и внедрения ЭМП.....	139
4.4.3. Особенности применения ЭМП в газокompрессорах.....	141
4.4.4. Оценка эффективности применения ЭМП в ЭГПА КС	143
4.5. Организация встроенных систем мониторинга и прогнозирования технического состояния ЭГПА и ТООР по фактическому состоянию.....	145
4.5.1. Современные методы диагностики технического состояния ЭГПА	145
4.5.2. Анализ отраслевой нормативной документации по мониторингу ЭГПА	152
4.5.3. Статистический анализ повреждаемости СД ЭГПА	155
4.5.4. Техническая реализация ВСМП на СД ЭГПА	166
4.6. Оптимизация выходных технологических параметров газа и согласование механических характеристик МГ, ЦБН и СД.....	175
4.6.1. Актуализация проблемы согласования характеристик системы «трубопровод – ЦБН – электропривод».....	175
4.6.2. Технические характеристики современных ЦБН и их влияние на привод	176
4.6.3. Результаты натурных испытаний ЦБН со сменными проточными частями на электроприводных КС.....	181
4.6.4. Перспективные направления совершенствования ЦБН ЭГПА.....	185
4.7. Координация работы группы ЭГПА на одну магистраль.....	185
4.7.1. Особенности групповой работы ЭГПА в статических и динамических режимах	185
4.7.2. Принципы управления группой ЭГПА.....	188
4.8. Согласование технологических параметров агрегатов в рамках КЦ.....	191

4.8.1. Системный анализ взаимодействия оборудования КЦ как сложной технической системы	191
4.8.2. Анализ функциональных возможностей АВО газа для повышения эффективности ЭГПА	196
4.8.3. Локальные задачи совершенствования АВО газа в рамках модернизации электроприводных КЦ.....	202
4.8.4. Системный экономический подход к процессу охлаждения природного газа при его компримировании.....	206
4.9. Оптимизация и согласование технологических параметров ЛПУ по энергопотреблению соседних КЦ.....	208
4.9.1. Критерии оптимизации режимов и термодинамических параметров газа в рамках ЛПУ	208
4.9.2. Синтез структуры линейных участков и агрегатов компрессорных станций МГ	209
4.9.3. Исследование оптимизированных систем ЛПУ	217
4.9.4. Практическая оценка экономического эффекта оптимизации режимов работы МГ	223
4.10. Повышение надежности электроснабжения с использованием новых средств силовой и микропроцессорной техники	225
4.10.1. Современное состояние систем электроснабжения электроприводных КС	225
4.10.2. Статистические данные по аварийности систем электроснабжения ...	231
4.10.3. Анализ надежности систем электроснабжения и энергооборудования.....	234
4.10.4. Инновационные решения при модернизации систем электроснабжения ЭГПА.....	239
4.11. Возможности значительного снижения экологических нагрузок на окружающую среду	241
4.11.1. Актуальность задач охраны окружающей среды при транспорте газа	241
4.11.2. Тарифные возможности использования электроэнергии АЭС	245
4.11.3. Конкурентоспособность возобновляемых источников энергии в газовой промышленности	248
4.11.4. Перспективы применения ЭГПА в Красноярском крае.....	255
4.12. Реализация малолюдных технологий в электроприводных КС	257
4.12.1. Современные принципы и основные положения по организации малолюдных технологий	257
4.12.2. Реализация основных принципов МТ на базе ЭГПА	259
Глава 5. Информационная программа ЭГПА с БД для ПАО «Газпром»	263
5.1. Общее описание системы ИПЭ ЭГПА с БД.....	263
5.2. Структура и принципы функционирования программы.....	264
5.3. Общая структура системы ИПЭ	266
Заключение	268
Список литературы.....	271

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года одним из главных векторов развития топливно-энергетического комплекса являются инновации и энергоэффективность его развития [1–4]. К важнейшим стратегическим инициативам относятся развитие энергосбережения, надежности и экологичности в газовой отрасли при транспорте газа [5–8]. При этом одним из основных мероприятий является расширение использования электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) как наиболее перспективных систем на объектах реконструкции и нового строительства ПАО «Газпром» [9–14].

В настоящее время в состав Единой системы газоснабжения (ЕСГ) входят 215 линейных компрессорных станций (КС) с общей мощностью газоперекачивающих агрегатов 42 тыс. МВт. На компрессорных станциях ПАО «Газпром» эксплуатируется 695 ЭГПА общей мощностью 5,74 тыс. МВт, что составляет около 14,5 % от общей установленной мощности ГПА [15–18].

История применения электропривода на объектах газовой промышленности насчитывает около 70 лет. Первые электроприводные газоперекачивающие агрегаты 10 ГК были установлены в 1957 году на КС-9 «Щекинская» газопровода «Ставрополь – Москва» [19–21]. Положительный опыт эксплуатации привел к тому, что в конце 1960 года выходит Постановление Правительства о целесообразности широкого внедрения электроприводных газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях строящихся магистральных газопроводов.

К концу 70-х годов парк ЭГПА уже насчитывает 200 электродвигателей общей мощностью 870 МВт. В основном это электроприводные газоперекачивающие агрегаты типа СТД-4000-2 единичной мощностью 4 МВт. В 1976 году на КС «Каракумская» впервые введены в эксплуатацию ЭГПА с электроприводом СТД-12500 [22–25].

Применение ГПА с электроприводом наиболее интенсивно происходит в 80-е годы. В этот период установлено свыше 450 ЭГПА общей мощностью более 4500 МВт. В 1992 году на КС «Путятинская» и КС «Павелецкая» введены в эксплуатацию электроприводные ГПА единичной мощностью 25 МВт производства фирмы «Тесла», Чехия.

Однако с этого времени до 2009 года электроприводные ГПА на объектах транспортировки газа не устанавливались. Сдерживающим фактором развития применения электропривода ГПА являлось [26–30]:

- значительное превышение цены электроэнергии над ценой природного газа (за энергетически эквивалентное количество энергии);
- снижение надежности энергосистемы ввиду материального и морального износа, ограничение пропускной способности электрических сетей;
- резкое снижение капитальных вложений в производство электроприводных ГПА, отсутствие инвестиций в разработку электропривода нового поколения;

- реформирование электроэнергетики и неопределенность в тарифной политике.

В настоящее время электроприводные ГПА эксплуатируются на 15 предприятиях ПАО «Газпром», среди них 12 газотранспортных, использующих электропривод на компрессорных станциях магистральных газопроводов, 1 предприятие подземных хранилищ газа и 2 газодобывающих предприятия, использующих электропривод на дожимных компрессорных станциях. Более 90 % парка ЭГПА имеет срок службы свыше 15 лет, а отдельные агрегаты и КС находятся в эксплуатации свыше 40 лет.

Учитывая вышеизложенное, одной из главных задач является повышение надежности КС с электроприводом, реконструкция или модернизация электроприводных ГПА с учетом внедрения современных технологий и новых технических решений [31–34].

Несмотря на работу, которая ведется в ПАО «Газпром» в области применения ЭГПА, решений научно-технического совета ПАО «Газпром» по вопросам модернизации электропривода на существующих КС и применения ЭГПА на объектах нового строительства, до последнего времени интерес к применению электроприводных ГПА на объектах ПАО «Газпром» оставался низким. В последние годы благодаря либерализации рынка электроэнергии наблюдается относительная стабильность тарифов. Дальнейшее движение к конкурентному рынку будет ограничивать рост цен на электроэнергию для потребителей. За последние 5 лет рост тарифов на природный газ в среднем составил около 20 % в год. По мнению экспертов, этот рост продолжится и, по сути, будет ограничен только уровнем экспортных цен по контрактам ПАО «Газпром». Такое различие в динамике роста цен на природный газ и электроэнергию делает применение ЭГПА экономически выгодным [35–38].

Начиная с 2000 г. ПАО «Газпром» приступило к осуществлению программы модернизации электроприводных компрессорных станций, что позволяет электроприводным цехам, построенным в 70–80-х годах, проработать еще 15–20 лет [39–41].

В настоящей монографии определены основные положения (концепция) по модернизации электроприводных ГПА на существующих объектах и даны рекомендации по применению ЭГПА на объектах нового строительства, что является основой для подготовки программы использования ЭГПА на объектах ПАО «Газпром».

Коллектив авторов выражают искреннюю благодарность рецензентам – заслуженному деятелю науки РФ, профессору кафедры «Электрооборудование, электропривод и автоматика» НГТУ им. Р. Е. Алексеева, профессору, д. т. н. В. Г. Титову и заведующему кафедрой «Автоматизированный электропривод» ЛГТУ (г. Липецк), профессору, д. т. н. В. Н. Мещерякову за ценные замечания по редактированию структуры и текста монографии.

Научное издание

Крюков Олег Викторович
Гуляев Игорь Васильевич
Жеребцов Андрей Леонидович
Сычев Максим Николаевич
Сычев Николай Иванович



КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Монография

ISBN 978-5-9729-1209-4



Подписано в печать 29.08.2022
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
<https://infra-e.ru>

Издательство приглашает
к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы