



**ДИАГНОСТИКА
И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ**

О. В. Крюков,
Н. И. Сычев,
М. Н. Сычев,
В. А. Ипполитов,
С. В. Воробьев

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

Монография

Под общей редакцией доктора технических наук О. В. Крюкова

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 621.3

ББК 31.2

Д44

Авторы:

О. В. Крюков, Н. И. Сычев, М. Н. Сычев, В. А. Ипполитов, С. В. Воробьев

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода ЛГТУ (г. Липецк) *В. Н. Мещеряков*;
доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры электрооборудования, электропривода и автоматики НГТУ им. Р. Е. Алексеева *В. Г. Титов*

Д44 **Диагностика и прогнозирование технического состояния электротехнических систем энергетики** : монография / [О. В. Крюков и др.] ; под общ. ред. д-р техн. наук О. В. Крюкова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 184 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0708-3

Представлены результаты проектирования, разработки и внедрения современного диагностического оборудования для оперативного мониторинга технологических агрегатов энергетики, включая компрессорные станции магистрального транспорта газа. Предложены результаты комплексного исследования аварийности электротехнических систем и перспектив повышения надежности работы оборудования с техническим обслуживанием и ремонтом по фактическому состоянию агрегатов. Приведено теоретическое обоснование инновационных методов прогнозирования технического состояния агрегатов и других технологических установок электроэнергетических систем.

Для специалистов технологических, электроэнергетических и радиотехнических отраслей. Может быть полезно студентам и аспирантам соответствующих направлений.

УДК 621.3

ББК 31.2

ISBN 978-5-9729-0708-3

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Список принятых сокращений.....	5
Предисловие редактора.....	6
Введение.....	8
Глава 1. Особенности компрессорных станций с электроприводными газоперекачивающими агрегатами	11
1.1. Перспективы развития газотранспортных систем России.....	11
1.2. Анализ структур современных компрессорных станций.....	14
1.3. Классификация и особенности работы ГПА на газопроводах.....	22
1.4. Состав парка ЭГПА, его ресурс и требования к электроприводу.....	30
1.4.1. Существующий парк ЭГПА в ПАО «Газпром».....	30
1.4.2. Нарботка и ресурс существующего парка ЭГПА.....	32
1.4.3. Технические требования к ЧРП ЭГПА и САУ.....	35
1.5. Оценка эффективности модернизации ЭГПА.....	39
Выводы.....	44
Глава 2. Встроенная система и лингвистические алгоритмы оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния ЭГПА	46
2.1. Анализ ЭГПА как объектов диагностики и требования нормативно-технической документации ПАО «Газпром».....	46
2.2. Статистический анализ причин повреждаемости ЭГПА.....	51
2.2.1. Общий анализ эксплуатационной надежности ЭГПА.....	51
2.2.2. Влияние нагрева статорных обмоток на ресурс изоляции СД.....	59
2.2.3. Анализ влияния изменений питающего напряжения.....	65
2.2.4. Электродинамические нагрузки в стержнях статора СТД.....	70
2.2.5. Частичные разряды в высоковольтной обмотке СД.....	72
2.3. Математическое описание процедуры диагностирования ЭГПА.....	77
2.3.1. Методологический подход к диагностированию ЭГПА.....	77
2.3.2. Диагностические модели нерегулируемого СД ЭГПА.....	82

2.3.3. Диагностические модели частотно-регулируемого ЭГПА.....	84
2.4. Синтез алгоритмов диагностирования состояния ЭГПА.....	92
2.4.1. Методология систем прогнозирования состояния ЭГПА.....	92
2.4.2. Модели процессов функционирования ЭГПА.....	99
2.4.3. Методология нейронных сетей технического состояния ЭГПА.....	111
2.4.4. Сопоставление результатов с методом временных рядов.....	118
Выводы.....	121
Глава 3. Вопросы практической реализации ЭГПА на компрессорных станциях газопроводов.....	123
3.1. Экспериментальные данные новых энергоэффективных ВСМП.....	123
3.2. Реализации малолюдных технологий мониторинга «on-line» и Ethernet при модернизации ЭГПА.....	134
3.2.1. Примеры реализации технологий мониторинга «on-line» на КС.....	134
3.2.2. Примеры реализации Ethernet-технологий на электроприводных КС.....	143
3.2.3. Примеры реализации технологий магнитного подвеса в ЭГПА.....	146
3.3. Экологические и социальные аспекты внедрения АСУ с ВСМП.....	152
3.3.1. Анализ перспектив развития энергосистем РФ для возможного применения ЭГПА на КС.....	152
3.3.2. Применение новых технических средств повышения надежности центральных сетей, питающих электроприводные КС.....	157
3.4. Экологические и социальные аспекты внедрения ЧРП ЭГПА.....	160
Выводы.....	165
Заключение.....	167
Список литературы.....	170

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Электроэнергетические объекты МГ, включая оборудование КС, линейных участков и вдольтрассовых потребителей, относятся в соответствии с нормативными документами РФ к объектам повышенной опасности (ОПО). Поэтому надёжность их работы является приоритетным фактором обеспечения их функционирования. Этим положением необходимо руководствоваться при комплексном проектировании и эксплуатации объектов топливно-энергетических систем (ТЭК).

По статистике в настоящее время более 70 % оборудования ТЭК имеет срок службы свыше 15 лет, оснащено агрегатами без систем мониторинга, что приводит к повышению уровня опасности их функционирования штатных режимах, вредному воздействию на окружающую среду и исполнительные механизмы, снижая их долговечность. До сих пор масштабных реконструкций и модернизаций по внедрению современных систем оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния объектов ТЭК на уровне локальных объектов и систем не проводилось, что привело к устойчивой тенденции увеличения аварийности основного технологического и вспомогательного электрооборудования.

Несмотря на специфику отраслевого применения систем мониторинга для электроэнергетики, оснащение их высокопроизводительными вычислительно-измерительными комплексами от интеллектуальных датчиков до многоуровневых нейро-нечетких технологий с интеграцией в рамках АСУ КС обеспечивает оптимизацию режимов работы каждого объекта, энерго- и ресурсосбережение, а также их системную безаварийность. Высокая эффективность разработки и внедрения современных встроенных систем мониторинга сегодня уже реальность и подтверждена многолетним опытом авторов по их проектированию, разработке, внедрению и эксплуатации на объектах нефтегазовой отрасли.

Применение высокотехнологичных и адекватных систем прогнозирования остаточного ресурса оборудования выгодна не только технически и экономически, но и несет системный *синергетический* эффект, который заключается в реализации инновационных технологий малолюдного и безлюдного обслуживания цехов и станций, а также в возможности перехода от неэффективных сегодня планово-предупредительных ремонтов к ТОиР по фактическому состоянию локальных объектов и установок.

Примеры успешной реализации проектов и технических решений с использованием программно-технических средств и систем автоматизации мониторинга объектов газовой промышленности всесторонне и достаточно подробно описаны в настоящей книге.

В представленной монографии авторов ООО «ТСН-электро» (г. Нижний Новгород) проведен комплексный анализ теоретических основ, аппаратных и алгоритмических средств для внедрения встроенных систем оперативной диагностики и прогнозирования технического состояния объектов в нефтегазовой отрасли. Систематизация новых аппаратных и алгоритмических возможностей мониторинга технологических установок КС производится адаптировано к конкретным агрегатам с возможностью реализации систем комплексной автоматизации.

Большой спектр рассматриваемых проблем мониторинга оборудования обусловил участие в его создании ведущих специалистов, долгое время занимающихся отдельными аспектами создания эффективных и достоверных диагностических комплексов.

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

Крюков О. В.

Научное издание

*Крюков Олег Викторович,
Сычев Николай Иванович,
Сычев Максим Николаевич,
Ипполитов Владимир Алексеевич,
Воробьев Сергей Владимирович*



**ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ЭНЕРГЕТИКИ**

Монография

ISBN 978-5-9729-0708-3



Подписано в печать 5.02.2021

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

<https://infra-e.ru>

*Издательство приглашает
к сотрудничеству авторов
научно-технической литературы*