

G22.24

К 602

О. А. Коленчуков

Э. А. Петровский

НАДЕЖНОСТЬ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ



Тонкие
Научноёмкие
Технологии

О. А. КОЛЕНЧУКОВ, Э. А. ПЕТРОВСКИЙ

НАДЕЖНОСТЬ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Научная библиотека СФУ



A1454708B

Старый Оскол
ТНТ
2025

УДК 622
ББК 33.36
К602

Авторы:

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский федеральный университет» *О. А. Коленчуков*

доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование нефтегазового комплекса» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский федеральный университет» *Э. А. Петровский*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *И. В. Ковалев*
доктор технических наук, профессор *Е. Д. Агафонов*

К602 Надежность насосного оборудования на основе диагностики и искусственных нейронных сетей : монография / О. А. Коленчуков, Э. А. Петровский. — Старый Оскол : ТНТ, 2025. — 188 с. : ил.
ISBN 978-5-94178-928-3

Насосные агрегаты относятся к наиболее важному оборудованию, обеспечивающему бесперебойность технологических процессов в нефтегазовой отрасли. Оптимизация работы насосных агрегатов является неотъемлемой частью эффективной работы нефтяных компаний. Одним из решений в области оптимизации процессов является автоматизация насосных агрегатов с применением искусственных нейронных сетей, что позволяет сократить затраты на обслуживание оборудования, увеличить его надежность, обеспечить безопасность работников, а также предотвратить возможные аварии. В этой книге читатели могут ознакомиться с основными сведениями про насосные агрегаты для перекачки нефти и нефтепродуктов; обеспечением надежности насосных агрегатов нефтеперекачивающих систем; методами диагностики и мониторинга состояния насосов; современными технологиями, позволяющими повысить надежность насосного оборудования; организацией технического обслуживания и ремонта насосного оборудования, а также практическим примером применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования технического состояния насосного агрегата 2НК-Е200/120-210. В качестве языка программирования использовался Python и библиотека TensorFlow.

Монография может быть полезна специалистам в области предиктивного технического обслуживания насосных агрегатов. Результаты исследований также могут быть интересны тем, кто занимается машинным обучением.

УДК 622
ББК 33.36

ISBN 978-5-94178-928-3

© Коленчуков О. А., Петровский Э. А., 2025

© Оформление. ООО «ТНТ», 2025



Научное издание

**Коленчуков Олег Александрович
Петровский Эдуард Аркадьевич**

НАДЕЖНОСТЬ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ДИАГНОСТИКИ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Монография

*Редактор Л. В. Попова
Корректор О. А. Рыжкова
Компьютерная верстка Е. В. Соболев
Компьютерная графика С. В. Сильман*

Подписано в печать 07.07.2025. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Печать офсетная
Гарнитура SchoolBookCTT. Усл. печ. л. 10,93
Тираж 1000 экз. Заказ № 114

Издательство «Тонкие наукоемкие технологии»
309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-н Макаренко, д. 406
Тел./факс: (4725) 42-35-29, 42-35-39, 32-25-29
E-mail: st_tnt-press@mail.ru
Адрес в Интернете: www.tntpress.ru

Отпечатано в типографии ООО «Тонкие наукоемкие технологии»
309500, Белгородская обл., г. Старый Оскол, м-н Макаренко, д. 406
Тел./факс: (4725) 42-35-29, 42-35-39, 32-25-29

ISBN 978-5-94178-928-3



СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Насосные агрегаты для перекачки нефти и нефтепродуктов	10
1.1 Классификация насосов	10
1.2 Основные группы насосов и их конструктивные особенности	12
1.2.1 Центробежные насосы	12
1.3 Контрольные вопросы по главе	16
2 Обеспечение надежности насосных агрегатов нефтеперекачивающих систем	18
2.1 Основные понятия надежности	18
2.1.1 Единичные показатели надежности	28
2.2 Факторы, влияющие на надежность насосных агрегатов	34
2.2.1 Конструкционные факторы	34
2.2.2 Эксплуатационные факторы	36
2.2.3 Техническое обслуживание	37
2.2.4 Внешние условия	40
2.3 Методы оценки и анализа надежности	42
2.3.1 Статистические методы	42
2.3.2 Методы математического моделирования	44
2.3.3 Диагностические методы	46
2.3.4 Испытания на надежность	49
2.3.4 Испытания на надежность	51
2.4 Контрольные вопросы по главе	53
3 Методы диагностики и мониторинга состояния насосов	55
3.1 Традиционные методы диагностики (вибрационный, акустический, температурный контроль)	55
3.1.1 Вибрационный контроль	56

3.1.2	Акустический контроль.....	
3.1.3	Температурный контроль.....	
3.2	Современные системы мониторинга насосного оборудования	
3.2.1	Принципы работы современных систем мониторинга	
3.2.2	Датчики и оборудование для мониторинга.....	
3.2.3	Цифровая обработка данных и прогнозирование отказов.....	
3.2.4	Примеры внедрения систем мониторинга на промышленн	
	объектах.....	
3.3	Автоматизированные системы контроля технического состояния	
3.3.1	Определение и назначение автоматизированных систем контро	
	
3.3.2	Архитектура и компоненты автоматизированных систем контро	
	
3.3.3	Интеграция автоматизированных систем контроля	
	промышленными системами управления	
3.3.4	Примеры внедрения автоматизированных систем контроля	
3.4	Контрольные вопросы по главе.....	
4	Современные технологии в обеспечении надежности.....	
4.1	Применение цифровых технологий и Интернета вещей (IoT).....	
4.2	Роль машинного обучения в диагностике насосных агрегатов	
4.2.1	Фундаментальные аспекты надежности насосных агрегатов	
	применение машинного обучения.....	
4.2.2	Методы машинного обучения, применяемые в диагностик	
	насосного оборудования.....	
4.2.3	Практическое применение машинного обучения в предиктивн	
	обслуживании насосов.....	
4.2.4	Связь машинного обучения с показателями надежности насосн	
	агрегатов.....	
4.2.5	Ограничения и проблемы внедрения машинного обучения	
	системы надежности насосного оборудования.....	

4.3 Цифровые двойники и предиктивное обслуживание	99
4.3.1 Определение цифровых двойников и их роль в промышленной диагностике	99
4.3.2 Архитектура цифрового двойника насосного агрегата	101
4.3.4 Интеграция цифровых двойников в промышленные системы управления	103
4.3.5 Оценка эффективности цифровых двойников в предиктивном обслуживании	105
4.4 Контрольные вопросы по главе	106
5 Организация технического обслуживания и ремонта насосного оборудования	108
5.1 Виды технического обслуживания: плановое, предиктивное, аварийное	108
5.1.1 Определение и классификация видов технического обслуживания	108
5.1.2 Плановое (регламентное) обслуживание насосного оборудования	110
5.1.3 Предиктивное обслуживание насосного оборудования	112
5.1.4 Аварийное обслуживание насосного оборудования	114
5.1.5 Сравнительный анализ методов технического обслуживания ...	115
5.2 Основные методы ремонта и восстановления насосных агрегатов.....	117
5.2.1 Виды ремонта насосных агрегатов	117
5.2.2 Восстановление изношенных элементов насосов	119
5.2.3 Технологии восстановления геометрии и балансировки.....	120
5.2.4 Современные методы ремонта с применением аддитивных технологий	121
5.3 Оптимизация затрат на обслуживание и ремонт	123
5.3.1 Анализ затрат на техническое обслуживание и ремонт	123
5.3.2 Внедрение цифровых технологий для снижения эксплуатационных затрат	124

5.4 Контрольные вопросы по главе	
6 Практический пример применения современных технологий повыш	
надежности.....	
6.1 Методология	
6.2 Описание наборов данных, поступающих на вход в модели	
6.2.1 Первый этап	
6.2.2. Второй этап.....	
6.3 Оценка точности моделей	
6.4 Результаты практической части	
6.4.1 Первый этап	
6.4.2. Второй этап.....	
6.5 Система предиктивного контроля	
6.5.1 Структура системы предиктивного контроля.....	
6.5.2 Внедрение нейросетевого модуля.....	
6.6 Пример разработки системы прогнозирования технического состоя	
с использованием машинного обучения.....	
6.6.1 Общая характеристика насосного оборудования 2НК-Е200/	
210.....	
6.6.2 Анализ параметров для мониторинга и прогнозирова	
технического состояния.....	
6.6.3 Модернизация системы датчиков оборудования	
6.6.4 Разработка архитектуры системы мониторинга.....	
6.6.5 Разработка и обучение модели машинного обучения.....	
6.6.6 Интеграция модели в систему мониторинга.....	
6.7 Выводы главы	
6.8 Контрольные вопросы по главе	
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности технологического оборудования является из приоритетных направлений в промышленности, особенно в насосном комплексе, где стоимость простоев и аварий может достигать миллионами рублей. Насосные агрегаты занимают ключевое место в технологических цепочках транспортировки и подготовки нефти, и зачастую приводит к существенным сбоям в производственном процессе. Современные подходы к обеспечению надежности выходят за рамки традиционного технического обслуживания и требуют системного применения интеллектуальных технологий, методов анализа данных и учета физических и эксплуатационных характеристик оборудования. Данное учебное пособие посвящено вопросам повышения надежности насосного оборудования за счёт внедрения современных средств диагностики, мониторинга и предиктивной аналитики. В работе изложены теоретические основы надёжности технических систем и то, как они могут быть дополнены и усилены за счёт использования методов машинного обучения, цифровых двойников и систем удалённого мониторинга. Особое внимание уделено систематизации подходов к техническому обслуживанию и ремонту, обоснованию экономической эффективности предиктивных стратегий и конкретным методам повышения надежности насосных агрегатов.

Пособие включает как фундаментальные понятия, касающиеся классификации отказов, расчёта надёжностных показателей и анализа устойчивости, так и прикладные аспекты: схемы организации обслуживания, алгоритмы мониторинга, описание диагностических методов и примеры расчётов. В отдельной главе рассмотрены практические рекомендации по продлению срока службы оборудования, снижению издержек и повышению культуры эксплуатации.

Данное пособие предназначено для студентов технических

направлений, аспирантов, инженеров-механиков и специалистов в области эксплуатации нефтепромыслового оборудования. Материал ориентирован на формирование целостного представления о современных методах повышения надёжности, сочетающих классическую инженерную практику и передовые цифровые технологии.