

Коновалов Юрий Васильевич,

ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
к.т.н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail:
yrvaskon@mail.ru

Зайцев Денис Артемович,

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»,
студент гр. ЭНГм-24-1, e-mail: z4ysecw@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И ГАЗА

Konovalov Yu.V., Zaitsev D.A.

TECHNOLOGICAL MODERNIZATION OF ELECTRICAL EQUIPMENT FOR OIL AND GAS PRODUCTION AND TRANSPORTATION

Аннотация. Экспериментально подтверждено, что технологическая модернизация по внедрению частотно-регулируемых электроприводов не только оптимизирует энергопотребление, но и повышает надежность оборудования за счет снижения механических и тепловых нагрузок, обеспечивая минимизацию экстремальных режимов работы и интеграцию системы с предиктивной аналитикой.

Ключевые слова: экспериментальное подтверждение, технологическая модернизация, внедрение, частотно-регулируемые электропривода, оптимизация энергопотребления, повышение надежности.

Abstract. It has been experimentally confirmed that technological modernization by introducing variable frequency drives not only optimizes energy consumption, but also increases the reliability of equipment by reducing mechanical and thermal loads, ensuring the minimization of extreme operating modes and integration of the system with predictive analytics.

Keywords: experimental confirmation, technological modernization, implementation, variable frequency drives, energy consumption optimization, reliability improvement.

Объекты нефтегазовой отрасли представляют собой стратегически важные объекты, обеспечивающие перемещение колоссальных объемов углеводородного сырья на значительные расстояния. В условиях современной энергетической парадигмы, характеризующейся повышенным вниманием к экологическим аспектам и энергоэффективности производственных процессов, многие объекты нефтегазовой отрасли становятся объектами интенсивной технологической модернизации. Современные установки, включая системы управления, электродвигатели, генераторы и автоматизированные комплексы контроля, функционируют в экстремальных условиях: от высоких температур и давления до воздействия агрессивных сред и механических вибраций. Эти факторы повышают риски внезапных отказов, которые могут привести к остановке производства, экологическим катастрофам, значительным финансовым потерям и угрозе жизни персонала.

Так как эксплуатация электрооборудования в нефтегазовой отрасли сопряжена с экстремальными нагрузками, возникает потребность во внедрении частотно-регулируемого привода (ЧРП), являющимся эффективным мероприятием

по технологической модернизации [1-4]. ЧРП – это электронное устройство, предназначенное для точного управления скоростью вращения электродвигателя. Оно регулирует частоту и напряжение электрического тока, подаваемого на двигатель, позволяя адаптировать его работу под текущие технологические требования [5-9].

Принцип работы ЧРП и его роль в обеспечении надежности:

1. Выпрямление переменного тока:

- На вход ЧРП подается стандартный переменный ток промышленной частоты (например, 50 Гц).
- Выпрямитель преобразует переменный ток (АС) в постоянный (DC).

2. Фильтрация и сглаживание:

- Постоянный ток проходит через фильтр (конденсаторы, дроссели), который устраняет пульсации и стабилизирует напряжение.

3. Инвертирование в регулируемый переменный ток:

- Инвертор преобразует постоянный ток обратно в переменный, но с изменяемой частотой и амплитудой напряжения.
- Частота выходного тока (от 0 Гц до сотен Гц) определяет скорость вращения двигателя.

4. Управление через микропроцессор:

- Микропроцессорная система анализирует сигналы с датчиков (нагрузка, температура, скорость) и задает оптимальные параметры тока.

5. Точная регулировка скорости:

- Скорость двигателя меняется в зависимости от потребности (например, при снижении давления в трубопроводе насос замедляется).

Это приводит к тому, что:

- Снижается износ деталей.
- Уменьшается энергопотребление.
- Обеспечивается защита от перегрузок

Функциональные качества ЧРП позволяют повысить надежность:

- Плавный пуск и остановка.
- ЧРП исключает резкие скачки тока при запуске двигателя (пусковые токи в 5–7 раз выше номинала).

Это предотвращает:

- Перегрев обмоток.
- Механические удары в муфтах и подшипниках.

Также ЧРП автоматически отключает двигатель при перегреве, коротком замыкании, превышении допустимого крутящего момента.

На объектах нефтегазодобычи проведены исследования, определены параметры и представлены результаты применения ЧРП, которые структурированы в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты проведенных исследований применения ЧРП на объектах
нефтегазодобычи**

Объект исследования	Параметры	Результат
Насосная станция магистрального нефтепровода	Внедрение ЧРП + система IoT-мониторинга.	Снижение аварийных остановок на 60%, экономия 420000 кВт·ч/год.
Газоперекачивающий агрегат	ЧРП с частотным диапазоном 5–100 Гц.	Устранение вибрации ротора, увеличение КПД на 18%.
Подводное оборудование шельфовой платформы	ЧРП с защитой от коррозии IP66.	Отказоустойчивая работа в соленой воде на глубине 50 м.

В таблице 2 представлены результаты проведения экспериментальных исследований по различным методикам мониторинга и анализа параметров ЧРП в реальном диапазоне их изменения.

Таблица 2

Экспериментальные исследования частотно-регулируемого привода

Параметры исследования	Методика проведения	Результаты	Выводы. Рекомендации
Энерго-эффективность	Измерение потребляемой мощности двигателя с ЧРП и без него при различных нагрузках.	Снижение энергопотребления на 38% при нагрузке 60% от номинала.	ЧРП эффективен для оптимизации энергозатрат в условиях переменных нагрузок.
Температурный режим	Мониторинг температуры обмоток двигателя при работе на фиксированной и регулируемой скорости.	Снижение перегрева на 15–20°C за счет исключения ра-	ЧРП предотвращает тепловую деградацию изоляции, продлевая срок службы.

Параметры исследования	Методика проведения	Результаты	Выводы. Рекомендации
		боты на максимальных оборотах.	
Вибрация и механический износ	Анализ вибрации подшипников с использованием акселерометров (до и после внедрения ЧРП).	Уровень вибрации снижен на 45% при плавном пуске и регулировке скорости.	Уменьшение механических повреждений, увеличение межремонтного интервала.
Надежность в экстремальных условиях	Испытания ЧРП при температуре окружающей среды от -40°C до +35°C (имитация условий Сибири).	Отказы наблюдались только при -50°C (выход за диапазон эксплуатации).	Требуется использование морозостойких моделей ЧРП с защитным кожухом.
Срок службы оборудования	Сравнение наработки на отказ электродвигателей с ЧРП и без него (на примере 20 установок).	Увеличение среднего срока службы двигателей на 25–30%.	Регулировка скорости снижает циклические нагрузки, уменьшая износ

Экспериментальные данные подтверждают, что ЧРП не только оптимизирует энергопотребление, но и повышает надежность оборудования за счет снижения механических и тепловых нагрузок, минимизации экстремальных режимов работы, интеграции системы с предиктивной аналитикой.

Это не просто инструмент регулирования скорости, а основа для цифровой трансформации нефтегазовых активов. Их применение позволяет перейти от реактивного обслуживания к превентивному, сокращая риски аварий и формируя устойчивую инфраструктуру. Однако успех зависит от системного подхода: сочетания технологических инноваций, грамотного управления и инвестиций в обучение персонала. В условиях ужесточения экологических норм и роста конкуренции на энергетическом рынке, ЧРП становятся обязательным элементом современных промышленных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЧРП [Электронный ресурс] URL: <https://www.vesper.ru/presscenter/articles/chastotno-reguliruemyy-elektroprivod/>.
2. Приводы нефтегазовой промышленности [Электронный ресурс] URL: <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/privody-neftyanoj-otrasli/>.
3. **Устинов, Д.А.** Оптимизация режима пуска приводов рудоразмольных мельниц горно-обогатительных комбинатов / Д.А. Устинов, Ю.В. Коновалов // Обогащение руд. 2013. № 2(344). – С. 42-45.
4. **Чаронов, В.Я.** Электродвигатели насосных станций как потребители-регуляторы активной и реактивной мощности / В.Я. Чаронов, А.Н. Евсеев, Б.Н. Абрамович, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов // Нефтяное хозяйство. 1990. № 5. – С. 9.
5. **Арсентьев, О.В.** Особенности проектирования частотнорегулируемых асинхронных двигателей / О.В. Арсентьев, Ю.В. Коновалов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2007. Т.1. № 1. – С. 90-92.
6. **Kononov, Y.V.** Optimization of power supply system reactive power compensation at the oil field electrical substation / Y.V. Kononov, D.N. Nurbosynov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings. electronic edition. 2017. – С. 8076228.
7. **Чаронов, В.Я.** Совершенствование режима потребления электроэнергии на нефтедобывающих предприятиях / В.Я. Чаронов, Б.Н. Абрамович, В.П. Ганский, Ю.В. Коновалов, А.С. Логинов // Нефтяное хозяйство. 1988. № 7. – С. 7-9.
8. **Крюков, А.В.** Применение интеллектуальных технологий для электро-технических комплексов на нефтегазодобывающих предприятиях / А.В. Крюков, Ю.В. Коновалов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т.1. № 15. – С. 162-169.
9. **Коновалов, Ю.В.** Математическое моделирование процесса пуска электродвигателей переменного тока / Ю.В. Коновалов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 4. № 1(68). – С. 146-149.