

## ДИАГНОСТИКА ПОГРУЖНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

*Иванов С.С.*

*Санкт-Петербургский горный университет*

**Введение.** Установки погружных электроцентробежных насосов (УЭЦН) занимают центральное место среди сложных и энергоемких технических объектов нефтегазового комплекса и применяются для извлечения продукции нефтяных скважин. Отказы в режимах функционирования УЭЦН являются основной причиной незапланированных внутрисменных простоев добывающего фонда скважин, что приводит к значительным материальным потерям.

В настоящее время качество и оперативность принимаемого диагностического решения о состоянии УЭЦН, учитывая большую номенклатуру анализируемых параметров и огромные объемы анализируемой информации о режимах функционирования погружных электроцентробежных насосов, недостаточно велики, что повышает вероятность ошибки оценки его состояния и непринятия оператором соответствующего оперативного решения.

В этой связи актуальной выступает задача разработки новых эффективных методов диагностики состояния УЭЦН нефтедобывающих скважин.

**Цель работы.** Разработка системы оперативной диагностики частотно-регулируемых электроприводов погружных центробежных насосов.

На начальном этапе исследований были изучены текущие способы диагностики УЭЦН, рассмотрены существующие проблемы их диагностирования. Вследствие чего выявлен ряд основных типовых неисправностей УЭЦН, – механические неисправности, такие как: износ подшипников, защитных втулок вала и ступиц направляющих аппаратов, расцентровка и дисбаланс валов, из-за чего происходит пробой статора нижнего или верхнего оснований. Все это приводит к неисправностям электромагнитного характера: эксцентриситет ротора, ослабление прессы пакетов стали, обрыв провода или замыкания в обмотке статора и др., влекущие за собой изменение потребляемого тока.

На основании этих данных были поставлены и решены следующие научно-технические задачи:

– проведен сравнительный анализ существующих способов диагностики погружных центробежных насосов;

– выявлены зависимости между наличием характерных гармоник и соответствующими дефектами погружных центробежных насосов на основе проведения вычислительных и натурных экспериментов;

– на основе полученных зависимостей разработана методика диагностики УЭЦН.

Выделяют следующие стратегии обслуживания погружных центробежных насосов:

– по срокам планово-предупредительных ремонтов или по отказам оборудования, что экономически неоправданно и является основной причиной простоя производства;

– ТОиР «по состоянию», путем применения метода распознавания фактического технического состояния оборудования по совокупности диагностических характеристик, выявления имеющихся или развивающихся дефектов и определения оптимальных сроков проведения ремонтных работ.

Мониторинг состояния и техническое диагностирование неисправностей УЭЦН подразумевает оценку теплового состояния оборудования (термодиагностика), измерения вибрации оборудования (вибродиагностика), моделирование и др. [1].

Термодиагностика основана на том, что в месте проявления дефекта электротехнического оборудования повышается температура и, как следствие, повышается интенсивность инфракрасного излучения, которая регистрируется приборами тепловидения.

Моделирование, включающее этап разработки компьютерной модели погружного электроцентробежного насоса, соединенного с двигателем с помощью датчиков. Дает возможность измерить множество рабочих сигналов насоса, которые применяются для решения уравнения состояния во времени. Данный метод реализуется только с непосредственным до-

ступом к электродвигателю и насосу, то есть не обеспечивает дистанционного диагностирования; невысокая точность; сложность необходимых измерений, что иллюстрирует его невозможность применения для диагностики [2].

Вибродиагностика, при которой регистрируют и анализируют сигналы, порождаемые вибрацией электродвигателя. По полученным данным анализируют форму и амплитуду полученного сигнала и, сравнивая с предельными значениями, оценивают возможность дальнейшей эксплуатации агрегата. Однако требуется установка дополнительных датчиков вибрации на корпусе насоса, и дополнительной линии связи для передачи информации о вибрации насоса, что снижает надежность работы всей диагностической системы, и повышает ее стоимость, ограничивая возможность применения данного метода [1].

Однако подобные методы диагностики применимы далеко не во всех ситуациях, и не дают возможности определить точную причину зарождения процесса неисправности. Диагностику всех приведенных выше видов неисправностей можно точно и своевременно осуществлять на основе спектрального анализа тока статора.

Несмотря на то, что предлагаемый метод спектральной диагностики по электрическим параметрам широко используется во многих отраслях промышленности, в нефтедобыче этому вопросу уделяется мало внимания.

Для выявления зависимостей спектрального состава тока электродвигателя и соответствующих видов неисправностей насоса была разработана математическую модель УЭЦН, включающая модели преобразователя частоты, погружного АД, центробежного насоса и гидравлической системы (нагрузки). Динамические переменные моделей составных частей погружного центробежного насоса находятся в глубокой взаимосвязи между собой и оказывают взаимовлияние друг на друга. Кроме того, УЭЦН имеет развитые механическую и гидравлическую подсистемы, которые значительно влияют на динамику всего комплекса [3].

При проведении исследований диагностировался режим работы УЭЦН с обрывом и замыкание фазы статора АД. На рис. 1 представлен спектр тока двигателя в нормальном режиме и при обрыве одной из фаз. На рис. 2 представлен спектр тока при работе в нормальном режиме и при перекосе одной из фаз.

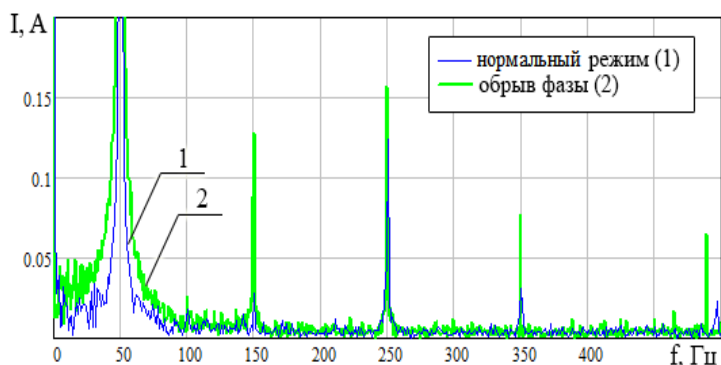


Рисунок 1 – Спектры тока двигателя при работе в нормальном режиме и при обрыве одной из фаз

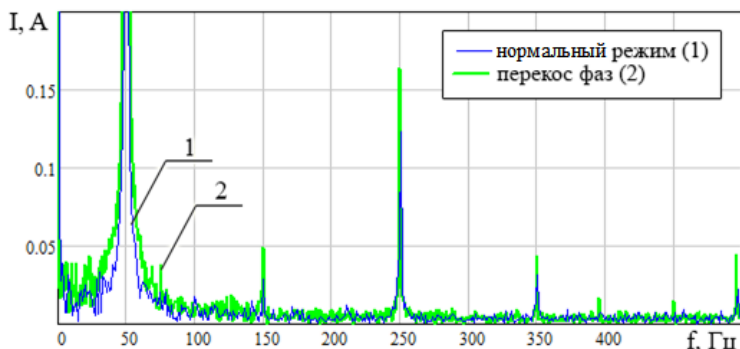


Рисунок 2 – Спектры тока двигателя при работе в нормальном режиме и при перекосе одной из фаз

Анализ полученных графиков на рис. 1 выявил, что обрыв фазы АД приводит к росту гармоник №3 (3 дБ), №5 (1 дБ), №7 (1,7 дБ), а также к появлению пика в районе 490 Гц. Сравнение спектрограмм на рис. 2 выявило, что при перекосе фаз присутствует рост гармоник №3 (1,6 дБ), №5 (1,3 дБ), №7 (1,6 дБ).

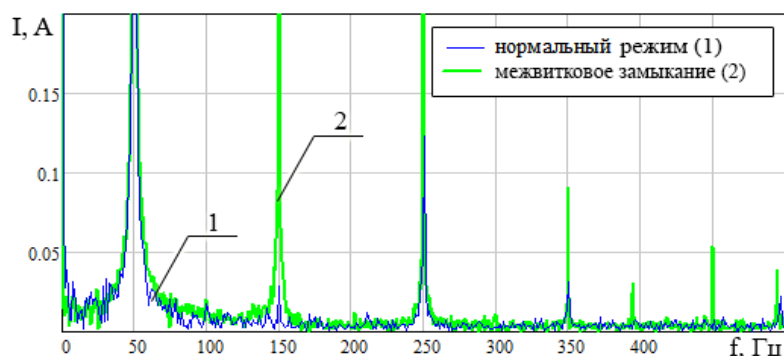


Рисунок 3 – Спектры тока двигателя при его работе в нормальном режиме и при межвитковом замыкании одной из фаз

При межвитковом замыкании (рис. 3) гармоника №3 выросла более чем на 4 дБ. Также резко проявились остальные нечетные гармоники: №5 (1,5 дБ), №7 (2 дБ), №9 (10 дБ). В спектре дополнительно наблюдается проявление 8-ой (400 Гц) и 10-ой (490 Гц) гармоник.

В ходе экспериментальных исследований получены спектрограммы токов при нормальном режиме работы (рис. 4), а также при износе радиальных подшипников (рис. 5).

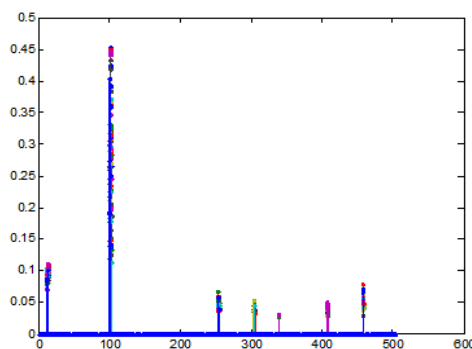


Рисунок 4 – Спектральный состав тока исправной установки

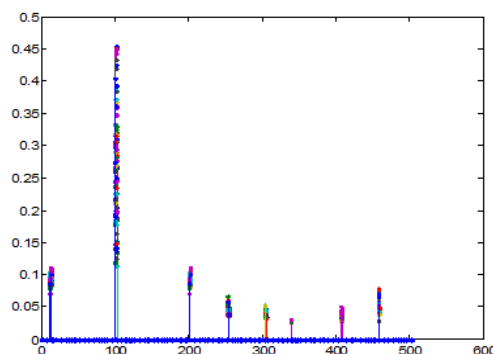


Рисунок 5 – Спектральный состав тока при износе радиальных подшипников насоса

Анализ полученных данных позволил сделать вывод, что износ радиальных подшипников насоса ведет к возникновению дополнительной гармоники на частоте 200 Гц, которая в два раза превышает частоту вращения вала электродвигателя насоса.

**Вывод.** Проведенный сравнительный анализ существующих способов диагностики УЭЦН, показал, что наиболее достоверным способом диагностики является метод на основе

спектрального анализа тока статора. Определены зависимости между наличием характерных гармоник и определенными видами неисправностей УЭЦН. Результаты экспериментов для одного и того же режима отличаются не более чем на 5%. Анализ полученных спектров показал различия между режимами работы АД, что позволяет диагностировать на начальных стадиях появление неисправности в работе УЭЦН.

#### Список использованных источников

1. John Chiasson. Modelling and high-performance control of electric machines. – NJ.: John Wiley & Sons, 2005. – 734 p.
2. Петухов В.С. Диагностика электродвигателей / В.С. Петухов // Новости электротехники. – 2008. – №1(49). – С. 11-19.
- 3 Чертов Р.А. Математическое моделирование электротехнического комплекса установки электроцентробежных насосов: дис., канд. техн. наук / Р.А. Чертов. – М.: 2006. – 136с.

УДК 621.867.212.7

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО СО ДНА ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ

*Изюмова Е.А.*

*Научный руководитель: Труфанова И.С., к.т.н.  
Санкт-Петербургский горный университет*

Важным залогом обеспечения устойчивого функционирования и развития горнодобывающего предприятия служит стабильная и эффективная система транспортировки минерального сырья. В составе полных затрат по добыче и переработке полезного ископаемого, затраты на транспорт являются одной из наиболее существенных составляющих. Так на открытых горных работах затраты на транспорт могут достигать до 40–50% в себестоимости добычи полезного ископаемого. Такая существенная роль доказывает необходимость обоснования использования наиболее эффективной системы транспортирования.

В своей работе я рассмотрела два способа повышения эффективности транспортирования полезного ископаемого со дна глубоких карьеров:

1. с использованием комбинированных транспортных систем;
2. с использованием крутонаклонных конвейеров.

**I. С использованием комбинированных транспортных систем.** Комбинированный транспорт предполагает участие в одном грузопотоке от забоя до пункта конечной разгрузки не менее двух видов карьерного транспорта. Применение комбинированного транспорта позволяет снизить затраты на транспортирование горной массы, улучшить технико-экономические показатели смежных производственных процессов, перераспределить во времени объемы горных работ и т.д.

Уменьшение общих затрат на перевозки при расстоянии между перегрузочным и разгрузочным пунктами более 3-3,5 км может быть достигнуто комбинацией автомобильного и железнодорожного транспорта. При комбинированном использовании этих видов транспорта улучшаются условия эксплуатации железнодорожного транспорта, который в этом случае работает в основном на постоянных путях с большой скоростью движения. Время погрузки составов и обмена поездов на перегрузочном пункте меньше, чем в забое, ввиду близкого расположения погрузочного и обменного пунктов.

Сокращение длины подъема (спуска) горной массы из карьера достигается применением конвейеров или специальных видов транспорта: канатных подъемников, гравитационного, гидравлического транспорта, канатно-подвесных дорог и др., выполняющих функции только второго или третьего звеньев.

Конвейерные подъемники, используемые в комбинации с автомобильным или железнодорожным транспортом для перемещения взорванных пород, отличаются от наклонных конвейеров, предназначенных для транспортирования таких пород, наличием перегрузочных пунктов.