Интеллектуализированная информационно-измерительная система для диагностики состояния скважинной штанговой насосной установки

В.Х. Ясовеев
Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: yasov@mail.ru

А.О. Тимофеев
Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: aleck07@mail.ru

Аннотация[1]

В статье рассматривается разработка обобщенного метода диагностики предаварийного состояния скважинной штанговой насосной установки, на основе которого создана система диагностики.

1. Введение

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений в области автоматизации нефтедобычи является разработка методов повышения эффективности скважины. Это направление призвано решить множество комплексных задач нефтедобывающей отрасли, таких как повышение удельной энергоэффективности нефтедобычи, увеличение периода межремонтного интервала и др. Одним из путей повышения эффективности является выявление предаварийного состояния оборудования скважины.

Для низкодебитных скважин, которые составляют большинство эксплуатируемых на данный момент скважин в мире, характерна добыча нефти при помощи скважинных штанговых насосных установок (СШНУ). Для диагностики предаварийного состояния оборудования СШНУ используются несколько различных независимых способов: динамометрирование, ваттметрирование, барографирование.

Одним из наиболее информативных методов диагностики оборудования СШНУ является динамометрирование.

2. Избирательность методов диагностики

Известно [2], что чувствительность, точность и надежность датчиков, измеряющих значения силу на штанговом подвесе значительно ниже по сравнению с теми, которые осуществляют измерения потребляемой мощности электродвигателя. Кроме того, монтаж, установка и дальнейшая эксплуатация датчиков силы требуют дополнительных затрат. Ремонт датчиков приводит к принудительной остановке насосной установки. Таким образом, каждый из вышеперечисленных способов позволяет выявить начало появления необратимых процессов, при которых оборудование СШНУ подвергается повышенному износу или выходит из строя. Например, неисправному состоянию СШНУ "высокая посадка плунжера" соответствует следующий признак - отклонение наибольшего значения нагрузки в окрестности верхнего положения штока от нагрузки в точке С для теоретической динамограммы (Рисунок 1). Данное отклонение определяется высотой теоретической динамограммы и ограничивается диапазоном значений от 0,2 до 1. По значениям признаков, не являющимися характерными для какой-либо из полученных динамограмм, диагностика не проводится. Такие признаки принимаются равными нулю [1].

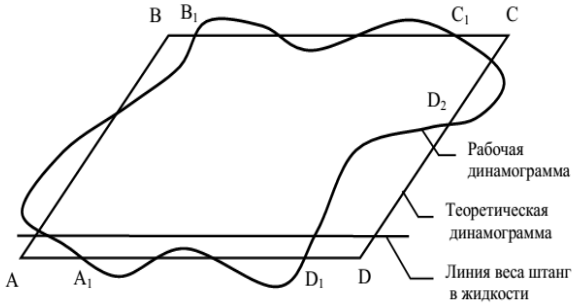

Рис. 1. Способ определения неисправностей СШНУ по динамограмме

Таким образом, для измеренной динамограммы могут быть рассчитаны значения типовых признаков с учетом их отклонений, на основании которых можно сравнить теоретическую динамограмму с измеренной, что позволяет судить об наличии той или иной неисправности в подземном оборудовании СШНУ.

Кроме динамометрирования, в промышленной автоматизации применяются и другие способы выявления аварийных режимов работы оборудования СШНУ [3]. Так, существуют промышленные контроллеры, которые могут определять перегрузку по току, отклонение частоты и напряжения питания от нормы, перекос фаз, коэффициенты гармоник и др. Существенным недостатком применения данных

[1] **Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014**

способов диагностики оборудования СШНУ является избирательность самих методов, а также отсутствие универсального способа диагностики.

В таблице 1 приведены виды неисправностей и способы диагностики, которые позволяют выявить данные неисправности (Д – динамометрирование, В – ваттметрирование, Б – барографирование).

Таблица 1. Способы диагностики оборудования СШНУ

Вид неисправности	Д	В	Б
Прихват плунжера	+	+	-
Отложение парафина	+	-	-
Обрыв штанг/фонтанирование	+	-	+
Заедание плунжера	+	+	-
Выход плунжера из насоса	+	-	-
Высокая посадка плунжера	+	-	-
Низкая посадка плунжера	+	-	-
Обрыв и проскальзывание ремней	-	+	+
Разбаланс противовесов	-	+	+

Как видно из таблицы 1, не существует универсального метода диагностики, позволяющего выявить все неисправности оборудования СШНУ. Это может быть связано с тем, что на сегодняшний момент отсутствует математическая модель скважины, оборудованной СШНУ, достоверно и полно описывающая все процессы, происходящие при нефтедобыче.

3. Получение обобщенного метода

Одним из решений возникшей проблемы является комплексное использование данных методов с применением нечеткой логики. Техническая реализация данного решения может быть представлена в виде нейронной сети [4].

Простейшей единицей нейронной сети является нейрон, структура которого показана на рисунке 2. Функция, реализуемая нейроном, зависит от величины входного сигнала X и веса синапсаW. В данном случае входными сигналами X_i являются сигналы неисправностей, поступающие с датчиков СШНУ, а вес синапса определяется диапазоном относительных отклонений заданных значений от критических. Под сигналом неисправности в данном случае понимается значение измеренного параметра, выходящее за допустимые пределы нормального функционирования оборудования СШНУ.

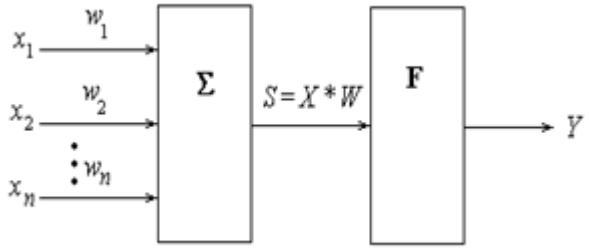

Рис. 2 .Структура нейронного элемента.

Таким образом, нейронная сеть, получающая на входе сигналы неисправности, после их прохода по нейронам может выдавать результат, зависящий от весовых коэффициентов всех нейронов. Если S_0 – смещение (порог) нейронного элемента, характеризующее смещение функции активации по оси абсцисс, тогда взвешенная сумма будет определяться из следующего выражения:

$$S = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i - S_0 \qquad (1),$$

где w_i– веса связи, x_i– входной вектор;

При этом необходимо проводить обучение нейронной сети, то есть настраивание весовых коэффициентов на то, чтобы входному сигналу, однозначно свидетельствующем о неисправности оборудования соответствовал выходной сигнал отказа этого оборудования. Такая настройка должна позволить избежать ложных срабатываний или нечувствительности к отказам. Обучающая выборка для полученной нейронной сети должна представлять собой набор, состоящий из строк с обучающими примерами. Эти обучающие примеры могут быть получены либо при помощи экспериментальных данных, либо при помощи обслуживающего персонала при пуско-наладочных работах. Для упрощения задачи мы будем рассматривать нейронную сеть без учителя.

В таблице 2 приведено распределение весов синапсов датчиков в соответствии с распределением относительных отклонений заданных значений от критических.

Таблица 2. Веса синапсов нейронов

Вид неисправности	Д	В	Б
Прихват плунжера	0,23	0,41	
Отложение парафина	0,74		
Обрыв штанг/фонтанирование	0,46		0,13
Заедание плунжера	0,81	0,19	
Выход плунжера из насоса	0,19		
Высокая посадка плунжера	0,54		
Низкая посадка плунжера	0,33		
Обрыв и проскальзывание ремней		0,57	0,09
Разбаланс противовесов	0,45	0,41	0,12

Веса синапсов отражают значимость обнаружения аварийной ситуации. Данная значимость получена на основе анализа надежности нефтедобывающего оборудования [5].

Для повышения точности определения аварийного состояния оборудования была применена предварительная аппроксимация сигналов с датчиков усеченным рядом Фурье. Применяемые алгоритмы сравнения с эталоном основаны на логических признаках сравнения максимальных величин. Если каждая сравниваемая величина принадлежит допустимому диапазону значений, то считается, что система функционирует нормально и сигнал неисправности не возникает.

Существуют также другие методики определения неисправностей оборудования – это так называемые методики классификации. Характерным примером данной методики может служить методика Белова-Гилаева по определению динамограмм. Данная методика использует выделенные на практической динамограмме релевантные точки. Метод предполагает определение неисправности, исходя из физических законов получения динамограммы неисправного насоса. Данный метод базируется на сопоставлении фактической и наиболее близкой к ней теоретической динамограмме, взятой из набора типовых карт. Примеры типовых карт изображены на рисунке 3.

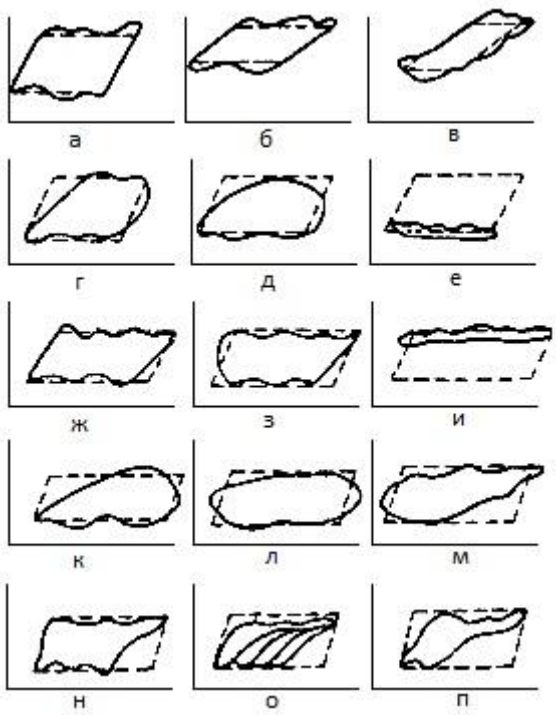

Рис. 3. Типовые карты динамограмм определения неисправностей

Каждое отклонение фактической динамограммы от теоретической является признаком неисправности в работе насоса. Более подробное описание методики визуального сравнения динамограмм приведено в работах Белова И.Г. и Гилаева Г.Г. [6]. Основой данного алгоритма является руководство Белова И.Г. по расшифровке динамограмм. На основе данной методики определяется от пяти до семи наиболее характерных точек динамограммы, по значениям которых указываются последовательности арифметических операций, по результатам которых делается заключение о правильности функционирования насоса. Координаты характерных точек определяются при совмещении теоретической динамограммы с практической динамограммой.

Методики определения неисправности оборудования на основе анализа ваттметрограмм заключаются в получении из измеренных значений тока и напряжения дополнительных информационных параметров (активной, реактивной и полной мощности, коэффициента мощности и др.), на основании которых можно оценить сбалансированность станка-качалки, коэффициент полезного действия (КПД) СШНУ, а также диагностировать дефекты электродвигателя СШНУ.

Применительно к методике барографирования известны способы определения состояния оборудования СШНУ по дебиту скважины. Одним из перспективных способов является способ определения массового расхода жидкости по значениям средней мощности, потребляемой электродвигателем СШНУ, предложенный Кричке В.О. [7]. Для измерения расхода центробежными насосами применяется расходная характеристика, которая вычисляется по паспортным данным насоса. В зависимости от типа привода (синхронного или асинхронного) производится пересчет паспортных характеристик двигателя, вычисляется расход и КПД насоса. Расчет массового расхода жидкости производится по следующей формуле:

$$Q = P_{ср} \frac{n_{го} \cdot \rho_{ну} \cdot 86{,}4}{p_{пж}} \qquad (2),$$

где $P_{ср}$– среднее значение мощности за цикл качания; $p_{пж}$– среднее давление, приходящееся на плунжер при движении штока вверх;

$\eta_{го}$– КПД глубинного оборудования СШНУ;

$\rho_{ну}$– плотность жидкости в поверхностных условиях;

Таким образом, данный способ имеет определенное преимущество перед традиционными групповыми замерными установками, использующих емкости и турбинные счетчики количества жидкости, в том, что в потоке извлекаемой жидкости отсутствуют измерительные технические средства. Однако для реализации данного способа требуются паспортные характеристики насосного оборудования, приведенные для всего диапазона циклов качания.

Известен еще один способ анализа ваттметрограмм [8]. Авторами данной работы предложена методика математической обработки ваттметрограмм для диагностики СШНУ. Данная методика позволяет оценивать состояние наземного оборудования насосной установки. Суть этой методики заключается в следующем. На основе записанных мгновенных значений активной мощности вычисляются вибрационная и ударная составляющие нагрузки, что является признаком неисправности редуктора и подшипников электродвигателя СШНУ. Недостатком данного метода является его узкая направленность и отсутствие возможности диагностирования всего класса неисправностей надземного оборудования СШНУ.

В целом, основными недостатками описанных методик и способов являются отсутствие формализованных признаков, позволяющих определить ту или иную неисправность. Как правило

каждая неисправность определяется на основе экспертных оценок.

Предложенный нами обобщенный метод оценки неисправности позволяет избежать данных недостатков при сохранении указанных достоинств путем составления баз правил, содержащих экспертные оценки неисправностей.

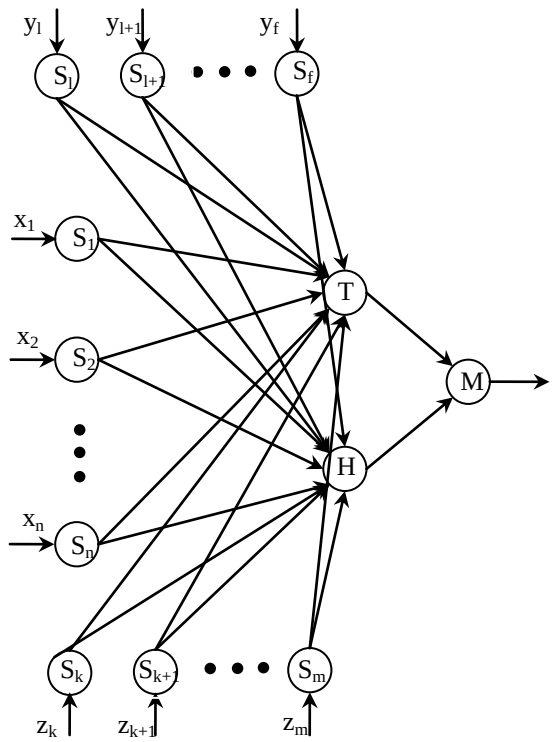

Рис. 4. Метод диагностики предаварийного состояния СШНУ.

В результате был получен следующий метод диагностики предаварийного состояния СШНУ (рисунок 4).

Нейроны S_1, S_2, … S_n; S_l, S_{l+1}, … S_f; S_k, S_{k+1}, … S_m определяют предаварийное состояние оборудования СШНУ, при этом соединение с датчиками производится таким образом, чтобы перекрыть обнаружение неисправностями как минимум двумя способами. Нейроны *T* и *H* вводят поправку на температуру и влажность соответственно. Нейрон *M* определяет окончательный результат.

4. Апробация метода

Предложенный метод был апробирован в пакете прикладных программ фирмы MathWorks Neural Network Toolbox (NNT), функционирующий под управлением ядра системы MATLAB. Первые результаты свидетельствуют об увеличении чувствительности системы к сигналам аварийного состояния оборудования СШНУ. В целом, данная измерительная система позволяет выявлять все известные неисправности оборудования СШНУ.

5. Заключение

В данной работе описана разработка системы диагностики предаварийного состояния скважинной штанговой насосной установки с применением обобщенного метода выявления неисправностей. Описанная система позволяет исключить человеческий фактор при определении неисправностей оборудования СШНУ, повысить точность и быстродействие выявления неисправностей и аварийных ситуаций.

Список используемых источников

1. Динамометрирование, моделирование и диагностирование состояния глубинной штанговой насосной установки [Текст] / В. Д. Ковшов, М. Е. Сидоров, С. В. Светлакова // Известия вузов. Нефть и газ. - 2011. - **N 3**. - С. 25-29. - Библиогр.: с. 29 (7 назв.) . - ISSN 0445-0108
2. Алиев, Т.М. Автоматический контроль и диагностика скважинных штанговых насосных установок Текст. / Т.М. Алиев, А. А. Тер-Хачатуров. М.: Недра, 1988. - 232 с.
3. Хакимьянов М.И., Ковшов В.Д., Чикишев А.М., Максимов Н.С., Почуев А.И. Контроллеры автоматизации установок штанговых глубинных насосов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. №1. С.. URL: http://ogbus.ru/authors/Hakimyanov/Hakimyanov_3.pdf
4. Калацкая Л. В., Новиков В. А., Садов В. С. Организация и обучение искусственных нейронных сетей: Экспериментальное учеб. пособие. — Минск: Изд-во БГУ, 2003. — 72 с.
5. Окладникова Е.Н., Сугак Е.В. Метод прогнозирования эксплуатационной надежности оборудования нефтехимических производств // Международная конференция «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика», посвященная 90-летию со дня рождения академика Н.Н. Яненко: Сб. трудов. - Новосибирск, 2011.
6. Белов, И.Г. Исследование работы глубинных насосов динамографом / И.Г. Белов. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 126 с.
7. Кричке, В.О. Новая эпоха в управлении насосно-трубопроводными комплексами / В.О. Кричке, В.В. Кричке, А.О. Громан // Современные наукоемкие технологии. – 2009. – № 1. – С. 20–23.
8. Хакимьянов М.И., Пачин М.Г. Мониторинг состояния штанговых глубиннонасосных установок по результатам анализа ваттметрограмм // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. №5. С.26-36. URL: http://ogbus.ru/authors/Hakimyanov/Hakimyanov_7.pdf