

УДК 004.621.391:004.3.049.77

Т. А. Алиев, проф., д-р техн. наук, академик НАНА, директор, telmancyber@rambler.ru,
О. Г. Нусратов, проф., д-р техн. наук, зам. директора, nusratov@cyber.ab.az,
Г. А. Гулуев, канд. техн. наук, директор СКБ, scb_06@mail.ru,
Ас. Г. Рзаев, канд. техн. наук, зав. лаб., asifrzayev48@gmail.com,
Ф. Г. Пашаев, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., pasha.farhad@gmail.com,
М. Г. Резван, науч. сотр., rezvanmahammad@gmail.com,
А. Б. Керимов, канд. физ.-мат. наук, науч. сотр., cyberazerkerimov@gmail.com
Институт систем управления Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

Алгоритмы диагностики неисправностей штанговых глубинно-насосных установок

Обсуждается разработка алгоритмов автоматической диагностики неисправностей штанговых глубинных насосов в нефтестроительстве. Приведены алгоритмы выделения массива сигналов усилия из текущей информации, нормализации по периоду и масштабирования по параметру, а также алгоритм позиционно-бинарной идентификации неисправностей глубинно-насосных установок. Приведены результаты идентификации сигналов, получаемых от скважины.

Ключевые слова: алгоритм, нормализация, диагностика, идентификация, позиционно-бинарная технология, нефтестроительство

Введение

Известно, что основным способом механизированной добычи нефти является применение штанговых глубинно-насосных установок (ШГНУ) и погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН). Так, в РФ в 41 % скважин эксплуатируются ШГНУ и 54 % — ЭЦН [1]. Публикуемые данные свидетельствуют о том, что более 85 % скважин с механизированной добычей в США оснащены ШГНУ. ШГНУ столь популярны из-за своей простоты, надежности и возможности применения в широком диапазоне условий эксплуатации [2].

В настоящее время ШГНУ оборудовано более 2/3 эксплуатационного фонда скважин, и их число постоянно увеличивается. Такой способ добычи еще длительное время останется самым распространенным.

Однако из-за уменьшения запасов нефти, увеличения заводнения пластов и простоев скважины за счет несвоевременной диагностики состояния оборудования рентабельность добычи нефти ШГНУ резко падает. Вопросы качественной и точной диагностики неисправностей ШГНУ являются важным звеном в деле обеспечения рентабельности длительно эксплуатируемых нефтяных месторождений. Своевременное обнаружение неисправностей ШГНУ и принятие необходимых мер по их устранению обеспечивают необходимый уровень стабилизации добычи нефти.

Механизм работы ШГНУ заключается в том, что усилие от действия жидкости на плунжер насоса передается вверх по колонне штанг и далее через полированный шток, балансир, кривошипно-шатунный механизм, редуктор, клиноременную передачу к приводному электродвигателю станка качалки (СК). Информация об усилии в точке подвеса штанг содержит полные и наименее искаженные данные о состоянии подземного насосного оборудования. Поэтому динамометрирование (съем и анализ кривой усилия P в функции перемещения S точки подвеса штанг) $P(S)$ стало общепринятым способом контроля работы и диагностирования ШГНУ [3].

Исходя из этого для визуального контроля технического состояния ШГНУ были разработаны телемеханические системы динамометрирования "ПАТ-Нефтяник", ТМ-600, ТМ-600М, ТМ-620, ТМ-620-01, ТМ660р, ТМ-Микро, Хазри, которые успешно эксплуатировались на нефтяных промыслах стран СНГ [4].

Методы диагностирования по динамограммам можно классифицировать следующим образом [4]:

- диагностирование непосредственно по признакам наземной динамограммы;
- диагностирование по вторичным признакам наземной динамограммы (характеристики спектра: дисперсия, корреляция и регрессия сигнала датчика усилия, коэффициенты разложения динамограммы в ряд Фурье);

- диагностирование по характерным признакам формы наземной динамограммы:
 - а) алгоритм анализа динамограмм по характерным точкам;
 - б) алгоритм разностной кривой [5];
- диагностирование сравнением формы исследуемой динамограммы с эталонной, снятой сразу после ремонта скважины и хранящейся в памяти устройства:
 - а) диагностирование сравнением аппроксимированных кривых динамограмм;
 - б) диагностирование сравнением эталонных и текущих динамограмм позиционно-бинарным составяющих (ПБС);
- диагностирование по признакам плунжерной динамограммы, рассчитанной по данным наземной динамограммы и конструкции скважины;
- диагностирование по характерным признакам формы плунжерной динамограммы.

В 1990-х годах в странах СНГ были созданы и внедрены станции управления "АСУС-02", "Интел-СУС", "ИСУ СК" и другие [6]. Среди современных западных средств автоматизации ШГНУ необходимо выделить такие, как станция управления *LWM VSD* и *REGEN* фирмы *Lufkin Automation* (США), построенная на базе контроллера *SAM Well Manager*, станции управления с преобразователем частоты *ePAC II* и *WellPilo* фирмы *Weatherford* (США), станции управления *VLT SALT* фирмы *Danfoss* и др. [7].

В созданных станциях управления ШГНУ частично применены те или иные методы диагностирования в полуавтоматическом режиме. Таким образом, все способы в конечном итоге сводятся к визуальному анализу обработанной динамометрической информации специалистами-технологами и принятию решения о соответствующей неисправности.

Недостатком всех этих способов является тот факт, что результат диагностики зависит от квалификации специалиста-технолога. Часто даже специалист высокой квалификации затрудняется точно определить неисправности глубинных насосов визуально по динамограммам, особенно для глубоких скважин. Поэтому для повышения достоверности и точности определения неисправностей оборудования становится важной автоматическая алгоритмическая обработка полученной цифровой информации и идентификация динамограмм и ваттметрограмм (ваттметрограмма — зависимость потребляемой электрической мощностью двигателя W от времени t) с помощью современных технологий анализа циклических сигналов.

1. Постановка задачи

Широкое внедрение систем централизованного контроля, диагностики и управления скважин, оснащенных ШГНУ, требует разработки алгоритмов автоматической диагностики неисправностей ШГНУ

на базе анализа сигнала усилия, передаваемого со штанг на подвеску, за период качания станка качалки. Проведенные в Институте кибернетики НАН Азербайджана исследования показывают, что эффективной при решении этой задачи может оказаться позиционно-бинарная технология анализа периодических сигналов усилия, передаваемого на подвеску, включающая:

- выделение из общей полученной от скважины информации массива данных усилия за цикл качания, начало которого совпадает с началом хода полированного штока вверх;
- нормализация и масштабирование параметров массива данных усилия за цикл качания;
- идентификация неисправностей ШГНУ на базе нормализованного и масштабированного массива данных с использованием позиционно-бинарной технологии анализа циклических сигналов.

2. Решение задачи

2.1. Решение задачи выделения из общей информации, полученной от скважины, массива данных усилия за цикл качания, начало которого совпадает с началом хода полированного штока вверх

Известно [8], что информация, полученная от скважины, содержит данные о ходе полированного штока $S(t)$, об усилии колонны штанг на подвеске $P(t)$ и о потребляемой двигателем станка качалки мощности $W(t)$ и имеет вид

$$\begin{pmatrix} 1 & S_1 & P_1 & W_1 \\ 2 & S_2 & P_2 & W_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l & S_l & P_l & W_l \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ I & S_I & P_I & W_I \end{pmatrix},$$

где I — число произвольно полученных точек результата измерения.

Для достоверной диагностики неисправностей оборудования скважин, оснащенных ШГНУ, необходимо полученный произвольный массив информации о динамограмме и ваттметрограмме из I строк преобразовать в массив из N строк (N — число точек в одном цикле качания), начало которого будет совпадать с началом цикла работы станка-качалки, при условии, что $I > N$:

$$\begin{pmatrix} 1 & S_l = S_{\min} & P_l & W_l \\ 2 & S_{l+1} & P_{l+1} & W_{l+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ N & S_{l+(N-1)} & P_{l+(N-1)} & W_{l+(N-1)} \end{pmatrix},$$

где l — номер строки, при котором значение хода достигает своего минимума S_{\min} .

Анализ кривых изменения хода полированного штока $S(t)$, усилия колонны штанг, передаваемого

на подвеску $P(t)$, и потребляемой мощности $W(t)$ двигателя станка качалки показывает:

- кривые $P(t)$ и $W(t)$ содержат информацию о неисправностях глубинного насоса, а $S(t)$ не содержит информацию о неисправностях, приблизительно подчиняется синусоидальному закону и служит для определения начала цикла;
- во всех кривых нарушается закон монотонности функции из-за погрешности датчиков, что приводит к ложным результатам при алгоритмическом определении цикла работы глубинного насоса (ГН);
- так как каждый ГН имеет свой индивидуальный цикл качания, то начала из разных скважин оказываются разными, т. е., синхронизация работы пункта опроса информации и станка качалки отсутствует;
- для точной селекции полного цикла оборота ГН возникает необходимость в сглаживании полученных данных.

С учетом изложенного для алгоритмического определения цикла качания станка качалки используется кривая $S(t)$.

Для сглаживания кривой $S(t)$ в работе [9] проанализированы методы сглаживания и выбран для этой цели алгоритм скользящего среднего.

Применив алгоритм скользящего среднего для сглаживания сигнала хода глубинного насоса во времени, получим уже сглаженные сигналы, в которых условия монотонности функции соблюдаются. Это означает, что пользуясь полученными данными кривых после сглаживания, можно определить начало и длительность периода качания станка качалки безошибочно. На рис. 1 приведены сглаженные графики изменения хода станка качалки во времени, полученные в разные моменты времени от скважи-

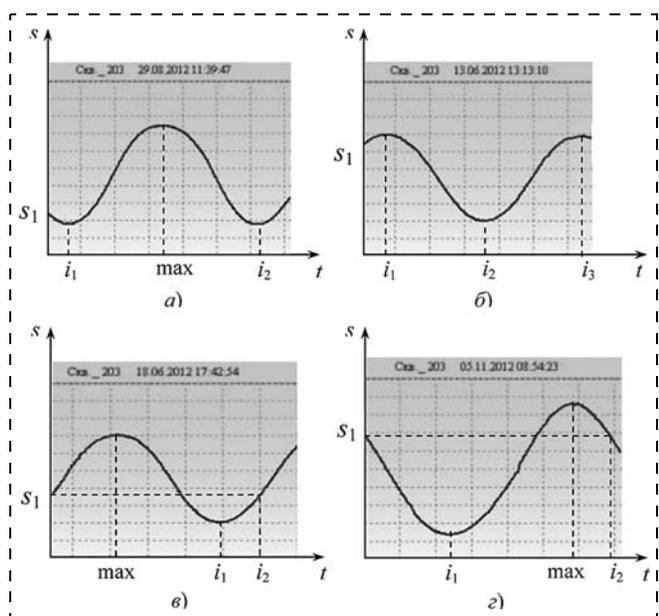


Рис. 1. Сглаженные графики изменения хода станка качалки во времени, полученные в разные моменты времени, с пояснением алгоритма определения нормированного массива данных

ны посредством комплекса контроля, диагностики и робастного управления "Айна", который внедрен в нефтегазодобывающее управление "Бибиэйбат-нефть" Республики Азербайджан.

Поскольку $S(t)$ — синусоидальная функция, и полученный массив охватывает не меньше одного периода функции, то это означает, что функция $S(t)$ имеет хотя бы один минимум, который соответствует нижнему положению плунжера глубинного насоса. В частном случае в полученном массиве функция $S(t)$ может иметь два минимума. Учитывая эти обстоятельства, предложен следующий алгоритм определения нормированного массива данных хода, усилия, электрической мощности:

1. В исходном массиве имеются два минимума и в середине один максимум (рис. 1, а). В этом случае массив между двумя минимумами принимается как искомый. Если обозначить исходный массив S_i , $i \in [1, I]$, а искомый — S_n^1 , $n \in [1, N]$, и обозначить индексы минимумов в исходном массиве i_1 и i_2 , тогда:

$$N = i_2 - i_1 + 1;$$

$$S_n^1 = S_{i_1 + (n-1)}, n \in [1, N].$$

2. В исходном массиве имеются два максимума и в середине один минимум (рис. 1, б). Если обозначить индексы первого максимума, минимума и второго максимума соответственно i_1 , i_2 , i_3 , тогда:

$$N = i_3 - i_1 + 1.$$

Пользуясь этим, искомый массив можно определить следующим образом:

$$S_n^1 = S_{i_2 + (n-1)}, n \in \left[1, \frac{N}{2}\right],$$

$$S_{\frac{N}{2} + n}^1 = S_{i_1 + (n-1)}, n \in \left[1, \frac{N}{2}\right].$$

3. В исходном массиве имеется один минимум и один максимум. Тут возможны два случая:

- максимум наступает раньше, чем минимум (рис. 1, в). В этом случае применяется следующий алгоритм: находится индекс точки минимума в массиве S . Находится индекс первой точки после минимума, значение которой больше или равно S_1 . Индекс этой точки принимаем как i_2 и индекс точки минимума — i_1 . Отметим, что i_2 соответствует длине одного периода. Тогда для искомого массива:

$$N = i_2$$

$$\text{и } S_n^1 = S_{i_1 + (n-1)}, n \in [1, i_2 - i_1 + 1],$$

$$S_{i_2 - i_1 + n}^1 = S_{i_1 + (n-1)}; n \in [1, i_1];$$

- минимум наступает раньше, чем максимум (рис. 1, г). В этом случае принимается следующий алгоритм: отыскивается индекс первой точ-

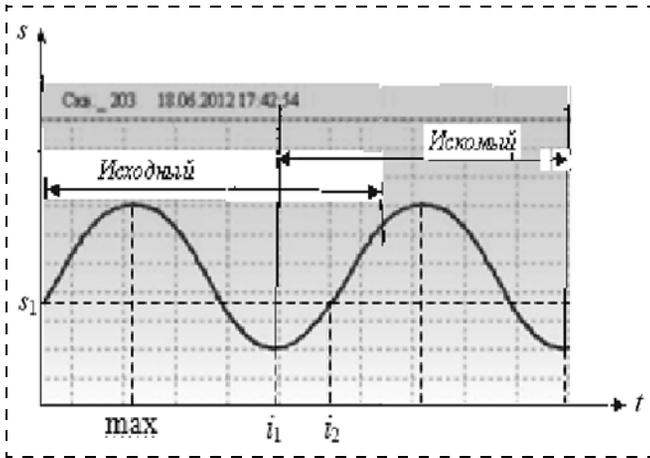


Рис. 2. Графическое изображение преобразования исходного массива в искомый нормированный

ки после максимума, значение которой меньше или равно s_1 . Индекс этой точки принимается как i_2 и индекс точки минимума — как i_1 . Отметим, что i_2 соответствует длине одного периода. Тогда для искомого массива получим:

$$N = i_2,$$

$$S_n^1 = S_{i_1+(n-1)}, \quad n \in [1, i_2 - i_1 + 1],$$

$$S_{i_1+n} = S_1 + (n - 1), \quad n \in [1, i_1].$$

Далее, аналогичным образом происходит получение искоемых нормированных массивов усилия P на полированный шток и мощности W , потребляемой асинхронным двигателем привода станка-качалки с использованием полученных индексов i .

На рис. 2 показан пример графического изображения преобразования исходного массива в искомый нормированный на основе данных рис. 1, в.

2.2. Нормализация по периоду и масштабирование по величине данных усилия за цикл качания [10]

Суть задачи нормализации по периоду качания заключается в следующем.

Пусть получена реальная кривая изменения усилия во времени (рис. 3), и известны ее дискретные значения $P_i(t_i)$ в моменты времени t_i , $i = 1, \dots, n$.

Требуется определить дискретные значения $P_k(t_k)$ в моменты времени t_k , $k = 1, \dots, m$, при условии, что начальные и конечные значения совпадают, т. е.

$$P_{k=1} = P_{i=1}; \quad P_{k=m} = P_{i=n} \quad (1)$$

Тогда задача сводится к следующему.

Пусть один период функции $P(t)$ подвержен аналого-цифровому преобразованию с шагом дискретизации $\Delta t_i = \frac{T}{n-1}$, и получены n дискретных значений $P_i(t_i)$. Требуется найти значения $P_k(t_k)$

той же самой функции в момент времени шагом дискретизации $\Delta t_k = \frac{T}{m-1}$.

По условиям задачи в начале и в конце кривой значения функции соответственно равны:

$$P(t_{k=1}) = P(t_{i=1}); \quad P(t_{k=m}) = P(t_{i=n}). \quad (2)$$

Тогда промежуточные значения ($1 < K < m$) функции P_k можно определить следующим образом:

$$P(t_k) = P(t_i), \quad \text{если } (K-1)\Delta t_k = (i-1)\Delta t_i, \quad (3)$$

т. е. если i -я и k -я точки совпадают.

Если же k -я точка попадает между двумя ($(i-1)$ -й и i -й) точками, т. е. $(i-1)\Delta t_i < (K-1)\Delta t_k < i\Delta t_i$, тогда

$$P(t_k) = P(t_i) + \frac{P(t_{i+1}) - P(t_i)}{\Delta t_i} [(K-1)\Delta t_k - (i-1)\Delta t_i]. \quad (4)$$

Таким образом, для значения $P(t_k)$ при $1 < K < m$ получим:

$$P_k = \begin{cases} P_i, & \text{если } (K-1)\Delta t_k = (i-1)\Delta t_i; \\ P_i + \frac{P_{i+1} - P_i}{\Delta t_i} [(K-1)\Delta t_k - (i-1)\Delta t_i]; & \\ \text{если } (i-1)\Delta t_i < (K-1)\Delta t_k < i\Delta t_i, & \end{cases}$$

где $\Delta t_k = \frac{T}{m-1}$; $\Delta t_i = \frac{T}{n-1}$ — шаги дискретизации информации за период качания станка качалки, соответственно, при разделении периода на $(m-1)$ и $(n-1)$ частей.

Отметим, что выражение (4) справедливо для линейных участков функций $X(t)$, поэтому шаг дискретизации Δt_i должен быть выбран так, чтобы нелинейностью куска функции в интервале $i-1, \dots, i+1$ можно было бы пренебречь.

После получения массива данных P_k согласно формулам (4) для сравнения кривых усилия, полученных в различных условиях работы одной и той же скважины (при изменении выходных параметров

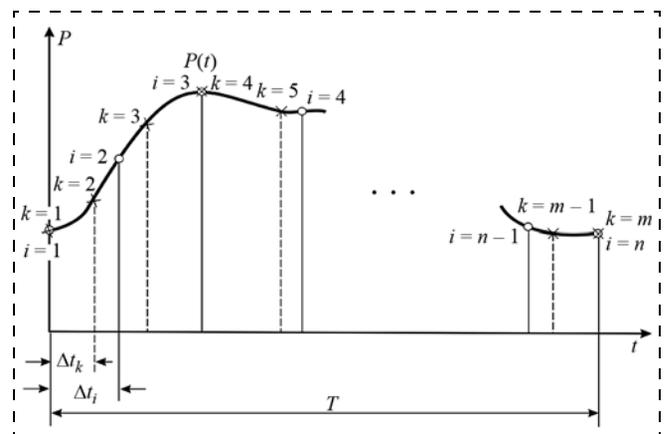


Рис. 3. Реальная кривая изменения усилия во времени и ее дискретизация

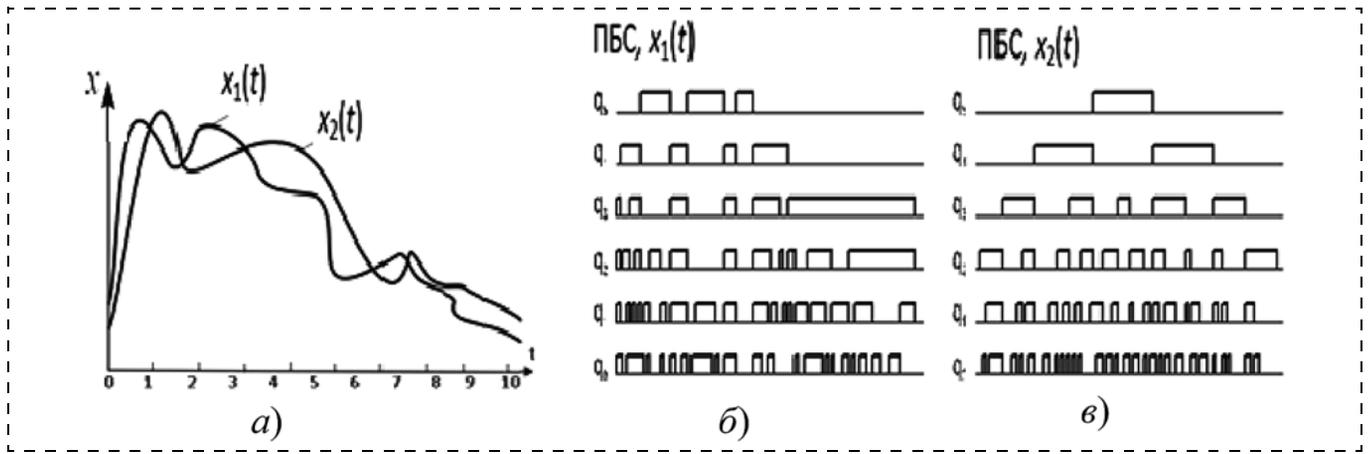


Рис. 4. Сигналы усилия: эталонный $X_1(t)$ и текущий $X_2(t)$ (а) и ПБС этих сигналов (б и в, соответственно)

датчиков от внешней среды, цикла качания и т. д.), необходимо их привести к единому масштабу по следующей формуле:

$$P_k^N = \frac{P_k}{P_{k\max}} A, \quad (5)$$

где A — определенное целое число, выражающее масштаб усилия по координатной оси OY .

Таким образом, мы получим нормализованный массив P_k^N , который будет учитывать изменения хода, числа качания станка качалки и отклонения параметров датчиков усилия и хода под воздействием внешних условий.

Дальнейшая идентификация неисправностей может быть осуществлена с использованием позиционно-бинарной технологии анализа циклических сигналов [11, 12].

2.3. Идентификация неисправностей ШГНУ с использованием позиционно-бинарной технологии идентификации циклических сигналов

Суть позиционно-бинарной технологии заключается в том, что сигналы усилия в процессе аналогово-цифрового преобразования трансформируются в позиционно-бинарные составляющие (ПБС) (рис. 4), где в качестве информативных признаков используется длительность ПБС в каждой позиции, которая изменяется в зависимости от изменения формы сигнала.

При этом близость текущих сигналов, поступающих с объекта, и эталонных сигналов оценивается путем вычисления числовых параметров близости сигнала по результату покрытия ПБС анализируемых пар сигналов, формируемых в каждой позиции с учетом веса позиций и параметра, характеризующего временное расположение ПБС в течение цикла работы ГНУ, в соответствии с выражением [13]

$$S_{w_r} = \sum_{i=1}^N \min_{m \in \{0, 1, \dots, M\}} \{ \varphi_{i,(n-1),m} 2^{n-1} + \dots + \varphi_{i,(n-k),m} 2^{n-k} + \varphi_{i,0,m} 2^0 \}, \quad (6)$$

где S_{w_r} — числовой параметр, характеризующий степень близости распознаваемых сигналов; N — число отсчетов сигнала; n — число позиций в ПБС-разложении; M — общее число шагов; m — выбранный шаг; $\varphi_{i,(n-k),m}$ равно 1, если есть переход (0 → 1) или (1 → 0) для i -го отсчета на позиции $n - k$, соответствующей шагу m ; $\varphi_{i,(n-k),m}$ равно 0, если есть переход (1 → 1) или (0 → 0) для i -го отсчета на позиции $n - k$, соответствующей шагу m , где $k = 1, \dots, n$.

Массивы ПБС эталонных сигналов хранятся в памяти компьютера пункта управления комплекса контроля, диагностики и робастного управления. Полученная от скважины текущая информация (рис. 5, а) о динамограмме после обработки по описанным выше алгоритмам (рис. 5, б) подвергается определению ПБС. Осуществляется сравнение по формуле (6) ПБС текущей информации с ПБС

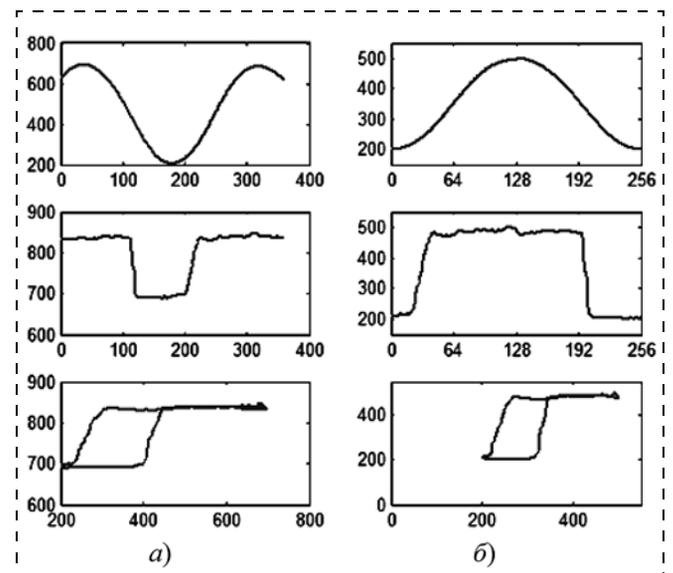


Рис. 5. Текущая информация: а — исходные сигналы хода, усилия и динамограмма; б — сигналы хода, усилия и динамограмма, полученная после нормализации по периоду и масштабирования

Результаты сравнения ПБС текущего сигнала с эталонами методом ПБС со сдвигом

Сравниваемые сигналы	Числовые значения близости сигналов S_{W_r}	Состояние ШГНУ
Текущий, Эт-1	21 413	Нормальная работа
Текущий, Эт-2	24 938	Обрыв штанг
Текущий, Эт-3	24 615	Нагнетание насоса
Текущий, Эт-4	21 752	Прием насоса
Текущий, Эт-5	18 703	Прихват плунжера
Текущий, Эт-6	20 179	Утечка нагнетательного клапана (УНК)
Текущий, Эт-7	23 821	УНК и труб
Текущий, Эт-8	20 268	Откачка, газ и УНК
Текущий, Эт-9	20 314	Утечка приемного клапана (УПК)
Текущий, Эт-10	17 197	Откачка уровня
Текущий, Эт-11	22 887	Течь в насосных трубах
Текущий, Эт-12	18 905	Высокая посадка плунжера
Текущий, Эт-13	21 225	>% УНК
Текущий, Эт-14	19 945	<% УНК
Текущий, Эт-15	19 890	<% УПК
Текущий, Эт-16	18 447	>% УПК
Текущий, Эт-17	17 846	<% заполнение насоса
Текущий, Эт-18	18 223	>% заполнение насоса

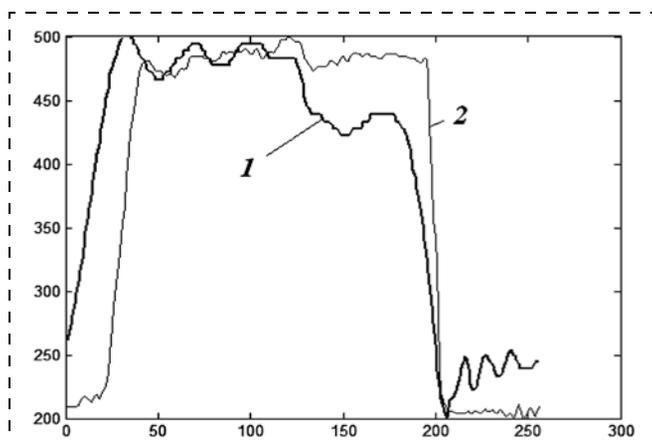


Рис. 6. Графическое представление сравниваемых сигналов: 1 — эталон-10 и 2 — текущий

каждого из эталонов, хранящихся в памяти компьютера. Результаты сравнения ПБС текущего сигнала с эталонами методом ПБС со сдвигом приведены во втором столбце таблицы. Выбирается эталон, значения ПБС которого мало отличаются от ПБС текущей информации. В нашем примере это эталон-10 (эт-10, см. таблицу), который соответствует состоянию ШГНУ "Откачка уровня". На рис. 6 приведено графическое представление результата сравниваемых сигналов эталон-10 и текущего.

Выводы

1. Разработан алгоритм автоматической идентификации формы кривых усилия, передаваемого на

полированный шток станка-качалки, на базе позиционно-бинарной технологии анализа циклических сигналов.

2. Разработанный алгоритм прост в реализации на компьютере и не требует больших ресурсов.

3. Программа алгоритма автоматической идентификации составлена на объектно-ориентированном языке программирования Borland DELPHI 7 и включена в состав общего ПО комплекса контроля, диагностики и робастного управления "Айна", внедренного на третьем промысле "Shirvan Operating Company" Ltd. в Азербайджане.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики — Грант № EIF-RITN-MQM-2/IKT-2-2013-7(13)-29/15/1.

Список литературы

1. **Маркетинговое** исследование рынка установок штанговых глубинных насосов (УШГН). Аналитический отчет. Research. Techart. 2010. URL: <http://www.techart.ru/files/research/walking-beam-pumping-unit.pdf>.
2. **Neely A. B., Tolbert H. E.** Experience with Pump-Off Control in the Permian Basin. SPE Paper No. 14345, SPE Technical Conference and Journal of Petroleum Technology. 1988, May. P. 645—648.
3. **Абдуллаев А. А., Джавадов А. А., Левин А. А., Набиев И. А.** Телемеханические комплексы для нефтяной промышленности. М.: Недра, 1982. 200 с.
4. **Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А.** Автоматический контроль и диагностика СШНУ. М.: Недра, 1988. 232 с.
5. **Алиев Т. М., Рыскин Л. М., Тер-Хачатуров А. А.** Об одном методе определения состояния глубинного штангового насоса // Нефть и газ. 1980. № 11. С. 81—85.
6. **Гулуев Г. А., Алиев Я. Г., Ризванов М. Г., Рзаев Ас. Г., Саттаров И. Р.** Интеллектуализированная станция управления станком качалки // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 8. Стр. 17—20.
7. **Гулуев Г. А., Рзаев Ас. Г., Алиев Я. Г., Резван М. Г., Хакимьянов М. И.** Контроллеры и станции управления скважин, эксплуатирующихся штанговыми глубинными насосами // Azərbaycan neft təsərrüfatı. 2014. N. 9. P. 32—40.
8. **Рзаев Ас. Г.** Алгоритм нормализации массива данных хода, усилия, электрической мощности для идентификации неисправностей штанговых глубинных насосов // Известия НАНА. Сер. физико-технических и математических наук. Т. XXXIII. 2013. № 6. С. 197—204.
9. **Рзаев Ас. Г., Керимов А. Б., Асадов К. Ф.** Выбор метода сглаживания графика изменения хода перемещения точки подвески штанг станка-качалки // Известия НАНА. Сер. физико-технических и математических наук. Т. XXXIII. 2013. № 6. С. 248—253.
10. **Рзаев Ас. Г.** Алгоритм нормализации информации динамограмм до идентификации позиционно-бинарной технологией // Известия НАНА. Сер. физико-технических и математических наук. Т. XXXII. 2012. № 6. С. 44—48.
11. **Нусратов О. К.** Позиционно-широко-импульсный алгоритм распознавания циклических сигналов // Автоматика и вычислительная техника. 2006. № 1. С. 12—17.
12. **Алиев Т. А., Нусратов О. К., Рзаев Р. Р.** Позиционно-бинарное распознавание циклических сигналов с нечетким временным анализом информационных признаков // Тр. IX Междунар. симпозиума "Интеллектуальные системы — INTELS 2010". С. 106—110.
13. **Нусратов О. К., Керимов А. Б., Асадов К. Ф.** Коррекция ошибок при позиционно-бинарном распознавании циклических сигналов // Известия НАНА. Сер. физико-технических и математических наук. Т. XXXIII. 2013. № 3. С. 90—96.

Algorithms for Diagnostics of Fault Conditions of the Sucker Rod Pumping Units

T. A. Aliev, telmancyber@rambler.ru, O. G. Nusratov, nusratov@cyber.ab.az, G. A. Guluyev, scb_06@mail.ru, As. H. Rzayev, asifrzayev48@gmail.com, F. H. Pashayev, pasha.farhad@gmail.com, M. H. Rezvan, rezvanmahammad@gmail.com, A. B. Kerimov, cyberazerkerimov@gmail.com, Institute of Control Systems of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Az1141, Azerbaijani Republic

Received on November 05, 2014

The dynamometer card-based methods for diagnostics of the underground equipment for sucker rod pumping units have the following aspects: diagnostics based directly on the characteristics of a ground dynamometer card; diagnostics based on the secondary characteristics of a dynamometer card (spectral characteristics: variance, correlation and regression of the signal of the force sensor, Fourier coefficients, series expansion for a dynamometer card, etc.); and diagnostics based on the typical characteristics of the shape of a ground dynamometer card. Our studies and operation experience demonstrated that the above methods are not invariant with respect to the pump running depth and the changes in the pumping unit operating conditions. Therefore, development and introduction of new diagnostic methods based on new information technologies are necessary and relevant. The paper deals with the development of the algorithms for an automated diagnostics of the fault conditions of the sucker rod pumping units in the oil extraction industry. The authors propose algorithms for an automated identification of the fault conditions of the sucker rod pumping units with the use of the position-binary technology for analysis of the periodic signals of the force of the rod string on the hanger. The authors solved the problem of precise determination of the beginning and duration of the pumping unit period based on the data on the polished rod stroke with the use of a moving average algorithm. The following algorithms are presented: for retrieval of information about the force per a pumping period, the beginning of which coincides with the beginning of the polished rod stroke upwards from the common array of the data (force, stroke, consumed power) received from the well; normalization and scaling of the parameters of the array of force per a pumping period; the essence of the position-binary identification, which forces the signals' transformation into the position-binary components, in which the informative attributes are their duration in each position, which changes, depending on a signal form. Based on the position-binary technology, the program of the algorithm for an automated identification of the form of curves of the force on the polished rod of the sucker rod pumps was compiled in Borland DELPHI 7 object-oriented programming language and included in Ayna, general control, diagnostics and robust management complex, introduced at the oil field 3 of Shirvan Operating Company Ltd. in Azerbaijan. The authors provide an example of comparison of the position-binary components of the current signal received from the well with the known reference systems.

Keywords: algorithm, normalization, diagnostics, identification, position-binary technology, oil extraction

Acknowledgements: This work was supported by the Science Development Fund under the President of the Republic of Azerbaijan, Grant no. EIF-RITN-MQM-2/IKT-2-2013-7(13)-29/15/1

For citation:

Aliev T. A., Nusratov O. G., Guluyev G. A., Rzayev As. H., Pashayev F. H., Rezvan M. H., Kerimov A. B. Algorithms for Diagnostics of Fault Conditions of the Sucker Rod Pumping Units, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, vol. 16, no. 5, pp. 314–320.

DOI: 10.17587/mau.16.314-320

References

1. *Marketingovoe issledovanie rynka ustanovok shtangovykh glubinykh nasosov (UShGN)* (Marketing research of sucker rod pumping units marker. Analysis report), Analiticheskii otchet (Research Techart), 2010, available at: <http://www.techart.ru/files/research/walking-beam-pumping-unit.pdf>.
2. Neely A. B., Tolbert H. E. Experience with Pump-Off Control in the Permian Basin, SPE Paper No. 14345, *SPE Technical Conference and Journal of Petroleum Technology*, May, 1988, p. 645–648.
3. Abdullaev A. A., Dzhabadov A. A., Levin A. A., Nabiev I. A. *Telemekhanicheskie komplekсы dlia neftianoi promyshlennosti* (Telemechanic complexes for oil industry), Moscow, Nedra, 1982, 200 p. (in Russian).
4. Aliev T. M., Ter-Khachaturov A. A. *Avtomaticeskii kontrol' i diagnostika SShNU* (Automated control and diagnostics of SRPU), Moscow, Nedra, 1988, 232 p. (in Russian).
5. Aliev T. M., Ryskin L. M., Ter-Khachaturov A. A. *Ob odnom metode opredeleniia sostoiianiia glubinnogo shtangovogo nasosa* (On an emethod of determining the condition of a sucker rod pump), *Neft' i Gaz*, 1980, no. 11, p. 81–85 (in Russian).
6. Guluyev G. A., Aliev Ia. G., Rizvanov M. H., Rzaev As. H., Sattarov I. R. *Intellektualizirovannaiia stantsiia upravleniia stankom kachalki* (Intellectualized station of pumping unit control), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2011, no. 8, pp. 17–20 (in Russian).
7. Guluyev G. A., Rzaev As. H., Aliev Ia. G., Rezvan M. H., Khamim'ianov M. I. *Kontrollery i stantsii upravleniia skvazhin, ekspluatiruiushchikhsia shtangovymi glubinnymi nasosami* (Controllers and control stations for oil wells operated by sucker rod pumps), *Azərbaycan neft təsərrüfatı*, 2014, no. 09, pp. 32–40.
8. Rzaev As. H. *Algoritim normalizatsii massiva dannykh khoda, usiliia, elektricheskoi moshchnosti dlia identifikatsii neispravnostei shtangovykh glubinykh nasosov* (Algorithm for normalization of the array data of stroke, force and power to identify the malfunction of sucker rod pumps), *Izvestiia NANA, Seriiia Fiziko-Tekhnicheskikh I Matematicheskikh Nauk*, 2013, vol. XXXIII, no. 6, pp. 197–204 (in Russian).
9. Rzaev As. H., Kerimov A. B., Asadov K. F. *Vybor metoda sglazhivaniia grafika izmeneniia khoda peremeshcheniia tochki podveski shtang stanka kachalki* (Select smoothing methods graphic changes of suspension moving point rods pumping unit), *Izvestiia NANA, Seriiia Fiziko-Tekhnicheskikh I Matematicheskikh Nauk*, 2013, vol. XXXIII, no. 6, pp. 248–253 (in Russian).
10. Rzaev As. H. *Algoritim normalizatsii informatsii dinamogramm do identifikatsii pozitsionno-binarnoi tekhnologii* (Algorithm for normalization of dynamometer card data to identification by position-binary technology), *Izvestiia NANA, Seriiia Fiziko-Tekhnicheskikh I Matematicheskikh Nauk*, 2012, vol. XXXII, no. 6, pp. 44–48 (in Russian).
11. Nusratov O. K. *Pozitsionno-shirotno-impul'snyi algoritimov raspoznavaniia tsiklicheskh signalov* (Position-pulse-duration algorithm for recognition of periodic signals.), *Avtomatika i vychislitel'naia tekhnika*, 2006, no. 1, pp. 12–17 (in Russian).
12. Aliev T. A., Nusratov O. K., Rzaev R. R. *Pozitsionno-binarnoe raspoznavanie tsiklicheskh signalov s nechetkim vremennym analizom informatsionnykh priznakov* (Position-binary recognition of periodic signal with fuzzy analysis of information attributes in the time domain.), *Proc. IX Mezhdunarodnyi simpozium "Intellektualnye sistemy — INTELS 2010"*, pp. 106–110 (in Russian).
13. Nusratov O. K., Kerimov A. B., Asadov K. F. *Korreksiia oshibok pri pozitsionno — binarnom raspoznavanii tsiklicheskh signalov* (Correction of errors of position-binary recognition of periodic signals), *Izvestiia NANA, Seriiia Fiziko-Tekhnicheskikh I Matematicheskikh Nauk*, 2013, vol. XXXIII, no. 3, pp. 90–96 (in Russian).

Corresponding author:

Pashayev Farhat G., Leading Researcher, Institute of Control Systems of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Az1141, Azerbaijani Republic, e-mail: pasha.farhad@gmail.com