

# ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГЛУБИННОЙ ШТАНГОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В. Д. Ковшов, М. Е. Сидоров, С. В. Светлакова

(Уфимский государственный нефтяной технический университет)

*Ключевые слова: динамометрирование, диагностика неисправностей, глубинный штанговый насос, динамограмма, моделирование динамограммы*

*Key words: dynamometry, diagnostic the condition, rod pump, dynamometer card, modeling of dynamometer card*

В настоящее время большое внимание уделяется контролю и управлению режимами работы глубинных штанговых насосных установок (ГШНУ) с использованием методов динамометрирования, особенно для малodeбитных нефтяных скважин. Данные с динамометра передаются на переносной модуль сбора информации (МСИ) и далее в централизованную систему верхнего уровня, либо на программируемый контроллер, устанавливаемый в месте расположения скважины и позволяющий обрабатывать, анализировать и управлять режимами работы ГШНУ. Данные динамометрирования, а также ваттметрирования и замера динамического уровня, используются для диагностирования состояния ГШНУ по общепринятой классификации: нормальная работа, утечки в клапанах, недостаточный приток, газ в насосе, отложения парафина, высокая/низкая посадка плунжера, выход плунжера из насоса, заедание/прихват плунжера, обрыв штанг и т.д. Наборы очертаний классифицированных динамограмм, соответствующие различным состояниям ГШНУ, позволяют, используя методы распознавания, идентифицировать реальную динамограмму.

Наиболее полное описание диагностирования состояния ГШНУ по виду устьевого динамограммы (зависимости нагрузки от перемещения полированного штока) изложено в работе [1], где приводится качественное обоснование влияния условий работы, либо неисправностей ГШНУ на очертание динамограммы, например, «Растяжение штанг вызывает увеличение нагрузки на полированный шток еще до его прихода в крайнее нижнее положение. Поэтому левый нижний угол динамограммы закругляется».

Более полное качественное и количественное обоснование соответствующих очертаний динамограмм можно получить, используя методы моделирования, позволяющие рассчитывать динамограммы в широком диапазоне изменения различных параметров и условий работы (утечек жидкости, газа в насосе, заедания плунжера и т.д.). Например, в работах [2] и [3] приводятся методы моделирования и алгоритмы автоматизации для диагностирования динамограмм. Для распознавания динамограмм используются также алгоритмы нейросетей [4], позволяющие распознать динамограмму из заданного набора динамограмм, но нечетко идентифицирующие реальные динамограммы, имеющие признаки классифицированных динамограмм, но отличающиеся значением параметров, например, величиной утечек либо недостаточного притока и т.п., а также в случаях совокупности различных признаков.

В данной работе излагается метод диагностирования состояния ГШНУ на основе распознавания ее устьевого динамограммы по ряду характерных признаков, имеющихся у классифицированных динамограмм. Причем значения характерных признаков могут изменяться в диапазонах, установленных при моделировании классифицированных динамограмм на ЭВМ. Цель моделирования, в данном случае – исследование влияния воздействия различных факторов в широком диапазоне изменения их значений, на очертания устьевого динамограммы. Подробное описание модели и некоторые результаты расчетов по ней, приведены в работах [5 - 7]. В качестве дополнения к прежним исследованиям, приведем пример моделирования усилий на плунжере, в случае заедания плунжера в конце хода вниз. При заедании плунжера в конце хода вниз возникает сила дополнительного трения (заедания), плунжер на некоторое время останавливается, затем, когда усилие со стороны штока превысит силы трения, плунжер продолжает перемещаться вниз. Нагрузку на плунжере можно рассчитать по уравнениям, приведенным в [5 - 7] с учетом дополнительных усилий трения. Введем коэффициенты:  $K_T$  – отношение силы дополнительного трения (заедания) к силе трения при работе без заедания ( $K_T \geq 0$ );  $K_3$  – отношение хода плунжера в момент заедания к длине хода плунжера при работе без заедания ( $0 \leq K_3 < 1$ ).

Очевидно, что коэффициент  $K_T$  влияет на изменение глубины "провала" на динамограмме, а  $K_3$  – на ширину «провала». Показаны динамограммы, полученные в результате замеров, соответствующие различным условиям работы ГШНУ при заедании плунжера в конце хода штока (рис.1).

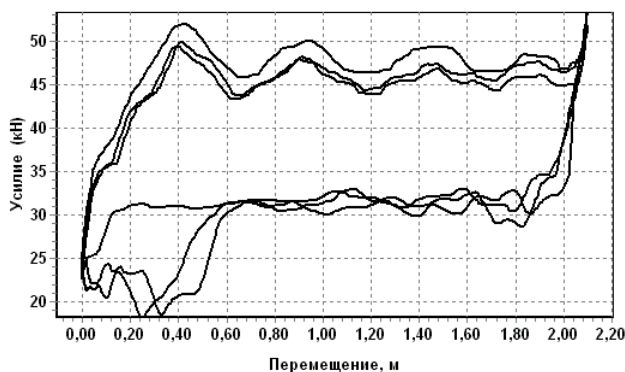


Рис. 1.

Показаны результаты расчетов для моделируемых динамограмм: при нормальной работе насоса и заедании в конце хода штока, с различными значениями параметра, характеризующего момент заедания:  $K_3=0,1$ ,  $K_3=0,2$ ,  $K_3=0,4$ , при значении параметра, характеризующего дополнительное трение  $K_T=4$  (рис.2).

Приведены результаты расчетов для моделируемых динамограмм: при нормальной работе насоса и заедании в конце хода штока, с различными значениями параметра, характеризующего дополнительное трение:  $K_T=3$ ,  $K_3=6$ ,  $K_3=9$ , при значении параметра, характеризующего момент заедания  $K_3=0,2$  (рис.3).

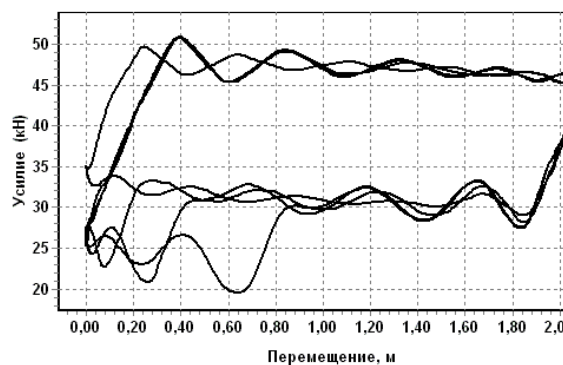


Рис. 2.

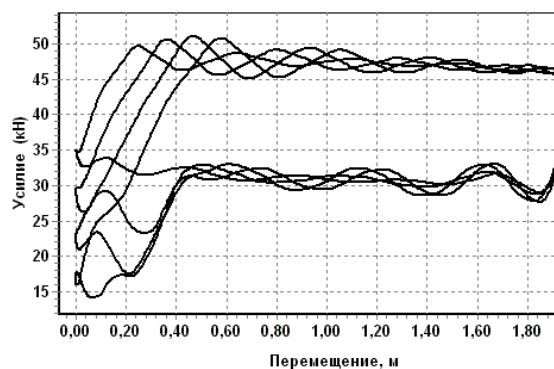


Рис. 3.

#### Алгоритм диагностирования состояния ГШНУ.

Диагностирование заключается в идентификации динамограммы по характерным признакам классифицированных динамограмм, причем значения признаков могут изменяться в определенном диапазоне, известном по результатам моделирования. В разработанном алгоритме в качестве значения характерного признака принимается ограниченное и нормированное от -1 до 1 отклонение определенных величин от соответствующих значений для теоретической динамограммы. Такими величинами могут быть средние либо экстремальные нагрузки на некоторых участках динамограммы, площади и т.п. Например, классифицированному состоянию ГШНУ «высокая посадка плунжера» соответствует один характерный признак – отклонение максимального значения нагрузки в некоторой окрестности крайнего верхнего положения штока от нагрузки в точке С для теоретической динамограммы (рис. 4). Данное отклонение нормируется высотой теоретической динамограммы и ограничивается диапазоном от 0,2 до 1. Значения признаков, не являющиеся характерными для какой-либо из классифицированных динамограмм, принимаются равными нулю, и по ним диагностика не проводится.

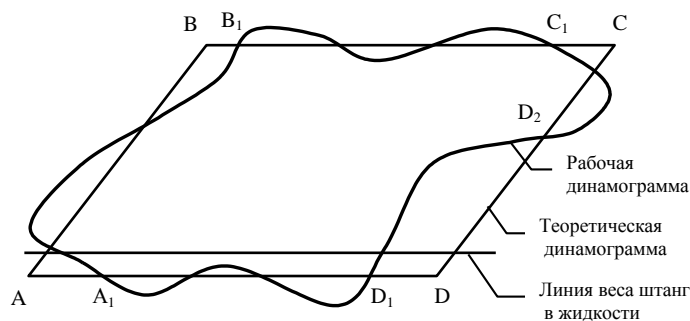


Рис. 4. К определению характерных признаков

Таким образом, замеренная динамограмма диагностируется по ряду значений характерных признаков, соответствующих классифицированным динамограммам. Всего учитывается 22 характерных признака на участках, соответствующих теоретической динамограмме:

- 4 признака на участках АВ и CD, разделенных пополам, характеризующих средними значениями нагрузки на участке;
- 2 признака на участках ВС и AD, характеризующих абсолютным значением экстремальной нагрузки;
- 2 признака на участках в окрестности точек С и А, характеризующих максимальным значением нагрузки вблизи С и минимальным вблизи А;
- 4 признака на участках AA<sub>1</sub>, BB<sub>1</sub>, CC<sub>1</sub> и DD<sub>1</sub>, характеризующих средними значениями нагрузки;
- 3 признака на участках AA<sub>1</sub>, BB<sub>1</sub> и DD<sub>1</sub>, характеризующих длинами участков;
- 2 признака на участках ABC (ход штока вверх) и CDA (ход штока вниз), характеризующих площадями фигур, относительно диагонали AC;
- 3 признака на участке ABCDA (полный ход штока), характеризующих: а) площадью динамограммы, б) количеством пересечений линии динамограммы с линией ВС при ходе штока вниз и с линией AD при ходе штока вверх, в) отношением среднего значения перепада нагрузок на плунжер к весу штанг;

- 1 признак на участке  $D_1DD_2$ , характеризуемый выпуклостью линии  $D_1D_2$ ;
- 1 признак, характеризуемый отношением значения динамического уровня к глубине погружения насоса.

Всего определено 15 классифицированных динамограмм, включая нормальную работу насоса, каждой из которых соответствует свой набор характерных признаков (таблица). Кроме того, для всех классифицированных динамограмм характерными признаками являются экстремальные значения нагрузки на участках BC и AD, а также количество пересечений линии динамограммы с линией BC при ходе штока вниз и с линией AD при ходе штока вверх, поскольку значение данного характерного признака «обрыва штанг, либо фонтанирования» должно быть мало для всех остальных классифицированных динамограмм.

Пор. номер	Состояние ГШНУ	Динамограмма классифицируется по характерным признакам
1	Нормальная работа насоса	Все признаки, кроме выпуклости линии $D_1D_2$
2	Поздний спад нагнетательного клапана	Различные диапазоны изменения значений: средней нагрузки на участке $BB_1$ , длины участка $BB_1$
3	Утечки в нагнетательном клапане в начале хода штока вверх	
4	Утечки во всасывающем клапане в начале хода штока вниз	Различные диапазоны изменения значений: средней нагрузки на участке $DD_1$ , длины участка $DD_1$ , выпуклости линии $D_1D_2$ , динамического уровня
5	Влияние пластового газа	
6	Недостаточный приток	
7	Утечки в нагнетательном клапане в начале хода штока вниз	Средняя нагрузка на участке CD
8	Утечки во всасывающем клапане в начале хода штока вверх	Средняя нагрузка на участке AB
9	Выход плунжера из насоса	Средняя нагрузка на участке $CC_1$
10	Высокая посадка плунжера	Максимальное значение нагрузки вблизи точки C
11	Низкая посадка плунжера	Минимальное значение нагрузки вблизи точки A
12	Заедание плунжера в конце хода	Средняя нагрузка и длина участка $AA_1$
13	Обрыв штанг, либо фонтанирование	Количество пересечений линии динамограммы с линией BC при ходе штока вниз и с линией AD при ходе штока вверх и отношение перепада нагрузок на плунжер к весу штанг
14	Прихват плунжера	Средняя нагрузка на участках $BB_1$ , $DD_1$ и их длины, а также площади фигур, относительно диагонали AC
15	Отложение парафина	Средняя нагрузка на участках $AA_1$ , $CC_1$

Алгоритм диагностирования состояния ГШНУ по динамограмме имеет следующую последовательность:

- 1) для замеренной динамограммы рассчитываются значения характерных признаков;
- 2) рассчитываются значения параметров  $\delta_i$  - отклонение значений признаков замеренной динамограммы за диапазон характерных признаков для классифицированной динамограммы, с вычетом величины «погрешности», равной 0,01 (при отклонениях, меньших 0,01 получаем  $\delta_i=0$ );
- 3) рассчитываются значения параметров  $\lambda_j$ , характеризующих соответствие замеренной динамограммы и каждой из классифицированных динамограмм, по формуле

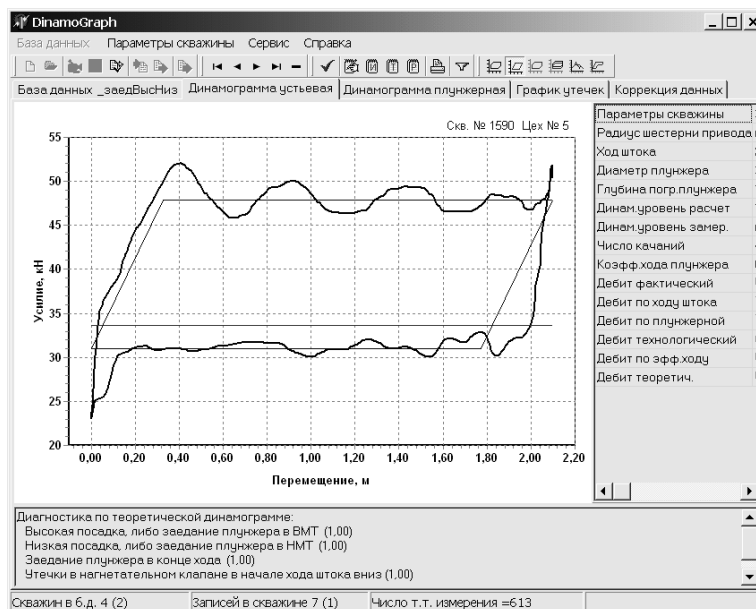
$$\lambda_j = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot \sum_{i=1}^K (100 \cdot \delta_i)^3 / K}; \quad j=1, \dots, N; \quad i=1, \dots, K \quad (1)$$

где N – количество классифицированных динамограмм; K – количество характерных признаков, определенных для j-й классифицированной динамограммы.

Таким образом, если значения признаков замеренной динамограммы лежат внутри диапазона значений характерных признаков для классифицированной динамограммы, то все  $\delta_i=0$  и, следовательно  $\lambda_j=1$ , то есть замеренная динамограмма, достоверно соответствует классифицированной. В случае, например, всех  $\delta_i=0,01$  получаем  $\lambda_j=0,9$ , то есть замеренная динамограмма близка к классифицированной, а для всех  $\delta_i=0,03$  получаем  $\lambda_j=0,27$ , что свидетельствует о слабом проявлении характерных признаков. Если все  $\lambda_j < 0,2$  ( $j=1, \dots, N$ ), то диагностируется случай – «динамограмма неопределенна».

Изложенная выше методика реализована в разработанной авторами программе DinamoGraph и позволяет диагностировать работу ГШНУ по замеренной устьевой динамограмме. Для реальных динамограмм, как правило, диагностируется несколько состояний ГШНУ, с различными коэффициентами  $\lambda_j$ , характеризующими соответствие реальной динамограммы каждой из классифицированных (рис. 5). Данная программа прошла апробацию и используется на фонде нефтяных скважин (около 2000 шт.) в ОАО «Татнефть» и др.

Динамометрирование позволяет получить данные, необходимые для интерпретации условий работы ГШНУ. Классификация динамограмм по характерным признакам позволяет автоматизировать процесс идентификации замеренной динамограммы.



**Рис. 5. Диагностирование состояния ГШНУ по виду ее динамограммы**

#### **Список литературы**

1. Белов И. Г. Исследование работы глубинных насосов динамографами. - М.: Гостоптехиздат, 1960. - 128 с.
2. Алиев Т. М., Агагусейнов Н. Т., Костанян В. Р., Надеин В. Л., Раджабова Л. Н., Сухолюцкий Б. М., Тер-Хачатуров А. А. Аппаратно-программные средства контроля глубиннонасосного оборудования. - М., ВНИИОЭНГ, 1988. - 56 с.
3. Алиев Т. М., Костанян В. Р. Современное состояние проблемы автоматизации диагностирования штанговых нефтяных установок // Измерения, контроль, автоматизация: материалы научно-технического сборника обзоров. - М., ИНФОРМПРИБОР - 1988. - №4. - С. 32-43.
4. Дунаев И. В. Диагностика и контроль состояния скважинной штанговой насосной установки на основе динамометрирования и нейросетевых технологий: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Уфа, - 2007.
5. Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В. Моделирование динамограммы станка-качалки. Нормальная работа насоса // Нефтегазовое дело. - 2004. - Том 2. - С. 75-81.
6. Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В. Моделирование динамограммы станка-качалки. Утечки в клапанах // Нефтегазовое дело. - 2005. - Том 3. - С. 47-54.
7. Ковшов В. Д., Светлакова С. В., Сидоров М. Е. Моделирование динамограммы станка-качалки // Нефтяное хозяйство. - № 11-2005. - С. 47-54.

#### **Сведения об авторах**

**Ковшов Владимир Дмитриевич**, к. т. н., директор ООО НПП «ГРАНТ»  
**Сидоров Михаил Евгеньевич**, к. т. н., доцент кафедры информатики, Уфимская государственная академия экономики и сервиса  
**Светлакова Светлана Валерьевна**, к. т. н., доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств, Уфимский государственный нефтяной технический университет, тел.:(347)242-09-13, e-mail: ssvetlakova@yandex.ru  
**Kovshov V. D.**, Candidate of Technical Sciences, Director of «GRANT», Ltd. company  
**Sidorov M. Ye.**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Information Science, Ufa State Academy of Economics and Service  
**Svetlakova S. V.**, Candidate of Technical Sciences, associate professor, Department of Workflow Automation, Ufa State Oil Engineering University, phone: .:(347)242-09-13, e-mail: ssvetlakova@yandex.ru