

УДК 621.31

**ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
СОСТОЯНИЯ ГЛУБИННОЙ ШТАНГОВОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**

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

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

В статье излагается метод диагностирования состояния глубинных штанговых насосных установок на основе распознавания устьевого динамограммы по характерным признакам, имеющихся классифицированных динамограмм.

Анализируются режимы работы глубинных штанговых насосных установок на основе моделирования динамограмм, позволяющем расширить диапазон изменения их характерных признаков.

Изложенный в работе метод реализован в разработанной авторами программе DinamoGraph, используемой в ОАО «Татнефть».

**DYNAMOMETRY, MODELLING AND DIAGNOSTIC
THE CONDITION OF ROD PUMP**

Kovshov V. D., Sidorov M. E., Svetlakova S.V.

Key words: Dynamometry, diagnostic the condition, rod pump, dynamometer card, modelling of dynamometer card

The given article describes a diagnosis method of rod pumps' conditions basing on characteristic signs' recognition that usually have classified dynamograms.

It were analyzed operating modes of rod pump on basis of dynamograms' modelling; these operating modes permit to broaden characteristic signs changing diapazon.

The method stated in this work, was implemented in DinamoGraph program developed by authors' article; a Dinamograph program is currently used by ОАО "Tatneft".

В настоящее время большое внимание уделяется контролю и управлению режимами работы глубинных штанговых насосных установок (ГШНУ) с использованием методов динамометрирования, особенно для малобитных 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], в которой 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.", с.62 [1].

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 как методы моделирования, так и алгоритмы автоматизации для диагности-

рования 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 случаи 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. Целью моделирования, в данном случае, является 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 авторов [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 ($K_T >= 0$),
- K_3 – отношение хода плунжера в момент заедания к длине хода плунжера при работе без заедания ($0 <= K_3 < 1$).

Очевидно, что коэффициент K_T влияет на изменение глубины "провала" на динамограмме, а K_3 – на ширину "провала".

На Рисунке 1 показаны динамограммы, полученные в результате замеров, соответствующие различным условиям работы ГШНУ при заедании плунжера в конце хода штока.

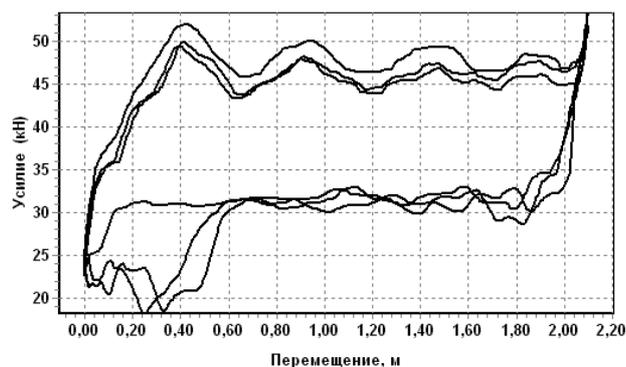


Рисунок 1

На Рисунке 2 показаны результаты расчетов для моделируемых динамограмм: при нормальной работе насоса, и при 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 $K_T=4$.

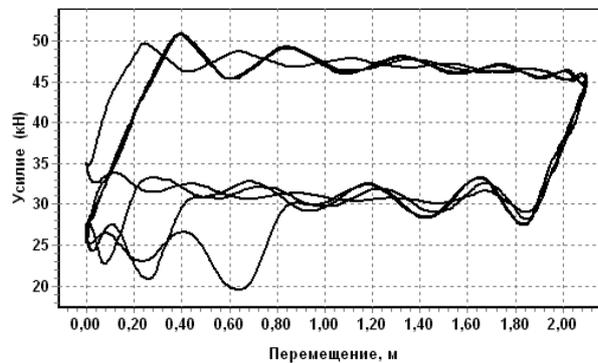


Рисунок 2

На Рисунке 3 показаны результаты расчетов для моделируемых динамограмм: при нормальной работе насоса, и при 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 $K_3=0,2$

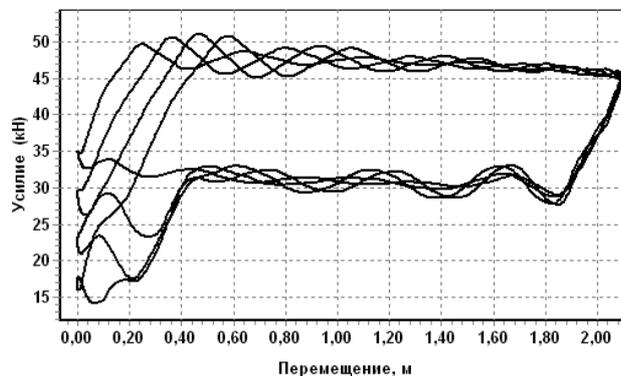


Рисунок 3

Алгоритм диагностирования состояния ГШНУ

Диагностирование заключается в идентификации динамограммы по характерным признакам классифицированных динамограммам, 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 (Рисунок 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 динамограммам, принимаются равными нулю, и по ним диагностика не проводится.

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 BC и AD, характеризуемых абсолютным значением экстремальной нагрузки;
- 2 признака на участках в окрестности точек C и A, характеризуемых максимальным значением нагрузки вблизи C и минимальным вблизи A;
- 4 признака на участках AA₁, BB₁, CC₁ и DD₁, характеризуемых средними значениями нагрузки;
- 3 признака на участках AA₁, BB₁ и DD₁, характеризуемых длинами участков;
- 2 признака на участках ABC (ход штока вверх) и CDA (ход штока вниз), характеризуемых площадями фигур, относительно диагонали AC;
- 3 признака на участке ABCDA (полный ход штока), характеризуемых: а) площадью динамограммы, б) количеством пересечений линии динамограммы с линией BC 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 D₁DD₂, характеризуемый выпуклостью линии D₁D₂;
- 1 признак, характеризуемый отношением значения динамического уровня к глубине погружения насоса.

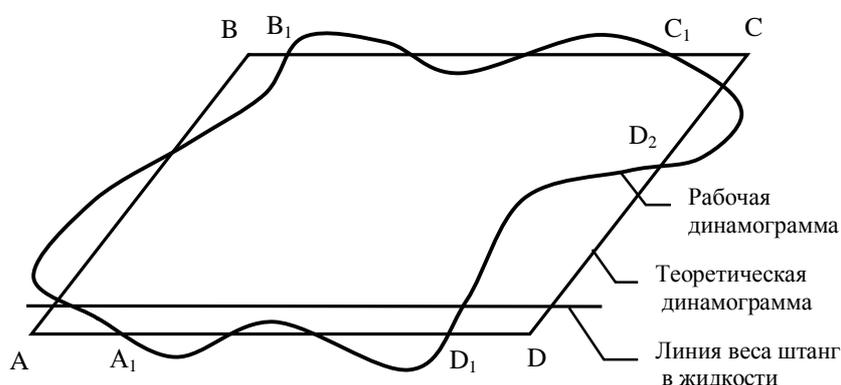


Рисунок 4 – К определению характерных признаков

Всего определено 15 классифицированных динамограмм, включая нормальную работу насоса, каждой из которых соответствует свой набор характерных признаков, (Таблица 1). 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.

Таблица 1

Состояние ГШНУ	Динамограмма классифицируется по характерным признакам
Нормальная работа насоса	все признаки, кроме выпуклости линии D ₁ D ₂
Поздний спад нагнетательного клапана	различные диапазоны изменения значений: средней нагрузки на участке BB ₁ , длины участка BB ₁
Утечки в нагнетательном клапане в начале хода штока вверх	
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 ₁ D ₂ , динамического уровня
Влияние пластового газа	
Недостаточный приток	
Утечки в нагнетательном клапане в начале хода штока вниз	средняя нагрузка на участке CD

Утечки во всасывающем клапане в начале хода штока вверх	средняя нагрузка на участке АВ
Выход плунжера из насоса	средняя нагрузка на участке СС ₁
Высокая посадка плунжера	максимальное значение нагрузки вблизи точки С
Низкая посадка плунжера	минимальное значение нагрузки вблизи точки А
Заедание плунжера в конце хода	средняя нагрузка и длина участка АА ₁
Обрыв штанг, либо фонтанирование	количество пересечений линии динамограммы с линией ВС при ходе штока вниз и с линией AD при ходе штока вверх, и отношение перепада нагрузок на плунжер к весу штанг
Прихват плунжера	средняя нагрузка на участках ВВ ₁ , DD ₁ и их длины, а также площади фигур, относительно диагонали АС
Отложение парафина	средняя нагрузка на участках АА ₁ , СС ₁

Алгоритм диагностирования состояния ГШНУ по динамограмме имеет следующую последовательность:

1. для замеренной динамограммы рассчитываются значения характерных признаков;
2. рассчитываются значения параметров δ_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 λ_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 – ой 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 $\lambda_j=1$, т.е. замеренная динамограмма достоверно соответствует классифицированной. В случае, например, всех $\delta_i=0,01$ получаем $\lambda_j=0,9$, т.е. 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 неопределена».

Изложенная выше методика реализована в разработанной авторами программе DipatoGraph и позволяет диагностировать работу ГШНУ по замеренной устьева динамограмме. Отметим, что для реальных динамограмм, как правило, диагностируется несколько состояний ГШНУ, с различными коэффициентами λ_j , характеризующими соответствие реальной динамограммы каждой из классифицированных (Рисунок 5).

Данная программа прошла апробацию и используется на фонде нефтяных скважин (около 2000 шт.) в ОАО «Татнефть» и др.

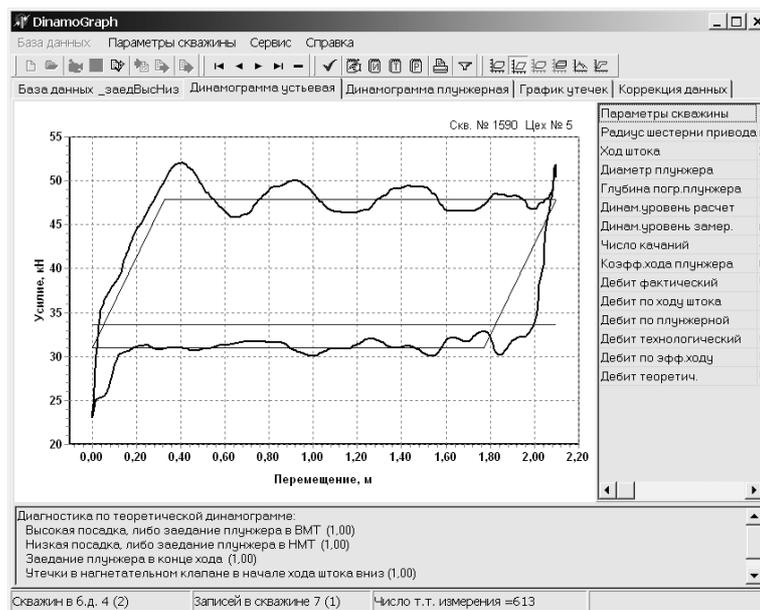


Рисунок 5 – Диагностирование состояния ГШНУ по виду ее динамограммы.

Выводы

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

Список литературы

1. Белов И. Г. Исследование работы глубинных насосов динамографами. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 128 с.
2. Алиев Т.М., Агагусейнов Н.Т., Костянян В.Р., Надеин В.Л., Раджабова Л.Н., Сухолуцкий Б.М., Тер-Хачатуров А.А. Аппаратно-программные средства контроля глубиннонасосного оборудования. – М.: ВНИИОЭНГ, 1988. – 56 с.
3. Алиев Т. М., Костянян В. Р. Современное состояние проблемы автоматизации диагностирования штанговых нефтяных установок // Измерения, контроль, автоматизация: материалы научно-технического сборника обзоров. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и экономики (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. – 16 с.
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.