

УДК 621.65:681.5

Е. С. ШАНЬГИН, С. В. ЗУБКОВ

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ШТАНГОВОЙ ГЛУБИННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Приводятся результаты исследований, связанных с разработкой измерительно-вычислительного комплекса для автоматизации эффективного управления процессом добычи нефти. *Информационно-измерительная и управляющая система; алгоритм; управление; насосная установка; интеллектуальный датчик; динамограмма*

Как уже отмечалось в [1] наиболее перспективными с точки зрения эффективности использования при определении количества извлекаемой из недр нефти, являются системы динамометрирования с использованием динамографа. Исходной информацией для вычисления дебита скважины в таких системах является плунжерная динамограмма (рис. 1).

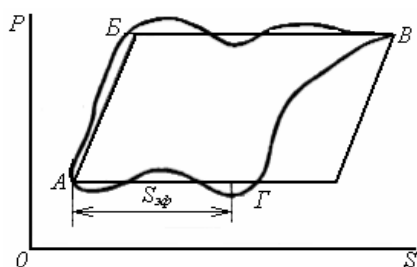


Рис. 1. Определение эффективного хода плунжера  $S_{эф}$  по динамограмме

Получать измерительную информацию о характере изменения усилия в плунжере (плунжерная динамограмма, которая определяет наполняемость насоса) штанговой глубинной насосной установки (ШГН), предпочтительнее на этапе передачи нагрузки от плунжера к наземному оборудованию – в траверсе канатной подвески (ШГН), где устанавливается динамограф 3 (рис. 2).

Логически выводимой частью алгоритма определения дебита нефти является эффективная длина хода плунжера  $S_{эф}$ . Величина  $S_{эф}$  соответствует движению плунжера ШГН с момента открытия нагнетательного клапана (точка Г) до его закрытия (точка А).

На практике для всех систем без исключения дебит, рассчитываемый по динамограмме программным путем, отличается от реального.

Объясняется это тем, что величина эффективного хода плунжера  $S_{эф}$  не соответствует действительной, поскольку точка Г, соответствующая моменту открытия нагнетательного клапана, смещена относительно реального положения. Одна из причин этому – наличие погрешности средств контроля, определяющих момент прохождения штоком нижней и верхней мертвых точек. Точность определения положения точки Г и других характерных точек динамограммы программным путем также зависит от заложенного алгоритма и принятых признаков.

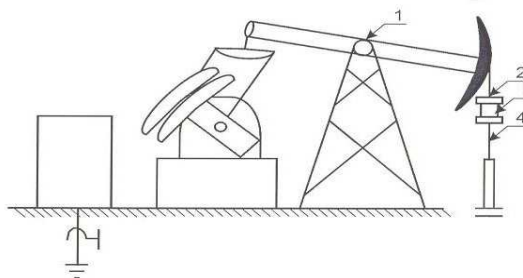


Рис. 2. Штанговая глубинная насосная установка (ШГН)

Поскольку одним из факторов, определяющих полную наполняемость насоса, а следовательно, и нормальную работу ШГН, является эффективная длина хода плунжера  $S_{эф}$ , зависящая от точной регистрации моментов прохождения полированным штоком нижней и верхней мертвых точек, то задача разработки силоизмерительного датчика, позволяющего измерять нагрузку, действующую на полированный шток за время одного полного хода станка-качалки и одновременно синхронизировать моменты прохождения штоком верхней и нижней мертвых точек и открытия и закрытия нагнетающего клапана, определяющих  $S_{эф}$ , яв-

ляется весьма актуальной в настоящее время с точки зрения повышения эффективности работы штангового глубинного насоса. Существующие конструкции датчиков измерения нагрузки, устанавливаемых на балансире, и датчиков положения в виде геркона, устанавливаемых на кривошипе электродвигателя станка-качалки ШГН, не позволяют, к сожалению, добиться выше поставленной цели.

### МЕТОД И КОНСТРУКЦИЯ

Предлагается конструкция интеллектуального датчика динамометрирования, работающего в составе программно-технического комплекса для контроля и управления процессом нефтедобычи [2].

При подключении силоизмерительного тензорезисторного датчика, устанавливаемого между опорными плитами траверсы канатной подвески станков-качалок ШГН нефтедобывающей скважины (рис. 2), к измерительно-вычислительному комплексу [2], образуются электроизмерительные каналы, позволяющие в цифровом виде с нормируемой точностью (приведенная погрешность 0,6%) определять абсолютную нагрузку, действующую на полированный шток станка-качалки в зависимости от его положения, и представлять измерительную информацию на экранах компьютеров диспетчерского пункта и технологических объектов в виде теоретических и практических динамограмм, обрабатываемых автоматически путем соответствующих расчетов, заложенных в программу с целью вычисления количества добываемой жидкости за определенный промежуток времени.

Принцип работы датчика (рис. 3) заключается в следующем.

Электрические сигналы с тензометрического моста 1 и с выхода датчика ускорения 2, встроенного в силоизмерительный тензорезисторный датчик, подаются на соответствующие два канала аналого-цифрового преобразователя 3 для поочередного преобразования в цифровую форму с последующей передачей цифрового сигнала в программируемый микроконтроллер 4 датчика, управляющий работой аналого-цифрового преобразователя и обеспечивающий выход цифрового сигнала через буферный преобразователь 5 и последовательный интерфейс RS-485 на программируемый логический контроллер измерительно-вычислительного комплекса.

Управление микросхемой датчика нагрузки и ускорения осуществляется от встроенного электронного микроконтроллера 4 через выво-

ды интерфейса SPI. Встроенный микроконтроллер позволяет задать режим работы АЦП – инициализацию, калибровку или преобразование.

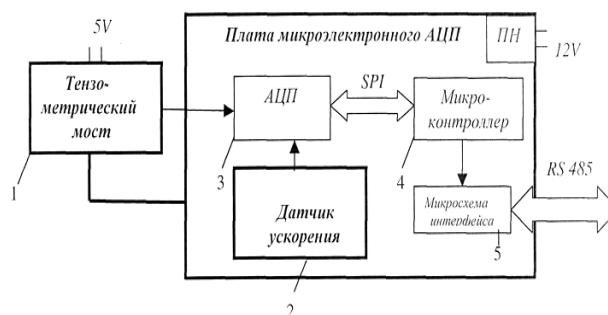


Рис. 3. Схема интеллектуального силоизмерительного датчика

Алгоритм измерения динамограммы в этом случае заключается в следующем.

Получив команду на измерение динамограммы система ожидает сигнала от датчика ускорения, встроенного в силоизмерительный датчик, о прохождении штоком нижней мертвой точки. Если сигнал не проходит в течение длительного времени, то считается, что станок-качалка остановлен, либо неисправен датчик. Если сигнал с датчика принят, то запускается таймер, считающий длительность периода качания. После система ожидает сигналов о прохождении штоком верхней мертвой точки и последующего прохождения нижней точки. Получив сигнал, микроконтроллер вычисляет дискретность измерения усилия, разделив длительность периода качания на число точек динамограммы. В следующем цикле качания производится измерение усилия через найденные дискреты времени и их запись в память. Таким образом, за два цикла качания в памяти системы появляется динамограмма, занимающая определенный заранее известный объем. Датчик ускорения, работающий в составе силоизмерительного датчика, позволяет точно синхронизировать моменты прохождения штоком верхней и нижней мертвых точек и открытия и закрытия нагнетающего клапана.

Глубинный штанговый насос можно представить в виде системы последовательно соединенных элементов: плунжерная пара, колонна штанг, подвеска штанг. При моделировании условий работы глубинного штангового насоса мы заменяем эту систему элементов одной штангой с «приведенной» жесткостью, на верхнем и нижнем концах которой имеются силовые и кинематические условия.

При этом заданными граничными условиями могут быть:

- со стороны подвески штанг – данные замера усилий и перемещений на штоке;
- со стороны плунжерной пары – моделируемые усилия и перемещения плунжера.

В этом случае перемещение штанги можно описать дифференциальным уравнением продольных колебаний стержня [3]:

$$a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $a$  – скорость распространения звука в штанге;  $u$  – абсолютное перемещение некоторого сечения штанги;  $x$  – координата сечения;  $t$  – время.

Общий интеграл уравнения (1) известен и представляется в виде суммы функции двух аргументов:

$$u = \Phi(at + x) + \Phi_1(at - x). \quad (2)$$

Таким образом, задавая граничные условия на концах штанги, можно получить конкретные решения для следующих задач:

- расчет параметров на плунжере по данным на штоке;
- расчет параметров на штоке по данным на плунжере;
- расчет усилий на штоке по усилиям на плунжере и перемещениям на штоке.

Для построения данной модели используются следующие уравнения, полученные в работе [3]:

$$P_1(t) = 0,5[P(t + \delta) + P(t - \delta)] - Q - 0,5[V(t + \delta) - V(t - \delta)] \frac{Ef}{a}, \quad (3)$$

$$V_1(t) = 0,5[V(t + \delta) + V(t - \delta)] - 0,5[P(t + \delta) - P(t - \delta)] \frac{a}{Ef}, \quad (4)$$

$$U_1(t) = 0,5[U(t + \delta) + U(t - \delta)] - 0,5 \left[ \int_0^t P(t + \delta) dt - \int_0^t P(t - \delta) dt \right] \frac{a}{Ef}, \quad (5)$$

где  $P$ ,  $V$ ,  $U$  – нагрузка, скорость и перемещение на верхнем конце штанги;  $P_1$ ,  $V_1$ ,  $U_1$  – нагрузка, скорость и перемещение на нижнем конце штанги;  $t$  – переменная времени;  $\delta = \frac{H}{a}$  – время распространения волны перемещений от одного конца штанги до другого;  $H$  – длина штанги (глубина погружения насоса);  $f$  – площадь сечения штанги;  $E$  – модуль упругости материала штанги;  $Q$  – вес штанг в жидкости.

Характер изменения нагрузки на верхнем конце штанги определяется динамометрированием, а закон его перемещения с достаточной точностью может быть описан, как гармонический:

$$U = \frac{1}{2} L \left( 1 - \cos \frac{2\pi t}{T} \right), \quad (6)$$

где  $L$  – длина хода штока,  $T$  – период качаний.

Используя уравнения (3–5), можно по нагрузке и скорости на штоке определить нагрузку, скорость и перемещение на плунжере, то есть рассчитать плунжерную динамограмму (рис. 4, 5).

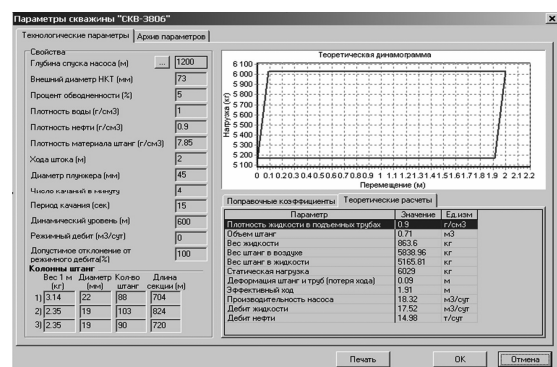


Рис. 4. Теоретическая плунжерная динамограмма

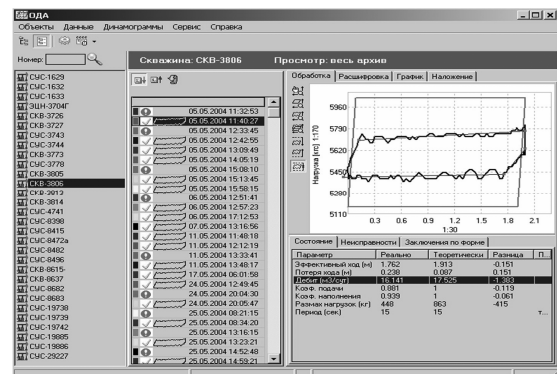


Рис. 5. Практическая плунжерная динамограмма

Процесс снятия динамограмм программно-техническим комплексом [2] полностью автоматизирован. При каждом цикле замера происходит калибровка силоизмерительного датчика, определение периода качания станка-качалки, определение момента прохождения полированным штоком нижней мертвой точки, оцифровка сигнала нагрузки за полный период, начиная с нижней точки.

Обработка динамограмм (рис. 6, 7) происходит по следующему принципу. Используя исходный массив нагрузки, формируется график динамограммы по функции перемещения. Затем полученный график анализируется, и в динамограмме выделяются линии процессов

(рис. 6). Эти линии сглаживают колебательные процессы прямыми линиями. В результате сглаживания строятся характерные точки (рис. 7), которые являются точками стыка процессов. При необходимости их местоположение можно изменить и программа рассчитает параметры снова. Предусмотрен и режим наложения динамограмм.

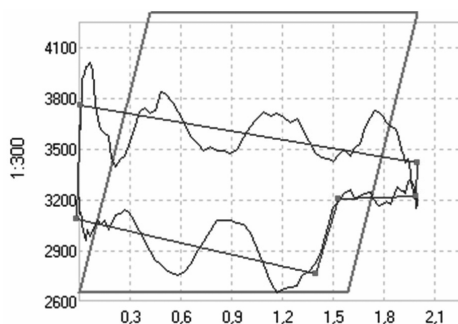


Рис. 6. Линии процессов на динамограмме

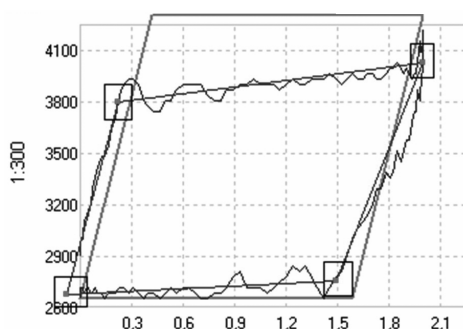


Рис. 7. Характерные точки динамограммы

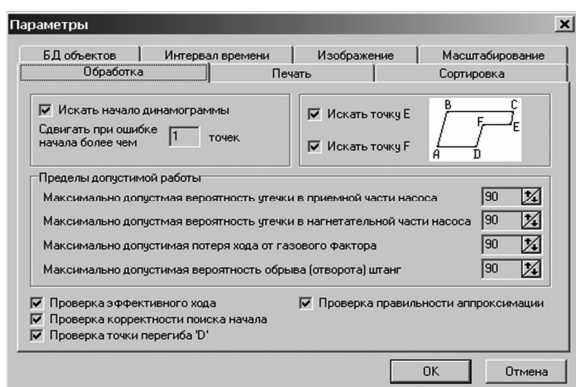


Рис. 8. Плунжерная динамограмма с учетом газового фактора

По найденным точкам динамограммы программа осуществляет расчет вероятности неисправностей, а также расчет эффективного хода плунжера насоса, потери хода, дебита по динамограмме (рис. 8).

## ВЫВОДЫ

Разработан новый метод повышения эффективности управления работой штанговой глубинной насосной установки нефтедобывающей скважины, основанный на результатах комплексных исследований, связанных с математическим и имитационным моделированием нормальной работы плунжерного насоса с использованием интеллектуального силоизмерительного датчика на базе измерительно-вычислительного комплекса. Повышается производительность добычи нефти из нефтеносной скважины, снижаются энергетические затраты и затраты на обслуживание. Методика автоматизированного определения количества извлекаемой из недр нефти на основе разработанного алгоритма повышения эффективности автоматического управления работой ШГН, согласована с ГЦИ СИ ФГУ «Центр стандартизации и сертификации Республики Башкортостан» и рекомендована к применению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков С. В. Автоматизация процесса определения количества извлекаемой из недр нефти по динамограмме // Сб. науч. тр. «Проблемы машиноведения, процессов управления и критических технологий». Уфа: Гилем, 2008.
2. Зубков С. В. Патент на полезную модель № 66550 «Комплекс программно-технический для контроля и управления распределенными технологическими процессами». Бюл. № 25, 10.08.2007.
3. Касьянов В. М. Аналитический метод контроля работы глубинных штанговых насосов. М.: ВНИИОНГ, 1973.

## ОБ АВТОРАХ



**Шаньгин Евгений Сергеевич**, проф. каф. технич. кибернетики. Дипл. инж. элек. мех. (УАИ, 1966). Д-р техн. наук по автоматизации и управлению техн. процессами и производствами (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. автоматизи.



**Зубков Степан Владимирович**, инж. по АСУ ООО НПФ «Экситон-автоматика». Дипл. бакалавр техники и технологии (УГАТУ, 2006), дипл. инж. по АСУ ТП (УГАТУ, 2007). Готовит дис. по автоматизации управл. технологич. процессами и производствами.