

На правах рукописи

СВЕТЛАКОВА Светлана Валерьевна

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЯ СКВАЖИН, ОБОРУДОВАННЫХ
ШТАНГОВЫМИ ГЛУБИННЫМИ НАСОСАМИ**

**Специальность 05.11.16 –
«Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)»**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

УФА 2008

Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов
в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

Научный руководитель	кандидат технических наук, доцент Емец Сергей Викторович.
Официальные оппоненты	доктор технических наук, профессор Сапельников Валерий Михайлович; кандидат технических наук, доцент Гулин Артур Игоревич.
Ведущая организация	Сургутский научно- исследовательский и проектный институт «СургутНИПИнефть» (ОАО «Сургутнефтегаз»).

Защита состоится «19» декабря 2008 года в 10:00
на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций
Д212.288.02
при Уфимском государственном авиационном техническом университете по
адресу: 450000, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан «___» _____ 2008 года.

Ученый секретарь совета
доктор технических наук, профессор



Утляков Г. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

В настоящее время для добычи нефти наиболее часто используются штанговые глубинные насосы (ШГН). Согласно статистике, таким способом в Западной Европе эксплуатируются 90% скважин, в США – 85%, в России – около 53%. Разрабатываются также новые нефтепромысловые технологии и оборудование, например, цепные приводы для ШГН, более эффективные при добыче высоковязкой и остаточной нефти, чем традиционные станки-качалки. В связи с этим проводятся дополнительные исследования с целью уточнения параметров, используемых при диагностировании состояния ШГН, и совершенствуются системы автоматизации скважин.

К достоинствам скважинных штанговых насосных установок (СШНУ) относятся: технически несложный монтаж, возможность адаптации к изменяющимся условиям притока и относительно высокий КПД. К недостаткам – достаточно быстрый (3-4 года) износ плунжерной пары, насосно-компрессорных труб и штанг вследствие трения, а также трудоемкость операций по замене и ремонту глубинных насосов, что обуславливает необходимость своевременной диагностики и подтверждает актуальность автоматизации контроля технического состояния и режима работы СШНУ.

Наиболее эффективным способом контроля за состоянием глубинно-насосного оборудования остается динамометрирование ШГН – построение устьевого (наземной) динамограммы – графика зависимости нагрузки на траверсе СШНУ от положения полированного штока. Данный способ позволяет, используя методы диагностирования, отслеживать исправность работы ШГН в реальном масштабе времени, а также оценивать текущий фактический дебит скважины.

Среди известных на данный момент систем контроля состояния СШНУ наиболее перспективны стационарные информационно-измерительные системы (СИИС), позволяющие осуществлять непрерывный контроль за работой целых комплексов насосных установок. Вся информация, поступающая со скважин в диспетчерский пункт, оперативно обрабатывается и анализируется с использованием программного обеспечения верхнего уровня.

Вышеизложенное позволяет утверждать следующее: создание новых систем контроля состояния СШНУ остается актуальной задачей, и, в частности, имеется необходимость разработки информационно-измерительной системы (ИИС) динамометрирования ШГН, адаптированной как для станков-качалок, так и для установок с цепным приводом и включающей программное обеспечение верхнего уровня с функциями диагностирования состояния ШГН.

Цель работы – разработка информационно-измерительной системы динамометрирования скважин, оборудованных ШГН и ее программного обеспечения с функцией диагностирования состояния ШГН по динамограмме.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- 1 Разработка ИИС динамометрирования скважин, оборудованных ШГН, адаптированной для станков-качалок и установок с цепным приводом.
- 2 Разработка программного обеспечения верхнего уровня, обеспечивающего сбор, хранение и обработку данных динамометрирования, в том числе диагностирование работы ШГН.
- 3 Разработка алгоритма диагностирования состояния ШГН по характерным симптомам устьевого динамограммы.
- 4 Разработка алгоритма расчета устьевого динамограммы по моделируемым усилиям на плунжере.
- 5 Экспериментальные исследования разработанной ИИС динамометрирования.

Методы исследования

Поставленные в работе задачи решены с использованием классической теории электрических цепей, теории погрешностей и помехоустойчивости, методов статистической обработки результатов измерений, методов решения уравнений математической физики, технологии высокоуровневого программирования. Проверка эффективности решения поставленных задач осуществлялась на реальных промышленных данных.

На защиту выносятся:

- 1 ИИС динамометрирования ШГН, а именно – система «ДДС» (диагностирование по динамограмме скважины).
- 2 Алгоритм диагностирования состояния ШГН по характерным симптомам устьевого динамограммы.
- 3 Алгоритм расчета устьевого динамограммы по моделируемым усилиям на плунжере ШГН.

Научная новизна результатов

1 Разработана ИИС динамометрирования ШГН – система «ДДС», адаптированная для станков-качалок и установок с цепным приводом и отличающаяся от известных возможностью автоматизированной обработки данных, полученных без использования измерительного преобразователя положения верхней/нижней «мертвых» точек.

2 Разработан алгоритм диагностирования состояния ШГН по характерным симптомам устьевого динамограммы, отличающийся от известных тем, что значения симптомов определяются как отклонения диагностируемой динамограммы от теоретической и соответствуют видам неисправностей, а не являются параметрами некоторых выделенных признаков, полученных в результате какого-либо преобразования общего вида динамограммы. Указанная особенность разработанного алгоритма позволяет диагностировать одновременно несколько видов неисправностей ШГН.

3 Предложен и разработан алгоритм расчета устьевого динамограммы, отличающийся от известных тем, что исходными данными являются усилия на плунжере, смоделированные для различных условий работы ШГН, что позволяет обосновать наличие характерных симптомов и диапазоны их значений при диагностике состояния ШГН по виду устьевого динамограммы.

Практическая ценность и внедрение результатов работы

Практическую ценность разработанной системы динамометрирования скважин представляют:

1 Разработанная ИИС динамометрирования ШГН – система «ДДС», внедренная в системе автоматики и управления штанговым глубинно-насосным оборудованием ОАО «Татнефть» и обеспечивающая оперативный контроль состояния ШГН.

2 Программа, реализующая алгоритм диагностирования состояния ШГН по характерным симптомам устьевого динамограммы (программа для ЭВМ № 2004611544 «DinamoGraph»). Применение данного алгоритма дополняет известный ранее перечень диагностируемых по динамограмме неисправностей и обеспечивает распознавание динамограмм, имеющих признаки нескольких видов неисправностей ШГН, что позволяет более эффективно эксплуатировать скважины.

3 Программа, реализующая алгоритм расчета устьевого динамограммы по моделируемым усилиям на плунжере. Программа позволяет проводить расчеты в широких диапазонах изменения геометрических параметров и условий работы ШГН с целью уточнения диагностики состояния ШГН по виду устьевого динамограммы.

4 Результаты экспериментальных исследований, которые подтвердили адекватность разработанного алгоритма диагностирования состояния ШГН экспертным оценкам специалистов-технологов.

Апробация работы

Основные положения проведенных исследований и результаты работы докладывались и обсуждались: на XV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления» (Москва, 2003); 3-й Международной научно-технической конференции «Информационные технологии и системы: Новые информационные технологии в науке, образовании, экономике» (Владикавказ, 2003); XVI научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления» (Москва, 2004); Региональной научно-практической конференции «Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе» (Йошкар-Ола, 2005).

Публикации

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 13 работах, в том числе 9 научных статьях, из них 3 – в рецензируемых

изданиях из списка ВАК, 4 – в виде тезисов докладов и 1 свидетельство Роспатента об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 147 страницах машинописного текста и включает в себя введение, 5 глав основного материала, заключение, 72 рисунка, 13 таблиц, библиографический список из 104 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель работы и задачи исследований, рассмотрены новизна и практическая значимость выносимых на защиту результатов работы.

В первой главе сделан обзор существующих ИИС с указанием их достоинств и недостатков, в результате которого выявлена актуальность проведения работ по созданию алгоритмов диагностирования состояния ШГН по виду устьевого динамограммы.

Произведен анализ контролируемых параметров и методов диагностики скважин, оборудованных ШГН. Сделан вывод о том, что самым простым, доступным и оперативным методом промыслового исследования остается динамометрирование.

Также сделан вывод о том, что повышение эффективности применения ИИС динамометрирования для оперативного контроля за работой скважин, оборудованных ШГН, возможно путем разработки ИИС, включающей в себя: первичные измерительные преобразователи (ИП), станцию управления с контроллером, систему передачи данных от ИП на диспетчерский пункт и программу верхнего уровня, обеспечивающую обработку полученных данных.

Во второй главе предложена структурная схема СИИС динамометрирования ШГН, охватывающая все необходимые ее составляющие: первичные и вторичные ИП, блоки цифровых устройств и элементы сопряжения интерфейсов (рисунок 1).

Сформулированы основные требования, предъявляемые к ИИС динамометрирования.

Проанализированы способы установки ИП усилия на станок-качалку и цепной привод. Обоснована целесообразность размещения стационарного ИП усилия на штоке между нижней и верхней траверсами.

Показано, что наиболее оптимальным способом определения моментов прохождения штоком мертвых точек и периода качания в системах динамометрирования ШГН остается установка дискретных ИП положения. Погрешность определения положения штока в этом случае, в отличие от ИП с аналого-цифровым преобразованием сигнала, будет близка к нулю.

Приведены отличия установок с цепным приводом от станков-качалок, которые должны быть учтены при установке ИП усилия и положения.



АКД – аппаратура канала данных; К – контроллер станции управления; СЭ – силовые элементы; БРЧЭ – блок регулировки частоты вращения электропривода ШГН; БИС – барьеры искрозащиты; ИРП – источник резервного питания, Дис П – диспетчерский пункт; КП – контролируемый пункт; ЛВС – локальная вычислительная сеть; OPC (Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control) – программные технологии

Рисунок 1 – Структурная схема СИИС динамометрирования ШГН

Предложена ИИС динамометрирования ШГН, а именно – система «ДДС» (рисунок 1), разработанная при непосредственном участии автора, которая обеспечивает выполнение таких обязательных функций:

- сбор и обработка данных, полученных с первичных ИП, в установленном на объекте контроллере;
- передача данных по проводным или беспроводным каналам связи на диспетчерский пункт;
- диагностирование состояния оборудования ШГН с выдачей управляющих воздействий;

– количественная оценка дебита СШНУ для выявления определенных сочетаний параметров эксплуатации глубинно-насосного оборудования и геолого-технической характеристики скважины для обеспечения максимально возможной подачи насоса.

Приведены технические и эксплуатационные характеристики предложенной системы «ДДС».

В третьей главе сформулированы основные требования, предъявляемые к программному обеспечению ИИС динамометрирования.

Представлена программа «DinamoGraph», предназначенная для организации пользовательского интерфейса системы «ДДС» и обеспечивающая:

- хранение в базе данных результатов замеров, параметров скважины, предельных значений величин, используемых при расчетах;
- представление данных в виде устьевого (наземной), плунжерной (глубинной) динамограмм, графика утечек из насосно-компрессорных труб, а также развертки динамограммы во времени;
- сравнение данных по скважине путем наложения графиков динамограмм;
- обработку данных, которая предполагает диагностику состояния ШГН и оценку дебита скважины по динамограмме;
- формирование отчетов о работе скважины в табличном и графическом виде;
- экспорт исходных данных в файлы с целью дальнейшего импорта в другие базы данных.

Разработаны алгоритмы расчета периода и начала динамограммы, позволяющие автоматизировать обработку данных, полученных без использования ИП положения верхней и нижней «мертвых» точек (ВМТ и НМТ).

Разработан алгоритм диагностирования состояния ШГН по динамограмме, в котором каждому характерному состоянию соответствует некоторый набор симптомов, изменяющихся в заданном диапазоне.

Алгоритм оценки состояния ШГН по динамограмме проводится в следующей последовательности:

- определение значений входных коэффициентов (значений симптомов) рабочей динамограммы;
- расчет δ – отклонения значений симптомов рабочей динамограммы за диапазон симптомов для динамограммы с характерной неисправностью;
- расчет λ – выходных коэффициентов, характеризующих соответствие рабочей динамограммы каждой из характерных динамограмм, по формуле

$$\lambda_j = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^K \frac{(100\delta_i)^2}{K}},$$

где $j = 1 \dots N$ – количество характерных динамограмм;

$i = 1 \dots K$ – количество симптомов, определенных для характерной динамограммы.

Всего в работе определено 24 симптома на следующих участках (рисунок 2) теоретической динамограммы:

– 14 участков (по два на боковых гранях и по пять на горизонтальных), характеризующих средними значениями нагрузки на участке;

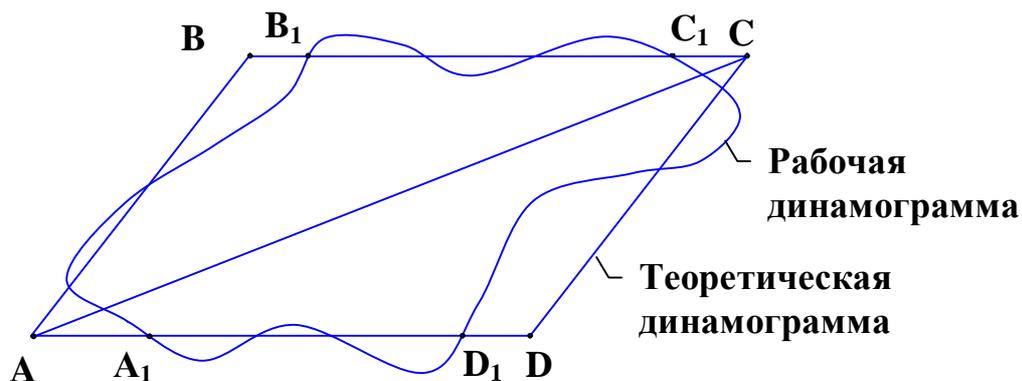


Рисунок 2 – К определению симптомов

– 2 участка (в окрестностях ВМТ и НМТ), характеризующих максимальным значением нагрузки в ВМТ и минимальным в НМТ;

– 4 участка (AA₁, BB₁, CC₁ и DD₁), характеризующих средними значениями нагрузки;

– 3 участка (ход штока вверх, вниз и полный ход), характеризующих площадями фигур;

– 1 участок (полный ход штока), характеризующий средним значением перепада нагрузок на плунжер (высотой параллелограмма).

Всего в работе определено 16 характерных динамограмм, включая нормальную работу насоса, каждой из которых соответствует свой набор симптомов с наибольшим и наименьшим значением. Таким образом, из полного набора 24-х симптомов рабочая динамограмма диагностируется по ряду значений симптомов, соответствующих характерной динамограмме. Динамограмма нормальной работы насоса, например, характеризуется всеми 24-мя симптомами.

В таблице 1 показано, какими симптомами характеризуется динамограмма в зависимости от состояния ШГН.

Часто состояние ШГН характеризуется несколькими неисправностями, в этих случаях диагностируются все виды характерных динамограмм (рисунок 3).

В четвертой главе предложен алгоритм расчета устьевого динамограммы по моделируемым усилиям на плунжере.

ШГН представляется в виде системы последовательно соединенных элементов: плунжерная пара, колонна штанг, подвеска штанг. Эта система элементов заменяется одной штангой с «приведенной» жесткостью, на верхнем и нижнем концах которой имеются силовые и кинематические условия (рисунок 4).

Таблица 1 – Симптомы, которыми характеризуется динамограмма в зависимости от состояния ШГН

Состояние ШГН	Динамограмма характеризуется следующими симптомами
Поздний спад нагнетательного клапана и утечки в нагнетательном клапане	на участке ВВ ₁ *
Утечки во всасывающем клапане, влияние пластового газа и недостаточный приток	на участке DD ₁
Утечки в ВМТ в нагнетательном клапане	два участка на правой боковой грани
Утечки в НМТ во всасывающем клапане	два участка на левой боковой грани
Выход плунжера из насоса	на участке СС ₁
Высокая посадка либо заедание плунжера в ВМТ	в окрестности ВМТ
Низкая посадка либо заедание плунжера в НМТ	в окрестности НМТ
Заедание плунжера в конце хода	на участке АА ₁
Обрыв штанг или фонтанирование	высота параллелограмма
Прихват плунжера (вставной и трубный насос)	на участке DD ₁ , площади фигур при ходе штока вверх и вниз
Отложения парафина	в ВМТ и НМТ
* – Диагностика конкретного состояния ШГН определяется различным диапазоном изменения значения симптома.	

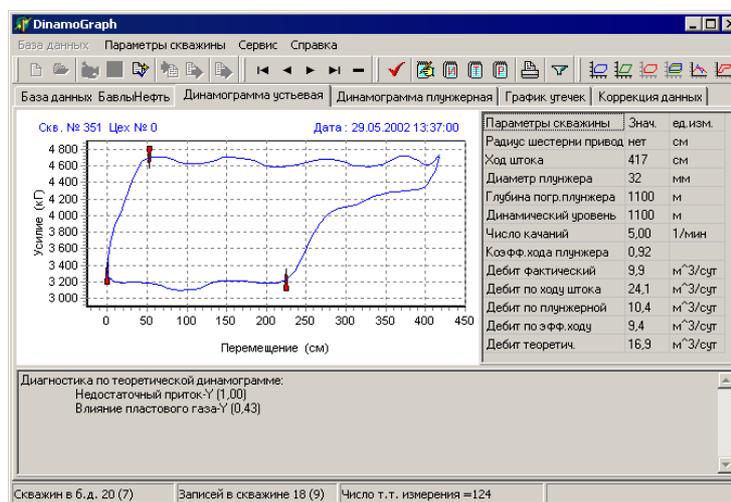


Рисунок 3 – Одновременное диагностирование нескольких видов неисправностей

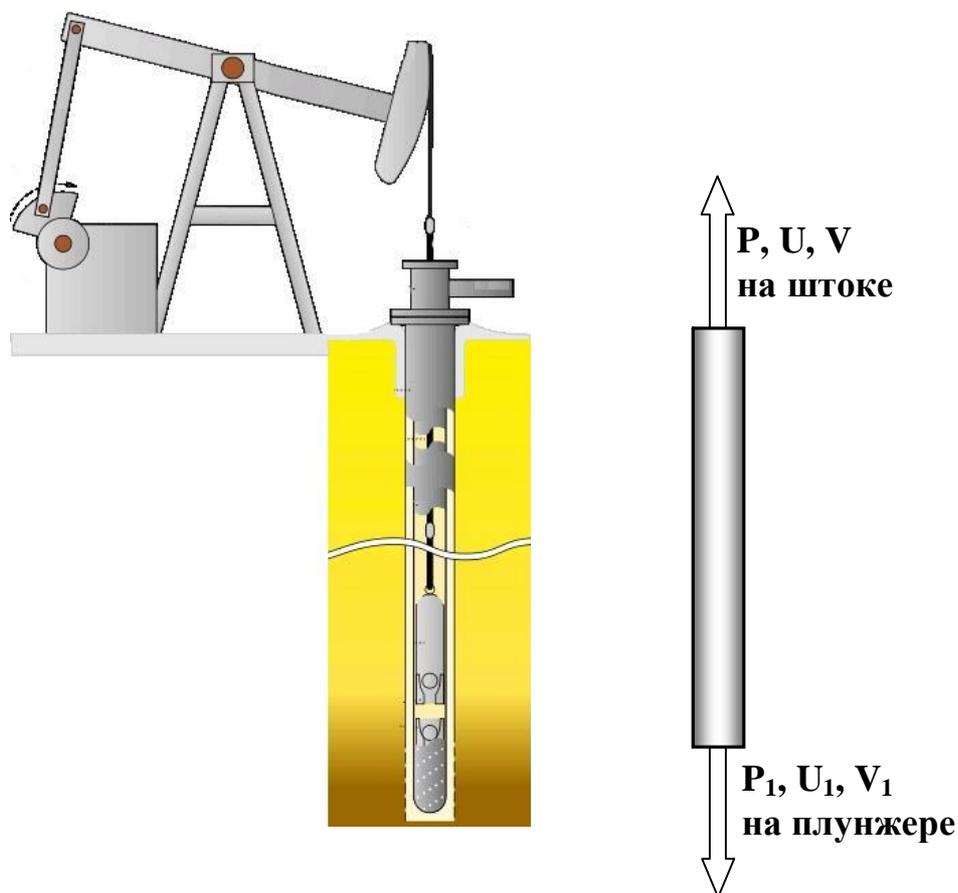


Рисунок 4 – Схематичное представление системы ШГН в виде штанги с «приведенной» жесткостью

В этом случае перемещение штанги можно описать дифференциальным уравнением продольных колебаний стержня

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

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

При этом заданными граничными условиями являются:

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

Известны решения уравнения (1) при заданных граничных условиях (P , V) на одном из концов штанги, реализованные в аналитическом алгоритме расчета динамограммы (Алгоритм 1).

В данном алгоритме используются следующие уравнения, полученные в работе В. М. Касьянова (1973 г.):

$$P_1(t) = 0,5 \cdot [P(t + \delta) + P(t - \delta)] - P_{шт} - 0,5 \cdot [V(t + \delta) - V(t - \delta)] \frac{E_f}{a}, \quad (2)$$

$$V_1(t) = 0,5 \cdot [V(t + \delta) + V(t - \delta)] - 0,5 \cdot [P(t + \delta) - P(t - \delta)] \frac{a}{Ef}, \quad (3)$$

$$U_1(t) = 0,5 \cdot [U(t + \delta) + U(t - \delta)] - 0,5 \cdot \left[\int_0^t P(t + \delta) dt - \int_0^t P(t - \delta) dt \right] \frac{a}{Ef}, \quad (4)$$

где P, V, U – нагрузка, скорость и перемещение на верхнем конце штанги (далее по тексту – на штоке);

P_1, V_1, U_1 – нагрузка, скорость и перемещение на нижнем конце штанги (далее по тексту – на плунжере);

f – площадь сечения штанги;

E – модуль упругости материала штанги;

$P_{шт}$ – вес штанг в жидкости;

δ – время распространения волны перемещений от одного конца штанги до другого

$$\delta = \frac{H}{a}, \quad (5)$$

где H – длина штанги (глубина погружения насоса).

Нагрузку на штоке можно определить, используя систему динамометрирования, а закон перемещения, как показано в работе В. М. Касьянова, принять гармоническим:

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

где L – удвоенная амплитуда перемещения (длина хода штока ШГН),
 T – период качаний.

Используя уравнения (2)...(4), можно по нагрузке и перемещению (скорости) на штоке определить нагрузку, скорость и перемещение на плунжере, то есть рассчитать плунжерную динамограмму.

С целью проверки Алгоритма 1 примем за исходные данные полученное решение на плунжере – параметры $P_1(t)$ и $V_1(t)$ – и по уравнениям (7), (8) рассчитаем устьевою динамограмму – $P(t)$ и $V(t)$. При этом используются уравнения, аналогичные (2)...(4), но отличающиеся знаками:

$$P(t) = 0,5 \cdot [P_1(t + \delta) + P_1(t - \delta)] + P_{шт} + 0,5 \cdot [V_1(t + \delta) - V_1(t - \delta)] \frac{Ef}{a}, \quad (7)$$

$$V(t) = 0,5 \cdot [V_1(t + \delta) + V_1(t - \delta)] + 0,5 \cdot [P_1(t + \delta) - P_1(t - \delta)] \frac{a}{Ef}, \quad (8)$$

$$U(t) = 0,5 \cdot [U_1(t + \delta) + U_1(t - \delta)] + 0,5 \cdot \left[\int_0^t P_1(t + \delta) dt - \int_0^t P_1(t - \delta) dt \right] \frac{a}{Ef}. \quad (9)$$

Проведенные расчеты показали полное совпадение исходных значений параметров $P(t)$, $V(t)$ и $U(t)$ устьевою динамограммы с рассчитанными по уравнениям (7)...(9).

Таким образом, согласно постановке задачи в аналитическом алгоритме расчета динамограммы (Алгоритм 1), по исходным данным для устьевою динамограммы можно рассчитать плунжерную и наоборот.

С целью обоснования результатов диагностирования состояния ШГН по виду устьевого динамограммы разработан итерационный алгоритм расчета нагрузки на штоке по моделируемым нагрузкам на плунжере и известным перемещениям на штоке (Алгоритм 2). Отметим, что в известной автору литературе, аналогичные алгоритмы решения уравнения (1) не приводятся.

В Алгоритме 2 для расчета устьевого динамограммы предлагается моделировать усилия на плунжере и использовать определенное по формуле (6) перемещение штока. В такой постановке процесс решения становится итерационным:

$$V_1(t) = 0,5 \cdot [V(t + \delta) + V(t - \delta)] - 0,5 \cdot [P(t + \delta) - P(t - \delta)] \frac{a}{E_f}, \quad (11)$$

$$P(t) = 0,5 \cdot [P_1(t + \delta) + P_1(t - \delta)] + P_{шт} + 0,5 \cdot [V_1(t + \delta) - V_1(t - \delta)] \frac{E_f}{a}. \quad (12)$$

Последнее приближение – уточнение усилий на плунжере и расчет перемещений на плунжере:

$$P_1(t) = 0,5 \cdot [P(t + \delta) + P(t - \delta)] - P_{шт} - 0,5 \cdot [V(t + \delta) - V(t - \delta)] \frac{E_f}{a}, \quad (13)$$

$$U_1(t) = 0,5 \cdot [U(t + \delta) + U(t - \delta)] - 0,5 \cdot \left[\int_0^t P(t + \delta) dt - \int_0^t P(t - \delta) dt \right] \frac{a}{E_f}. \quad (14)$$

Расчеты показали, что наличие скоростной составляющей $V_1(t)$ в первом приближении приводит к появлению наклона «горизонтального» участка, при этом устьевые усилия и скорость на плунжере определяются достаточно точно.

При последующих итерациях устьевые усилия корректируются только за счет небольшого изменения $V_1(t)$, поскольку $P_1(t)$ – задано. Данный процесс быстро сходится, так, для приведенной ниже динамограммы задано десять приближений.

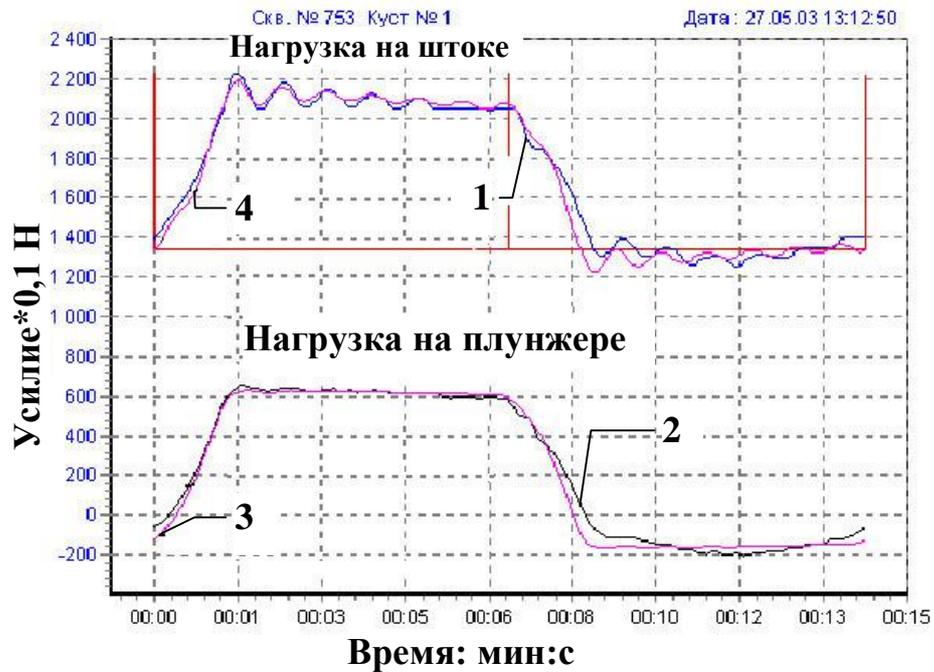
Для проверки Алгоритма 2 (уравнения (11) и (12)) в качестве нагрузки P_1 использовались решения, полученные по Алгоритму 1. Расчеты по Алгоритму 2 показали, что полученные решения (P , U , V) с погрешностью не более 0,5% совпадают с исходными P , U , V .

Таким образом, моделируя условия на плунжере и используя для расчета Алгоритм 2, можно рассчитать устевую динамограмму.

Следует отметить, что, несмотря на представление Алгоритма 2 в упрощенном виде, рассчитанные динамограммы хорошо согласуются с реальными (рисунок 5), что позволило уточнить диагностику состояния ШГН по устьевого динамограмме.

В работе с помощью Алгоритма 2 были проанализированы следующие условия работы ШГН: нормальная работа насоса, утечки в клапанах, недостаточный приток и запаздывание закрытия нагнетательного клапана.

В пятой главе приведено описание экспериментальных исследований разработанной системы «ДДС», в частности таких ее функций, как диагностика состояния и оценка дебита ШГН.



1 – замеренная; 2 – рассчитанная по Алгоритму 1; 3 – заданная по Алгоритму 2

Рисунок 5 – Графики нагрузок на верхнем (на штоке) и нижнем (на плунжере) концах штанги

Целью первого исследования было выявление причины отсутствия подачи на скважине № 3005 НГДУ «Южарланнефть» ОАО АНК «Башнефть».

В ходе исследований на скважину был установлен датчик усилия ДУ-04 системы «ДДС». Была проведена регистрация динамограммы с помощью переносного модуля сбора информации МСИ-07. Далее результаты замера были перенесены в программу верхнего уровня «DinamoGraph». Окно программы «DinamoGraph» с графиком динамограммы скважины № 3005 показано на рисунке 6.

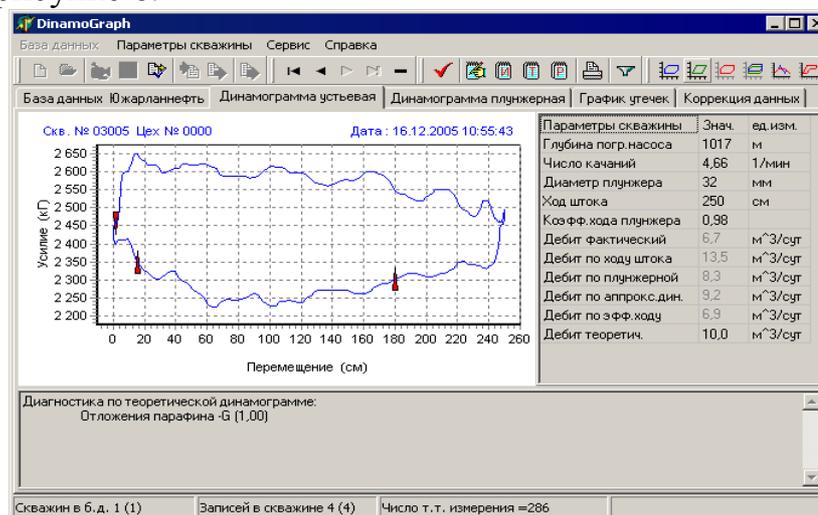


Рисунок 6 – Окно программы «DinamoGraph» с графиком динамограммы скважины № 3005

Вывод: с помощью подпрограммы диагностики работы скважины, реализованной в ПО «DinamoGraph», была выявлена причина отсутствия подачи на скважине № 3005, а именно запарафиненность исследуемой скважины. Специалисты бригады подземного ремонта скважины впоследствии однозначно подтвердили данный факт.

В ходе второго исследования, проведенного на Забегаловском месторождении ОАО «Белкамнефть» (Удмуртия), на скважину был установлен стационарный ИП усилия системы «ДДС». Динамограммы записывались каждые 5 минут во внутреннюю память контроллера в течение 20 часов. Позже данные были считаны в компьютер и обработаны программой «DinamoGraph».

Исследование состояло из следующих этапов:

- а) автономная запись динамограмм в память контроллера с последующим считыванием их в компьютер;
- б) диагностирование состояния глубинно-насосного оборудования.

В ходе автономной работы контроллера за 20 часов были получены 234 динамограммы. На рисунке 7 представлена выборка из 10 динамограмм, измеренных с интервалом в 2 часа и наложенных друг на друга.

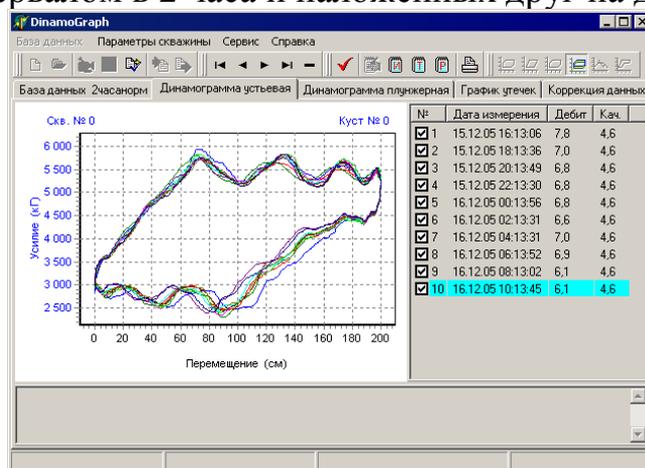


Рисунок 7 – Наложение динамограмм по скважине №1312, снятых с интервалом в 2 часа

Диагностика по всем снятым динамограммам в программе «DinamoGraph» показала наличие утечек в приемном клапане, что было подтверждено специалистами Забегаловского месторождения.

Вывод: система «ДДС» обеспечивает автономную запись динамограмм в собственную память контроллера, что позволяет не только диагностировать текущее состояние глубинно-насосного оборудования, но и отследить динамику изменения состояния скважины;

Целью третьего исследования было сравнение значений дебита скважин, полученного посредством системы «ДДС», а также счетчика количества жидкости (СКЖ), установки массоизмерительной (УМИ) и групповой замерной установки (ГЗУ), которые в настоящее время используются для оценки количества жидкости, добываемого из скважины. Исследования проводились на объектах НГДУ «Елховнефть»

ОАО «Татнефть» (значения среднесуточного дебита составляли от 1,7 до 38 м³/сут).

Учитывая, что значения дебитов, полученных посредством различных средств замера, в большинстве случаев отличаются от теоретической производительности скважины; и 80% всех исследуемых скважин являлись малодебитными (среднесуточный дебит менее 10 м³/сут) – для таких скважин сильно возрастает максимально допустимая погрешность измерения производительности всеми средствами измерений, делаем вывод: на сегодняшний день ни одно из вышеперечисленных средств замера дебита, широко применяемых в настоящее время, не может быть принято в качестве эталонного.

Целью четвертого исследования было сравнение значений дебита, полученных посредством системы «ДДС» и СКЖ. Исследование проводилось на одной из скважин НГДУ «Елховнефть» в течение месяца.

В результате проведенного исследования было установлено, что данные по дебиту, полученные посредством системы «ДДС», хорошо коррелируют с данными по СКЖ.

Вывод: для достоверного определения текущего дебита добывающей скважины по динамограмме в программе «DinamoGraph» достаточно ввести поправочный коэффициент, характеризующий конкретную скважину.

Заключение содержит основные результаты работы.

В приложении А диссертации приведены материалы, относящиеся к внедрению системы «ДДС».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты и выводы теоретических, практических и экспериментальных исследований сводятся к следующему:

1 Разработана система «ДДС», адаптированная для станков-качалок и установок с цепным приводом и реализующая автоматизированную обработку данных, полученных без использования измерительного преобразователя положения верхней/нижней «мертвых» точек.

2 Разработано ПО «DinamoGraph», на которое получено свидетельство об официальной регистрации № 2004611544 от 24.06.04 (программа для ЭВМ «DinamoGraph»).

3 Разработан алгоритм диагностирования состояния ШГН по характерным симптомам устьевого динамограммы, позволяющий определять 16 различных условий работы глубинно-насосного оборудования и, следовательно, принимать обоснованные решения по режиму эксплуатации СШНУ.

4 Предложен и разработан алгоритм расчета устьевого динамограммы по моделируемым усилиям на плунжере. Использование разработанного алгоритма расчета динамограммы позволило уточнить диагностику состояния ШГН по устьевого динамограмме.

5 В настоящее время система «ДДС» внедрена в системах автоматизации и управления штанговым глубинно-насосным оборудованием ОАО «Татнефть». Общий объем внедренных систем «ДДС» на 01.01.2008 составил 1728 комплектов. Вероятность отказа измерительного преобразователя усилия ДУ-04 составила 0,11.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых изданиях из списка ВАК:

1 Моделирование динамограммы станка-качалки. Нормальная работа насоса / **Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В.** // Нефтегазовое дело. – 2004. – Т. 2. – С. 75-81.

2 Моделирование динамограммы станка-качалки. Утечки в клапанах / **Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В.** // Нефтегазовое дело. – 2005. – Т. 3. – С. 47-54.

3 Моделирование динамограммы станка-качалки / **Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В.** // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 11. – С. 84-88.

В других изданиях:

4 Информационно-измерительная система динамометрирования стационарная ДДС-04 / **Емец С. В., Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В., Хакимьянов М. И.** // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик–2003»: материалы XV научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. – М., 2003. – С. 253-255.

5 Диагностирование неисправностей в работе станка-качалки по результатам динамометрирования / **Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В.** // Информационные технологии и системы: новые информационные технологии в науке, образовании, экономике (НИТНОЭ–2003): материалы 3-й Международной научно-технической конференции. – Владикавказ, 2003. – С. 17-20.

6 Применение стационарных ИИС динамометрирования в системах контроля производительности скважин / **Светлакова С. В., Сидоров М. Е., Ковшов В. Д., Емец С. В., Хакимьянов М. И.** // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления «Датчик–2004»: материалы XVI научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов. – М., 2004. – С. 278-279.

7 «DinamoGraph». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611544 от 24.06.04 / **Ковшов В. Д., Сидоров М. Е., Светлакова С. В.**

8 Анализ программного обеспечения современных систем динамометрирования штанговых глубинных насосов / **Ковшов В. Д., Светлакова С. В.** // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: материалы региональной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2005. – С. 106-109.

9 Оптимальные способы кодирования динамограмм глубинно-насосных установок / **Хакимьянов М. И., Светлакова С. В.** // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: межвузовский сборник научных статей. – Уфа, 2005. – С. 146-150.

10 Датчики усилия для систем динамометрирования штанговых глубинных насосов добычи нефти / **Ковшов В. Д., Емец С. В., Хакимьянов М. И., Светлакова С. В.** // Нефтегазовое дело. – 2007. – http://www.ogbus.ru/authors/Kovshov/Kovshov_1.pdf.

11 Опыт диагностирования состояния глубинно-насосного оборудования системой динамометрирования ДДС-04 / **Хакимьянов М. И., Светлакова С. В., Сидоров М. Е.** // Обеспечение промышленной безопасности на предприятиях нефтяной и газовой отрасли: сборник научных трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – С. 115-120.

12 Установка датчиков динамометрирования ДДС-04 на цепные приводы штанговых глубинных насосов / **Хакимьянов М. И., Ковшов В. Д., Светлакова С. В., Гаскаров В. З., Самарин С. Ю.** // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. – Т. 1. – С. 168-174.

13 Сравнительный анализ возможностей отечественных и импортных систем автоматизации скважин, эксплуатируемых ШГН / **Хакимьянов М. И., Гужеев Б. В., Светлакова С. В., Соловьев Я. Ю., Музалев И. В.** // Нефтегазовое дело. – 2008. – http://www.ogbus.ru/authors/Hakimyanov/Hakimyanov_4.pdf.

Соискатель

С.В. Светлакова