

М. И. Хакимьянов, М. Г. Пачин

## МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДИНАМОГРАММ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ШТАНГОВЫМИ ГЛУБИННЫМИ НАСОСАМИ

В статье рассматривается методика анализа динамограмм в информационно-измерительных системах управления штанговыми глубинными насосами добычи нефти. Предлагается анализировать не только устьевую и плунжерную динамограммы, но также рассчитывать глубинные динамограммы вдоль всей колонны штанг, определять механические напряжения в штангах, производить спектральный анализ массивов динамограмм. *Динамограмма; контроллер; плунжер; штанга; скважина; спектр*

подавляющее большинство нефтедобывающих скважин в России и во всем мире (до 60–70 %) эксплуатируется при помощи штанговых глубинных насосов (ШГН). При этом насосное оборудование во многих случаях очень сильно изношено, а сами месторождения находятся в заключительных стадиях эксплуатации. Такие реалии современной мировой экономики как нестабильный уровень цен на нефть и постоянный рост стоимости электроэнергии способны сделать механизированную добычу нефти низкорентабельной или даже убыточной.

В этих условиях возрастает роль информационного обеспечения процесса добычи нефти, позволяющего путем измерения технологических параметров насоса оптимизировать процесс эксплуатации скважины, уменьшить нагрузки на оборудование и снизить затраты нефтедобывающих предприятий.

### ПОСТРОЕНИЕ ГЛУБИННЫХ ДИНАМОГРАММ

Наиболее эффективным методом контроля над работой скважин, оснащенных ШГН, является динамометрирование [1]. Динамограмма представляет собой график изменения усилия в точке подвеса штанг в функции перемещения штока и измеряется при помощи двух датчиков – усилия и перемещения. По форме динамограммы можно диагностировать несколько десятков неисправностей в насосе, таких как утечки в клапанах, заедание плунжера, слишком высокая или низкая посадка плунжера и другие.

Различают устьевую и плунжерную динамограммы (рис. 1). Устьевую (поверхностную) измеряют датчиками усилия и перемещения на

устье скважины. Плунжерную (глубинную) получают из устьевой расчетным путем. К настоящему времени разработано несколько методик расчета плунжерных динамограмм [2–4]. Сравнивая устьевую и плунжерную динамограммы, можно заметить, что устьевые динамограммы отличаются от плунжерных сдвигом по оси нагрузки на величину веса штанг в жидкости, и наличием волн колебаний штанговой колонны, вызванных пружинным сжатием штанг [5]. Кроме того, устьевая динамограмма имеет вид параллелограмма, тогда как плунжерная – прямоугольника. Наклон устьевой динамограммы обусловлен растяжением колонны штанг в начале хода вверх и ее сжатием в начале хода вниз.

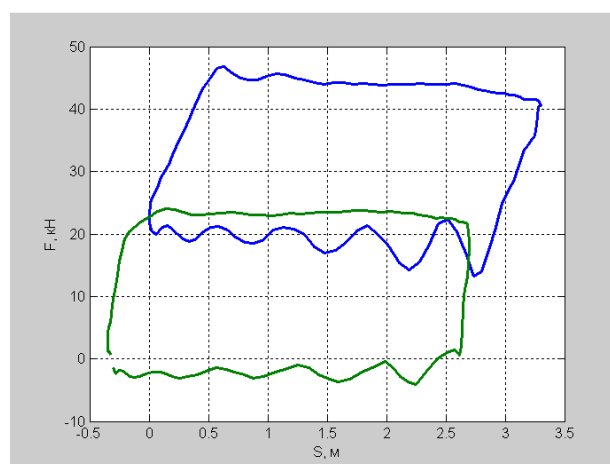


Рис. 1. Устьевая и плунжерная динамограммы скважины № 3163 НГДУ «Елховнефть»

Можно сказать, что плунжерная динамограмма несет только информацию о работе насоса, а устьевая дополняется паразитным влиянием штанговой колонны, что затрудняет ее

анализ. Таким образом, получив расчетным путем плунжерную динамограмму из измеренной устьевой, можно, упростить анализ состояния и режима работы погружного оборудования.

Проследить, как измеряется форма динамограммы по мере спуска к насосу, можно, производя вычисления промежуточных глубинных динамограмм (рис. 2). Видно, что по мере увеличения глубины уменьшается амплитуда колебаний колонны штанг и исчезает характерный наклон параллелограмма.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ШТАНГАХ

В целях уменьшения массы, колонны штанг выполняют многоступенчатыми, как правило, двухступенчатыми или трехступенчатыми в зависимости от глубины погружения насоса, диаметра плунжера, материала штанг и других факторов [6]. Длины участков штанг различного диаметра подбирают таким образом, чтобы примерно выровнять величину напряжения на всей протяженности штанговой колонны. Расчет прочностных характеристик штанговой колонны позволяет выявлять наиболее нагруженные места в штанговой колонне и прогнозировать обрывы.

Максимальное напряжение в сечении штанговой колонны определяется как

$$E_{\max} = \frac{F_{\max}}{f},$$

где  $F_{\max}$  – максимальное усилие за динамограмму на заданной глубине, Н;  $f$  – сечение штанг на заданной глубине, м.

Разность между максимальными и минимальными напряжениями в сечении штанговой колонны:

$$dE = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{f},$$

где  $F_{\min}$  – минимальное усилие за динамограмму на заданной глубине, Н.

На рис. 3 показаны максимальное напряжение в штангах  $E_{\max}$ , а также разность между максимальным и минимальным напряжениями  $dE$  по глубине для скважины № 1312 НГДУ «Белкамнефть» с трехступенчатой компоновкой колонны штанг. Колонна скважины № 1312 содержит три участка штанг диаметрами 25, 22 и 19 мм, их длины 478, 508 и 464 м соответственно. Заметно, что в месте перехода колонны штанг на меньший диаметр имеет место скачкообразное повышение механического напряжения. Допускаемое приведенное напряжение в штангах, сделанных из стали марки 15НЗМА, составляет не более  $E_{\text{доп}} = 147$  МПа [6].

Глядя на рис. 3, можно предположить, что для этой скважины следует изменить конфигурацию штанговой колонны, увеличив длину среднего участка диаметром 22 мм на 100–200 м вниз за счет участка диаметром 19 мм. Это позволит уменьшить максимальное значение напряжения в колонне.

По графическим зависимостям напряжений в штангах можно анализировать прочностные характеристики колонны, выявлять ее «слабые» места, а также с некоторой долей вероятности прогнозировать межремонтный период для данной скважины.

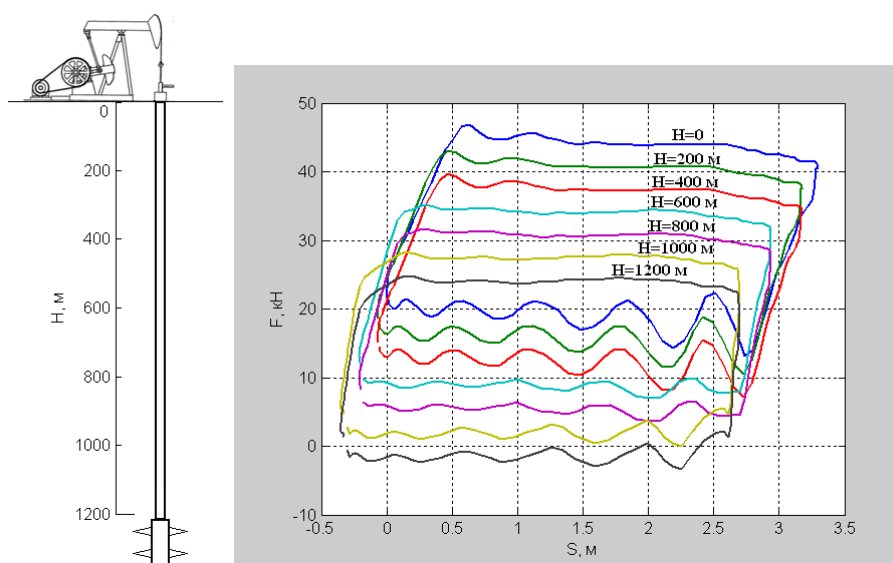
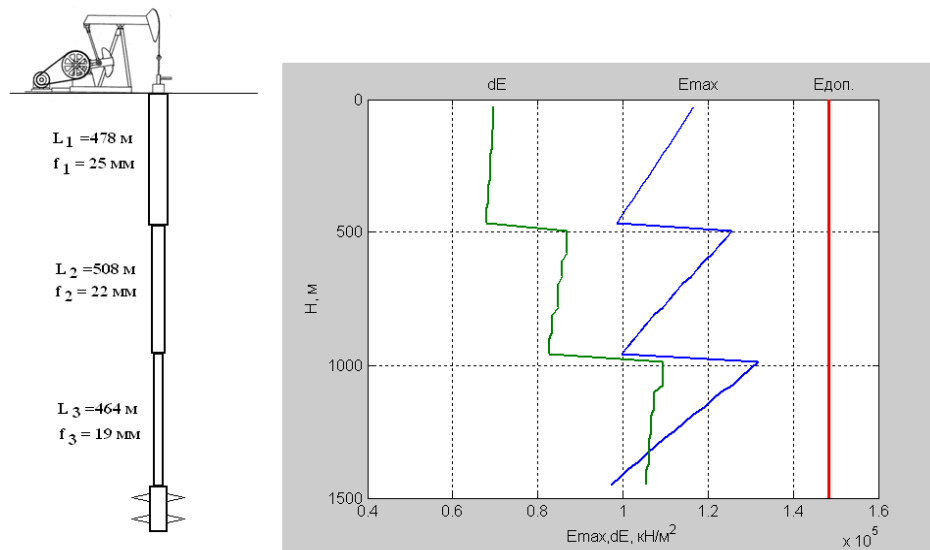
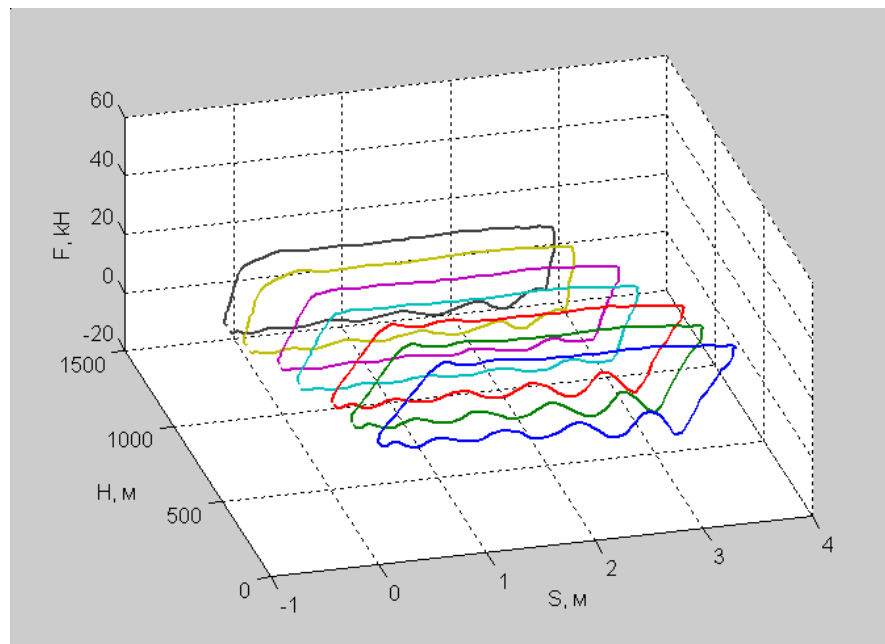


Рис. 2. Динамограммы скважины № 3163 НГДУ «Елховнефть» на различных глубинах



**Рис. 3.** Максимальные напряжения в штангах ( $E_{max}$ ) и разность между максимальными и минимальными напряжениями в штангах ( $dE$ ) скважины № 1312 НГДУ «Белкамнефть»



**Рис. 4.** Устьевая, глубинные и плунжерная динамограммы скважины № 3163 НГДУ «Елховнефть»

На рис. 4 показан трехмерный график динамограммы в осях «перемещение–усилие–глубина». Трехмерное изображение динамограмм делает представление информации более наглядным и понятным для восприятия человеком. Заметно, как с увеличением глубины уменьшается влияние вибрационной и инерционной составляющих, и исчезают линии восприятия и снятия нагрузки. Графические и вычислительные мощности современных ЭВМ позволяют реализовать на диспетчерском пункте нефтепромысла вывод динамограмм в трехмерном изображении (рис. 5).

### СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМОГРАММ

Еще один мощный инструмент математической обработки сигналов, который целесообразно использовать при обработке динамограмм – это спектральный анализ. Спектральный анализ массива динамограммы позволяет определить помимо собственных колебаний штанговой колонны наличие дефектов в погружном и наземном оборудовании.

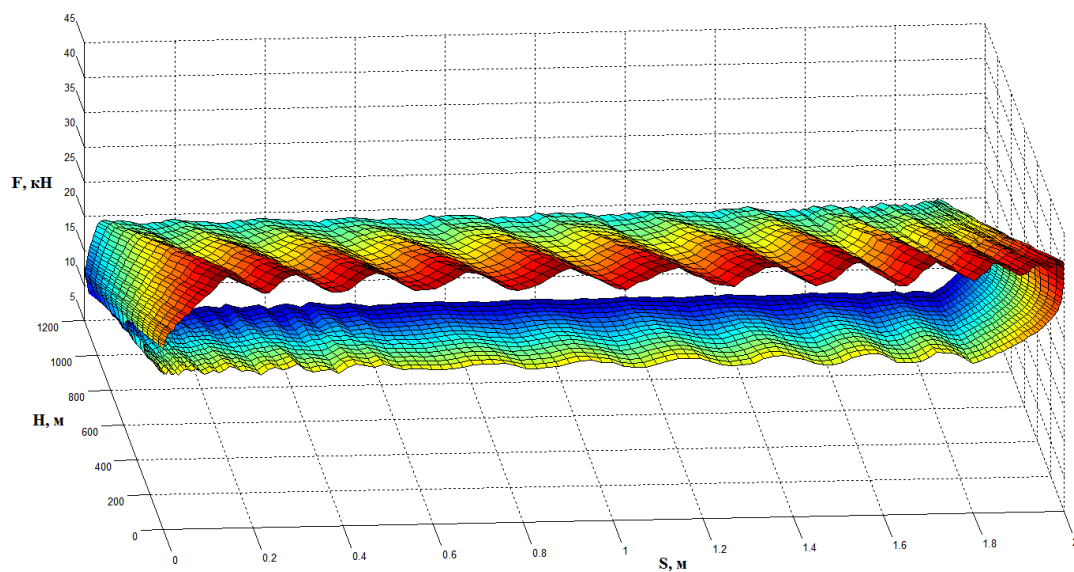


Рис. 5. Представление динамограммы скважины № 2713 в трехмерном изображении

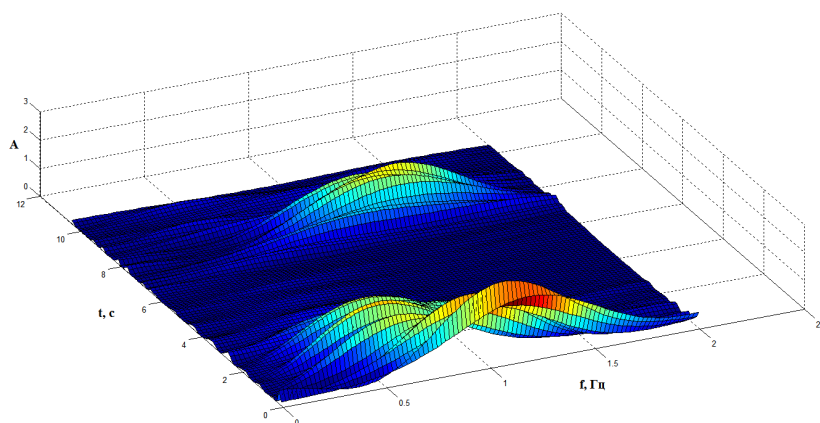


Рис. 6. Трехмерный спектр устьевого динамограммы скважины № 3163 НГДУ «Елховнефть»

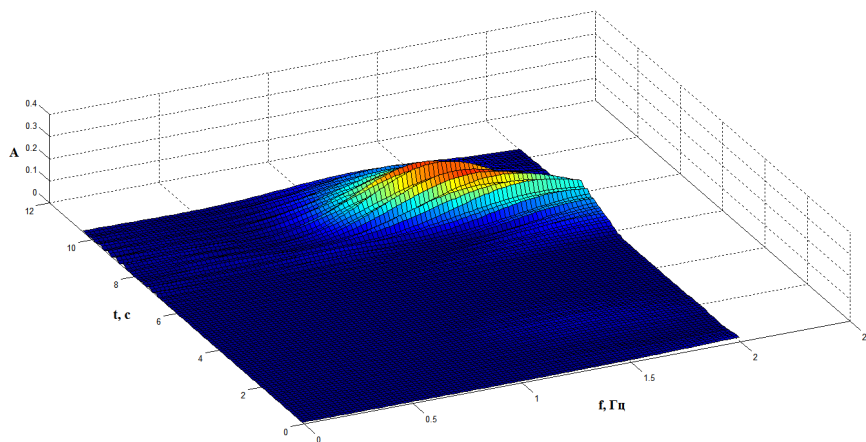


Рис. 7. Трехмерный спектр плунжерной динамограммы скважины № 3163 НГДУ «Елховнефть»

На рис. 6 и 7 приводятся трехмерные спектры соответственно устьевого и плунжерной динамограмм скважины № 3163. Трехмерное изображение спектра позволяет не только видеть частоту и амплитуду колебаний, но и определять момент времени их появления. Так, по трехмерному спектру устьевого динамограммы (рис. 6) можно определить, что наблюдаются колебания с частотой, близкой к 1 Гц, и возникают они вначале хода штанг вверх и вниз. Это собственные колебания штанговой колонны. Спектр плунжерной динамограммы (рис. 7) намного более гладкий, никаких колебаний, свидетельствующих о неисправностях оборудования, не зафиксировано.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, для повышения эффективности анализа динамограмм в информационно-измерительных системах управления ШГН необходимо:

- анализировать как устьевые, так и плунжерные динамограммы;
- производить вычисления механических напряжений вдоль всей длины колонны штанг;
- анализировать спектры как устьевых, так и плунжерных динамограмм;
- в системах вывода информации и подготовки отчетов использовать трехмерное представление динамограмм и их спектров, что повышает наглядность информации.

Отметим, что предложенные в данной статье математические методы обработки динамограмм реализуются в разрабатываемой Пермской научно-производственной приборостроительной компанией (ОАО ПНППК) информаци-

онно-измерительной системе управления установками ШГН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка практических динамограмм на ПЭВМ / Ш. Ф. Тахаутдинов [и др.]. Казань: Новое Знание, 1997. 76 с.
2. **Gibbs S. G., Neely A. B.** Computer Diagnosis of Down-Hole Conditions in Sucker Rod Pumping Wells. *J. of Petr. Tech.* January 1966. P. 93–98.
3. **Gibbs S. G.** Method of Determining Sucker Rod Performance, US Patent 3,343,409, issued Sept 26, 1967. P. 3–7.
4. **Касьянов В. М.** Аналитический метод контроля работы глубинных штанговых насосов. М.: ВНИИОЭНГ, 1973. 95 с.
5. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти. М.: Недра, 1983. 455 с.
6. **Юрчук А. М., Истомина А. З.** Расчеты в добыче нефти. М.: Недра, 1979. 271 с.

### ОБ АВТОРАХ

**Хакимьянов Марат Ильгизович**, доц. каф. электротехники и электрооборудования предприятий УГНТУ. Дипл. инженер по электроприводу и автоматике производственных установок и технологических комплексов (УГНТУ, 1999). Канд. техн. наук. Иссл. в обл. систем автоматизации скважинной добычи нефти.

**Пачин Максим Гелиевич**, рук. проекта ОАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания». Дипл. инженер по электроприводу (Пермск. гос. технологическ. ун-т, 1995). Иссл. в обл. систем управления электроприводами скважинных насосов.