

УДК 004.032.2

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**А.В. Демин, Т.Е. Войтюк, В.А. Климанов**

Представлена структура системы сбора и обработки геофизической информации. Проведена классификация объектов информации, исходя из группировки физических сигналов по однородным свойствам. Описан алгоритм анализа геофизической обстановки, который можно применять для проектирования измерительной системы, предназначенной для сбора и обработки различной геофизической информации в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: геофизическая информация, алгоритм, нефть, измерительная система, структура.

Введение

Сегодня, как никогда прежде, нефть и другие природные ресурсы играют значительную роль в экономике нашей страны. Из года в год наша нефтегазовая промышленность пытается существенно увеличить объемы добываемой нефти и газа. Однако запасы природных ресурсов при такой интенсивной добыче быстро уменьшаются, приходится искать и разрабатывать все новые и новые месторождения, которые располагаются во все более удаленных местах с суровым климатом. Вследствие этого растет себестоимость добываемых ресурсов, усложняется их транспортировка.

С другой стороны, в старых месторождениях еще сохранились значительные запасы нефти и газа вследствие экстенсивных методов добычи в прежнее время. Но эти запасы располагаются в различных продуктивных пластах, а добыча из отдельно взятого пласта, как реализовывалось раньше, экономически нецелесообразно. Поэтому использование новейших информационных технологий в процессе разработки нефтяных и газовых месторождений России становится первостепенной задачей на пути увеличения и контроля эффективности месторождений. Основным способом решения данной проблемы является добыча нефти из нескольких пластов одновременно.

Все большее число нефтегазовых добывающих компаний сталкиваются с необходимостью вскрытия нескольких продуктивных зон одной скважиной и, в то же время, обеспечения возможности замера дебитов из каждой отдельной зоны [1]. Данная потребность диктуется необходимостью поддержания баланса между существующим подходом к разработке недр, с одной стороны, и экономическими соображениями, с другой. Затраты на строительство дополнительных эксплуатационных скважин на каждом кустовом основании в большинстве случаев превышают стоимость закачивания одной скважины, которая построена по схеме, позволяющей вести одновременную добычу сразу из нескольких продуктивных горизонтов. Но для управления работой такой скважины необходимо оперативно получать геофизическую информацию. Это даст возможность оперативно принимать решения по оптимизации режимов работы скважин, пластов и системы разработки месторождения [2]. Таким образом, задача разработки алгоритма анализа геофизической обстановки является актуальной.

Основным способом решения данной проблемы является добыча нефти из нескольких пластов одновременно одной скважиной.

Для разработки алгоритма анализа геофизической обстановки необходимо решить следующие задачи:

- определить структуру системы сбора и обработки геофизической информации;
- классифицировать объекты информации;
- описать алгоритм анализа геофизической обстановки.

Структура системы сбора и обработки геофизической информации

Основной задачей системы сбора и обработки геофизической информации является мониторинг количественных и качественных параметров работы каждого исследуемого объекта, а также анализ геофизической обстановки и формирование решений для оптимизации процесса разработки месторождений.

Перечисленные выше задачи определяют структуру системы. Система сбора и обработки геофизической информации представляет собой совокупность подсистем, различных по функциональному назначению. Система состоит из измерительной подсистемы, находящейся в скважине, и подсистемы обработки (рис. 1).

В измерительную часть входят подсистемы регистрации состояния объекта измерения и передачи информации. Первая служит для регистрации параметров работы продуктивных пластов с целью определения количественного и качественного состава притока по каждому интервалу перфорации и технического состояния эксплуатационной колонны скважины. Подсистема передачи данных – это спускаемый в скважину волоконно-оптический кабель, который предназначен для объединения датчиков различных типов в единую измерительную систему.

Наземная часть состоит из подсистем первичной обработки информации и конечной обработки информации. Первая служит для приема оптических сигналов с датчиков и дальнейшего перевода оптического сигнала в электрический. Подсистема конечной обработки информации предназначена для хранения, обработки, отображения информации и принятия решения по управлению наземным и забойным оборудованием.

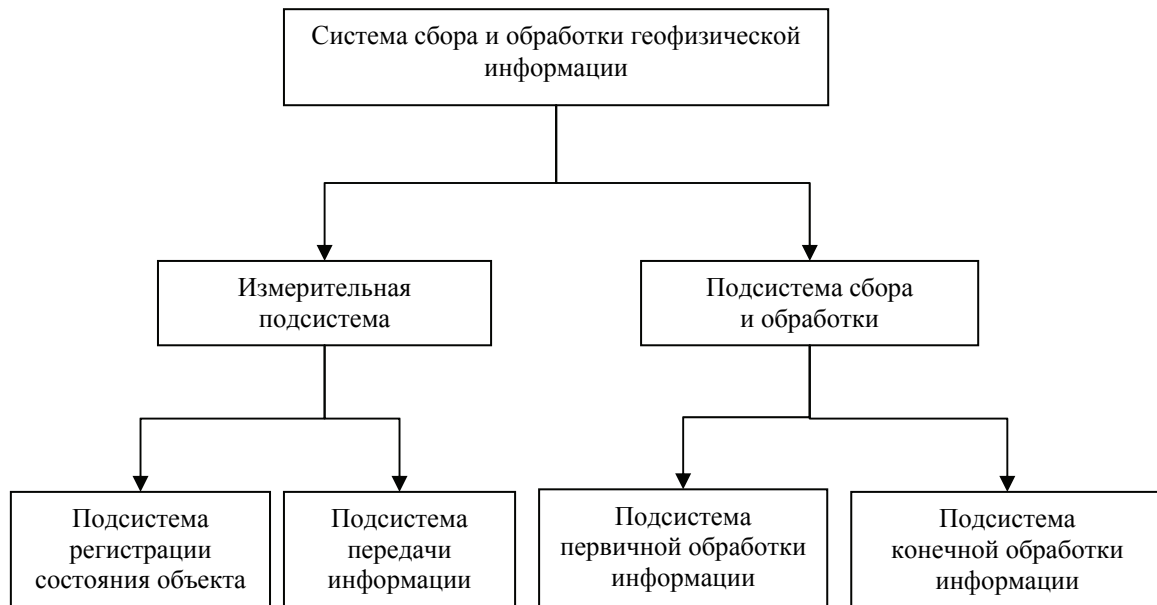


Рис. 1. Структура системы сбора и обработки геофизической информации

Классификация объектов геофизической информации

Под объектом геофизической информации будем понимать физический сигнал, полученный от измеряемой среды. Для классификации объектов геофизической информации необходимо сгруппировать физические сигналы по однородным свойствам. Для систематизирования объектов информации будем использовать иерархический метод классификации.

К объектам геофизической информации нулевого уровня относятся температура (T), давление (P), расход (Q) и ионизирующее излучение (W/m^2). Объекты первого уровня – фазовая задержка света ($\Delta\varphi(t)$), обусловленная конструктивными особенностями передающей среды. Объектом второго уровня является электрический сигнал, выраженный напряжением (U).

Иерархическая структура классификации информации представлена на рис. 2.

Исходя из классификации информации, для преобразования некоторого физического сигнала $V(t)$ в выходное напряжение $u(t)$ можно выделить две стадии: воздействие – разность фаз, разность фаз – напряжение.

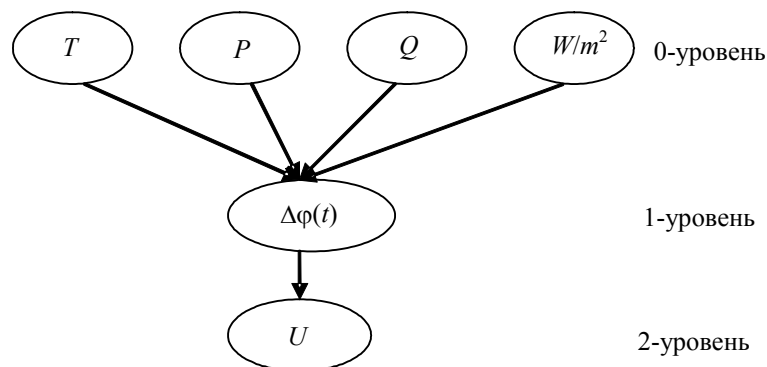


Рис. 2. Иерархическая структура классификации информации

При первом преобразовании на пассивный волоконный преобразователь воздействует физический сигнал, результирующим выходным сигналом является фазовая задержка света $\Delta\varphi(t)$

$$\Delta\varphi(t) = \varphi_0 + K_v \cdot V(t), \quad (1)$$

где φ_0 – начальная разность фаз при отсутствии воздействия, K_v – чувствительность преобразователя к воздействию V [3].

Чувствительность преобразователя K_v можно записать как отношение приращения разности фаз $\delta\varphi$ к вызвавшему его приращению воздействия:

$$K_v = \frac{\delta\varphi}{\delta V}. \quad (2)$$

При последующем преобразовании выходным сигналом измерителя является напряжение $u(t) = K_\varphi \cdot \Delta\varphi(t)$, (3)

где K_φ – чувствительность преобразования разности фаз в выходное напряжение.

Чувствительность K_φ также можно записать в виде отношения приращения выходного напряжения к вызвавшему его приращению разности фаз:

$$K_\varphi = \frac{\delta u}{\delta\varphi}. \quad (4)$$

Алгоритм анализа геофизической обстановки

Анализ геофизической обстановки должен производиться в реальном масштабе времени по результатам измерений, производимых в скважине электрическими и оптическими датчиками. Алгоритм анализа представлен на рис. 3.

При регистрации физического сигнала электрическими и оптическими датчиками измеряются профили температуры, влагометрии, акустических сигналов притока жидкости, давления в каждой точке и по всему пласту действующей скважины, а также ионизирующее излучение. С помощью волоконно-оптического кабеля осуществляется передача результатов измерений физических параметров от датчиков к наземному оптоэлектронному блоку обработки информации.

В оптоэлектронном блоке происходит прием оптических сигналов с датчиков давления, температуры, расхода, гамма-каротажа и преобразование в аналоговый электрический сигнал. На следующем шаге аналоговые напряжения поступают на блок оцифровки, затем обрабатываются для получения значений расхода, водонасыщенности флюида из интервалов перфорации, расположенных по всему стволу скважины. Полученная информация регистрируется и записывается в энергонезависимую память.

По запросу пользователя в произвольный момент времени производится обработка полученной информации с целью выявления корреляционных, спектральных и временных составляющих сигнала [4]. Спектральный анализ позволяет произвести оценку спектра мощности случайного процесса, который рассчитывается модифицированным методом периодограмм [5]:

$$\hat{W}(\omega) = \frac{1}{f_d} \frac{\left| \sum_{k=0}^{N-1} x(k)\omega(k)e^{-j\omega kT} \right|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |\omega(k)|^2}, \quad (5)$$

где f_d – частота дискретизации, $x(k)$ – отсчеты случайного процесса, $\omega(k)$ – весовая функция (окно) с коэффициентами, T – период дискретизации.

Получаемые данные обрабатываются в рамках модели месторождения, дальнейший анализ позволяет выделить или подавить определенные частоты исследуемого сигнала, используя низкочастотные, высокочастотные или полосовые фильтры [6]:

$$y(k) = b_0x(k) + b_1x(k-1) + \dots + b_mx(k-m) - a_1y(k-1) - a_2y(k-2) - \dots - a_ny(k-n), \quad (6)$$

где $x(k)$ – отсчеты входного сигнала, $y(k)$ – отсчеты выходного сигнала, a_i и b_j – постоянные коэффициенты. Максимальное из чисел m и n – порядок фильтра [7].

Преобразованный сигнал дает возможность геологу получить объемную модель хода разработки залежей нефти.

Заключение

Алгоритм анализа геофизической обстановки можно применить для проектирования измерительной системы, предназначенной для сбора и обработки различной геофизической информации в реальном масштабе времени вне зависимости от состояния скважины и измеряемых параметров продуктивных пластов.

В результате интерактивной обработки пользователю предоставляются спектральные, временные и корреляционные составляющие сигнала, полученного в результате измерения требуемых характеристик. На основании этой информации геолог может принимать решение об управлении работой сква-

жинным насосом или нагнетательными скважинами. Это позволит вести одновременную добычу сразу из нескольких продуктивных горизонтов, тем самым повысив рентабельность разработки ранее неперспективных месторождений.

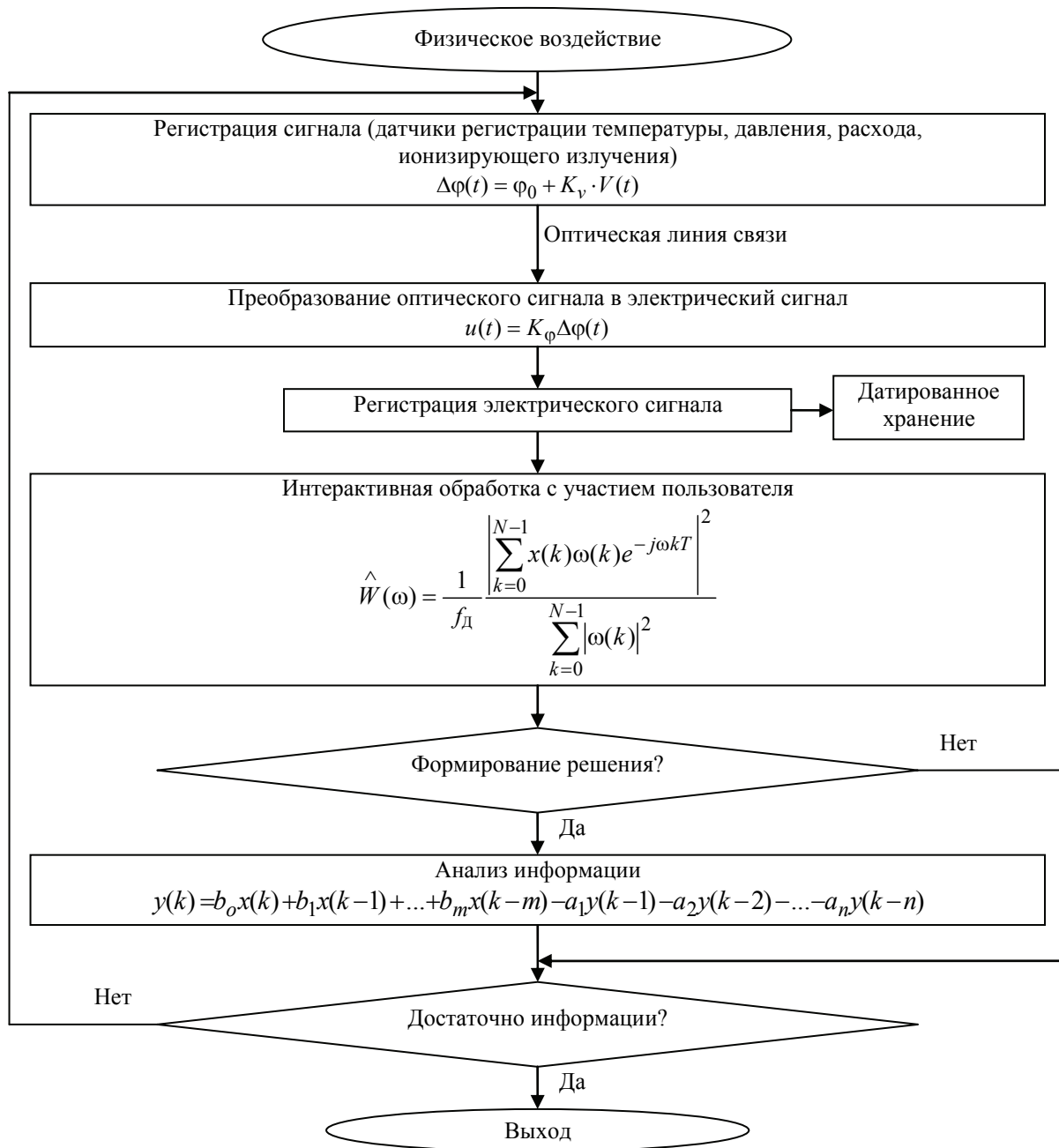


Рис. 3. Алгоритм анализа геофизической обстановки

Литература

1. Форест Г. Добыча нефти: Пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. – 416 с.
2. Крылов Д.Н. Детальный прогноз геологического разреза в сейсморазведке. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 195 с.
3. Лиокумович Л.Б. Волоконно-оптические интерферометрические измерения. Ч. 2. Волоконный интерферометрический чувствительный элемент. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 68 с.
4. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – СПб: Политехника, 1999.

5. Welch P.D. The Use of Fast Fourier Transform for the Estimation of Power Spectra: A Method Based on Time Averaging Over Short, Modified Periodograms // IEEE Trans. Audio Electroacoust. – 1967. – V. AU-15. – P. 70–73.
6. Percival D.B. and Walden A.T. Spectral Analysis for Physical Applications: Multitaper and Conventional Univariate Techniques. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
7. Бондарев В.Н., Трестер Г., Чернега В.С. Цифровая обработка сигналов: методы и средства. – Севастополь: СевГТУ, 1999. – 398 с.

- Демин Анатолий Владимирович* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, dav_60@mail.ru
- Войтюк Татьяна Евгеньевна* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, tanya_4ever@mail.ru
- Климанов Виталий Александрович* – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, v_klimanov@mail.ru