

УДК 38.01.77

Математическое моделирование осложнений при бурении скважин

© Л. Ф. Нурисламова¹

Аннотация. Разработана и реализована методика построения прогноза поглощений буровых растворов с использованием теории вероятностных моделей. На основе разработанной модели создан комплекс программ, позволяющий составлять вероятностный прогноз возникновения поглощений, по результатам которого производится установка ограничений на свойства бурового раствора и характеристики проводимых технологических операций.

Ключевые слова: бурение скважин, вероятностная модель, прогнозирование поглощений, функция принадлежности, комплекс программ, база промысловых данных.

1. Введение

Бурение нефтяных и газовых скважин на месторождениях республики Башкортостан отличается рядом особенностей, обусловленных сложными горно-геологическими условиями и тем, что многие месторождения находятся на поздних стадиях разработки. Это является основной причиной возникновения различного рода осложнений в процессе бурения скважин, которые сопровождаются значительными затратами средств на ликвидацию их последствий, поэтому задача прогнозирования и предупреждения возможных осложнений становится важной и актуальной. Надежность решения этой задачи зависит как от полноты и достоверности промысловой информации, так и от уровня методического обеспечения прогнозирования.

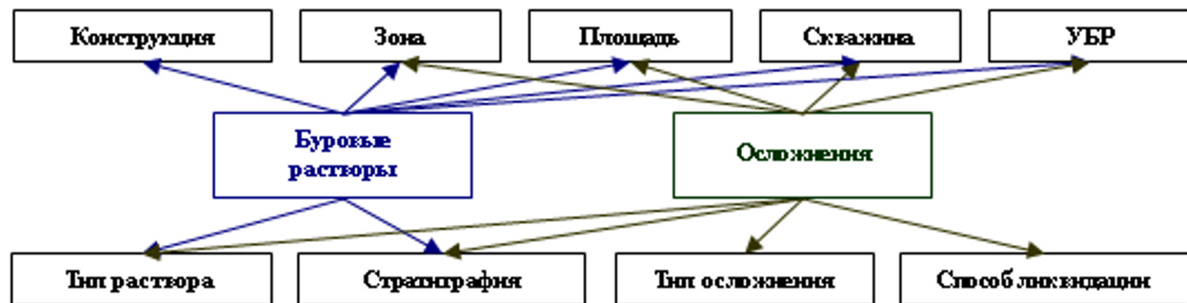
Моделирование осложнений и применение этих моделей затруднено вследствие того, что геологические параметры меняются от скважины к скважине и измерению доступно лишь небольшое их число, а технологические параметры, измеряемые на дневной поверхности, могут служить лишь оценками. Поэтому задача прогнозирования осложнений носит вероятностный характер.

2. Постановка задачи

Все месторождения республики Башкортостан разбиты на геологические образования в пределах крупных тектонических элементов, формирование горных пород на которых можно считать протекающим в идентичных условиях [1]. Это обуславливает то, что для эффективного прогнозирования и своевременного предупреждения осложнений необходимо проводить всесторонний анализ промысловой информации по ранее пробуренным скважинам. С этой целью создана база данных и СУБД по буровым растворам и осложнениям на месторождениях республики Башкортостан (объем выборки составляет 27 тыс. скважин), которая позволяет для всех массивов подбирать составы буровых и тампонажных растворов, максимально соответствующие условиям конкретной скважины [2].

¹Магистрант первого года обучения кафедры математического моделирования, Башкирский государственный университет, г. Уфа; Nurislamova_LF@mail.ru.

База данных имеет реляционную структуру, удобную для хранения и отображения промысловой информации, и состоит из 11 взаимосвязанных таблиц, 9 из которых являются справочниками, а две (таблица буровых растворов и таблица осложнений) являются основными (рис. 2.1).



Р и с у н о к 2.1

Структура базы данных по буровым растворам и осложнениям

На основании анализа промыслового материала, содержащегося в базе данных, производится разработка и реализация математического аппарата по прогнозированию возможных осложнений при строительстве новых скважин.

Основным видом осложнений при бурении нефтяных и газовых скважин на месторождениях республики Башкортостан являются поглощения буровых и тампонажных растворов. Возникновение поглощений характеризуется нарушением гидродинамического равновесия в системе "скважина-пласт" и появлением градиента давления возникновения поглощения (ГВП), т.е. того значения градиента давления, превышение которого ведет к поглощению бурового или тампонажного раствора [3]. Поэтому эффективность предупреждения поглощений во многом определяется точностью и надежностью прогноза величин ГВП.

Значение ГВП вычисляется по формуле

$$grad[p] = \rho g + grad\Delta p, \quad (2.1)$$

где ρ - плотность бурового раствора в момент возникновения поглощения, $grad\Delta p$ - градиент изменения гидродинамического давления в результате проведения технологической операции, при которой возникло поглощение. Формула (2.1) включает две составляющие: гидростатическую (ρg), т.е. давление столба бурового раствора на стенки скважины, и гидродинамическую ($grad\Delta p$), возникающую при проведении технологических операций, таких как механическое бурение, спуск бурильной колонны в скважину, запуск бурового насоса и т.п.

Расчет величины $grad\Delta p$ осуществляется по следующим формулам:

- для механического бурения:

$$grad\Delta p = \frac{(\rho_{ГП} - \rho)gV_{мех}f\Delta z}{Q_H - V_0f_{КП} - \Phi} + [a_{КП}\eta(Q_H - \Phi) + b_{КП}\tau_0]\frac{L}{z}, \quad (2.2)$$

где $\rho_{ГП}$ - плотность разбуриваемых горных пород, $V_{мех}$ - механическая скорость проходки, f и $f_{КП}$ - площадь, соответственно, забоя и поперечного сечения кольцевого пространства, Q_H - производительность буровых насосов, Φ - объемная скорость фильтрации жидкости через забой и вновь образовавшиеся стенки скважины, $a_{КП}$ и $b_{КП}$ - коэффициенты гидравлического сопротивления в кольцевом пространстве, определяемые

экспериментально, V_0 – скорость оседания выбуренных частиц в потоке бурового раствора, определяемая экспериментально;

-для спуска бурильной колонны в скважину:

$$\text{grad}\Delta p = \frac{1}{z}(l_H + 0.5l_{\text{СВ}}) \left(kAu_{\text{max}}\sin\varphi_0 + B + kC\frac{\pi u_{\text{max}}}{2t_p}\cos\varphi_0 \right), \quad (2.3)$$

$$A = \frac{16\eta}{D^2(1+d^2)\ln(1/d) - (1-d^2)}, B = \frac{4\tau_0}{D(1-d)}, C = \frac{\rho d^2}{1-d^2}$$

$$\varphi_0 = \text{arctg} \frac{2\pi A(l_H + 0.5l_{\text{СВ}}t_p)}{\pi^2 C(l_H + 0.5l_{\text{СВ}} - 4Bt_p^2)}, u_{\text{max}} = \frac{\pi\Delta l_{\text{СВ}}}{2t_p}, k = \frac{t_C}{t_{\text{Ц}}},$$

где l_H – длина бурильной колонны, находящейся в скважине перед началом спуска, $l_{\text{СВ}}$ – длина труб бурильной свечи, u_{max} – максимальная скорость спуска в конце фазы разгона, t_p – продолжительность фазы разгона, t_C и $t_{\text{Ц}}$ – продолжительность соответственно спуска свечи и циркуляции жидкости на устье, z – значение длины бурильной колонны, при котором произошло поглощение.

3. Вероятностный прогноз поглощений бурового раствора

Вероятностный прогноз основан на использовании фактического промыслового материала по пробуренным скважинам на конкретном месторождении или площади. Промысловую выборку для конкретного пласта составляют по всем скважинам (в том числе и непоглощающим). Выборка должна включать следующую информацию: номер скважины, пласт, глубину залегания пласта, сведения о поглощении при бурении скважины, давление на пласт, при котром возникло поглощение, максимальное давление при проходке без поглощения.

Вероятностный прогноз ГВП представляется в виде совокупности упорядоченных пар $\{\text{grad } p, \mu_{\text{п}}(\text{grad } p)\}$, где $\mu_{\text{п}} : \text{grad } p \rightarrow \mu_{\text{п}} \in [0, 1]$ – функция принадлежности, характеризующая степень возможности возникновения поглощения при данном значении $\text{grad } p$. Функция принадлежности находится на основе обработки фактического промыслового материала по пробуренным скважинам на конкретном месторождении или площади.

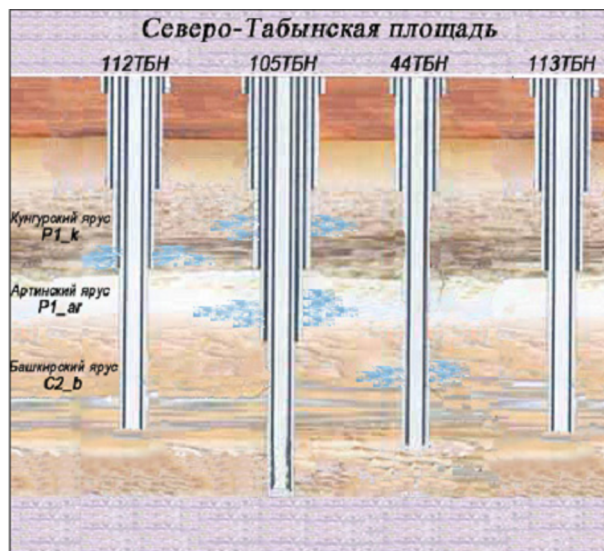
При найденных значениях градиента давления производится построение функции принадлежности для этих значений. Алгоритм определения функции принадлежности состоит в следующем:

1. Обработка промыслового материала и установление области изменения градиента гидравлического давления при разбуривании пласта: $[a, b]$.
2. Разбиение интервала $[a, b]$ на k (обычно k принимается равным 4-5) равномерных интервалов градаций с шагом Δ .
3. Определение функции принадлежности для j -го интервала по формуле:

$$\mu_j^l = \frac{\sum_{i=1}^j n_i^+}{\sum_{i=1}^j n_i^+ + \sum_{i=j}^k n_i^-}, \quad j = 1, \dots, k,$$

4. Результаты вычислительного эксперимента и основные выводы

Рассмотрим построение функции принадлежности на примере Северо-Табынской площади. Особенность составления прогноза $grad[p]$ состоит в том, что промысловая выборка включает информацию и по скважинам, в которых не было поглощений (рис. 4.1).



Р и с у н о к 4.1

Обработка промыслового материала

Результаты расчета функции принадлежности вероятностного прогноза ГВП показаны в таблице 1.

Таблица 1: Вероятностный прогноз возникновения поглощений для Северо-Табынской площади

Объект поглощения	Градиент давления, 10^{-2} МПа/м	Вероятностный прогноз
Кунгурский ярус	1,12-1,29	0,02
	1,29-1,46	0,2
	1,46-1,80	0,5
Артинский ярус	1,12-1,26	0,01
	1,26-1,33	0,03
	1,33-1,40	0,06

Вероятностный прогноз ГВП представляется в виде совокупности упорядоченных пар интервалов значений градиента давления и вероятности возникновения поглощения в данном пласте при таком значении градиента давления. С помощью вероятностного прогноза производится назначение соответствующих ограничений на градиент давления при разбуривании объекта поглощения.

Ограничения на градиент гидравлического давления позволяют свести к минимуму число возможных поглощений при проходке конкретного пласта на множестве типовых скважин или степень риска возникновения поглощения в одной скважине. Знание величины ГВП позволяет заранее спланировать работу по ликвидации поглощений.

На основе построенной вероятностной модели автором разработан комплекс программ, реализующий вероятностный прогноз градиента давления возникновения поглощения, по результатам которого производится установка ограничений на свойства бурового раствора и характеристики проводимых технологических операций [4]. Полученные рекомендации позволят значительно снизить вероятность возникновения поглощений в условиях буровой и сэкономить дорогостоящие химические реагенты, приводя тем самым к повышению технико-экономических показателей бурения. Планируется также разработка программных комплексов по прогнозированию остальных видов осложнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ясов В.Г., Мысляк М.А. Осложнения в бурении. Справочное пособие. – М.: Недра, 1991. – 334 с.
2. Линд Ю.Б., Файзуллин М.Р., Хафизов А.Ф. База данных и реляционная система управления базой по поглощающим горизонтам и применяемым буровым растворам на месторождениях ОАО АНК «Башнефть» // Сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения». – Пенза. 2008. С. 13 – 17.
3. Казакова Д.С., Нурисламова Л.Ф., Юнусов А.А., Линд Ю.Б. Компьютерное моделирование при строительстве нефтяных и газовых скважин // Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Инновации. Интеллект. Культура». – Тюмень: БИК ТюмГНГУ. 2010. С. 83 – 86.
4. Кабирова А.Р., Нурисламова Л.Ф., Губайдуллин И.М., Линд Ю.Б., Мулюков Р.А., Кузнецова Н.Ю. Прогнозирование поглощений буровых растворов при строительстве нефтегазовых скважин // «Нефтяное хозяйство». – №2, 2011. С. 32 – 34.

Mathematical modeling of troubles taking place during drilling.

© L. F. Nurislamova²

Abstract. The method of constructing the forecast of drilling fluids loss by using the theory of probability models has been developed and implemented. The software for prediction of drilling fluid loss by regulation of drilling fluid characteristics and processing operations has been created on the bases the developed model.

Key Words: Drilling, probability model, prediction of drilling fluid loss, membership function, software, database.

²Graduate of the first year the Department of mathematical modelling, Bashkir State University, Ufa; Nurislamova_LF@mail.ru.