

УДК 517.4

## Анализ математических моделей для расчета геомеханических параметров бурения

© О. Ю. Забейворота<sup>1</sup>, И. М. Губайдуллин<sup>2</sup>

**Аннотация.** При разработке нефтяных месторождений наиболее точное знание прочности породы необходимо для грамотного определения напряжения на месте залегания, анализа стабильности ствола скважины и других параметров, необходимых при бурении. Добыча, бурение изменяют напряжение в пластах. Если не учитывать эти изменения, то возникает ряд проблем при эксплуатации месторождения. Геомеханические характеристики напряжения позволяют предсказывать осложнения, которые могут возникнуть во время разработки месторождения.

**Ключевые слова:** напряжение, давление, прочностный расчет, бурение скважин, буровой раствор

### 1. Введение

Основная цель проведения прочностных расчетов стенок скважины при бурении нефтяных скважин – определение допустимых давлений при прогнозировании и разработке мер предупреждения ряда осложнений [1]. Эти проблемы могут снизить скорость проходки скважин, что приведет к большим затратам по времени и средствам при устранении неполадок. Задачам предупреждения подобных осложнений уделяется особое внимание. Данная проблема актуальна не только в нашей стране, но и за рубежом.

При разработке нефтяных месторождений знание прочности породы необходимо для грамотного определения напряжения на месте залегания, анализа стабильности ствола скважины и других параметров, необходимых при формировании скважины и дальнейшей ее эксплуатации. Вскрытие пласта, добыча, бурение изменяют напряжение.

Основные виды осложнений:

- обвалы, осыпи, пластическое деформирование незакрепленных стенок скважины;
- раскрытие поглощения бурового раствора;
- приток пластовых флюидов.

Нарушение устойчивости ствола скважин, обусловленное наличием в разрезе высококоллоидальных глин, является основополагающей причиной осложнений и аварий как эксплуатационного, так и разведочного бурения [2]. Данная проблема часто усугубляется вскрытием зон тектонической перемятости и большим углом залегания горных пород.

Кроме того, проблема не является решенной в полной мере, так как и по сей день возникают обвалы и осыпи. Необходима разработка методик по прогнозированию возможного возникновения осложнений.

<sup>1</sup> Магистрант первого года обучения, Башкирский государственный университет, г. Уфа; zabeivorota.olga@gmail.com.

<sup>2</sup> Старший научный сотрудник лаборатории математической химии, Институт нефтехимии и катализа, г. Уфа; IrekMars@mail.ru.

## 2. Анализ некоторых существующих методик

На начальном этапе работы был проведен обзор существующих методов моделирования, расчета основных геомеханических параметров.

В основе существующих методик лежит учет свойств горной породы (неконтролируемые параметры) напряжение, горное и поровое давление, прочность породы. Также учитываются свойства бурового раствора (контролируемые параметры): давление жидкости, состав и свойства раствора, гидродинамический перепад давления. Кроме того, необходимо учитывать изменение физико-механических и физико-химических свойств глинистой породы при взаимодействии с буровым раствором.

Методика, описанная в обзоре В.С. Новикова [3], основывается на теории трещин. Минимально допустимое давление в скважине, при котором обеспечивается устойчивость горных пород, соответствует поровому ( $P_c = P_n$ ), то есть обоснована нижняя граница устойчивости. Однако, в этом случае компенсируется только поровое давление и не учитывается, в каком состоянии и соотношении с горным давлением находится глинистая порода. В случае равенства гидростатического и порового давлений может быть превышена механическая прочность, что приведет к обрушению горной породы.

Область допустимых значений плотности бурового раствора при бурении в упруго вязких горных породах, склонных к хрупкому разрушению, определяются неравенствами:

$$0,5 \cdot \rho_g \cdot \phi(t) \leq \rho_p \leq \frac{10^{(6)} \cdot \sigma_p + \rho_g [\phi_1(t) - K(1 - \mu_0)]}{1 + \mu_0 \cdot K} \quad (2.1)$$

$$\frac{\rho_g [\phi_1(t) + \mu_0 - 1]}{1 + \mu_0} \leq \rho_p \leq 0,5 \cdot \rho_g \phi(t) \quad (2.2)$$

$$K \cdot \rho_g (1 - \mu_0) - \frac{10^{(6)} \cdot \sigma_0}{qL} \leq \rho_p \quad (2.3)$$

$$\frac{K \cdot \rho_g \phi(t) - \frac{10^{(6)} \cdot \sigma_0}{qL}}{1 + K} \leq \rho_p \leq [\phi_1(t) + (\mu - 1)] \cdot \rho_g \quad (2.4)$$

где  $\rho_g$ ,  $\rho_p$  - плотность горной породы и раствора (г/см<sup>3</sup>);  $\sigma_p$  - предел прочности на растяжение (МПа);  $\sigma_0$  - напряжение сжатия, при котором порода переходит в пластическое состояние (МПа);  $\tau_{nr}$  - предел прочности горной породы на сдвиг в пластическом состоянии (МПа);  $\mu_0$  - коэффициент, учитывающий снижение осевых напряжений на стенках скважины, выражается через коэффициент Пуассона:

$$\mu_0 = \frac{0,4 \cdot \sqrt{\mu_3}}{1 - \mu} \quad (2.5)$$

$\mu_3$  - коэффициент Пуассона при минимальном значении главных напряжений;  $\phi_1(t)$  - временная функция, зависящая от параметров ползучести  $\alpha$  и  $\beta$ , модуля упругости  $E$ , коэффициента Пуассона  $\mu$ .

$$K = \frac{\sigma_p + \sigma_0 - \tau_{nr}}{\sigma_0 + \tau_{nr}} \quad (2.6)$$

Данный метод позволяет рассчитывать кратковременную, длительную устойчивость горных пород. Однако, предложенная методика расчета не позволяет достаточно достоверно выбрать оптимальную плотность раствора. В данной модели не учитываются физико-химические факторы взаимодействия глинистой породы с буровым раствором.

Методика, предложенная А.Н. Поповым [4], основывается на теории прочности Мора-Кулона. Для принятия решения о давлении бурового раствора и выборе его плотности используется четыре значения предельных давлений бурового раствора, в диапазоне которых стенки скважины будут находиться в упругом состоянии:

$$p_{sn} < p_c < p_{sb} \quad (2.7)$$

$$p_{cc} < p_c < p_{gr} \quad (2.8)$$

где  $p_{sn}$  - ограничение давления бурового раствора снизу (нижняя граница устойчивости)(МПа);  $p_s$  - ограничение давления бурового раствора сверху (верхняя граница устойчивости)(МПа);  $p_{gr}$  - давление гидроразрыва (МПа);  $p_c$  - давление бурового раствора в скважине(МПа);  $p_{cc}$  - статическое давление в скважине (выбирается в зависимости от расчетной глубины скважины).

В данном расчете все значения давления приводятся к статическому безразмерному виду путем деления всех давлений на давление столба воды на рассматриваемой глубине.

При приведении давлений к безразмерному виду необходимо ввести поправку  $\pm \Delta p$  на максимальные колебания гидродинамического давления в скважине относительно статического при различных технологических операциях.

Предельные величины для плотности бурового раствора:

$$\rho_{0v} = \frac{(p_{sb} - \Delta p)}{p_{cyrv}} \quad (2.9)$$

$$\rho_{0n} = \frac{(p_{sn} + \Delta p)}{p_{cyrv}} \quad (2.10)$$

$$\rho_{0gr} = \frac{(p_{gr} - \Delta p)}{p_{cyrv}} \quad (2.11)$$

$$\rho_{0c} = \frac{p_{cc}}{p_{cyrv}} \quad (2.12)$$

$$\rho_{0n} < \rho_0 < \rho_{0v} \quad (2.13)$$

$$\rho_{0c} < \rho_0 < \rho_{0gr} \quad (2.14)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \rho_v \quad (2.15)$$

где  $\rho$  - искомое значение плотности (г/м<sup>3</sup>).

Данная методика хорошо согласуется с экспериментальными данными, если все компоненты главных нормальных напряжений сжимающие. Однако, ее не рекомендуется применять при наличии растягивающих напряжений.

При выводе расчетных формул рассмотрены случаи полной кольматации и отсутствия кольматации стенок скважины. Наиболее адекватными являются данные для пористых горных пород.

Рассмотренный метод не охватывает всего многообразия случаев, возможных при бурении скважины. Кроме того, методика А.Н. Попова имеет ряд погрешностей при расчете в случае горизонтальной стенки скважины.

### 3. Заключение

Для начального этапа разработки программы была выбрана методика А.Н.Попова. Используются следующие программные средства: Visual Studio, объектно-ориентированный язык C#. В дальнейшем планируется применить комбинированные методики расчета, учитывая результаты исследований В.С. Новикова и других обзоров данной области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спивак А.И., *Механика горных пород (применительно к процессам бурения скважин)*, Недра, Москва., 1967.
2. Попов А.Н., Могучев А.И., Булюкова Ф.З., Крысин Н.И., *Методика расчета упругого смещения стенок скважины после вскрытия горной породы бурением*, УГНТУ, Уфа., 2011.
3. Новиков В.С., Родимов Л.В., Новиков А.С., “Повышение эффективности управления строительством скважин”, *Нефтяное хозяйство*, **5** (2010), 108–111.
4. Попов А.Н., Головкина Н.Н., *Прочностные расчеты стенок скважины в пористых горных породах*, УГНТУ, Уфа., 2001.

## Analysis of mathematical models for the calculation of geomechanical drilling parameters

© O. Y. Zabeivorota<sup>3</sup>, I. M. Gubaidullin<sup>4</sup>

**Abstract.** In the oil fields developing it is necessary to know the strength of the rock for competent voltage detection in situ, the analysis of wellbore stability and other parameters. Knowing these parameters is required for the formation of the well and further operations such as mining and drilling voltage change in formations. There are several types of complications: landslides, debris, disclosure of drilling mud, fluid inflow. The main reason for such manifestations is the excess pressure in the reservoir relative to the borehole. When opening, a hole space is replaced with a washing liquid, which changes the thermal stress.

**Key Words:** stress, pressure, strength calculations, drilling, drilling mud

<sup>3</sup> Master student first year, Bashkir State University, Ufa; Zabeivorota.olga@gmail.com.

<sup>4</sup> Senior Research Associate in the Laboratory of Mathematical Chemistry, Institute of petrochemistry and catalysis of the Russian Academy of Sciences, Ufa; IrekMars@mail.ru.