

И. И. ДЖАНЗАКОВ

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТОЙ КОРКИ В ЗОНЕ ПРИХВАТА НА ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОЛОНН

При разбуривании цементного моста, как показывают опытные данные [1], параметры бурового раствора ухудшаются (рост водоотдачи и увеличение реологических показателей раствора, его плотность, а также содержание в нем твердой фазы) и создаются условия для прихвата под действием перепада давления в зонах проницаемых отложений. Приобретение смесью «буровой – цементный раствор» иных реологических свойств определяется степенью несовместимости бурового и цементного раствора, в результате которого образуется пастообразная пробка. Вязкость бурового раствора, содержащего 10% цементного составляющего, возрастает приблизительно в 40 раз по сравнению с исходным, вследствие чего повышается опасность прихвата труб при спуске без промывки.

Многие растворы, в том числе буровые и тампонажные, проявляют свойства, отличные от свойства ньютоновских жидкостей [1]. Вязкость таких ньютоновских жидкостей зависит не только от температуры и давления, но и от скорости сдвига, деформации, времени и характера движения. При этом реологическое уравнение (уравнение состояния) в наиболее общем виде может быть представлено в виде [2]:

$$F(\tau, \dot{\gamma}) = 0, \quad (1)$$

где  $\tau$  и  $\dot{\gamma}$  – соответственно напряжение сдвига и скорости деформации сдвига. Получение уравнения состояния при различных условиях сопряжено со значительными трудностями, поэтому уравнение (1) обычно получается экспериментально. При этом используются различные варианты аппроксимации экспериментальных кривых [2, 3]. Наибольшее распространение получили двухпараметрические модели Шведова–Бингама и Освальда–Вейса, которые описываются единым степенным законом [3]:

$$\sigma_{rz} = k \cdot \dot{\gamma}^n,$$

где  $k$  – показатель консистенции;  $n$  – показатель неньютоновского поведения. При  $n < 1$  жидкость псевдопластическая, а при  $n > 1$  дилатантная. Если в формуле полагать:

$$k = (\tau_0 + \eta \dot{\gamma}) \dot{\gamma}^{n-1}, \quad n = \eta \gamma_* (\tau_0 + \eta \dot{\gamma})^{-1},$$

то получим модель Шведова–Бингама:

$$\dot{\gamma} = 0 \text{ при } \tau < \tau_0, \quad \tau = \tau_0 + \eta \dot{\gamma} \text{ при } \tau > \tau_0,$$

где  $\tau_0$  – предельное (или динамическое) напряжение сдвига;  $\eta$  – пластическая (структурная) вязкость;  $\dot{\gamma}$  – скорость деформации сдвига, выше которой зависимость  $\tau$  от  $\dot{\gamma}$  принимается линейной функцией.

Рассмотрим движение прихваченной в скважине колонны, которое сопровождается вытеснением неньютоновской жидкости Шведова–Бингама. При этом полагаем, что до приложения внешнего усилия колонна находится в неподвижном состоянии и суммарное трение со стороны неньютоновской жидкости на ее поверхности колонны определяется по формуле [3]:

$$P_{mp} = -D_{nk} [d\tau_0(L-l) + d_1\tau_1 l] - [c\eta(L-l) + c_1\eta_1 l]v,$$

$$\text{где } c = \frac{2\pi[2a(1-\alpha^2)+1]}{\ln(1/\alpha)}, \quad d = \frac{2\pi b(1-\alpha^2)}{3\alpha \ln(1/\alpha)},$$

$$a = \frac{\omega^2}{(1-\alpha^2)(1+\alpha^2-2\omega^2)+\alpha_0^4}; \quad b = \frac{1+\alpha^3-2\omega^3+\alpha_0^3}{(1-\alpha^2)(1+\alpha^2-2\omega^2)+\alpha_0^4} \omega^2 = \frac{1-\alpha^2}{2\ln(1/\alpha)},$$

где  $L$  – длина буровой колонны;  $\alpha = \frac{D_{nk}}{D_T}$ ,

$\alpha_0 = \alpha \frac{D_{bk}}{D_{nk}}$  и  $D_T$  – диаметр скважины;  $D_{nk}$  и

$D_{bk}$  – наружный и внутренний диаметры буровых труб,  $(\tau_0, \eta)$  и  $(\tau_1, \eta_1)$  – соответственно

предельные напряжений сдвига, коэффициенты динамической вязкости жидкости в зоне прихвата длиной  $l$  и вне его зоны. Величины  $(\tau_1, \eta_1)$  в момент прихвата принимают такие значения, при котором колонна находится в состоянии неподвижности, т.е. выполняется условие:

$$P_{mp} > m(1 - \frac{\rho_{жс}}{\rho})g,$$

$m, \rho$  – масса колонны и плотность ее материала;  $\rho_{жс}$  – плотность пристеночного слоя породной среды.

Для освобождения колонны прихвата, как правило, на колонну прилагают усилие, необходимое для преодоления суммарной силы трения и ее веса, и если максимальная величина этого усилия ограничена (например, в связи с необходимостью соблюдения критерия прочности элементов бурильной компоновки), то используются различные методы воздействия на колонну или на окружающую ее среду, направленные для уменьшения величины контактной силы (трения). В частности, используются методы, влияющие на изменение физико-механических характеристик пристеночного слоя жидкости на поверхности колонны. Изучим характер движения колонны в скважине, в случае, когда характеристики бингамовской жидкости ( $\tau_1, \eta_1$ ) после приложения усилия на колонну проявляют временные свойства, причем параметр  $\tau_1$  меняется по закону  $\tau_1 = \tau_1(t)$ , а сила вязкого сопротивления по времени имеет наследственный характер:

$$P_v = c_1 \eta_1 l v + c_1 l \int_0^t \eta_n(t - \tau) v(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где  $\eta_1$  – мгновенный коэффициент динамической вязкости;  $\eta_n(t)$  – наследственная функция. Для упрощения расчетов в дальнейшем полагаем  $d_1 = d, c_1 = c$ . При этом величина  $\tau_1(0) = \tau_{10} < \tau_1$  выбирается из условия, чтобы приложенное на колонну усилие  $P_0$  удовлетворяло при  $t = 0$  неравенству ( $P_d$  – допустимая величина приложенного усилия):

$$D_{nk} d [\tau_0(L - l) + \tau_{10}l] + m(1 - \rho_{жс} / \rho)g < P_0 < P_d. \quad (3)$$

При выполнении условия (3) колонна начинает совершать движение вверх, характер которого зависит от видов функций  $\tau_1(t)$  и  $\eta_n(t)$ . Уравнение движения колонны при  $t > 0$  представим в виде:

$$m_1 \ddot{x} = -D_{nk} d [\tau_0(L - l) + \tau_1(t)l] - m_1 g -$$

$$- c [\eta(L - l)v + \eta_1 l v + l \int_0^t \eta_n(t - \tau)v(\tau) d\tau] + P_0 H(t),$$

где  $H(t)$  – единичная функция Хевисайда,

$$m_1 = m(1 - \frac{\rho_{жс}}{\rho})g.$$

Таким образом, из последнего равенства видно, что при известных функциях  $\tau_1(t)$  и  $\eta_n(t)$  для определения скорости колонны получим интегро-дифференциальное уравнение первого порядка, которое можно решить численно. В некоторых случаях решение этого уравнения можно получить в замкнутом виде. В связи с этим рассмотрим случай, когда эти функции зависят от времени по экспоненциальному закону:

$$\tau_1 = \tau_{10} \exp(-\beta t) \quad \eta_n = \eta_{10} \exp(-\gamma t), \quad (4)$$

где  $\tau_{10}, \beta, \eta_{10}$  и  $\gamma$  – постоянные параметры. С учетом выражений (4) для функций  $\tau_1(t)$  и  $\eta_n(t)$ , применим к последнему уравнению одностороннее преобразование Лапласа по времени, тогда получаем:

$$m_1 p \hat{v}(p) = -D_{nk} d \left[ \frac{\tau_0(L - l)}{p} + \frac{\tau_{10}l}{p + \beta} \right] - \quad (5)$$

$$- \frac{m_1 g}{p} - c \left[ [\eta(L - l) + \eta_1 l] \hat{v}(p) + l \frac{\eta_{10} \hat{v}(p)}{p + \gamma} \right] + \frac{P_0}{p},$$

где  $\hat{v}(p) = \int_0^\infty v(t) \exp(-pt) dt$  – изображение по

Лапласу функции  $v(t)$ ,  $p$  – параметр преобразования. Разрешив (5) относительно  $\hat{v}(p)$ , получаем:

$$\hat{v}(p) = \frac{(P_0 - m_1 g)(p + \gamma)}{m_1 p(p^2 + 2m_0 p + n)} - D_{nk} d \frac{(a_1 + c_1 p)(p + \gamma)}{m_1 p(p^2 + 2m_0 p + n)(p + \beta)}, \quad (6)$$

где  $a_1 = \beta \tau_0(L - l), \quad c_1 = \tau_0(L - l) + l \tau_{10},$

$$m_0 = 0.5(\gamma + b_1), \quad n = b_1 \gamma + b_2,$$

$$b_1 = c[\eta(L - l) + \eta_1 l] / m_1, \quad b_2 = c \eta_{10} l / m_1.$$

При этом изображение перемещения колонны и  $u(t)$  определяется по формуле:

$$\hat{u}(p) = \frac{\hat{v}(p)}{p}.$$

Как заметно из (6), вид функции  $v(t)$  зависит от корней уравнения  $p^2 + 2m_0p + n = 0$ .

Рассмотрим случай, когда корни этого уравнения действительные, т.е. параметры  $\tau_{10}$ ,  $\beta$ ,  $\eta_{10}$  и  $\gamma$  таковы, что выполняется неравенство  $m_0^2 > n$ . Тогда оригинал изображения  $\hat{u}(p)$  будет иметь вид:

$$\begin{aligned} u(t) = & D_{nk} d \left[ -\frac{a_1 \gamma}{\beta p_1 p_2 m_1} + \right. \\ & + \frac{(a_1 - c_1 \beta)(\gamma - \beta)[1 - \exp(-\beta t)]}{\beta^2 (p_1 - \beta)(p_2 - \beta) m_1} + \\ & \left. + \frac{(a_1 - c_1 p_1)(\gamma - p_1)[1 - \exp(-p_1 t)]}{p_1^2 (\beta - p_1)(p_2 - p_1) m_1} \right] + \\ & D_{nk} d \frac{(a_1 - c_1 p_2)(\gamma - p_2)[1 - \exp(-p_2 t)]}{p_2^2 (\beta - p_2)(p_1 - p_2) m_1} + \\ & + \frac{P_0 - m_1 g}{m_1} \left[ \frac{\gamma}{p_1 p_2} - \frac{(\gamma - p_1)[1 - \exp(-p_1 t)]}{p_1^2 (p_2 - p_1)} \right] - \\ & - \frac{P_0 - m_1 g}{m_1} \frac{(\gamma - p_2)[1 - \exp(-p_2 t)]}{p_2^2 (p_1 - p_2)}, \end{aligned}$$

где  $p_{1,2} = m_0 \pm \sqrt{m_0^2 - n}$ .

Силу сопротивления пристеночного слоя жидкости определяем по формуле (2):

$$\begin{aligned} P_{mp} = & D_{nk} d [\tau_0 (L - l) + \tau_{10} l \exp(-\beta t)] + \\ & + c [\eta (L - l) + \eta_1 l] v(t) + c l \eta_{10} \frac{P_0 - m_1 g}{m_1} \times \\ & \times \left[ \frac{1}{p_1 p_2} - \frac{\exp(-p_1 t)}{p_1 (p_2 - p_1)} - \frac{\exp(-p_2 t)}{p_2 (p_1 - p_2)} \right] + \\ & - \frac{D_{nk}}{m_1} \left[ \frac{a_1}{\beta p_1 p_2} - \frac{(a_1 - c_1 \beta) \exp(-\beta t)}{\beta (p_1 - \beta)(p_2 - \beta)} - \right. \\ & \left. - \frac{(a_1 - c_1 p_1) \exp(-p_1 t)}{p_1 (\beta - p_1)(p_2 - p_1)} - \frac{(a_1 - c_1 p_2) \exp(-p_2 t)}{p_2 (\beta - p_2)(p_1 - p_2)} \right]. \end{aligned}$$

Расчеты производились для следующих значений параметров:  $L = 1000$  м,  $l = 50$  м,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{жс} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>,  $\tau_0 = 12$  Па,  $\tau_{10} = 10$  Па,  $\eta_1 = \eta = 0,00642$  Па·с,  $\eta_{10} = -0,005$  Па,  $\gamma = 2$  (1/с).

На рис. 1 представлены графики изменения напряжения  $\tau = tau$  (Па) от времени  $t$  (с) при различных значениях параметра  $\beta$  (1/с) для колонны  $D_{nk} = 0,1016$  м,  $D_{bk} = 0,0836$  м,  $m = 20\ 000$  кг. Значение удерживающей колонну силы в неподвижном состоянии будет равно  $P_{yo} = 1991243H$ . На колонну приложена внешняя сила величиной  $P_0 = 228992H$ .

На рис. 2 и 3 представлены графические зависимости силы трения  $P_{mp}$  (Н) и перемещение  $u$  (м) от времени  $t$  (с) при различных значениях параметра  $\beta$  (1/с).

Из анализа кривых, представленных на рис. 2, видно, что сила сопротивления пристеночного слоя с ростом времени принимает постоянное

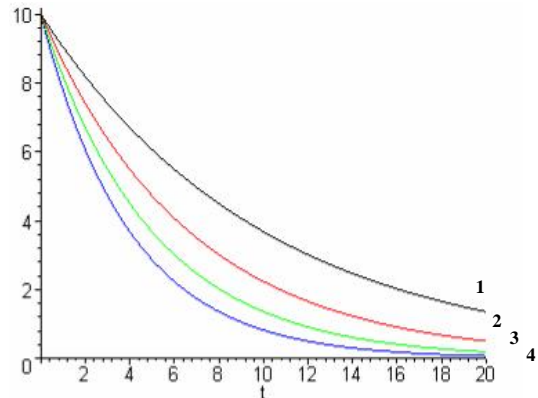


Рис. 1. Изменение напряжения  $\tau = tau$  (Па) от времени  $t$  (с) при различных значениях параметра  $\beta$  (1/с):  $\beta = 0,1$  (1),  $\beta = 0,15$  (2),  $\beta = 0,20$  (3),  $\beta = 0,25$  (4)

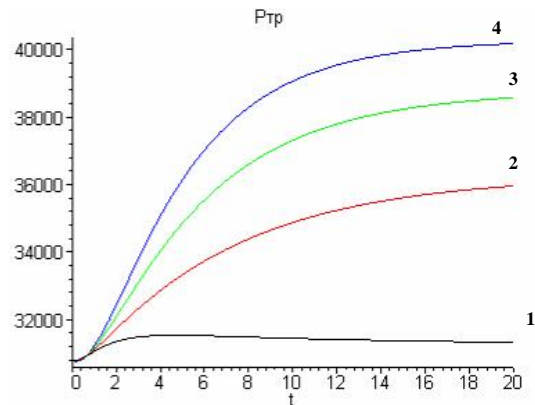
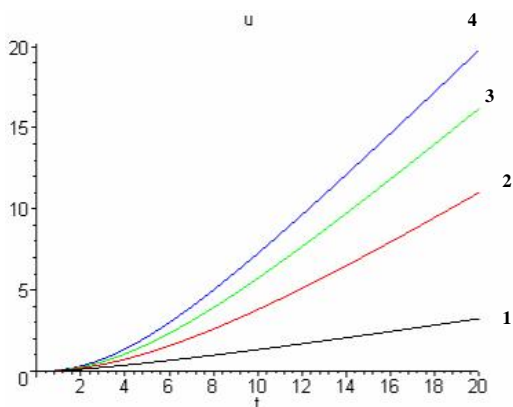


Рис. 2. Изменение напряжения  $P_{mp}$  (Н) от времени  $t$  (с) при различных значениях параметра  $\beta$  (1/с):  $\beta = 0,1$  (1),  $\beta = 0,15$  (2),  $\beta = 0,20$  (3),  $\beta = 0,25$  (4)



**Рис. 3.** Изменение перемещения колонны  $u$  (м) от времени  $t$  (с) при различных значениях параметра  $\beta$  (1/с):  $\beta = 0,1$  (1),  $\beta = 0,15$  (2),  $\beta = 0,20$  (3),  $\beta = 0,25$  (4)

значение и увеличение параметра  $\beta$  приводит к росту предельной величины этой силы.

Из кривых, представленных на рис. 3, заметим, что перемещения колонны для малых значений времени меняются по закону, близкому к

параболическому, и далее с ростом времени меняются по прямолинейному закону. Рост параметра  $\beta$  может привести к значительному увеличению перемещения колонны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галимов М.А. Контакт труб с фильтрационной коркой при циркуляции раствора в скважине // Тр. ВНИИКРнефти. Вып. II, 1976). С. 7-71.
2. Шестернев Н.М., Расизаде Я.М., Ширинзаде С.А. Предупреждение и ликвидация осложнений в бурении. М.: Недра, 1979.
3. Рабинович Н.Р. Инженерные задачи механики сплошной среды в бурении. М.: Недра, 1989. 270 с.

Резюме

Бұрғылау ерітіндісінің кейбір қасиеттерінің бұрғылау тізбегі мен жар қабаты арасында туатын үйкеліс күшінің өлшеміне көрсететін әсері зерттелген.

УДК 624.131

Атырауский институт нефти и газа, г. Атырау

Поступила 2.07.06г.

Б.-Б. С. ЕСМАГАМБЕТОВ

**ФОРМИРОВАНИЕ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

В информационно-измерительных системах передаваемая по каналам связи информация должна содержать адресную информацию об источнике сообщения. В системах, использующих сжатие данных, необходимо также передавать временную информацию для привязки существенных отсчетов ко времени. Адресная, временная и синхронизирующая информация в литературе называется служебной. Необходимость передачи служебной информации снижает эффективность приемопередающих систем. Поэтому проблема сокращения объема служебной информации является чрезвычайно актуальной.

Рассмотрим принципы формирования служебной информации в системах со сжатием данных. Существуют следующие системы, отличающиеся способом выравнивания потоков сжатых данных:

- с буферным запоминающим устройством (БЗУ);
- с адаптивным коммутированием.

Для систем с БЗУ характерно наличие временной задержки в буфере, а системы с адаптив-

ным коммутированием работают в реальном масштабе времени, что и обуславливает особенности формирования служебной информации. Для анализа различных способов ее формирования введем понятие коэффициента сжатия полосы частот канала передачи:

$$K_{сж}^F = n_{вх} / n_{вых},$$

где  $n_{вх}$  – объем измерительной информации в кадре,

$$n_{вых} = N n_{и} / K_{сж} + n_{адр} + n_{вр},$$

где  $K_{сж}$  – коэффициент сжатия по числу отсчетов;  $N$  – число каналов в адаптивной системе;  $n_{и}$  – объем информационной части одного измерения;  $n_{адр}$  – объем адресной информации;  $n_{вр}$  – объем временной информации.

Сравнивать различные способы формирования служебной информации следует при одинаковых входных условиях. Допустим, что объем измерительной информации для всех отсчетов одинаков, а вероятность появления существенных отсчетов для всех случаев также одинакова и равна