

Изобретение относится к нефтегазодобывающей промышленности, в частности к способам создания гидроизолирующих экранов в пласте.

Известно множество способов создания гидроизолирующих экранов, которые представлены гелем, пеной, дисперсным осадком и др. [1]. Эти материалы могут быть на основе различных, смол, растворов полимеров (гипан, полиакриламид, метан, тампокрин и т.д.), углеводородных соединений (вязкая деэмульгированная нефть, углеводородные растворители, битумы, мазуты, парафины-мицеллы, эмульсии нефти, нефтесернокислотные смеси и т.д.), кремнийорганических веществ.

Известен способ создания гидроизолирующих экранов путем введения в пласт натриевой соли полиакрилонитрила в виде 10-17 процентного водного раствора, имеющего промышленное название гипана. При этом способе гидроизолирующий экран создается за счет взаимодействия ионов двухвалентных металлов  $\text{Ca}^{++}$  и  $\text{Mg}^{++}$  ионогенными группами гипана, вводимого в водоионную часть пласта [2] (прототип).

Существующий способ имеет следующие недостатки:

1. не предусматривается регулирование устойчивости гидроизолирующих экранов при возникающих в период эксплуатации градиентах давления. По этой причине зачастую происходит вынос изолирующих агентов из пласта обратно в скважину.

Устойчивость гидроизолирующего экрана в пласте характеризуется предельным градиентом давления  $\gamma$  изоляционного материала, из которого он состоит. Известно, что градиент давления  $dP/dr$  в любой точке пласта обратно-пропорционален расстоянию  $r$  от этой точки до оси скважины (Подземная гидравлика: Учебник для вузов К.С. Власов, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. - М.: Недра, 1986. - С. 59-64).

График зависимости градиента давления  $dP/dr$  от координаты  $r$  изображен на фиг. 1, он представляет собой гиперболу, которая описывается зависимостью

$$\frac{dP}{dr} = \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{r}{r_c}} \cdot \frac{1}{r}. \quad (1)$$

Из графика видно, что в пласте при приближении к скважине градиент давления резко возрастает и достигает максимального значения на стенке скважины.

Экран будет устойчив в том случае, если предельный градиент давления изоляционного материала будет не менее градиента давления, возникающего в пласте во время эксплуатации скважины, т.е.

$$\gamma \geq \frac{dP}{dr}. \quad (2)$$

2. Существующие способы не предусматривают возможности увеличения размеров гидроизолирующего экрана, сохраняя при этом его устойчивость при возникающих давлениях. Известно, что чем больше размеры экрана, тем больше величина охвата залежи заводнением, и, следовательно, нефтеотдача в зоне дренирования скважины.

Для того, чтобы закачать в пласт реагент с предельным градиентом давления на расстояние  $r$ , необходимо при закачке реагента создать давление на забое  $P_c$ , величина которого соответствует уравнению

$$P_c - P_k = \gamma(r_1 - r_c), \quad (3)$$

где  $P_k$  - давление на границе зоны дренирования скважины;  $P_c$  - радиус скважины. Преобразовав, получим

$$\frac{P_c - P_k}{\gamma} = r_1 - r_c. \quad (4)$$

Отсюда, для того чтобы увеличить глубину закачки (размеры экрана), необходимо или уменьшить параметр  $\gamma$  (взять материал с меньшим предельным напряжением сдвига), или увеличить давление закачки изоляционного агента. Применить материал с меньшим  $\gamma$  мы не можем, так как в дальнейшем при эксплуатации скважины будет происходить вынос агента из пласта. Можно увеличить давление закачки, но не всегда и не на любую величину. Каждый реально существующий пласт характеризуется давлением раскрытия трещин (гидроразрыва). После раскрытия трещин материал будет заполнять и двигаться преимущественно по ним, а не фильтроваться по матрице породы и образовывать гидроизоляционный экран по всему горизонту.

3. Нет надобности создавать гидроизолирующий экран, состоящий из изоляционных агентов с высоким предельным коэффициентом напряжения сдвига по всей длине экрана, ибо это не экономично. Из графической зависимости фиг. 1 следует, что чем больше удаление экрана от скважины, тем меньшим напряжением сдвига может обладать материал, из которого он состоит. Эта особенность также учитывается в существующих способах создания гидроизолирующих экранов.

В основу изобретения поставлена задача - надежное ограничение притока воды и увеличение нефтеотдачи в зоне дренирования скважины за счет предупреждения выноса материала гидроизолирующего экрана при экономном использовании изоляционных материалов.

Решение поставленной задачи достигается тем, что до введения изоляционных материалов в пласт по результатам исследования каждой скважины строят график распределения давления в пласте и по изменению градиента давления последовательно вводят изоляционные материалы с различными значениями напряжения сдвига, значения которых больше градиента давления, причем ввод реагентов осуществляют в порядке роста величины их напряжения сдвига. Объем каждой порции изоляционного материала с одинаковым значением напряжения сдвига определяют по формуле

$$V_{ji} = \pi \cdot (r_{i+1} - r_i)^2 \cdot h \cdot m, \quad (5)$$

где  $V_{ji}$  - объем каждой порции изолирующего агента,  $\text{м}^3$ ;

$r_i, r_{i+1}$  - внешний и внутренний радиусы 1-той порции, м;

$h$  - толщина изолируемого пропластка, м,

$m$  - коэффициент пористости изолируемого пропластка.

На фиг. 1 и 2 представлены зависимости градиента давления  $dP/dr$  от координаты  $r$  зоны дренирования скважины (расстояние от скважины в пласт).

Сущность изобретения состоит в следующем: по результатам исследований конкретной скважины строят график распределения давления в пласте (см, фиг. 2).

По величине значений градиента давления  $\frac{dP}{dr}$  подбирают гидроизоляционные материалы, предельный градиент давления для которых  $\gamma$  будет больше градиента давления ( $\gamma > \frac{dP}{dr}$ ) в координате пласта  $r$ , в который они будут закачаны.

Материал характеризуется напряжением сдвига  $T_0$ . Параметры  $\gamma$  и  $T_0$  связаны следующей зависимостью (см. Г.Б. Пыхачев, Р.Г. Исаев. Подземная гидравлика. - М.: Недра, 1973. - С. 346):

$$\gamma = \alpha_c \frac{T_0}{\sqrt{k}} \quad (6)$$

где  $\alpha_c$  - безразмерный структурный коэффициент, который зависит от структуры порового пространства ( $\alpha_c = 0,0162 - 0,018$ );  $k$  - проницаемость пропластка, в котором устанавливается гидроизолирующий экран.  $m^2$ .

Определяют несколько зон пласта (радиус  $r_1, r_2$  и т.д. см. рис. 2), в которые будет закачан один из подобранных материалов (в дальнейшем порция) с соответствующим  $T_0$ , значение которого удовлетворяет требованию (2). а давление закачки каждой порции соответствует уелрвик? (14).

Закачку порций производят в порядке возрастания их  $T_0$ . Глубина закачки каждой порции достигается путем закачки соответствующих порций, которые определяются по формуле (15).

Закачку порций производят в обводнившийся пропласток. а остальные пакеруют.

Закачиваемая порция изолирующего материала будет вытеснять из пропластка имеющуюся в нем воду. Объемный расход вытесняемой воды при этом по закону Дарси составит

$$Q = \frac{k_B}{\mu_B} 2 \pi r h \frac{dP}{dr} \quad (7)$$

где  $Q$  - объемный расход,  $m^3 k^a$  - проницаемость пропластка для воды,  $m^2$ ;  $\mu_B$  - абсолютная вязкость воды. Па с;  $h$  - толщина

изолируемого пропластка, м;  $\frac{dP}{dr}$  - градиент давления, Па/м;  $r$  - текущий радиус пласта, м;  $P$  - давление в текущей точке  $r$ , Па.

Интегрируя, получим потери давления в водяной зоне

$$P_p - P_k = \frac{Q \mu_B}{2 \pi k_B h} \ln \frac{R_k}{r_p} \quad (8)$$

где  $P_k$  - давление на границе зоны дренирования скважины. Па;  $P_p$  - давление на границе раздела зон воды и изолирующей жидкости. Па;  $R_k$  - радиус зоны дренирования скважины, м;  $r_p$  - радиус границы раздела между водой и порцией изолирующей жидкости.

Для любой порции изолирующей жидкости объемный расход записываем по обобщенному закону Дарси

$$Q = \frac{k_{ж}}{\mu_{ж1}} 2 \pi r h \left( \frac{dP}{dr} - \gamma \right), \quad (9)$$

где  $k_{ж}$  - проницаемость изолируемого пропластка для изолирующей жидкости после вытеснения из него воды (принимая модель поршневого вытеснения),  $m^2$   $\mu_{ж1}$  - вязкость изолирующей жидкости 1-той порции Па с;  $\gamma_1$  - предельный (начальный) градиент давления для  $i$ -той порции изолирующей жидкости, Па/м.

Интегрируя (9), получаем потерю давления в зоне 1-той порции изолирующей жидкости

$$P_{i+1} - P_i = \frac{Q \mu_{ж1}}{2 \pi k_{ж} h} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \gamma (r_i - r_{i+1}), \quad (10)$$

где  $i$  - номер порции (номер порядковой закачки изолирующей жидкости);  $P_i$  - давление в пласте на внешней границе зоны  $i$ -той порции, Па;  $P_{i+1}$  - давление в пласте на внутренней границе зоны  $i$ -той порции или на внешней границе зоны  $i+1$ -той порции, Па;  $r_i, r_{i+1}$  - внешний и внутренний радиусы зоны  $i$ -той порции (в м), причем при  $i = 1$   $r_i = r_p, P_i = P_p$ , при  $i = n$   $r_i = r_c, P_i = P_p, r_{i+1} = r_c$ , где  $r_c$  - радиус скважины, м;  $P_{i+1} = P_{c3}$ ;  $P_{c3}$  - давление на забое скважины в ходе закачки порции изолирующей жидкости.

Вследствие неразрывности потока, объемный расход несжимаемых воды и изолирующей жидкости один и тот же. Тогда общие потери давления в пропластке  $\Delta P$ , получаем суммированием потерь давления в каждой зоне

$$\Delta P_{3c} = P_{3c} - P_k = (P_p - P_k) + \sum_{i=1}^n (P_{i+1} - P_i) = \frac{Q}{2\pi h} \left[ \frac{\mu_c}{k_s} \ln \frac{R_k}{r_p} + \frac{1}{k_{ж}} \times \sum_{i=1}^n \mu_{жi} \ln \frac{r_i}{r_{i+1}} \right] + \sum_{i=1}^n \gamma_i \times (r_i - r_{i+1}), \quad (11)$$

откуда

$$Q = \frac{P_{3c} - P_k}{\Omega}, \quad (12)$$

где  $\Omega$  - фильтрационное сопротивление в изолируемом пропластке

$$\Omega = \frac{1}{2\pi h} \left[ \frac{\mu_s}{k_s} \ln \frac{R_k}{r_p} + \frac{1}{k_{ж}} \sum_{i=1}^n m_{жi} \ln \frac{r_i}{r_{i+1}} \right] + \sum_{i=1}^n \gamma_i (r_i - r_{i+1}). \quad (13)$$

С целью предупреждения гидравлического разрыва при закачке или раскрытия трещин необходимо соблюдение условия

$$\Delta P_3 < P_{p,т} \quad (14)$$

где  $\Delta P_{p,т}$  - давление раскрытия трещин.

Объем изолирующего агента в каждой порции  $j$  определяется как

$$V_{жi} = \pi \cdot [r_{i+1}^2 - r_i^2] \cdot h \cdot m, \quad (15)$$

где  $m$  - коэффициент пористости изолируемого пропластка.

Предложенное решение имеет следующие преимущества:

1. Способ обеспечивает создание устойчивого гидроизолирующего экрана, так как предельный градиент давления изоляционного материала превышает возникающие градиенты давления в зоне пласта, в которой он установлен,

2. Наряду с повышением устойчивости гидроизолирующего экрана способ позволяет увеличить размеры гидроизоляционного экрана, а следовательно, и нефтеотдачу в зоне дренирования скважины.

3. Способ предусматривает экономичное использование изоляционных материалов.

Изобретение иллюстрируется следующим примером.

Нефтяная скважина глубиной 2000 м и диаметром 0,146 м эксплуатируется глубинно-насосным способом. Забойное давление составляет 18 МПа, давление на границе зоны дренирования скважины 20 МПа. Радиус зоны дренирования скважины составляет  $R_k = 70$  м. Обводненность продукции скважины -90%. Обводнение скважины происходит по пропластку-песчанику толщиной  $h = 0,3$  м, проницаемость которого  $k = 5 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>, пористость  $m = 0,24$ . Структурный коэффициент пористой среды  $\alpha_c = 0,0162$ . Давление раскрытия трещин

$$\Delta P_{p,т} = 13 \text{ МПа}.$$

Зависимость распределения давления от координаты пласта строим по результатам проведенных расчетов согласно (1):

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dr} &= \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \frac{1}{r} = \\ &= \frac{(20 - 18) \cdot 10^6}{\ln \frac{70}{0,146}} = 324010,2 \text{ р} \end{aligned}$$

Данные расчетов приведены в табл. и на графике рис. 2.

Из зависимости на рис. 2 следует, что интенсивный рост градиента давления

$\frac{dP}{dr}$  происходит на расстоянии  $\approx 10$  м от ствола скважины. На расстоянии 70 м градиент давления

составляет всего лишь 4628

Па/м. На стенке скважины  $\frac{dP}{dr} = 2219248 \text{ Па/м}$ . Зависимость можно разделить на три участка с  $r_1, r_2$ , и  $r_3$ .

Первый участок 0,146-10 м, ( $\frac{dP}{dr_1} = 2219248 - 32401 \text{ Па/м}$ ).

Второй участок 10-20 м ( $\frac{dP}{dr_2} = 32401 - 16200 \text{ Па/м}$ ).

Третий участок 20-70 м ( $\frac{dP}{dr_3} = 16200 - 4628,7 \text{ Па/м}$ ).

Выбираем изолирующую жидкость для

первого участка  $\gamma_1 \geq \frac{dP}{dr}$ . Для этого подбираем жидкость с  $\tau_{01}$  для удовлетворения этого требования. Из (6) получаем

$$\tau_{01} > \frac{\gamma_1 \sqrt{k}}{\alpha_c} \geq \frac{2219248 \sqrt{5 \cdot 10^{-12}}}{0,0162} \geq 306,3 \text{ Па.}$$

Для этого используем выпускаемый промышленностью полимер, который фильтруется в поры пласта, например "Комета" (Применение полимеров в добыче нефти Г.И. Григоращенко, Ю.В. Зайцев, В.В. Кукин и др. - М.: Недра, 1978. - С. 5-14).

"Комету" растворяют в воде до достижения  $\tau_{01} = 310$  Па. Замер напряжения сдвига производят по известной методике с использованием стандартной установки (например REOTEST). Из нашего опыта такое значение напряжения сдвига имеет 6% раствор полимера "Комета" (вязкость  $\mu_{ж3} = 320 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{С}$ ).

Для установки гидроизолирующего экрана на участке 10-30 м необходима жидкость с напряжением сдвига

$$\tau_{02} \geq \frac{\gamma_2 \sqrt{k}}{\alpha_c} \geq \frac{4199 \sqrt{5 \cdot 10^{-12}}}{0,0162} \geq 0,58 \text{ Па}$$

Используем для этого более дешевый полимер, чем "Комета", например полиакриламид и готовим его раствор с  $\tau_{02} \geq 0,6$  (из опыта такое значение напряжения сдвига имеет 0,3% раствор. Его вязкость  $\mu_{ж2} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{С}$ ).

Для третьего участка используем также раствор полиакриламида с напряжением сдвига равным

$$\tau_{03} \geq \frac{\gamma_3 \sqrt{k}}{\alpha_c} \geq \frac{1399 \sqrt{5 \cdot 10^{-12}}}{0,0162} \geq 0,19 \text{ Па}$$

Такое напряжение сдвига имеет 0,01 % раствор (вязкость раствора  $\mu_{ж2} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{С}$ ).

Порядок закачки реагентов и их объем. определяемый по (15) следующий.

1. Раствор полиакриламида (0,01%)  $V_{ж1} = 3,14 (70-20)^2 \cdot 0,3 \cdot 0,24 = 565 \text{ м}^3$
2. Раствор полиакриламида (0,5%)  $V_{ж1} = 3,14 (20-10)^2 \cdot 0,3 \cdot 0,24 = 22,6 \text{ м}^3$
3. Раствор "Комета" (6%)  $V_{ж1} = 3,14 (10-0,146)^2 \cdot 0,3 \cdot 0,24 = 22 \text{ м}^3$

Для соблюдения условия (14) максимально допустимый расход жидкости определим из (12) при закачке раствора

$$\Delta P_{рт} \leq P_p - P_k = Q_{ж3} \Omega_3.$$

Согласно (13) определим фильтрационные сопротивления

$$\begin{aligned} \Omega_3 = & \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3} \left[ \frac{1 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-12}} \times \right. \\ & \times \ln \frac{70}{60} + \frac{1}{5 \cdot 10^{-12}} (3 \cdot 10^{-3} \times \\ & \times \ln \frac{10}{0,146} + 40 \cdot 10^{-3} \ln \frac{20}{10} + \\ & \left. + 320 \cdot 10^{-3} \ln \frac{70}{20}) \right] \\ & + 1399 (70-20) + 4199 (20-10) + \\ & + 2219248 (10-0,146) = \\ & = 4,46 \cdot 10^8 \text{ (Па/с)/м.} \end{aligned}$$

Расход закачиваемой жидкости для предотвращения раскрытия трещин не должен превышать

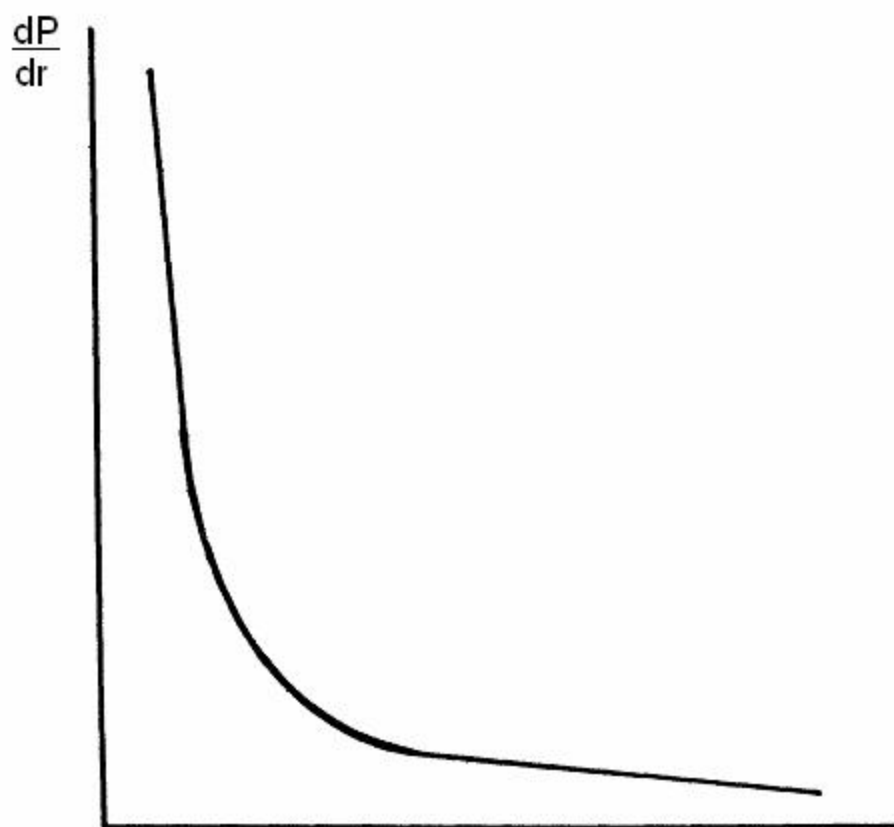
$$Q_3 \leq \frac{P_p}{\Omega_3} = \frac{13 \cdot 10^6}{4,46 \cdot 10^8} = 0,029 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Исходя из того закачку осуществляют с помощью двух насосных агрегатов 4АН-700 на третьей скорости при 1400 об/мин (диаметр плунжера 120 мм. При этом расход составит  $0,012 \times 2 = 0,024 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

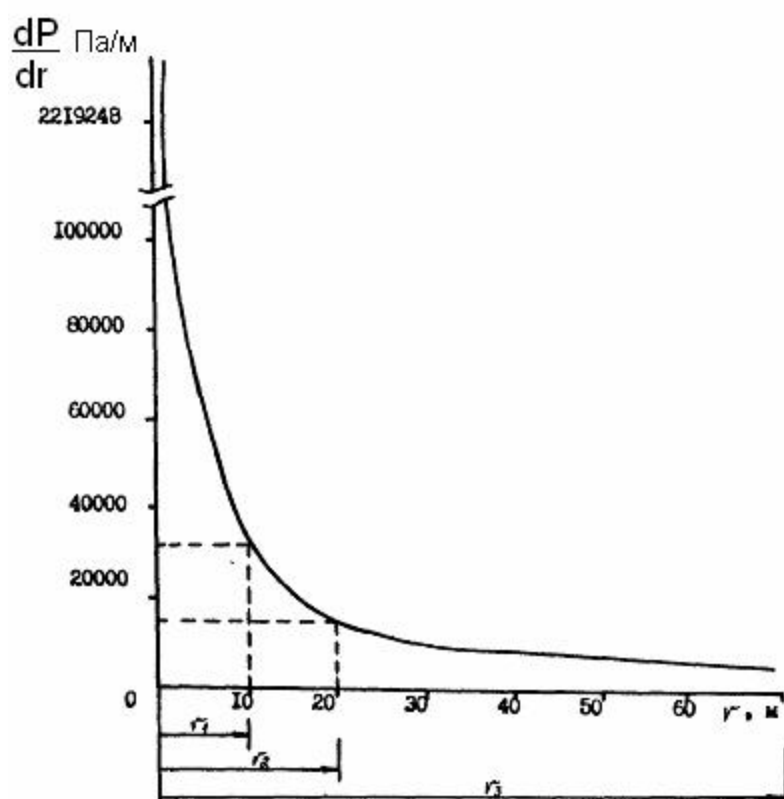
Время закачки изоляционных растворов 7.04 часа.

Изоляционные растворы закачивают в скважину, которую затем вводят в эксплуатацию.

$r, \text{ м}$	$dP/dr, \text{ Па/м}$	$r, \text{ м}$	$dP/dr, \text{ Па/м}$
0,146	2219248	15	21600
1	324010,2	20	16200
2	162005	25	12960
3	108003,4	40	8100,3
4	81002,5	45	7200
5	64802	50	6480
6	54001,7	55	5891
7	46287	60	5400
8	40501,3	65	4984,7
9	36001	70	4628,7
10	32401		



Фиг. 1



Фиг. 2