

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра морского
нефтегазового дела и физики

МЕТОДЫ ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

*Методические указания к выполнению
практической работы по дисциплине «Физические
процессы при освоении морских месторождений в
условиях Арктики» для обучающихся по
специальности 21.05.05 Физические процессы
горного или нефтегазового производства и по
направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело
Очной и заочной формы обучения*

Мурманск
2021

Составитель – Коротаяев Борис
Александрович, доцент кафедры морского
нефтегазового дела,

Методические указания рассмотрены и
одобрены кафедрой морского
нефтегазового дела 17 января 2019 г.,
протокол №5/18.

Рецензент – Васёха Михаил Викторович,
доктор технических наук, зав. Кафедрой
морского нефтегазового дела и физики.

*Электронное издание подготовлено в
авторской редакции*

Мурманский государственный технический университет

183010, Мурманск, ул. Спортивная д. 13 тел. (8152) 25-40-72

Уч.-изд. л. 1,125. Заказ

Мурманский государственный технический университет, 2019

© Б. А. Коротаяев, 2021

Оглавление

Введение	4
Методы освоения скважины	6
Практическая работа №1	6
1. Прямая замена жидкости в скважине	6
Практическая работа №2	8
Задача 1. стр.79 Прямая закачка. Постановка задачи	8
Исходное решение задачи.	9
Практическая работа №3	10
Порядок расчета:	10
Практическая работа № 4	12
Расчет вспомогательных параметров.....	12
Практическая работа №5	13
Анализ ситуации на скважине:.....	13
Практическая работа №6	14
Вторая методика-гипотеза.....	14
Практическая работа № 7.	16
Решение задачи.....	16
Расчет фронта продвижения воды в НКТ	17
Практическая работа № 8.	20
Расчет фронта движения БР в КЗП.....	20
Общие потери на насосе.....	23
Практическая работа №9.....	23
Анализ расчета по скважине.	23
2. Обратная закачка при смене жидкости в скважине.....	23
Практическая работа № 10.	25
3. Прямая закачка. Компрессорный метод	25
Практическая работа №11	27
4. Обратная закачка газа	27
Практическая работа №12	28
5. Освоение скважины с помощью пен	28
Практическая работа №13	30
5. 1.Освоение – прямая закачка пены	30
Практическая работа №14	30
5. 2.Освоение – обратная закачка пены	30

Список литературы.....	31
Задание на КП.....	31
Основные характеристики флюидов нефтяных месторождений.	31
Газогидратная кривая метана.	32

Введение

Под освоением скважины понимают комплекс работ, по вызову притока жидкости из пласта, в случае необходимости – интенсификация скважины и очистке ее призабойной зоны от загрязнения и, в конечном счете, получение промышленного притока пластовой жидкости. Первое освоение и пуск скважины в работу производится на разведочных морских и сухопутных скважинах на предзавершающей стадии строительства разведочной скважины. Первый вызов притока осуществляется на стадии проведения гидродинамических исследований (ГДИ) продуктивного пласта. Освоение скважины как таковое понимается при строительстве добычных скважин. При проведении ГДИ скважину готовят к этому. Рассмотрим сухопутную скважину. Что есть у нас в скважине: эксплуатационная колонна, которой перекрыт ствол скважины и интервал продуктивного пласта. При этом известно пластовое давление. У нас в скважине перед освоением находится буровой раствор создающий гидростатическое давление на забой скважины выше чем пластовое давление. Чтобы осуществить добычу пластовой жидкости необходимо напротив продуктивного пласта в эксплуатационной колонне сделать отверстия, т.е. установить гидродинамическую связь пластовой жидкости с забоем скважины. Эта связь обеспечивается проведением перфорации эксплуатационной колонны напротив продуктивного горизонта. Даже при наличии отверстий притока из пласта не будет так у нас по условию $P_{гс} > P_{пл.}$. Для того чтобы продукт попал в ствол скважины нам надо создать в скважине условия $P_{гс} < P_{пл.}$. Этому условия можно достичь заменой жидкости в скважине меньшей плотности. Перед проведением ГДИ устье скважины оборудуется фонтанной арматурой. Если скважина добычная, то в ней проводятся дополнительные операции. Итак, в скважине условия соблюдаются $P_{гс} > P_{пл.}$. Проводят перфорацию и в эксплуатационную колонну спускают насосно-компрессорные трубы, до глубины на 50-150 м выше кровли продуктивного пласта. Устье скважины также как и при ГДИ оборудуют фонтанной арматурой, на боковых отводах которой находятся фонтанные задвижки. На следующем рисунке рис.1. приведены схемы обустройства скважин перед освоением.

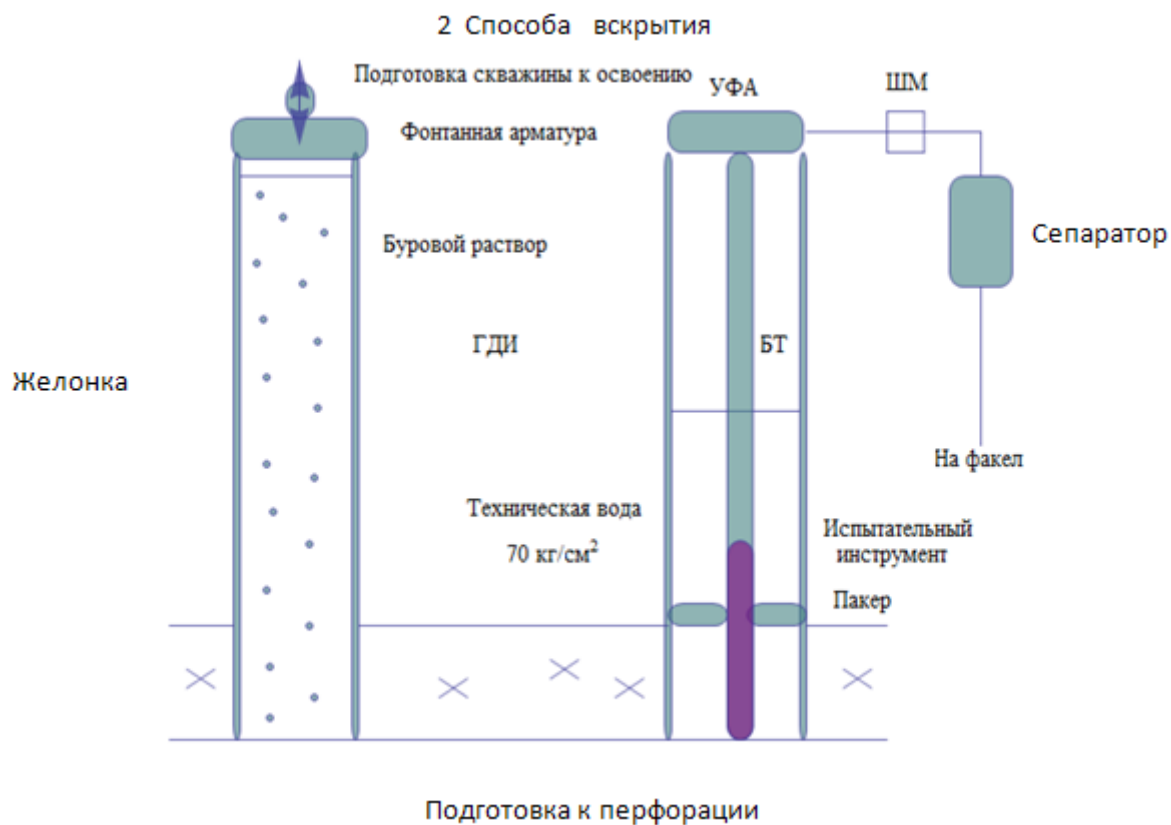


Рис.1. Схемы проведения подготовки скважины перед освоением.

Где ШМ – штуцерный манифольд, БТ – бурильные трубы, УФА – устьевая фонтанная арматура.

Если в скважине находится буровой раствор плотностью выше чем плотность технической воды, то в этом случае можно осуществить замену жидкости в скважине на техническую воду. Если плотность бурового раствора как вода или чуть ниже, то замену жидкости в скважине можно произвести на нефть. Так средняя плотность нефти 850 кг/м^3 , что значительно ниже плотности технической воды.

Методы освоения скважины

Для каждого метода освоения скважины прямая и обратная закачка агента производится по схемам, представленным на рис.2.

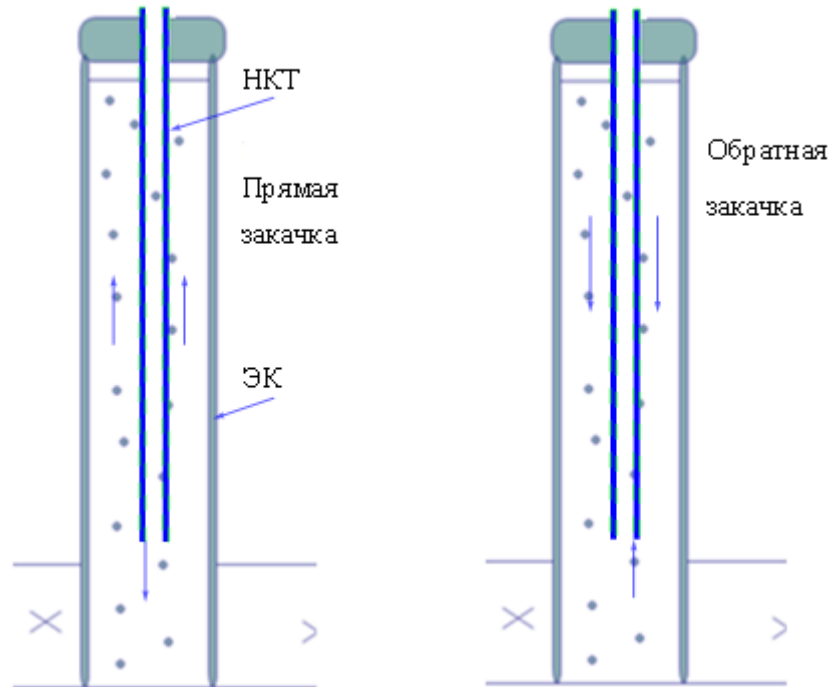


Рис.2. Схемы прямой и обратной закачки агента

Практическая работа №1

Целью работы является изучение алгоритма расчета гидравлических потерь в скважине при прямой замене жидкости.

1. Прямая замена жидкости в скважине

1. Ньютоновские жидкости.

Потери на трение в трубах ΔP вычисляется по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta P = \frac{0.81 \lambda H Q^2 \rho_{\text{ж}}}{d_{\text{вн}}^5}$$

где H – длина бурильной колонны (БК), м; Q – объемный расход жидкости, м³/с; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность ньютоновской жидкости, кг/м³; $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр БК, м; λ – коэффициент гидравлического сопротивления, который рассчитывается в зависимости от числа Рейнольдса, Re по следующим формулам:

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = 64/Re$$

$$\text{при } Re > 2300 \quad \lambda = 0.3164/\sqrt[4]{Re}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{v d_{\text{вн}} \rho_{\text{ж.}}}{\mu_{\text{ж}}}$$

где v – скорость движения жидкости в БК, м/с; $\mu_{\text{ж}}$ – вязкость жидкости, Па с;

При $Re > 100000$ коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывается по формуле Г.К. Филоненко:

$$\lambda = \frac{1}{(1.82 \lg Re - 1.64)^2}$$

Расчет производится в пределах $d_{\text{вн}} = \text{const}$. Если труба составная, то потери давления ΔP рассчитываются для каждой секции отдельно.

2. Вязкопластичные жидкости.

Эти жидкости характеризуются пластической вязкостью и предельным динамическим напряжением сдвига, которые можно определить по следующим зависимостям:

$$\eta = 0.033 \cdot 10^{-3} \rho_{\text{ж}} - 0.022$$

$$\tau_0 = 8.5 \cdot 10^{-3} \rho_{\text{ж}} - 7$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность вязкопластической жидкости, кг/м³; η – пластическая вязкость, Па с; τ_0 – предельное (динамическое) напряжение сдвига, Па. Критерий ламинарного (структурного) и турбулентного режимов течения жидкости определяется через критическую скорость течения жидкости в трубе, м/с.

$$w_{\text{кр}} = 25 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_{\text{ж}}}}$$

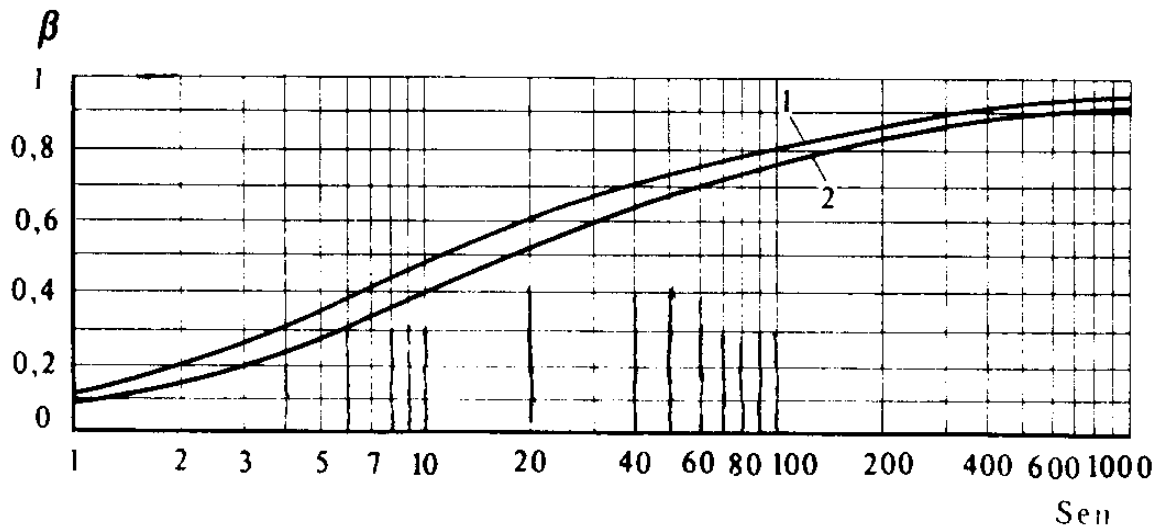


Рис.3. Зависимость коэффициента β от параметра Сен-Венана-Ильюшина, S_{en} : 1 – для круглого сечения (БК); 2 – для кольцевого сечения (КЗП).

При $w < w_{кр}$ режим движения ламинарный (структурный) и потери давления на трение рассчитываются по формуле:

$$\Delta P = \frac{4\tau_0 H}{\beta d_{BH}}$$

где β – коэффициент для труб, зависящий от параметра Сен-Венана – Ильюшина S_{en} , рис.1, или

$$S_{en} = \frac{\tau_0 d_{BH}}{w \eta}$$

При $w > w_{кр}$ режим движения турбулентный и потери давления на трение рассчитываются по формуле:

$$\Delta P = \frac{0.012 \rho_{ж} H w^2}{d_{BH}}$$

Практическая работа №2

Целью работы является разбор задачи при прямой замене жидкости в скважине и усвоения физических процессов происходящих в скважине.

Задача 1. стр.79 Прямая закачка. Постановка задачи

Рассчитать основные параметры процесса освоения скважины для следующих условий: $L_{скв} = 3200$ м. Глубина спуска НКТ 3200 м. Пластовое давление 35 МПа. Эксплуатационная колонна имеет диаметр 168 мм, с

внутренним диаметром 150.3 мм и полностью заполнена буровым раствором плотностью 1.15 г/см^3 . Наружный диаметр НКТ 89 мм, а внутренний диаметр 76 мм. Необходимо рассчитать давление закачки P_3 , объем жидкости закачки V_3 и время замены жидкости. Замена ведется технической водой плотностью 1 г/см^3 и $\eta=0.001 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Закачка ведется агрегатом 4 АН-700.

Решение . Выбираем например, третью скорость при диаметре плунжера насоса 100 мм ($Q=0.012 \text{ м}^3/\text{с}$, $P=37.4 \text{ МПа}$)

Исходное решение задачи.

В исходной постановке задачи по освоению скважины известно, в каком состоянии находится скважина. В скважине находится буровой раствор и $P_{\text{заб}} > P_{\text{пл}}$. Скважину перфорируют и спускают НКТ и обвязывают устьевой фонтанной арматурой. И скважина отдается под освоение, рис.1.

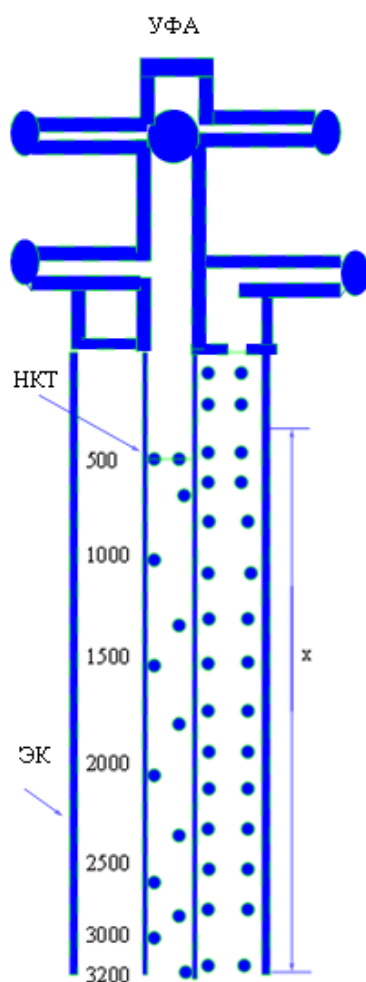


Рис.1. Исходное состояние скважины перед освоением.

Рассчитывают высоту от забоя x , на которую должна подняться жидкость закачки в кольцевом зазоре (КЗП) для случая, когда $P_{\text{заб}} = P_{\text{пл}}$.

Забойное давление в этом случае [1]:

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{пл}} = \rho_{\text{бр}} g (L - x) + \rho_{\text{зж}} g x + \Delta P_{\text{кзгл}} + \Delta P_{\text{кзз}}$$

где $\rho_{\text{гл}}$, $\rho_{\text{з}}$ – соответственно плотности жидкости глушения и закачки, кг/м³; $\Delta p_{\text{кзгл}}$ – потери давления на трение при движении жидкости глушения в кольцевом зазоре на расстоянии $(H - x)$, Па; $\Delta p_{\text{кзз}}$ – потери давления на трение при движении жидкости закачки в кольцевом зазоре на расстоянии x , Па.

Обозначим градиенты потерь давления на трение при движении жидкостей глушения (жидкостью глушения в данном случае понимается буровой раствор, находящийся в скважине на момент начала замещения) и закачки в КЗП соответственно через $A_{\text{кзгл}}$ и $A_{\text{кзз}}$ (Па/м):

Для ламинарного режима:

$$A_{\text{кзгл}} = 4\tau_0 / (\beta_{\text{кз}} (D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}}))$$

Для турбулентного режима:

$$A_{\text{кзгл}} = 0.012 \rho_{\text{гл}} w^2 / (D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}})$$

$$A_{\text{кзз}} = \lambda w^2 \rho_{\text{зж}} / (2(D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}}))$$

где $\rho_{\text{зж}}$ – плотность закачиваемой жидкости (в данном случае плотность технической воды)

Практическая работа №3

Целью работы является конкретное прослеживание фронта продвижения закачиваемой жидкости насосным агрегатом.

Порядок расчета:

$$w_{\text{нкт}} = \frac{4Q}{\pi d_{\text{вн}}^2} = 2.65 \text{ скорость воды в НКТ}$$

$$w_{\text{кзп}} = \frac{4Q}{\pi (D_{\text{ок}}^2 - d_{\text{нкт}}^2)} = 1.042 \text{ скорость воды в КЗП}$$

$$\text{Re}_{\text{нкт}} = \left(\frac{w_{\text{нкт}} d_{\text{вн}} \rho_{\text{ж}}}{\mu} \right) = 201038 \text{ число Re для воды в НКТ}$$

$$Re_{\text{кзп}} = \left(\frac{w_{\text{кзп}} (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}}) \rho_{\text{ж}}}{\mu} \right) = 63848 \text{ число Re для воды в КЗП}$$

$$\lambda_{\text{нкт}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_{\text{нкт}}}} = 0.0149 \text{ для воды в НКТ*})$$

$$\lambda_{\text{кзп}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_{\text{кзп}}}} = 0.0199 \text{ для воды КЗП}$$

Градиент потерь давления при движении воды в КЗП:

$$A_{\text{кзп}} = \frac{\lambda_{\text{кзп}} w_{\text{кзп}}^2 \rho_{\text{ж}}}{2(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})} = 176.13 \text{ Па/м}$$

Параметры вязко-пластической жидкости η и τ :

$$\eta = (0.03310^{-3} \rho_{\text{бр}} - 0.022) = 0.0159$$

$$\tau_0 = 8.510^{-3} \rho_{\text{бр}} - 7 = 2.775$$

Найдем критическую скорость движения БР в КЗП:

$$w_{\text{кр}} = 25 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_{\text{бр}}}} = 1.22$$

Режим течения БР в КЗП ламинарный, т.к

$$1.042 < 1.22$$

$$Re_{\text{кзп}} = \frac{w_{\text{кзп}} (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}}) \rho_{\text{бр}}}{\eta} = 4605.4 \text{ для БР в КЗП}$$

$$Ne = \tau_0 \rho_{\text{бр}} (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})^2 / \eta^2 = 47136.8 \text{ для БР}$$

Критическое число Re для БР в КЗП

$$Re_{\text{кр}} = 2100 + 7.3 Ne^{0.58} = 5848.6$$

Критическая скорость течения БР в КЗП:

$$w_{\text{кр}} = \frac{\eta Re_{\text{кр}}}{\rho_{\text{бр}} (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})} = 1.323$$

Так как $Re_{\text{кзп}} = 4605.4 < Re_{\text{кр}} = 5848.6$ и $w = 1.042 < w_{\text{кр}} = 1.3223$, то режим течения ламинарный и градиент потерь давления

на трение необходимо определять,
предварительно определив по номограмме β . Для этого вычисляем параметр

Сен – Венана – Ильюшина

Практическая работа № 4

Расчет вспомогательных параметров

$$\text{Sen}_{\text{кзп}} = \tau_0 (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}}) / (\eta w_{\text{кзп}}) = 10.24$$

$$\beta = 0.4$$

Градиент потерь движения на трение при движении БР в КЗП:

$$A_{\text{кзп}} = 4 \tau_0 / (\beta (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})) = 452.69 \text{ Па/м}$$

Градиент потерь движения на трение при движении воды в КЗП:

$$A_{\text{кзз}} = \frac{\lambda_{\text{кзп}} w_{\text{кзп}}^2 \rho_{\text{ж}}}{2(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})} = 176.28 \text{ Па/м}$$

Из условия баланса можно выразить x , это высота подъема воды в КЗП.

$$x = (L(9.81 \rho_{\text{бр}} + A_{\text{кзп}}) - 3510^6) / (9.81(\rho_{\text{бр}} - \rho_{\text{ж}}) + (A_{\text{кзп}} - A_{\text{кзз}}))$$

$$x = 1458.5$$

$$\lambda_{\text{нкт}} = \frac{1}{(1.82 \text{Log}[10, \text{Re}_{\text{нкт}}] - 1.64)^2} = 0.0156$$

Потери давления при движении воды в НКТ.

$$\Delta P_{\text{тз}} = \frac{0.81 \lambda_{\text{нкт}} L Q^2 \rho_{\text{ж}}}{d_{\text{вн}}^5} = 2.29 \text{ МПа}$$

Потери давления при движении БР в КЗП

$$\Delta P_{\text{кзгл}} = A_{\text{кзп}} L = 1.45 \text{ МПа}$$

Потери давления при движении воды в КЗП

$$\Delta P_{\text{кзз}} = A_{\text{кзз}} L = 564085 \text{ Па}$$

Потери давления при движении БР в НКТ

$$\Delta P_{\text{ТГЛ}} = \frac{0.012 \rho_{\text{бр}} L w_{\text{НКТ}}^2}{d_{\text{ВН}}} = 4.07 \text{ МПа}$$

Давление закачки на насосном агрегате

$$P_a = (\rho_{\text{бр}} - \rho_{\text{ж}}) 9.81 (3200 - x) + \Delta P_{\text{ТЗ}} + \Delta P_{\text{КЗГЛ}} + \Delta P_{\text{КЗЗ}} = 6.87 \text{ МПа}$$

Максимальное давление закачки на насосном агрегате:

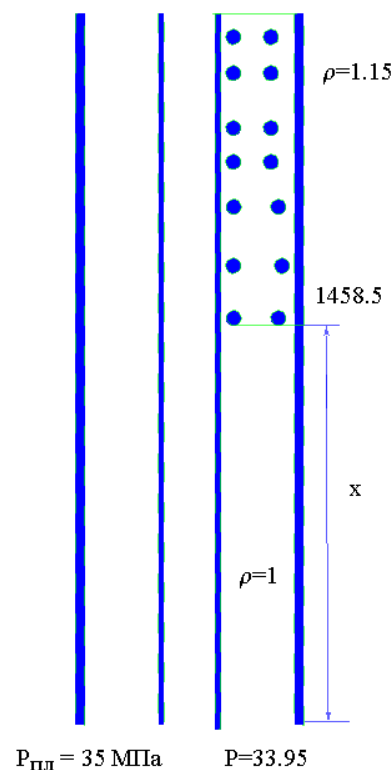
$$P_{\text{зmax}} = 9.81 L (\rho_{\text{бр}} - \rho_{\text{ж}}) + \Delta P_{\text{ТЗ}} + \Delta P_{\text{КЗГЛ}} + \Delta P_{\text{ТГЛ}} = 12.5 \text{ МПа}$$

Практическая работа №5

Целью работы является критический анализ шагов расчета по замене жидкости в скважине.

Анализ ситуации на скважине:

Произведем анализ на момент законченной замены жидкости в скважине. На момент остановки насосного агрегата у нас на забое давление 34 МПа, рис.2.



И на насосном агрегате на устье 2.6 МПа. Кроме этого условие равенства $P_{\text{заб}} = P_{\text{пл}}$ не соблюдается. И если мы закроем задвижку на линии КЗП и сравним давление на насосе при помощи задвижки, которая подключена

соединительной линией со штуцерным манифольдом, то скважина должна заработать.

Практическая работа №6

Целью работы является знакомство граничными условиями на устье скважины. При замене жидкости в скважине выход вытесняемой жидкости производится через открытое устье скважины.

Вторая методика-гипотеза

Составим рисунок процесса прямой замены жидкости в скважине. Рассчитаем высоту от забоя x с целью определения равновесного давления на забое скважины ($P_3 = P_{пл}$). При такой модели допускается что ротации жидкости не происходит (поршневое вытеснение) [1]. И расчет производим на момент окончания закачки. Другими словами это будет гидростатический момент. После замены жидкости можно открыть устье скважины. И кроме этого, после перфорации предполагается выброса не будет. Надо еще при помощи желонки осуществить пуск скважины в работу.

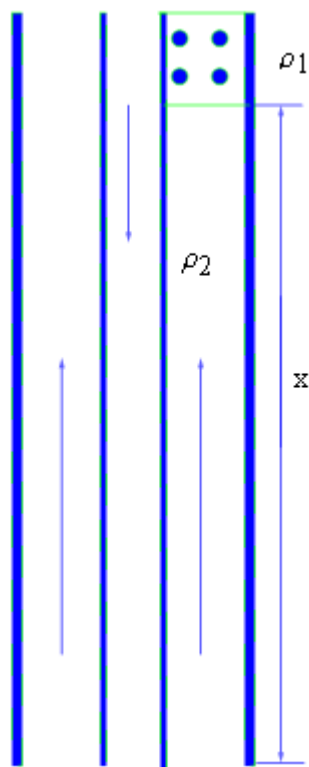


Рис.1. Прямая замена жидкости в скважине.

Для определения x составим оператор и вычислим x из условия равенства забойного давления пластовому.

$$\text{Solve}[35 \cdot 10^6 == 1150 \cdot 9.81 \cdot (3200 - x) + 1000 \cdot 9.81 \cdot x, x]$$

$x = 748.08$ м момент окончания замещения БР водой.

Таким образом граница установится примерно на 748.08 м от забоя в КЗП

Осуществим проверку:

$$P = 1150 \cdot 9.81(3200 - x) + 1000 \cdot 9.81 \cdot x = 35 \text{ МПа}$$

Рассчитаем η и τ для вязкопластичной жидкости:

$$\eta = 0.033 \cdot 10^{-3} \rho_{\text{бр}} - 0.022 = 1.6 \cdot 10^{-2} \text{ Па с}$$

$$\tau_0 = 8.5 \cdot 10^{-3} \rho_{\text{бр}} - 7 = 2.78 \text{ Па}$$

Рассчитываем скорость движения жидкости в КЗП: $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр ОК и $d_{\text{НКТ}}$ – внешний диаметр НКТ.

$$w_{\text{КЗП}} = \frac{4 Q}{\pi(D_{\text{вн}}^2 - d_{\text{НКТ}}^2)} = 1.042 \text{ м/с}$$

Рассчитываем скорость движения жидкости в НКТ: $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр НКТ.

$$w_{\text{НКТ}} = \frac{4 Q}{\pi d_{\text{НКТ}}^2} = 2.65 \text{ м/с}$$

Рассчитываем число Re для КЗП:

$$Re_{\text{КЗП}} = \frac{w(D_{\text{вн}} - d_{\text{НКТ}})\rho_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}}} = 63874$$

Так как число Re больше 2300 то режим течения жидкости в КЗП турбулентный.

Рассчитаем объем закаченной жидкости на момент окончания закачки, м^3 :

$$V_3 = \frac{\pi[d_{\text{вн}}^2 H + (D_{\text{вн}}^2 - d_{\text{НКТ}}^2)x]}{4} = 23.1$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр ОК и $d_{\text{НКТ}}$ – внешний диаметр НКТ и $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр НКТ.

Определим время закачки:

$$\tau = \frac{V_3}{Q} / 60 = 32.13 \text{ мин}$$

Т.к $Re > 2300$ то λ рассчитывается по следующей зависимости.

$$\lambda_{\text{кзп}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} = 0.0199$$

$$\lambda_{\text{нкт}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re}} = 0.0149$$

Для вычисления потерь давления в данной задаче придется столкнуться со следующей ситуацией. У нас в скважине идет замещение одной жидкости на другую, при этом и плотности разные и движется граница раздела жидкости по плотности. Тогда как в гидравлике при циркуляции бурового раствора по скважине у нас один и тот же раствор. Для решения такой задачи придется границу перемещения жидкостей разбить на интервалы и высчитать потери на данных интервалах. Опорными точками будут – забой скважины и момент окончания замены жидкости в скважине. Кроме этого при освоении скважины по первой технологии у нас все же в скважине, в реальных условиях соблюдаются правила ЕТП (P_3 больше пластового на 5%). Так как эта задача динамическая, то решение ее будем вести методом мгновенной съемки. Суть метода в том что разбиваем путь движения границы раздела жидкостей по фрагментам.

Практическая работа № 7.

Целью работы является контроль баланса давлений в скважине на момент окончания замены жидкости при освоении.

Решение задачи.

Итак, рассмотрим продвижение границы раздела вода-буровой раствор. Отсчет ведем от устья. Разобьем скважину до забоя на интервалы: 0-500-1000 – 1500- 2000 -2500- 3000 и 3200 , рис.2. И произведем расчет интервала 0-500 м. Расчеты будем вести по участкам с учетом перевальной точки. Перевальной точкой является забой скважины. И если мы перемещаем границу разделения вода-буровой раствор на n метров, то потери считаем слева и справа от перевальной точки и для воды и для БР.

Расчет фронта продвижения воды в НКТ

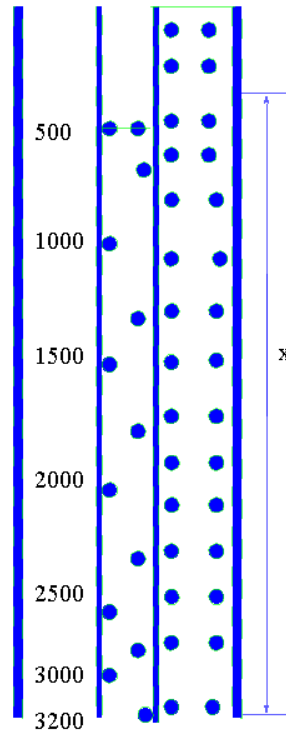


Рис.2. Продвижение границы 0-500 м

Из условия баланса давлений $P_{заб} = P_{пл}$ [1] найдем высоту x , рис.2.

$$\text{Solve}[3510^6 == 11509.81(3200 - x) + 10009.81x, x]$$

$$x = 748.08 \text{ м}$$

Произведем расчет потерь давления при движении воды и бурового раствора в интервале 0 – 500 м.

Потери давления в НКТ: $H = 500$ м.

$$\Delta P_B = \frac{0.81 \lambda_{\text{НКТ}} H Q^2 \rho_{\text{ж}}}{d_{\text{вн}}^5} = 358320 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{бр}} = \frac{0.81 \lambda_{\text{НКТ}} H Q^2 \rho_{\text{бр}}}{d_{\text{вн}}^5} = 412068 \text{ Па}$$

Предварительные потери давления на трение:

$$P_{500} = \Delta P_B + \Delta P_{\text{бр}} = 770389 \text{ Па}$$

Вспомогательные расчеты. Буровой раствор вытесняется и в КЗП. Но на какую высоту он при этом поднимается. При перемещении границы в НКТ на 500 м объем перемещаемого раствора(воды) составляет:

$$V_{500} = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2 H}{4} = 2.27 \text{ м}^3$$

Отсюда найдем границу перемещения в КЗП:

$$z = \text{Solve}[V_{500} == \frac{\pi(D_{\text{ок}}^2 - d_{\text{нкт}}^2)}{4} x, x]$$

$$\{x \rightarrow 196.8\}$$

Итак если граница перемещается на 500 м, то в КЗП она перемещается на 197 м. Суммарные потери на 500 м нам известны. Определим потери в КЗП:

$$\Delta P_{\text{кзп}} = \frac{0.012 \rho_{\text{бр}} \chi w_{\text{кзп}}^2}{(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})} \cdot z$$

$$\Delta P_{\text{кзп}} = 48083 \text{ Па}$$

Суммарные потери при движении воды и БР в НКТ на 500 м с учетом потерь давления в КЗП составляют:

$$P_{500} = (\Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{бр}} + \Delta P_{\text{кзп}}) = 818471 \text{ Па}$$

Но у нас таких неизменяемых интервалов 6, рис.2, но в интервале 3000-3200 мы должны учесть что до забоя остается 200 м.

Итак потери на трении при перемещении границы на 3000 м, рис.3.

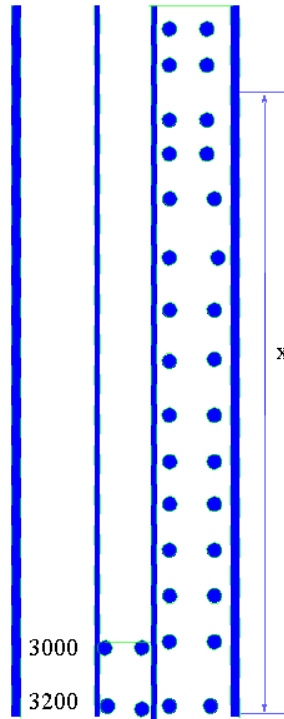


Рис.3. Перемещение границы на 3000 м.

Суммарные потери по достижении границы на 3000 м.

$$P_{3000} = (\Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{бр}} + \Delta P_{\text{кзп}})6 = 4.77 \text{ МПа}$$

Расчет интервала 3000-3200 м. (Когда тех вода дойдет до забоя)

$$H = 200;$$

Потери на движение воды в НКТ:

$$\Delta P_{200\text{в}} = \frac{0.81\lambda_{\text{нкт}}HQ^2\rho_{\text{ж}}}{d_{\text{вн}}^5} = 143328 \text{ Па}$$

Потери на движение БР в НКТ :

$$\Delta P_{200\text{бр}} = \frac{0.81\lambda_{\text{нкт}}HQ^2\rho_{\text{бр}}}{d_{\text{вн}}^5} = 164827 \text{ Па}$$

Перемещаемый объем жидкости на этом интервале:

$$V_{200} = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2 H}{4} = 0.907 \text{ м}^3$$

Практическая работа № 8.

Целью работы является поиск альтернативного расчета замены жидкости в скважине с учетом возможного сокращения времени на замену жидкости.

Расчет фронта движения БР в КЗП

Перемещение границы в КЗП:

$$zz = \text{Solve}[V_{200} == \frac{\pi(D_{\text{ок}}^2 - d_{\text{нкт}}^2)}{4} x, x]$$

$x \rightarrow 78.75$ м

Потери по буровому раствору в КЗП на 79 м:

$$\Delta P_{\text{кзпбр}} = \frac{0.012 \rho_{\text{бр}} x w_{\text{кзп}}^2}{(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})} / . x \rightarrow 78.8$$

$$\Delta P_{\text{кзпбр}} = 19245 \text{ Па}$$

Суммарные потери на 200 м в НКТ и 79 м в КЗП:

$$P_{200} = \Delta P_{200\text{в}} + \Delta P_{\text{кзпбр}} + \Delta P_{200\text{бр}}$$

Итак условная граница переместилась в КЗП на 79 м при достижении водой отметки забоя 3200 м.

$$P_{\text{нкт}3200} = P_{3000} + P_{200} = 5.1 \text{ МПа}$$

Граница воды теперь на забое скважины.

Теперь мы можем снова разбить КЗП на 6 интервалов по 500 м и рассчитать потери давления на движение воды и бурового раствора, рис.4. Но также мы знаем что вода в КЗП поднялась на 748.08 м. И поэтому можно обобщить расчет на 748.08м. Можно разумеется рассчитать один раз потери на 500 м и второй раз на 248.08 м, или сразу на 748.08 м.

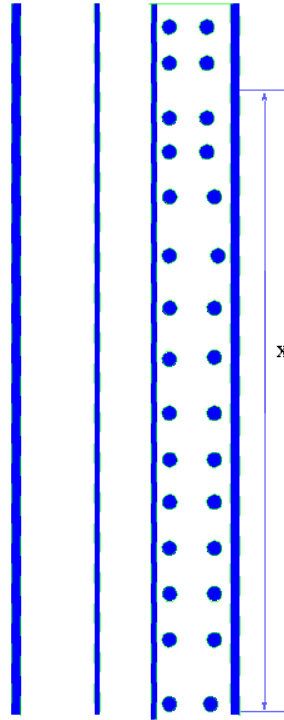


Рис.4. Граница воды дошла до забоя.

Расчет потерь давления в КЗП.

Вода поднимается в КЗП

Снова развиваем на участки по 500 м от забоя до устья в КЗП, рис.4.

Считаем число Re для воды в КЗП.

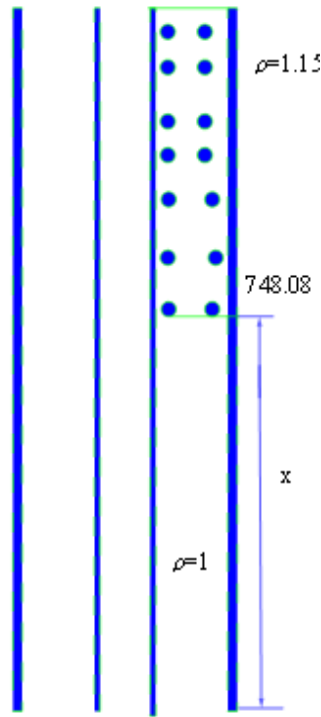


Рис.5 Подъем воды в КЗП

Рассчитаем Re при движении воды в КЗП:

$$Re_{\text{КЗПВ}} = \left(\frac{w_{\text{КЗП}} (D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}}) \rho_{\text{ж}}}{\mu} \right) = 63848$$

Производим расчет коэффициента гидравлического сопротивления для воды:

$$\lambda_{\text{КЗПВ}} = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{Re_{\text{КЗПВ}}}} = 0.0199$$

Из баланса давлений $P_{\text{заб}} = P_{\text{пл}}$ следует что $x = 748.08$ м. Присвоим это значение $H = 748.08$

Считаем потери давления на трение при движении воды в КЗП на 748.08 м:

$$\Delta P_{\text{КЗПВ}} = \frac{0.81 \lambda_{\text{КЗПВ}} H Q^2 \rho_{\text{ж}}}{(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})^5} = 2 \text{ МПа}$$

Считаем потери давления на трение при движении БР на 748.08 м:

$$\Delta P_{\text{КЗПБР}} = \frac{0.81 \lambda_{\text{КЗПВ}} H Q^2 \rho_{\text{бр}}}{(D_{\text{ок}} - d_{\text{нкт}})^5} = 2.3 \text{ МПа}$$

Учтем то что и в НКТ вода переместилась на 748.08 м

$$\Delta P_{748В} = \frac{0.81 \lambda_{\text{НКТ}} N Q^2 \rho_{\text{ж}}}{d_{\text{ВН}}^5} = 536104 \text{ Па}$$

Полные потери давления на этом участке:

$$\Delta P_{\text{КЗП}748} = (\Delta P_{\text{КЗПВ}} + \Delta P_{\text{КЗПБР}} + \Delta P_{748В}) = 4.85 \text{ МПа}$$

Полные потери давления по скважине при замещении составляют:

$$P = \Delta P_{\text{КЗП}748} + P_{\text{НКТ}3200} = 9.94 \text{ МПа}$$

Общие потери на насосе

Следовательно при работе насосного агрегата на третьей скорости ожидаемое давление на насосе составит 9.94 МПа.

Практическая работа №9

Целью работы является анализ проделанных расчетов и на основе этих воззрений необходимо осуществить замену жидкости в скважине методом обратной закачки.

Анализ расчета по скважине.

Если мы замену жидкости в скважине остановим на 748.08 м в КЗП, то баланс давлений по КЗП и НКТ выполняется. На насосном агрегате на устье давление будет 3.6 МПа. И если мы это давление сравним, то скважина также перейдет в фонтанирование. При данной высоте границы разделения БР и воды на 748.08 м обеспечивает меньшее время закачки и следовательно меньшее количество материальных затрат. Отсюда можно заключить, что существует оптимизационная задача по достижению минимального количества необходимого объема закачиваемой жидкости замены.

2. Обратная закачка при смене жидкости в скважине

1. Ньютоновские жидкости.

Потери давления на трение в кольцевом затрубном пространстве (КЗП), т.е за БК

$$\Delta P_{\text{кзп}} = \frac{\lambda H w^2 \rho_{\text{ж}}}{D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}}}$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр эксплуатационной колонны, $d_{\text{нар}}$ – наружный диаметр БК или насосно-компрессорных труб (НКТ).

В зависимости от того какая технологическая операция производится на буровой. Подготовка к проведению ГДИ или после капитального ремонта скважина.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w(D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}})}{\mu}$$

где μ – вязкость жидкости, Па с.

Коэффициент гидравлических сопротивлений рассчитывается в зависимости от числа Рейнольдса:

$$\text{при } Re \leq 2300 \quad \lambda = 64/Re$$

$$\text{при } Re > 2300 \quad \lambda = 0.3164/\sqrt[4]{Re}$$

$$\text{при } Re > 100000$$

$$\lambda = \frac{1}{(1.82 \lg Re - 1.64)^2}$$

2. Вязкопластичная жидкость

Критическая скорость:

$$w_{\text{кр}} = \frac{\eta Re_{\text{кр}}}{\rho_{\text{ж}}(D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}})}$$

где $Re_{\text{кр}}$ – критическое число Рейнольдса вязкопластичной жидкости характеризующее смену режимов течения:

$$Re_{\text{кр}} = 2100 + 7.3 He^{0.58}$$

He – параметр Хедстрема:

$$He = Re_{\text{кр}} Sen_{\text{кзп}}$$

Параметр Сен – Венана – Ильюшина для КЗП записывается в виде:

$$Sen_{кзп} = \frac{\tau_0(D_{вн} - d_{нар})}{\eta w}$$

а параметр Рейнольдса:

$$Re_{кзп} = \frac{w(D_{вн} - d_{нар})\rho_{ж}}{\eta}$$

Параметр Хедстрема:

$$He = \frac{\tau_0(D_{вн} - d_{нар})^2 \rho_{ж}}{\eta^2}$$

Режим движения жидкости в КЗП ламинарный, если $Re_{кзп} < Re_{кр}$ ($w < w_{кр}$) и потери на трение рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{кзп} = \frac{4 \tau_0 H}{\beta_{кзп}(D_{вн} - d_{нар})}$$

Режим движения жидкости в КЗП турбулентный, если $Re_{кзп} > Re_{кр}$ ($w > w_{кр}$) и потери на трение рассчитываются по формуле:

$$\Delta P_{кзп} = \frac{0.012 \rho_{ж} H w^2}{(D_{вн} - d_{нар})}$$

В данном расчете потери давления не учитываются в муфтовых соединениях, но если есть необходимость учета, то потери увеличиваются на 1-5 %.

Практическая работа № 10.

Целью работы является знакомство с алгоритмом замены жидкости в скважине при помощи компрессорного метода. При таких расчетах рекомендуется использовать при необходимости пакет PVTsim.

3. Прямая закачка. Компрессорный метод

По существу компрессорный метод освоения скважины не отличается от метода замены жидкости, только вместо жидкости закачки используется газ, а вместо насосного агрегата – компрессор. Основная расчетная величина – предельная глубина спуска башмака НКТ (или глубина установки пускового клапана) $H_{пр}$, зависящая в основном от давления, создаваемого компрессором P_k .

1. Прямая закачка, газ закачивается в колонну НКТ.

Предельная глубина оттеснения статического уровня жидкости в трубах

$$H_{\text{пр}} = \frac{(P_{\text{к}} - P_{\text{у}})10^6}{g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{гст}}B_{\text{г}}) + A_{\text{кзж}} + A_{\text{тг}}}$$

где $P_{\text{к}}$ – давление создаваемое компрессором, МПа; $P_{\text{у}}$ – давление на устье скважины; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости в скважине ($P_{\text{гс}} > P_{\text{пл}}$), кг/м³; $\rho_{\text{гст}}$ – плотность газа при стандартных условиях, кг/м³; $B_{\text{г}}$ – поправочный коэффициент для газа, вычисляемый по формуле:

$$B_{\text{г}} = \frac{P_{\text{к}} \cdot T_{\text{ст}}}{P_0 \cdot T \cdot z}$$

где T – средняя температура газа в скважине, К; z – коэффициент сверхсжимаемости газа; $A_{\text{кзж}}$ – градиент потерь давления на трение при движении жидкости в кольцевом зазоре, Па/м; $T_{\text{срм}}$ – критическая температура газа, град; $P_{\text{ср}}$ – критическое давлвление.

z – рассчитывается по формуле И.Т. Мищенко:

$$z_{\text{м}} = 1 - 10^{-2} \left(0.76 \left(\frac{T + 273.15}{T_{\text{срм}}} \right)^3 - 9.36 \frac{T + 273.15}{T_{\text{срм}}} + 13 \right) \left(8 - \frac{p}{P_{\text{ср}}} \right) \frac{p}{P_{\text{ср}}},$$

а градиент потерь давления на трение:

$$A_{\text{кзж}} = \frac{\lambda_{\text{ж}} w_{\text{кзж}}^2 \rho_{\text{ж}}}{2(D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}})}$$

$\lambda_{\text{ж}}$ – коэффициент гидравлических сопротивлений при движении жидкости в кольцевом зазоре, вычисляемый в зависимости от числа Re; $w_{\text{кзж}}$ – скорость движения жидкости в кольцевом зазоре, м/с; $A_{\text{тг}}$ – градиент потерь давления на трение при движении газа в трубах, Па/м.

$$A_{\text{тг}} = \frac{\lambda_{\text{г}} w_{\text{гт}}^2 \rho_{\text{г}}}{2d_{\text{вн}}}$$

$\lambda_{\text{г}}$ – коэффициент гидравлических сопротивлений при движении газа в трубах; $\rho_{\text{г}}$ – плотность газа в скважине (при $P_{\text{к}}$ и T), кг/м³; $w_{\text{гт}}$ – скорость движения газа в трубах, м/с.

$$w_{\text{гт}} = \frac{4 q_{\text{ст}}}{60\pi d_{\text{вн}}^2 B_{\text{г}}}$$

$q_{ст}$ – подача компрессора, приведенная к стандартным условиям, м³/мин.
Скорость движения жидкости в кольцевом пространстве:

$$w_{кзж} = w_{гт} \frac{d_{вн}^2}{D_{вн}^2 - d_{нар}^2} = \frac{4q_{ст}}{60\pi B_{г}(D_{вн}^2 - d_{нар}^2)}$$

Объем закачиваемого в скважину газа (при P_k и T)

$$V_{г} = \pi d_{вн}^2 H_{пр}/4$$

Газ будет сжат под давлением компрессора и не будет соответствовать объему НКТ

Время работы компрессора, время закачки:

$$T = V_{г} B_{г} / q_{ст}$$

Практическая работа №11

Целью работы является знакомство с алгоритмом обратной закачки газа.

4. Обратная закачка газа

Предельная глубина отеснения уровня жидкости в КЗП:

$$H_{пр} = \frac{(P_k - P_y) 10^6}{g(\rho_{ж} - \rho_{гст} B_{г}) + A_{тж} + A_{кзг}}$$

где $A_{тж}$, $A_{кзг}$ – соответственно градиенты потерь давления (в Па/м) на трение при движении жидкости в трубе и газа в кольцевом зазоре, рассчитываемые по формулам:

$$A_{тж} = \lambda_{ж} w_{тж}^2 \rho_{ж} / (2d_{вн})$$

$$A_{кзг} = \lambda_{г} w_{кзг}^2 \rho_{г} / (2(D_{вн} - D_{нар}))$$

$\lambda_{ж}$, $\lambda_{г}$ – соответственно коэффициент гидравлических сопротивлений при движении жидкости в трубах и газа в кольцевом пространстве. $w_{тж}$ и $w_{кзг}$ – соответственно скорость движения жидкости в трубах и газа в КЗП, м/с.
Скорость движения газа в кольцевом зазоре:

$$w_{кзг} = \frac{4q_{ст}}{60\pi B_{г}(D_{вн}^2 - d_{нар}^2)},$$

а скорость движения жидкости в трубах

$$w_{\text{ТЖ}} = w_{\text{КЗГ}} \frac{(D_{\text{ВН}}^2 - d_{\text{НАР}}^2)}{d_{\text{ВН}}^2} = \frac{4q_{\text{СТ}}}{60\pi B_{\Gamma} d_{\text{ВН}}^2}$$

$\lambda_{\text{ж}}$, $\lambda_{\text{г}}$ – соответственно коэффициент гидравлических сопротивлений при движении жидкости в трубах и газа в КЗП; $w_{\text{ТЖ}}$, $w_{\text{КЗГ}}$ – соответственно скорость движения жидкости в трубах и газа в КЗП, м/с.

Объем закачиваемого газа в скважину (при $P_{\text{к}}$ и T):

$$V_{\Gamma} = \frac{\pi (D_{\text{ВН}}^2 - d_{\text{НАР}}^2) H_{\text{пр}}}{4}$$

Время закачки

$$T = V_{\Gamma} B_{\Gamma} / q_{\text{СТ}}$$

Градиенты потерь давления на трение $A_{\text{ТГ}}$ и $A_{\text{КЗГ}} = 0.2$ Па/м.

Практическая работа №12

Целью работы является знакомство с алгоритмом освоения скважины с помощью пен.

5. Освоение скважины с помощью пен

При использовании пены в значительных пределах регулируется ее плотность. Это создает благоприятные условия для плавного снижения противодавления на пласт. Двухфазная пена представляет собой систему, состоящую из водного раствора ПАВ и воздуха (газа). В качестве ПАВ можно рекомендовать сульфонол 0.1%-ной концентрации (на 1 т воды +1 кг сульфонола). Для осуществления данного процесса освоения необходим насосный агрегат (например, 4 АН-700) и компрессор (например, УКП-80). Водный раствор ПАВ в аэраторе смешивается с подаваемым газом, образуемая пена закачивается в скважину. Основным вопросом при данном процессе остается расчет движения пены при прямой и обратной закачке. Введем некоторые параметры, которые характеризуют двухфазную пену. Степенью аэрации a назовем отношение объемного расхода газа, приведенного к стандартным условиям $V_{\text{ГСТ}}$ к объемному расходу жидкости $Q_{\text{ж}}$.

$$a = \frac{V_{\text{ГСТ}}}{Q_{\text{ж}}}$$

Истинное газосодержание пены φ можно рассчитывать по следующей зависимости:

$$\varphi = (1 \pm 0.05)\beta ,$$

где знак "+" необходимо брать при движении пены вниз, при движении вверх берется знак "-"; β – объемное расходное газосодержание, рассчитывается по следующей зависимости:

$$\beta = \frac{V_{\Gamma}}{Q_{\text{ж}} + V_{\Gamma}} ,$$

V_{Γ} , $Q_{\text{ж}}$ – соответственно объемный расход газовой и жидкой фаз при соответствующих термодинамических условиях, м³/с.

Объемное расходное газосодержание:

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{P T_{\text{ст}}}{\alpha P_0 T z}}$$

где P_0 – атмосферное давление. Тогда для φ можно получить:

$$\varphi = \frac{(1 \pm 0.05)}{1 + \frac{P T_{\text{ст}}}{\alpha P_0 T z}}$$

Плотность пены определяется:

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{ж}}(1 - \varphi) + \rho_{\Gamma}\varphi$$

или с учетом термобарических условий

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{ж}}(1 - \varphi) + \rho_{\Gamma\text{ст}}\varphi \frac{P T_{\text{ст}}}{P_0 T z}$$

Градиент потерь давления от веса гидростатического столба пены:

$$dP/dH_{\text{гс}} = \rho_{\text{п}} g$$

Градиент потерь давления на трение в трубах:

$$\frac{dP}{dH_{\text{тр}}} = \lambda \frac{\rho_{\text{п}} w^2}{2 d_{\text{вн}}}$$

В кольцевом зазоре:

$$\frac{dP}{dH_{\text{тркзп}}} = \lambda \frac{\rho_{\text{п}} w_{\text{кзп}}^2}{2 (D_{\text{вн}} - d_{\text{нар}})}$$

где λ – коэффициент гидравлических сопротивлений при движении пены. В расчетах при движении пены, как в трубах, так и в кольцевом пространстве этот коэффициент может быть равным $\lambda=0.03$; $w_{\text{т}}, w_{\text{кзп}}$ – соответственно скорости движения пены в трубах и кольцевом пространстве, м/с.

$$w_{\text{т}} = \frac{4 Q_{\text{п}}}{\pi d_{\text{вн}}^2}$$

$$w_{\text{кзп}} = \frac{4 Q_{\text{п}}}{\pi (D_{\text{вн}}^2 - d_{\text{вн}}^2)}$$

где $Q_{\text{п}}$ – расход пены (м³/с) вычисляемый по формуле:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{ж}} \left(1 + \frac{a P_0 T z}{P T_{\text{ст}}} \right)$$

Давление закачки рассчитывают по следующей формуле:

Практическая работа №13

Целью работы является определение градиентов потерь давления в скважине при выполнении операции при закачке пены.

5. 1.Освоение – прямая закачка пены

$$P_3 = P_{\text{укзп}} + 10^{-6} \left(\frac{dP}{dH_{\text{трт}}} + \frac{dP}{dH_{\text{тркзп}}} + \frac{dP}{dH_{\text{гскзп}}} - \frac{dP}{dH_{\text{гст}}} \right) H$$

Практическая работа №14

Целью работы является определение градиентов потерь давления в скважине при выполнении операции при обратной закачке пены.

5. 2.Освоение – обратная закачка пены

Давление закачки рассчитывают по следующей формуле:

$$P_3 = P_{ут} + 10^{-6} \left(\frac{dP}{dH_{ТрКЗП}} + \frac{dP}{dH_{Трт}} + \frac{dP}{dH_{ГСТ}} - \frac{dP}{dH_{ГСКЗП}} \right) H,$$

где $\frac{dP}{dH_{ГСТ}}$, $\frac{dP}{dH_{ГСКЗП}}$ – соответственно градиенты потерь давления от действия гидростатического столба пены в трубах и кольцевом затрубном пространстве, Па/м; $P_{укзп}$, $P_{ут}$ – соответственно давления на устье скважины и в КЗП и в трубах, МПа; H – глубина спуска НКТ, м.

Список литературы.

1. И.М. Мищенко. Расчеты в добыче нефти. М: Недра, 1989 г. 243 с.

Задание на КП

Вариант	Метод освоения	Диаметр ЭК, ММ	Диаметр НКТ, мм	Глубина скважины, м	$P_{пл}$, МПа
1	жидкость	168	40.3	1250	13
2	компрессор	178	50.3	1470	15
3	пена	168	62	1750	19
4	жидкость	178	76	1635	17
5	компрессор	168	40.3	1870	19
6	пена	178	50.3	1345	15
7	жидкость	168	62	2000	22
8	компрессор	178	76	1450	16
9	пена	168	40.3	1350	14
10	жидкость	168	76	1300	13
11	жидкость	168	62	1560	15
12	компрессор	168	50.3	1700	19

Комментарий к заданию.

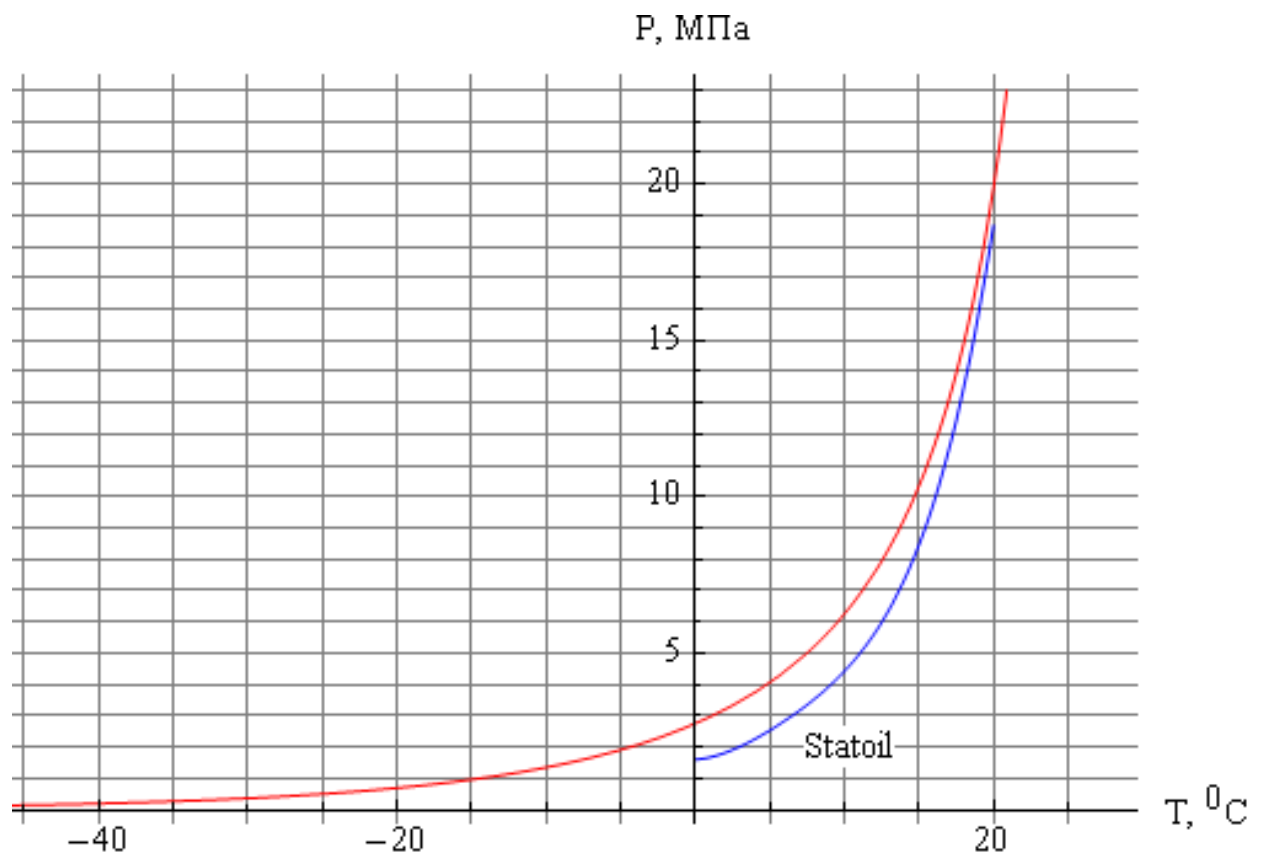
Задан внутренний диаметр НКТ. 1. Выполнить расчет и оценить время при прямой и обратной замены жидкости в скважине согласно варианту задания. 2. Выбрать плотность бурового раствора в скважине на момент освоения, если известно пластовое давление. При этом найти равновесную плотность + 5% на безопасность. 3. Оценить градиенты полных потерь давления при прямой и обратной замене жидкости в скважине. Полные потери давления это потери гидростатические + потери давления на трение.

Основные характеристики флюидов нефтяных месторождений.

Основные характеристики флюидов некоторых нефтяных месторождений СССР [1]

Месторождение, горизонт	$P_{нас'}$ МПа	$G_{0'}$ м ³ /м ³	b_H	$\rho_{нп'}$ кг/м ³	$\rho_{нд'}$ кг/м ³	$\mu_{нп'}$ мПа·с	$\alpha,$ м ³ /(м ³ · х МПа)
Осинское, Серпуховский горизонт	8,7	19,1	1,04	876	—	14,1	2,2
Кырыкмасское	7,3	16,6	1,04	874	893	13,1	2,3
Гожанское, Яснополянский горизонт	6,8	17	1,04	903	914	49	2,5
Барыкинское	7,3	16	1,03	902	910	29,7	2,2
	7,1	17	1,04	895	907	29	2,4
Степановское	6,5	19,9	1,04	892	896	29	3
Нурлатское, Угленосный горизонт	7,4	15,6	1,03	899	—	17,6	2,1
Лесное, Тульский горизонт	7,1	15	1,04	896	915	37,5	2,1
Южно-Шегурчинское, Турнейский ярус	7,4	16,7	1,05	881	902	17,5	2,3
Шегурчинское, Турнейский ярус	7,3	20,8	1,05	876	892	17,3	2,8
Ямашинское, Турнейский ярус	6,1	18	1,04	879	890	20,7	2,9
Верхне-Уральминское, Турнейский ярус	7,2	14,4	1,05	884	899	35	2
Азевское, Пашийский горизонт	7,8	14,5	1,05	869	893	15,4	1,8
Контузлинское	7,8	15,4	1,04	869	885	12,2	2
	6,6	18	1,05	872	894	15	2,7
Кузбаевское, Бобриковский горизонт	6,7	19,4	1,06	876	—	14,2	2,9
Арланское, Угленосная толща	7,5	13,9	1,04	884	895	24,3	1,9
	7,9	15,2	1,04	881	892	20,6	1,9
Жирновско-Бахметьевское, Нижнебашкирский горизонт	6,4	18	1,05	840	900	15	2,8

Газогидратная кривая метана.



Зная РТ условия донных отложений можно оценить возможное существование газогидрата метана в данной конкретной точке бурения.