

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

Кафедра морского
нефтегазового дела

МЕТОДЫ ОСВОЕНИЯ СКВАЖИН

*Краткий конспект лекций по самостоятельной
работе студентов 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

Составители – Кортаев Борис
Александрович, доцент кафедры морского
нефтегазового дела,
Кортаев Александр Борисович, старший
преподаватель 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, директор
Института арктических технологий МГТУ.

*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 176.

Мурманский государственный технический университет, 2019

© Б. А. Кортаев, 2021

Оглавление

знать:.....	3
Тема 1 . Климатические условия работы в Арктике	5
Тема 2. Схемы проведения подготовки скважины перед освоением.....	5
Тема 3. Методы освоения скважины.....	7
Тема 4. Прямая замена жидкости в скважине	8
Тема 5. Обратная закачка при смене жидкости в скважине	11
Тема 6. Прямая закачка. Компрессорный метод.....	13
Тема 7. Обратная закачка газа.....	15
Тема 8. Освоение скважины с помощью пен.....	17
Тема 9. Освоение – прямая закачка пены.....	20
Тема 10..Освоение – обратная закачка пены.....	20
Задание на КР	21

1. ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель курса состоит в том, чтобы подготовить студента в соответствии с квалификационной характеристикой специалиста по специальности *21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства*.

Задача дисциплины – дать студентам знания о методах освоения продуктивных скважин с учетом как физического состояния флюида в пласте, так и состояния жидкостей в скважине при изменении термобарических условий.

В результате освоения программы дисциплины *«Физические процессы при освоении морских месторождений в условиях Арктики»* специалист должен

знать:

- климатические условия работы в морских условиях Арктики;
- Термобарические условия при которых производится освоение скважины ;
- допустимые операции на буровой в зависимости от погодных условий;
- методики замены жидкости в скважине;
- о возможных осложнениях в процессе освоения продуктивного пласта;
- механизмы кольтматации пласта;
- о возможности образовании газогидратов при освоении газовых скважин .

уметь:

- определять режимы течения жидкостей ;
- рассчитывать потери давления в скважине при прямой и обратной закачке жидкости;
- рассчитывать потери давления в скважине при прямой и обратной закачке газа.
- рассчитывать градиенты потерь давления в скважине при прямой и обратной закачке пены

Как профессиональная учебная дисциплина, *«Физические процессы при освоении месторождений в условиях Арктики»* базируются на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин, как *«Физика горных пород»*, *«Механика грунтов и горных пород»*.

Для обеспечения лучшего усвоения положений дисциплины, а также в целях получения глубоких знаний в изучении курса студентам целесообразно, опираться на материалы ранее изученных дисциплин.

Для изучения дисциплины студентам необходимо иметь учебную литературу и методические указания.

Учебным планом по указанной дисциплине предусматриваются лекции, консультации, практические занятия. По данной дисциплине сдается курсовая работа.

Изучать материал дисциплины *«Физические процессы при освоении месторождений в условиях Арктики»* следует в соответствии с тематическим планом.

2. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ темы п/п	Наименование тем и содержание самостоятельной работы	Кол-во часов
1	2	3
1	Введение. Климатические условия Арктического шельфа	6
2	Схемы проведения подготовки скважины перед освоением	6
3	Методы освоения скважины	6
4	Прямая замена жидкости в скважине	6
5	Обратная закачка при смене жидкости в скважине	6
6	Прямая закачка. Компрессорный метод	7
7	Обратная закачка газа	7
8	Освоение – прямая закачка пены	7
9	Освоение – обратная закачка пены	7
Итого:		58

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов, В. И. Физические процессы нефтегазового производства : учеб. пособие для вузов : В 3 т. Т. 1 / В. И. Антипов, В. Б. Нагаев, А. Д. Седых. - Москва : Недра, 1998. - 372 с. : ил. - (Серия "Высшее образование"). - ISBN 5-247-03645-X : 20-00. 33 - А 72 2. Ю. Ф Макогон. Газовые гидраты, предупреждение их образования./ М.: Недра 1986.-231 с. (35 экземпляров)
2. Мищенко, И.М. Расчеты в добыче нефти. М: Недра, 1989 г. 243 с. 33 - Т 38 (11 экземпляров)

Дополнительная литература

3. Ширковский, А. И. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений : учебник для вузов / А. И. Ширковский. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Недра, 1987. - 308, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 306. - 15-00. 33 - Ш 64 (4 экземпляра)
4. Воробьев А.Е. Газовые гидраты. Технологии воздействия на нетрадиционные углеводороды [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Воробьев А.Е., Малюков В.П.— Электрон. текстовые данные.— М.: Российский университет дружбы народов, 2009.— 292 с.— URL: <http://www.iprbookshop.ru/11567.html>.— ЭБС «IPRbooks»

Тема 1 . Климатические условия работы в Арктике

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- о возможном наличии приповерхностного газа в разрезе донных отложений .
- о возможном образовании газогидратных пробок в стволе НКТ .
- о проблемах с проведением освоения скважин в зимних условиях

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть гидратные пробки в стволе НКТ.

Вопросы для самопроверки:

1. В каких пределах происходит изменение температурного режима Арктики?
2. В чем смысл опасности наличия приповерхностного газа в донных отложениях?
3. Как определить градиент давления, если потери давления составляют 12 МПа, а глубина скважины 1750 м?
4. Как пользоваться кривой газогидрата метана ?

Литература: [1], [2], [3], [4].

Тема 2. Схемы проведения подготовки скважины перед освоением

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- о двух способах проведения испытания перед освоением
- о обвязке устье скважины перед освоением .
- для чего служит желонка

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе в зимний период времени.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть осложнения в зимний период проведения операции по освоению скважины

Вопросы для самопроверки:

1. Как расшифровывается ГДИ?
2. Назначение штуцерного манифольда?
3. Чему равна средняя плотность нефти
4. Для чего служит кривая газогидрата метана ?

Литература: [1], [2], [3], [4].

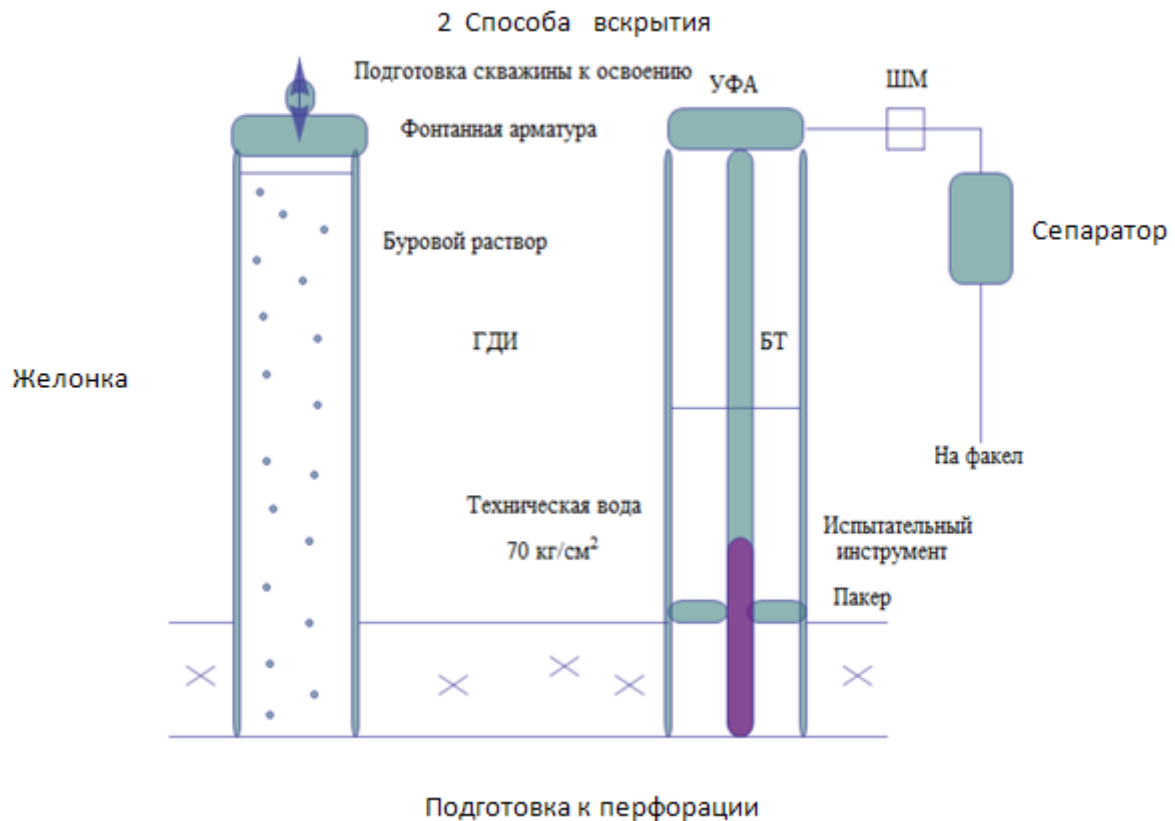


Рис.1. Схемы проведения подготовки скважины перед освоением.

Где ШМ – штуцерный манифольд, БТ – буровые 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.

Тема 3. Методы освоения скважины

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- методы освоения скважины
- оборудование устья и в ствола скважины .
- и представлять процессы, происходящие в скважине

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе в зимний период времени.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть осложнения в зимний период проведения операции по освоению скважины

Вопросы для самопроверки:

1. Как расшифровывается ЭК?
2. Назначение задвижек манифольда?
3. К каким агрегатам подключена может быть фонтанная елка?
4. Для чего служит кривая газогидрата метана?

Литература: [1], [2], [3], [4].

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

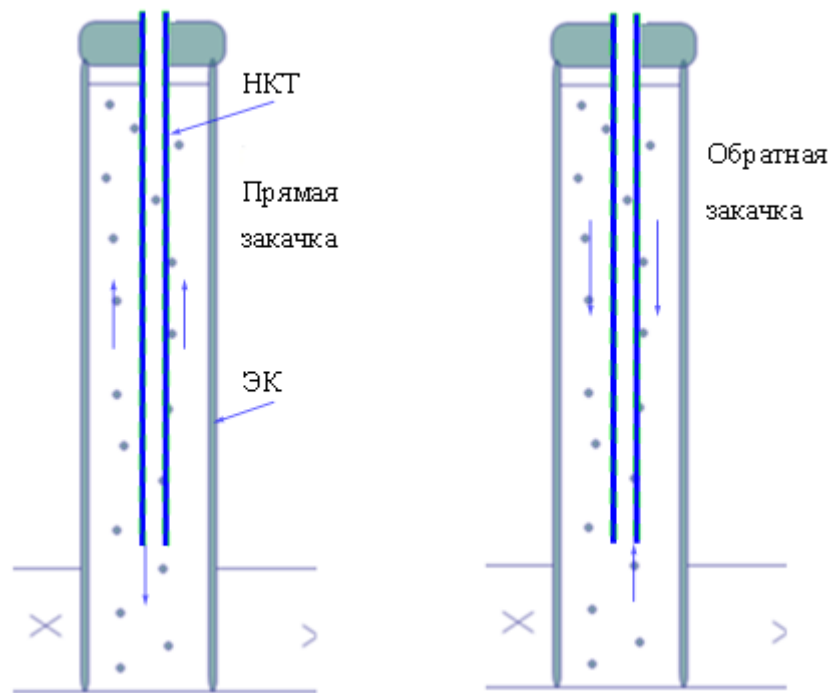


Рис.2. Схемы прямой и обратной закачки агента

Тема 4. Прямая замена жидкости в скважине

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- расчет режимов течения жидкости в НКТ и КЗП.
- реологические модели жидкостей .
- расчет потерь давления при замене жидкости в скважине.

уметь:

- дать прогнозную оценку времени на осуществление данной операции.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа

Вопросы для самопроверки:

1. В чем смысл определения режимов течений жидкостей?
2. В чем смысл расчета потерь давлений при замене жидкости в скважине?
3. В чем состоит суть замены жидкости в скважине?

4. Данный вид операции на буровой требователен к погодным условиям?

Литература: [1], [2], [3].

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.

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

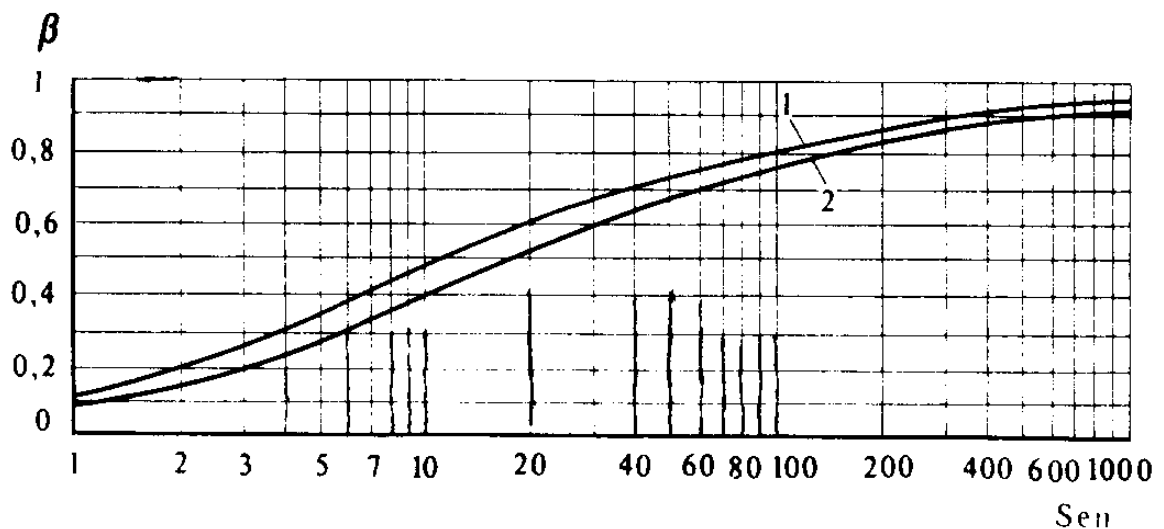


Рис.3. Зависимость коэффициента β от параметра Сен-Венана-Ильюшина, S_{en} : 1 – для круглого сечения (БК); 2 – для кольцевого сечения (КЗП).

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

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

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

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

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

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

Тема 5. Обратная закачка при смене жидкости в скважине

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- расчет критических режимов течения жидкости в НКТ и КЗП.
- расчет критического числа Рейнольдса .
- расчет потерь давления при обратной замене жидкости в скважине.

уметь:

- дать прогнозную оценку времени на осуществление данной операции и сопоставить ее с прямой закачкой

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа

Вопросы для самопроверки:

1. В чем смысл определения критических скоростей течений жидкостей?
2. В чем смысл расчета потерь давлений при замене жидкости в скважине?
3. В чем состоит суть баланса давлений в U – образной скважине?
4. Данный вид операции на буровой требователен к погодным условиям?

Литература: [1], [2], [3].

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:

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

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 %.

Тема 6. Прямая закачка. Компрессорный метод

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- расчет предельной глубины спуска башмака НКТ.
- расчет коэффициента сжимаемости газа .
- расчет потерь давления при закачке газа

уметь:

- дать прогнозную оценку времени на осуществление данной операции и сопоставить ее с прямой закачкой жидкости.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа поскольку при этой операции могут возникнуть гидратные пробки в стволе НКТ.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем смысл учета коэффициента сжимаемости газа?
2. В чем смысл расчета потерь давлений при освоении скважины газом?
3. В чем состоит суть баланса давлений в скважине?
4. Данный вид операции на буровой требователен к погодным условиям?

Литература: [1], [2], [3], [4].

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

$$H_{пр} = \frac{(P_k - P_y)10^6}{g(\rho_{ж} - \rho_{гст}V_{г}) + A_{кзж} + A_{тг}}$$

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

$$V_{г} = \frac{P_k \cdot T_{ст}}{P_0 \cdot T \cdot z}$$

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

z – рассчитывается по формуле И.Т. Мищенко:

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

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; $A_{\text{г}}$ – градиент потерь давления на трение при движении газа в трубах, Па/м.

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

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

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

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

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

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

$$V_{\text{г}} = \pi d_{\text{вн}}^2 H_{\text{пр}} / 4$$

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

Время работы компрессора, время закачки:

$$T = V_{\text{г}} B_{\text{г}} / q_{\text{ст}}$$

Тема 7. Обратная закачка газа

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- расчет предельной глубины спуска башмака НКТ.

- расчет коэффициента сжимаемости газа в PVTsim .
- расчет коэффициента сжимаемости газа в 2 средах

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе с газом.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть гидратные пробки в стволе НКТ.

Вопросы для самопроверки:

1. В чем смысл учета коэффициента гидравлических сопротивлений?
2. В чем смысл расчета градиентов потерь по скважине?
3. Как определить градиент давления, если потери давления составляют 12 МПа, а глубина скважины 1750 м?
4. Оценка количества газа находящегося в скважине?

Литература: [1], [2], [3], [4].

Предельная глубина отеснения уровня жидкости в КЗП при закачке газа:

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

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

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

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

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

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

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.

Тема 8. Освоение скважины с помощью пен

Изучив данную тему, студент должен

знать:

- из чего состоит двухфазная смесь пены.
- называется степенью аэрации .
- что направление движения пены учитывается в выражении газосодержания

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе аэратором.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть возможные осложнения.

Вопросы для самопроверки:

1. Как определить объемное газосодержание пены?
2. Как оценить плотность пены?

3. Как определить градиент давления, если потери давления составляют 9 МПа, а глубина скважины 1200 м?

4. Как определить градиент потерь давления на трение?

Литература: [1], [2], [3], [4].

При использовании пены в значительных пределах регулируется ее плотность. Это создает благоприятные условия для плавного снижения противодействия 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 $V_{гст}$ к объемному расходу жидкости $Q_{ж}$.

$$a = \frac{V_{гст}}{Q_{ж}}$$

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:

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

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

Объемное расходное газосодержание:

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

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

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

Плотность пены определяется:

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

или с учетом термобарических условий

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

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.

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

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

где $Q_{\text{п}}$ – расход пены ($\text{м}^3/\text{с}$) 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:

Тема 9. Освоение – прямая закачка пены

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

Тема 10. Освоение – обратная закачка пены

Давление закачки рассчитывают по следующей формуле:

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

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

Изучив данные темы 9, 10, студент должен

знать:

- из чего складываются градиенты потерь давления в скважине.
- как рассчитать градиенты давления гидростатического столба пены.
- что обозначает $P_{\text{укзп}}$,

уметь:

- дать прогнозную оценку возможного осложнения при работе аэратором.

Методические рекомендации:

В зависимости от района работ необходимо учитывать климатические условия Арктического шельфа, поскольку при этой операции могут возникнуть возможные осложнения.

Вопросы для самопроверки:

1. Как определить объемное газосодержание пены?
2. Как оценить плотность пены?

3. Как определить градиент давления, если потери давления составляют 9 МПа, а глубина скважины 1200 м?

4. Как определить градиент потерь давления на трение?

Литература: [1], [2], [3], [4].

Задание на КР

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.