

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. УСЛОВИЯ ФОНТАНИРОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ	6
1.1. Теоретические основы условий фонтанирования	6
1.1.1. Условие фонтанирования для случая $p_{заб} < p_{нас}$	8
1.1.2. Условие фонтанирования для случая $p_{заб} > p_{нас}$	8
1.2. Минимальное значение забойного давления, при котором возможно фонтанирование	9
1.2.1. Расчёт минимального давления фонтанирования при наличии в продукции скважины азота в попутном газе	10
2. УСЛОВИЯ ЗАДАЧ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	12
2.1. Задача « <b>Определение <math>p_{заб\ min}</math> фонтанирования нефтяной скважины для условия <math>p_{заб} &gt; p_{нас}</math></b> »	12
2.2. Задача « <b>Определение <math>p_{заб\ min}</math> фонтанирования для скважины, в составе попутного газа которой присутствует азот, и для условия <math>p_{заб} &gt; p_{нас}</math></b> »	13
2.3. Задача « <b>Определение <math>p_{заб\ min}</math> фонтанирования для нефтяной скважины, в составе попутного газа которой присутствует азот, и для условия <math>p_{заб} &lt; p_{нас}</math></b> »	14
3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ	15
4. ЗАДАНИЯ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	22
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ГЛОССАРИЙ	23

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Нефтегазовое дело» (НГД), при изучении дисциплин «Скважинная добыча нефти» и «Технология эксплуатации шельфовых месторождений» (РЭНГМ). Одним из изучаемых разделов дисциплины является фонтанный способ добычи нефти (жидкости), на котором изучаются следующие темы:

- работа фонтанных подъемников;
- затраты энергии на фонтанирование;
- условия фонтанирования;
- минимальное давление на забое, при котором возможно фонтанирование;
- эксплуатация фонтанной скважины.

Изучение темы позволит:

- понять теорию движения газожидкостной смеси в фонтанной скважине по НКТ от устья до забоя, виды фонтанирования и их различия;
- проанализировать влияние обводнённости продукции и давления на эффективно действующий газовый фактор и оптимальный удельный расход газа;
- осуществлять расчёты по определению значения минимального забойного давления, при котором возможно фонтанирование;
- анализировать полученные расчётные показатели и давать рекомендации по применению фонтанного способа добычи нефти;
- осуществлять действия по обслуживанию фонтанных скважин (знать состав оборудования и его назначение, контролирующие приборы и пр.).

Полученные знания помогут бакалаврам направления подготовки НГД в своей *производственно-технологической деятельности* решать профессиональные задачи, связанные с эксплуатацией фонтанных нефтяных скважин (выбор режима эксплуатации скважины, выбор скважинного и поверхностного оборудования, аргументированно объяснять свои предложения и рекомендации и пр.).

Целью практического занятия «Условия фонтанирования нефтяных скважин» является:

- понимание методики расчёта минимального значения забойного давления, при котором ещё возможна фонтанная добыча нефти или жидкости, с учётом условий эксплуатации скважин.

Для выполнения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить теоретический материал методических указаний и учебников;
- рассмотреть и изучить методику расчёта минимального значения забойного давления, при котором ещё возможна фонтанная добычи нефти (жидкости), с учётом условий эксплуатации скважин ( $p_{\text{заб}} < p_{\text{нас}}$ ,  $p_{\text{заб}} > p_{\text{нас}}$ );
- выполнить расчёт забойного давления фонтанирования для различных условий;
- сделать выводы по результатам расчёта;
- пройти контрольный рубеж.

Методические указания состоят из 2 разделов. В первом разделе описываются методики расчёта минимального значения забойного давления фонтанирования при различных условиях. Условия задач и исходные данные представлены во втором разделе.

Правильные ответы на контрольные задания и вопросы, правильное выполнение тестовых заданий позволит студенту успешно пройти промежуточный контроль по дисциплине СДН и приобрести знания по правильному определению минимального значения забойного давления, при котором ещё возможна фонтанная добычи нефти (жидкости), которые помогут ему в выполнении профессиональных действий в своей будущей профессиональной деятельности.

# 1 УСЛОВИЯ ФОНТАНИРОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

## 1.1 Теоретические основы условий фонтанирования

Под фонтанным способом эксплуатации нефтяных скважин понимается способ подъема нефти (жидкости) от забоя до устья, при котором располагаемая энергия на забое больше или равна энергии, расходуемой на преодоление различных сопротивлений по всей длине подъёмника в процессе движения нефти (жидкости) [4]. Основными источниками естественного фонтанирования являются потенциальная энергия жидкости и газа, выделяющегося из нефти при давлении, меньшем давления насыщения. В зависимости от соотношения природной энергии, энергии жидкости и газа, а также от соотношения  $P_{\text{заб}}$  и  $P_{\text{нас}}$  можно использовать различные принципиальные схемы оборудования добывающих скважин, которые описываются в [4, стр. 484], предполагающие различную глубину спуска НКТ.

Фонтанный способ эксплуатации позволяет поднимать на поверхность нефть (жидкость) при наименьших удельных затратах, к преимуществам которого можно отнести:

- относительно хорошо известное и несложное оборудование скважины (устьевое и скважинное), большой опыт его обслуживания;
- отсутствует подача электричества в скважину, что уменьшает материальные затраты на осуществление добычи нефти (жидкости);
- широкий диапазон регулирования режима эксплуатации скважин с помощью дросселя;
- длительный межремонтный период в эксплуатации скважин и пр.

В случае искусственного воздействия на пласт (система ППД) значительное количество потенциальной энергии вводится с поверхности, которая распределяется между скважинами, и на каждую скважину приходится определенное количество искусственно введенной энергии, которая способствует продлению процесса фонтанирования.

Глубина спуска подъёмника (НКТ) в фонтанных скважинах может быть различной и зависит только от свойств продукции и режима ее движения.

Для расчёта фонтанного подъёмника необходимо рассчитать минимальный средний градиент давления вдоль подъёмника (НКТ) (перепад давления по НКТ) или минимальное давление на забое, при котором ещё возможно фонтанирование, соответствующее максимальному дебиту скважины. Ниже

приводятся условия фонтанирования, в зависимости от которых производят расчёт минимального забойного давления фонтанирования.

Одной из важных задач в процессе эксплуатации скважины является обеспечение возможности более длительного периода фонтанирования скважины. Длительность фонтанирования связано с рациональным использованием энергии пласта путем обеспечения высокого коэффициента полезного действия работы фонтанного подъемника.

Известно, что процесс фонтанирования за счёт растворённого газа, выделяющегося из нефти (жидкости), возможно только при определённом соотношении между эффективным газовым фактором смеси, поступающей из пласта, ( $G_{эф}$ ) и удельным расходом газа, необходимым для работы газожидкостного подъемника ( $R_{ог}$  или  $R_o$ ).

Под *эффективным газовым фактором* понимается средний объем свободного газа на участке НКТ, где движется ГЖС, приходящейся на единицу массы жидкости.

$$G_{эф} = \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) \frac{V_{зв}(p_{баш}) + V_{зв}(p_y)}{2}, \quad (1.1)$$

где  $V_{зв}(p_{баш})$  – объем свободного газа, приходящийся на единицу массы жидкости при давлении у башмака НКТ, м<sup>3</sup>/т;

$V_{зв}(p_y)$  – объем свободного газа, приходящийся на единицу массы жидкости при давлении на устье скважины, м<sup>3</sup>/т;

$n_g$  – массовая обводненность продукции скважины.

Коэффициент полезного действия подъемника имеет своё максимальное значение на *оптимальном режиме*, характеризующийся *минимальным* значением  $R_{o\text{ опт}}$ . В фонтанной эксплуатации есть понятие *естественное оптимальное фонтанирование*, под которым понимается процесс подъема продукции скважины под действием природной энергии при работе подъемника на данном режиме.

Удельный расход газа в точке *оптимального режима* его работы ( $R_{o\text{ опт}}$ ) рекомендуется рассчитывать по следующей формуле [6]:

$$R_{o\text{ опт}} = \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жг} g - p_{заб} + p_y)}{d^{0,5} \cdot (p_{заб} - p_y) \cdot l g \frac{p_{заб}}{p_y}}, \quad (1.2)$$

где  $\rho_{жг}$  – плотность жидкости (нефть и вода), кг/м<sup>3</sup>;

$d$  – внутренний диаметр НКТ или подъемника, мм;

$L$  – длина НКТ или подъемника, м;

$p_{заб}, p_y$  – давление соответственно на забое и на устье скважины, МПа.

Для фонтанирования нефтяной скважины необходимо выполнение следующего неравенства, которое позволяет определить наиболее благоприятные и необходимые условия фонтанирования скважин [6]:

$$G_{\text{эф}} \geq R_{\text{о опт}}. \quad (1.3)$$

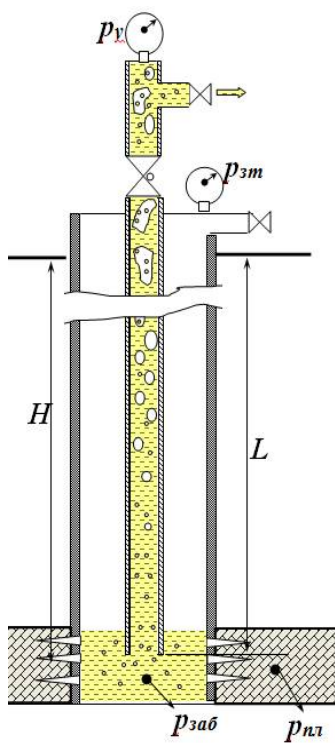
Далее рассмотрим возможные условия фонтанирования нефтяных скважин.

### 1.1.1 Условие фонтанирования для случая $p_{\text{заб}} < p_{\text{нас}}$

Если давление на забое меньше давления насыщения, глубина скважины ( $H$ ) и длина колонны НКТ ( $L$ ) равны ( $H = L$ ) (рис. 1.1), при этом эффективный газовый фактор рассчитывается по формуле:

$$G_{\text{эф}} = \left( G_0 - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{\text{нд}}} \left( \frac{p_{\text{заб}} + p_y}{2} \right) \right) \left( 1 - \frac{n_{\text{в}}}{100} \right), \quad (1.4)$$

где  $G_0$  – газовый фактор, м<sup>3</sup>/т;



$\rho_{\text{нд}}$  – плотность нефти дегазированной, кг/м<sup>3</sup>;

$p_y$  – устьевое давление, Па;

$p_{\text{заб}}$  – давление на забое (у башмака), Па;

$\alpha$  – коэффициент растворимости газа в нефти, Па<sup>-1</sup>.

Для расчёта среднего коэффициента растворимости можно воспользоваться следующей формулой:

$$\alpha = \frac{G_0 \cdot \rho_{\text{нд}}}{(p_{\text{нас}} - 0,1) \cdot 10^6}, \quad (1.5)$$

где  $p_{\text{нас}}$  – давление насыщения, МПа;

$G_0$  – газовый фактор, м<sup>3</sup>/кг;

$\alpha$  – коэффициент растворимости газа в нефти, Па<sup>-1</sup>.

Рисунок 1.1 – Схема оборудования скважины при фонтанировании (условия:  $p_{\text{заб}} \leq p_{\text{нас}}$ ,  $p_{\text{б}} \leq p_{\text{нас}}$ ,  $p_y < p_{\text{нас}}$ )

С учётом формул (1.2) и (1.4) условие фонтанирования (1.3) принимает следующий вид:

$$\left( G_0 - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{\text{нд}}} \left( \frac{p_{\text{заб}} + p_y}{2} \right) \right) \left( 1 - \frac{n_{\text{в}}}{100} \right) \geq \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{\text{жг}} - p_{\text{заб}} + p_y)}{d^{0,5} \cdot (p_{\text{заб}} - p_y) \cdot \lg \frac{p_{\text{заб}}}{p_y}}. \quad (1.6)$$

При известной обводнённости продукции и известной плотности дегазированной нефти, уравнение (1.6) рассчитывается численными методами относительно  $p_{заб}$ , принимая его за  $p_{заб min}$ .

### 1.1.2 Условие фонтанирования для случая $p_{заб} > p_{нас}$

При условии  $p_{заб} > p_{нас}$  в целях максимального использования энергии газа, выделяющегося из нефти (жидкости), подъёмник (НКТ) спускают на глубину, соответствующую давлению насыщения.

Из условия, что  $p_{заб} > p_{нас}$  эффективный газовый фактор можно определить по следующей формуле:

$$G_{эф} = \left( \frac{G_0}{2} - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \left( \frac{p_y}{2} \right) \right) \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right), \quad (1.7)$$

где  $G_0$  – газовый фактор, м<sup>3</sup>/т;

$\rho_{нд}$  – плотность нефти дегазированной, кг/м<sup>3</sup>;

$p_y$  – устьевое давление, Па;

$p_{заб}$  – давление на забое (у башмака), Па;

$\alpha$  – коэффициент растворимости газа в нефти, Па<sup>-1</sup>.

Условие фонтанирования (1.3) с учётом формул (1.2) и (1.7) будет иметь следующий вид:

$$\left( \frac{G_0}{2} - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \left( \frac{p_y}{2} \right) \right) \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right) \geq \frac{0,388H(H\rho_{жг}g - p_{нас} + p_y)}{d^{0,5}(p_{нас} - p_y)lg \frac{p_{нас}}{p_y}}, \quad (1.8)$$

где  $H$  – длина подъёмника (расстояние от устья до сечения подъёмника, у которого давление равно давлению насыщения), м.

### 1.2 Минимальное значение забойного давления, при котором возможно фонтанирование

Для условия  $p_{заб} > p_{нас}$  уравнение (1.8) решается при граничном условии относительно  $H$  и получают значение максимальной глубины спуска НКТ  $L_{max}$  при фонтанном способе эксплуатации нефтяных скважин [6]:

$$L_{max} = 0,5 \left[ h + \sqrt{h^2 + 10,31 \cdot G_{эф} \cdot d \cdot lg \frac{p_{нас}}{p_y}} \right], \quad (1.9)$$

где  $h$  – длина подъёмника от устья до сечения трубы, у которого давление равно давлению насыщения, м.

$$h = \frac{P_{\text{нас}} - P_y}{\rho_{\text{н}} \times g} \quad (1.10)$$

или

$$h = \frac{P_{\text{нас}} - P_y}{\rho_{\text{ж}} \times g}, \quad (1.11)$$

где  $\rho_{\text{н}}$  ( $\rho_{\text{ж}}$ ) – средняя плотность нефти (жидкости) по длине газожидкостного подъёмника, кг/м<sup>3</sup>;

$P_y$  и  $P_{\text{заб}}$  – устьевое и забойное давления соответственно, Па.

В формуле 1.10 подставляется плотность нефти, в продукции которой *отсутствует* вода:

$$\rho_{\text{н}} = \frac{\rho_{\text{нд}} + \rho_{\text{н пл}}}{2}, \quad (1.12)$$

где  $\rho_{\text{н пл}}$  – плотность нефти в пластовых условиях, кг/м<sup>3</sup>.

А по формуле 1.11 рассчитывается плотность жидкости, в продукции которой скважины *присутствует* вода. В данном случае сначала определяется плотность нефти по формуле 1.12, а затем плотность жидкости:

$$\rho_{\text{ж}} = \rho_{\text{н}} \left( 1 - \frac{n_{\text{в}}}{100} \right) + \frac{\rho_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}}}{100}. \quad (1.13)$$

Минимальное давление фонтанирования определяется по формуле:

$$P_{\text{заб}} = (H - L) \cdot \rho_{\text{н пл}} \cdot g + P_{\text{нас}} \quad (1.14)$$

или

$$P_{\text{заб}} = (H - L) \cdot \rho_{\text{ж пл}} \cdot g + P_{\text{нас}}, \quad (1.15)$$

где  $\rho_{\text{н}}$  ( $\rho_{\text{ж}}$ ) – плотность нефти (жидкости) в пластовых условиях, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность продукции скважины на участке подъёмника от башмака НКТ до сечения НКТ, у которого давление равно давлению насыщения, можно определить следующим образом:

- при условии *отсутствия* воды –  $\rho_{\text{н}} = \rho_{\text{н пл}}$ ;
- при условии *присутствия* воды в продукции скважины плотность жидкости определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ж пл}} = \rho_{\text{н пл}} \left( 1 - \frac{n_{\text{в}}}{100} \right) + \frac{\rho_{\text{в}} n_{\text{в}}}{100}. \quad (1.16)$$

### 1.2.1 Расчёт минимального давления фонтанирования при наличии азота в попутном газе

Наличие азота в попутном газе учитывается в определении эффективного газового фактора:



$$G_{эф} = \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) \cdot \frac{V_{zg}(p_{баш}) + V_{zg}(p_y)}{2}, \quad (1.17)$$

где  $V_{zg}(p_{баш})$  – объём выделившегося газа при давлении  $p_{баш}$ ,  $V_{zg}(p_{баш}) = 0$ ;  
 $V_{zg}(p_y)$  – объём выделившегося газа при давлении  $p_y$ , м<sup>3</sup>/т:

$$V_{ГВ}(p) = G_o - G_o \cdot \left(\frac{p-0,1}{p_{нас\ 20}-0,1}\right)^{f(y_a)}, \quad (1.18)$$

где  $p_{нас\ 20}$  – давление насыщения при температуре 20 °С, МПа:

$$p_{нас\ 20} = p_{нас\ t_{пл}} + \frac{293 - T_{пл}}{9,157 + f_{ш}}, \quad (1.19)$$

$f(y_a)$  – степень, определяемая по следующей формуле:

$$f(y_a) = 0,32 + \frac{1}{1,567 + (100 \cdot y_a)^2}, \quad (1.20)$$

$f_{ш}$  – функция состава газа:

$$f_{ш} = \frac{701,8}{G_o \cdot (y_1 + 0,8 \cdot y_a)}, \quad (1.21)$$

где  $G_o$  – газовый фактор, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$y_1$  – молярная доля метана в попутном газе;

$y_a$  – молярная доля азота в попутном газе;

$T_{пл}$  – пластовая температура, К;

$p_{нас\ t_{пл}}$  – давление насыщения при пластовой температуре, МПа.

Полученное значение  $G_{эф}$  подставляется в формулу (1.9) для получения максимальной длины НКТ или подъёмника  $L_{max}$ , а затем рассчитывается по формулам (1.14) или (1.15) значение минимальное значение забойного давления, при котором возможно фонтанирование.

В фонтанную скважину спускается соответствующее оборудование (НКТ, пакер и пр.), а на устье устанавливается устьевое оборудование в виде фонтанной арматуры. Оборудование фонтанной скважины должно обеспечивать отбор продукции в заданном режиме и возможность проведения необходимых технологических операций с учетом охраны недр, окружающей среды и предотвращения аварийных ситуаций. В методических указаниях [3, 5] подробно рассматривается назначение и состав устьевого оборудования, а учебное пособие [3] поможет подготовиться к контрольному рубежу.

## 2 УСЛОВИЯ ЗАДАЧ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1 Задача «Определение  $p_{зab.min}$  фонтанирования нефтяной скважины для условия  $p_{зab} > p_{нас}$ »

**Условие задачи.** Установить наименьшее значение забойного давления, при котором скважина еще будет фонтанировать, если известны следующие параметры скважины и характеристики пластового флюида:

- глубина скважины  $H$  (м),
- газовый фактор  $G_o$  (м<sup>3</sup>/т),
- давление насыщения  $p_{нас}$  (МПа),
- плотность нефти дегазированной  $\rho_{нд}$  (кг/м<sup>3</sup>),
- плотность нефти в пластовых условиях  $\rho_n$  (кг/м<sup>3</sup>),
- обводнённость нефти  $n_v$  (%),
- плотность воды  $\rho_v$  (кг/м<sup>3</sup>),
- диаметр подъёмника  $d$  (м),
- давление на устье  $p_y$  (МПа).

Примечание: в составе попутного газа азот отсутствует.

Исходные данные по вариантам для определения минимального забойного давления фонтанирования приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные для выполнения расчётов

	Исходные параметры	1	2	3	4	5
1.	Глубина скважины	1750	1750	1750	2100	2100
2.	Газовый фактор	56,4	56,4	56,4	33	33
3.	Давление насыщения	8,65	8,65	8,65	10,05	10,5
4.	Давление на устье	0,4	0,4	0,2	0,3	0,6
5.	Плотность нефти дегазированной	860	860	860	868,3	868,3
6.	Плотность нефти пласт.	760	760	760	774,3	774,3
7.	Диаметр скважины	0,062	0,062	0,062	0,0635	0,0635
8.	Обводнённость	10	0	0	0	0
9.	Плотность воды	1180	0	0	0	0

Продолжение таблицы 2.1

	Исходные параметры	6	7	8	9	10
1.	Глубина скважины	2100	2700	2700	2700	2436,5
2.	Газовый фактор	33	45	45	45	23,4
3.	Давление насыщения	10,5	8,1	8,1	8,1	8,1
4.	Давление на устье	0,4	0,6	0,3	0,2	0,4
5.	Плотность нефти дегазированной	868,3	868,3	868,3	868,3	868,3
6.	Плотность нефти пласт.	774,3	789,91	789,91	789,91	789,91
7.	Диаметр скважины	0,0635	0,062	0,062	0,062	0,062
8.	Обводнённость	20	0	20	0	40
9.	Плотность воды	1180	0	1190	0	1190

**2.2 Задача «Определение  $p_{заб.min}$  фонтанирования для нефтяной скважины, в составе попутного газа которой присутствует азот, и для условия  $p_{заб} > p_{нас}$ »**

**Условие задачи.** Установить наименьшее значение забойного давления, при котором скважина еще будет фонтанировать, по данным задачи 2.1, в решении которой учесть азот, содержащийся в составе попутного газа. Известны следующие параметры:

- содержание метана в составе попутного газа  $y_1$ ,
- содержание азота в составе попутного газа  $y_a$ ,
- пластовая температура  $T_{пл}$  (К).

В таблице 2.2 приведены исходные данные для проведения расчёта.

Таблица 2. 2. – Исходные данные для выполнения расчётов

	Исходные параметры	1	2	3	4	5
1	Содержание азота	0,121	0,122	0,123	0,124	0,125
2	Содержание метана	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
3	Пластовая температура	310	311	312	313	314

Продолжение таблицы 2.2

	Исходные параметры	6	7	8	9	10
1	Содержание азота	0,126	0,127	0,128	0,129	0,13
2	Содержание метана	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31
3	Пластовая температура	310	311	312	313	314

### 2.3 Задача «Определение $p_{зab.min}$ фонтанирования для нефтяной скважины, в составе попутного газа которой присутствует азот, и для условия $p_{зab} < p_{нас}$ »

**Условие задачи.** Установить наименьшее значение забойного давления, при котором скважина еще будет фонтанировать, по данным задачи 2.1, в решении которой учесть азот, содержащийся в составе попутного газа. Известны следующие параметры:

- содержание метана в составе попутного газа  $y_1$ ,
- содержание азота в составе попутного газа  $y_a$ ,
- пластовая температура  $T_{пл}$  (К),
- глубина скважины  $H$  (м),
- газовый фактор  $G_o$  (м<sup>3</sup>/т),
- давление насыщения  $p_{нас}$  (МПа),
- плотность нефти дегазированной  $\rho_{нд}$  (кг/м<sup>3</sup>),
- плотность нефти в пластовых условиях  $\rho_n$  (кг/м<sup>3</sup>),
- обводнённость нефти  $n_v$  (%),
- плотность пластовой воды  $\rho_v$  (кг/м<sup>3</sup>),
- диаметр подъёмника  $d$  (м),
- давление на устье  $p_y$  (МПа).

Данная задача может быть выполнена в качестве контрольной работы или в виде РГР, исходные данные для решения задачи, выдаётся преподавателем.

Перед выполнением задач сначала необходимо согласовать с преподавателем номер варианта. Начинать расчёт всех задач рекомендуется с записи исходных данных. На следующем этапе **рекомендуется** перевести все значения исходных данных в соответствующую размерность согласно требований методики расчёта. Для определения соответствующих показателей сначала записывается порядок формул, по которым будет осуществлён расчёт, в виде буквенных обозначений, а затем подставляются численные значения. Расчёт также можно провести с помощью электронных таблиц *MS Equation*, а последнюю задачу (п. 2.3) настоятельно рекомендуется выполнить с помощью написания кода программы на любом языке программирования.

По завершении расчёта задач необходимо сделать вывод: каким образом наличие азота в попутном газе влияет на минимальное значение давления фонтанирования. Для закрепления знаний рекомендуется составить задание в тестовой форме, сформулировать вопрос, составить новую задачу по теме и пр.

### 3 КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ВОПРОСЫ

- 1) Дать определение «давление насыщения».
- 2) Написать формулу для определения средней плотности нефти.
- 3) Написать формулу для расчёта средней плотности жидкости.
- 4) Написать формулу для определения значения минимального давления фонтанирования при условии  $p_{заб} > p_{нас}$ .
- 5) Дать определение обводнённости продукции скважины.
- 6) Написать необходимое условие фонтанирования нефтяной скважины.
- 7) При каком условии колонну НКТ спускают до верхних перфорационных отверстий?
- 8) При каком условии колонну НКТ спускают до сечения скважины, у которого давление равно давлению насыщения?
- 9) Какие действия необходимо выполнить, чтобы газовый фактор, замеренный в м<sup>3</sup>/т, перевести в размерность м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>?
- 10) Напишите размерность коэффициента растворимости газа. Выведите размерность.
- 11) Напишите условия, при котором по всей длине скважины или по её части движется газожидкостная смесь?
- 12) Верно ли утверждение, что содержание азота в попутном газе приводит к значительному влиянию на условие фонтанирования?
- 13) Верно ли утверждение, что содержание азота в попутном газе не приводит к значительному влиянию на условие фонтанирования?

## 4 ЗАДАНИЯ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ

1) Установить правильную последовательность:

### Эффективный газовый фактор

- газ
- объем
- масса
- вдоль
- ствола
- средний
- давление
- жидкости
- на единицу
- свободный
- подъемник
- стандартная
- температура
- приведенный
- приходящийся
- к атмосферному
- газожидкостный

2) Обведите кружком номер правильного ответа:

### Для фонтанирования скважины необходимо, чтобы

- $G_{эф} \geq R_{опт}$
- $G_{эф} = R_{опт}$
- $G_{эф} \leq R_{опт}$

3) Обведите кружком номера всех правильных ответов:

### Для фонтанирования скважины необходимо, чтобы

- $G_{эф} > R_{опт}$
- $G_{эф} = R_{опт}$
- $G_{эф} \leq R_{опт}$
- $G_{эф} < R_{опт}$

4) Обведите кружком номер правильного ответа:

### Условие фонтанирования скважины в случае $R_{заб} < R_{нас}$ будет следующим

$$\circ \quad \left( G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2} \right) \left( 1 - \frac{n_g}{100} \right) = \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_3 + p_y)}{d^{0,5} (p_3 - p_y) \lg \left( \frac{p_3}{p_y} \right)}$$

- $\left(G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2}\right) \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) \geq \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_3 + p_y)}{d^{0,5} (p_3 - p_y) \lg\left(\frac{p_3}{p_y}\right)}$
- $\left(G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2}\right) \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) > \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_3 + p_y)}{d^{0,5} (p_3 - p_y) \lg\left(\frac{p_3}{p_y}\right)}$

5) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Условие фонтанирования скважины в случае  $R_{заб} > R_{нас}$  будет следующим**

- $\left(G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2}\right) \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) > \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_n + p_y)}{d^{0,5} (p_n - p_y) \lg\left(\frac{p_n}{p_y}\right)}$
- $\left(G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2}\right) \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) = \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_n + p_y)}{d^{0,5} (p_n - p_y) \lg\left(\frac{p_n}{p_y}\right)}$
- $\left(G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2}\right) \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) \geq \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жс} g - p_n + p_y)}{d^{0,5} (p_n - p_y) \lg\left(\frac{p_n}{p_y}\right)}$

6) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Плотность жидкости в обводненных скважинах**

- $\rho_{жс} = \rho_n \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) + \rho_v \frac{n_g}{100}$
- $\rho_{жс} = \rho_v \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) + \rho_n \frac{n_g}{100}$
- $\rho_{жс} = \rho_n \left(1 - \frac{n_g}{100}\right) - \rho_v \frac{n_g}{100}$
- $\rho_{жс} = \rho_v \left(1 - \frac{n_v}{100}\right) - \rho_n \frac{n_v}{100}$

7) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Условия фонтанирования в обводненных скважинах**

- улучшаются
- ухудшаются
- не изменяются
- прекращается

8) **Фонтанирование в обводненных скважинах**

*Обвести кружком номер правильного ответа в каждом пункте*

**1. С ростом обводненности эффективный газовый фактор**

- улучшается
- ухудшается
- не изменяется
- прекращается

2. **И когда**

- $G_{эф} > R_{онт}$
- $G_{эф} = R_{онт}$
- $G_{эф} < R_{онт}$
- $G_{эф} \geq R_{онт}$
- $G_{эф} \leq R_{онт}$

3. **Фонтанирование в обводненных скважинах**

- улучшается
- ухудшается
- не изменяется
- прекращается

9) *Обведите кружком номер правильного ответа:*

**Минимальное  $p_{заб}$  фонтанирования при любой обводненности продукции для условия  $p_{заб} < p_{нас}$  можно определить из уравнения**

$$\left( G_O - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2} \right) \left( 1 - \frac{n_g}{100} \right) \geq \frac{0,388 \cdot L \cdot (L \rho_{жг} g - p_3 + p_y)}{d^{0,5} (p_3 - p_y) \lg \left( \frac{p_3}{p_y} \right)},$$

**решая его относительно**

- $p_{заб}$
- $p_{нас}$
- $p_{заб}/p_{нас}$
- $L \rho_{жг} g$

10) **Максимальная длина подъемника  $L_{max}$**

*Обведите кружком номер правильного ответа в каждом пункте:*

**1. Минимальному  $p_{заб}$  фонтанирования отвечает**

- максимальная длина подъемника
- минимальная длина подъемника
- неизменяемая длина подъемника

**2. Максимальная длина подъемника  $L_{max}$  при условии  $p_{заб} < p_{нас}$  определяется по формуле**

- $L_{max} = 0,5 \left[ h + \sqrt{h^2 + 10,31 \cdot G_{эф} d^{0,5} h \cdot \lg \left( \frac{p_n}{p_y} \right)} \right]$
- $L_{max} = 0,5 \left[ h + \sqrt{h^2 - 10,31 \cdot G_{эф} d^{0,5} h \cdot \lg \left( \frac{p_n}{p_y} \right)} \right]$
- $L_{max} = 0,5 \left[ h - \sqrt{h^2 + 10,31 \cdot G_{эф} d^{0,5} h \cdot \lg \left( \frac{p_n}{p_y} \right)} \right]$

11) *Обведите кружком номер правильного ответа:*

**Исходя из условия конца фонтанирования, диаметр подъемника определяется**



- $d_k = 200 \sqrt{\frac{\rho_{жск} L_k}{p_{бк} - p_{ук}}} \sqrt[3]{\frac{Q_n L_k}{\rho_{жск} g L_k - p_{бк} + p_{ук}}}$
- $d_k = 200 \sqrt{\frac{\rho_{жск} L_k}{p_{бк} - p_{ук}}} \sqrt[3]{\frac{Q_n L_k}{\rho_{жск} g L_k - p_{бк} - p_{ук}}}$
- $d_k = 400 \sqrt{\frac{\rho_{жск} L_k}{p_{бк} - p_{ук}}} \sqrt[3]{\frac{Q_n L_k}{\rho_{жск} g L_k - p_{бк} + p_{ук}}}$
- $d_k = 400 \sqrt{\frac{\rho_{жск} L_k}{p_{бк} - p_{ук}}} \sqrt[3]{\frac{Q_n L_k}{\rho_{жск} g L_k - p_{бк} - p_{ук}}}$

12) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Для фонтанной скважины с расходом от 10 до 20 т/сут при ориентировочном подборе подъемника предпочтительнее спустить НКТ диаметром**

- 48 мм
- 60 мм
- 73 мм
- 89 мм
- 102 и 114 мм

13) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Для фонтанной скважины с расходом от 20 до 50 т/сут при ориентировочном подборе подъемника предпочтительнее спустить НКТ диаметром**

- 48 мм
- 60 мм
- 73 мм
- 89 мм
- 102 и 114 мм

14) Обведите кружком номер правильного ответа:

**Для фонтанной скважины с расходом от 50 до 100 т/сут при ориентировочном подборе подъемника предпочтительнее спустить НКТ диаметром**

- 48 мм
- 60 мм
- 73 мм
- 89 мм
- 102 и 114 мм

15) Обведите кружком номер правильного ответа:

Для фонтанной скважины с расходом от 100 до 250 т/сут при ориентировочном подборе подъемника предпочтительнее спустить НКТ диаметром

- 48 мм
- 60 мм
- 73 мм
- 89 мм
- 102 и 114 мм

16) Установите соответствие

**Формула эффективного газового фактора**

$$G_{эф} = \left( G_o - 10^3 \cdot \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \cdot \frac{p_z + p_y}{2} \right) \left( 1 - \frac{n_g}{100} \right)$$

Обозначение параметра	Название параметра
1. $G$	а) газовый фактор
2. $\alpha$	б) давление на устье скважины
3. $p_z$	в) давление на забое скважины
4. $p_y$	г) массовая обводненность продукции
5. $\rho_{нд}$	д) плотность дегазированной жидкости
6. $n_g$	е) коэффициент растворимости газа в нефти
<b>Ответ: 1 _____, 2 _____, 3 _____, 4 _____, 5 _____, 6 _____.</b>	

17) Обведите кружком номер одного правильного ответа:

**Оптимальный режим фонтанной нефтяной скважины характеризуется**

- максимальным расходом жидкости
- максимальным удельным расходом газа
- минимальным удельным расходом газа
- максимальным количеством закачиваемого газа
- минимальным количеством закачиваемого газа
- максимальным коэффициентом полезного действия

18) Обведите кружком номер одного правильного ответа:

**Формула эффективного газового фактора при условии  $p_{заб} > p_{нас}$**

- $G_{эф} = \left( G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_z + p_y}{2} \right) \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right)$
- $G_{эф} = \left( G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_z - p_y}{2} \right) \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right)$

- $G_{эф} = \left( G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 + p_y}{2} \right) \left( 1 + \frac{n_B}{100} \right)$
- $G_{эф} = \left( G_o - 10^3 \frac{\alpha}{\rho_{нд}} \frac{p_3 - p_y}{2} \right) \left( 1 + \frac{n_B}{100} \right)$

19) Обведите кружком номер одного правильного ответа:

**Минимальное давление фонтанирования безводной нефти определяется по формуле:**

- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g + P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{ж пл} \cdot g + P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g - P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g - P_{нас}$

20) Обведите кружком номер одного правильного ответа:

**Минимальное давление фонтанирования обводнённой нефти определяется по формуле:**

- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g + P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{ж пл} \cdot g + P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g - P_{нас}$
- $P_{заб} = (H - L) \cdot \rho_{н пл} \cdot g - P_{нас}$

21) Обведите кружком номер одного правильного ответа:

**Эффективный газовый фактор для скважины, в попутном газе которой будет присутствовать азот, рассчитывается по следующей формуле**

- $G_{эф} = \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right) \cdot \frac{V_{2в}(p_{баш}) + V_{2в}(p_y)}{2}$
- $G_{эф} = \left( 1 + \frac{n_B}{100} \right) \cdot \frac{V_{2в}(p_{баш}) + V_{2в}(p_y)}{2}$
- $G_{эф} = \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right) \cdot \frac{V_{2в}(p_{баш}) - V_{2в}(p_y)}{2}$
- $G_{эф} = \left( 1 - \frac{n_B}{100} \right) \cdot \frac{V_{2в}(p_{баш}) - V_{2в}(p_y)}{2}$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крец, В. Г. Основы нефтегазового дела [Текст]: учебное пособие / В. Г. Крец, А. В. Шадрин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 182 с.
2. Миклина, О. А. Задания в тестовой форме для студентов направления 131000 – «Нефтегазовое дело» [Текст] : учеб. пособие / О. А. Миклина. – Ухта : УГТУ, 2012. – 143 с.
3. Миклина, О. А. Фонтанная эксплуатация нефтяных скважин : методические указания к практическим занятиям. – Ухта : УГТУ, 2014. – 37 с.
4. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти : учебное пособие для вузов. – М. : ФГУП Изд-во «Нефть и газ» им. И. М. Губкина, 2003. – 816 с.
5. Мордвинов, А. А. Устьевое оборудование фонтанных и нагнетательных скважин [Текст] : метод. указания / А. А. Мордвинов, О. А. Миклина, Е. Л. Полубоярцев. – 2-е изд., испр. и доп. – Ухта : УГТУ, 2013. – 42 с.
6. Сборник задач по технологии и технике нефтедобычи: учебное пособие для вузов / И. Т. Мищенко, В. А. Сахаров, В. Г. Грон, Г. И. Богомольный. – М. : Недра, 1984. – 272 с.
7. Щуров, В. И. Технология и техника добычи нефти: учеб. для вузов / В. И. Щуров. – М.: ООО «Альянс», 2005. – 510 с.

**Скважина** (*well*, встречается - *test*) – цилиндрическая горная выработка, сооружаемая без доступа в нее человека и имеющая диаметр во много раз меньше длины (диаметр более 75 мм); начало скважины называется устьем, цилиндрическая поверхность – стенкой или стволом, дно – забоем.

**Стандартные условия** (*standard conditions*) – условия на поверхности (в отличие от пластовых), которые влияют на объем и массу продуктов. В разных странах они различаются. В РФ С. у. - 0,1 МПа, 20°C, в Европе - 101 кПа, 15 °С.

**Сырая нефть** – углеводороды в жидком состоянии при нормальном атмосферном давлении, а также все типы углеводородов и битумов (включая асфальты и озокериты) в их естественном состоянии.

**Удельный расход газа** – отношение объемного расхода газа к объемному расходу жидкости,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

**Флюид** – любое вещество, поведение которого при деформации может быть объяснено законами механики жидкостей и газов; обобщающий термин для обозначения перемещающихся в земной коре углеводородов, газов, воды (растворов, рассолов).

**Эффективный газовый фактор** – средний объем свободного газа на участке НКТ, где движется газожидкостная смесь, приходящая на единицу массы жидкости.