

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ И ПРИМЕНИМОСТИ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН

## Задача

Основным методом увеличения нефтеотдачи является заводнение как на вновь вводимых в разработку объектах, так на истощенных месторождениях. Вследствие выработки запасов нефти пластовое давление в залежи падает, депрессия на забоях и дебит добывающих скважинах уменьшается. Для поддержания пластового давления применяются различные виды заводнения.

Дано:

- суточная добыча нефти  $Q_n$  из элемента эксплуатационного объекта составляет **450 т**;
- суточная добыча воды  $Q_v$  составляет **475 т**;
- суточная добыча газа  $V_g$  составляет  **$99700 \cdot 10^3 \text{ м}^3$** ;
- объемный коэффициент нефти  $b_n$  равен **1,35**;
- коэффициент растворимости газа в нефти  $\alpha$  равен **7,3  $\text{м}^3/\text{м}^3$** ;
- плотность нефти  $\rho_n$  составляет  **$860 \text{ кг}/\text{м}^3$** ;
- коэффициент сжимаемости газа  $Z$  равен **0,883**;
- пластовое давление  $P_{пл}$  составляет **8,15 МПа**;
- пластовая температура  $T_{пл}$  составляет **335 К**;
- атмосферное давление  $P_0$  равно **0,1 МПа**;
- коэффициент проницаемости пласта  $k$  равен  **$1,05 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$** ;
- перепад давления на забое  $\Delta P$  равен **2,6 МПа**;
- коэффициент гидродинамического совершенства забоя скважины  $\phi$  составляет **0,75**;
- половина расстояния между нагнетательными скважинами  $R$  равна **450 м**;
- радиус забоя скважины  $r_c$  равен **0,134 м**;
- вязкость воды  $\mu_v$  равна **1 мПа · с**.

Определить количество воды, необходимой для поддержания пластового давления и приемистости нагнетательных скважин.

№	$Q_n$	$Q_v$	$V_g$	$b_n$	$\alpha$	$\rho_n$	$P_{пл}$	$T_{пл}$	$k$ $\cdot 10^{-12}$	$\Delta P$	$\phi$	$R$	$r_c$
16	450	475	99700	1,35	7,3	860	8,15	335	1,05	2,6	0,75	450	0,134

Решение:

1. Определяем объем нефти, добываемой в пластовых условиях:

$$Q'_H = \frac{Q_H b_H}{\rho} = \\ (450 \cdot 10^3 \cdot 1.35) / 860 = \mathbf{706.4 \text{ м}^3}$$

2. Определяем объем свободного газа в залежи, приведенный к атмосферным условиям:

$$V_{св} = V_{г} \cdot \frac{\alpha P_{пл} Q_H}{\rho} = \\ 99700 - ((7.3 \cdot 8.15 \cdot 450 \cdot 10^3) / 860) = \mathbf{68568.89 \text{ м}^3}$$

3. Определяем объем свободного газа в пластовых условиях:

$$V_{пл} = \frac{Z V_{св} P_0 T_{пл}}{P_{пл} T_0} = \\ (0.883 \cdot 68568.89 \cdot 0.1 \cdot 10^6 \cdot 335) / (8.15 \cdot 10^6 \cdot 273) = \mathbf{911.617 \text{ м}^3}$$

4. Определяем общую суточную добычу в пластовых условиях:

$$V_{св} = Q'_H + V_{пл} + Q_B = \\ 706.4 + 911.617 + 475 = \mathbf{2093 \text{ м}^3}$$

5. Для поддержания давления требуется ежедневно закачивать в элемент эксплуатационного объекта воды не менее указанного объема. При  $K=1,2$  – коэффициент избытка, потребуется следующее количество воды (без учета поступающего в залежь объема контурной воды):

$$Q'_B = VK = \\ 2093 \cdot 1.2 = \mathbf{2511.6 \text{ м}^3/\text{сут}}$$

6. Определяем приемистость нагнетательных скважин:

$$q = \frac{2\pi kh \Delta P \varphi}{\mu \ln \frac{R}{r_c}} = \\ (2 \cdot 3.14 \cdot 1.05 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 2.6 \cdot 10^6 \cdot 0.75) / (1 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(450/0.134)) = 0.015837 \text{ м}^3/\text{сек} \\ = \mathbf{1368.3 \text{ м}^3/\text{сут}}$$

## 2. ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ НЕФТИ

При проектировании и разработки месторождений с целью увеличения нефтеотдачи применяются водные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые закачивают в нагнетательные скважины с определенной концентрацией. В процессе продвижения оторочки водного раствора ПАВ к добывающим скважинам часть ПАВ сорбируется (осаждаются) на поверхности поровых каналов. Количество сорбируемого вещества можно определить, пользуясь законом Генри, формула которого имеет вид  $a(c)=\alpha c$ , где  $\alpha$ - коэффициент сорбции, определяемый экспериментально,  $c$  – концентрация.

### 2.1 РАСЧЕТ СКОРОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ ФРОНТА СОРБЦИИ ПАВ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

#### Задача

Рассматривается прямолинейная фильтрация. В водонасыщенный участок пласта шириной  $b = 350$  м, толщиной  $h = 10$  м, пористостью  $m = 0,27$  и с расстоянием между нагнетательной и добывающей галереями  $l = 400$  м через нагнетательную галерею закачивается водный раствор ПАВ с концентрацией  $c_0$  и темпом закачки  $q = 450$  м<sup>3</sup>/сут. ПАВ сорбируется скелетом породы по закону Генри, формула которого имеет вид  $a(c)=\alpha c$ , где  $\alpha$ - коэффициент сорбции;  $\alpha = 0,28$ . Определить скорость продвижения фронта сорбции ПАВ (фронта ПАВ).

№	$l, м$	$b, м$	$h, м$	$m$ , доли ед.	$q$ , м <sup>3</sup> /сут	$\alpha$ , доли ед
16	400	350	10	0,27	450	0,28

Решение:

Для определения скорости фронта ПАВ и распределения их концентрации в пласте используется уравнение материального баланса водного раствора ПАВ в первоначально водонасыщенном пласте:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{q}{mbh(1+\alpha)} \cdot \frac{\partial c}{\partial x} = 0$$

Для решения задачи нужно записать начальное и граничное условия

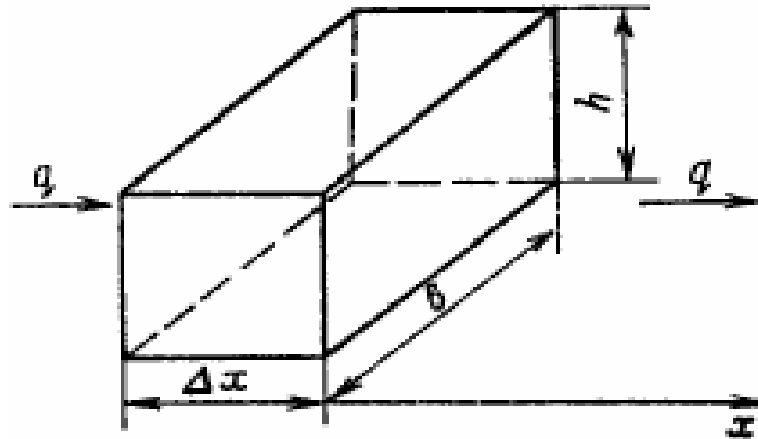


Рисунок – Элемент прямолинейного пласта

В начальный момент времени  $t = 0$  в пласте при отсутствии в нагнетаемой воде ПАВ начальное условие примет вид:

$$c(x, 0) = 0$$

Начиная с момента времени  $t = 0$  в пласт через нагнетательную галерею закачивается водный раствор ПАВ с концентрацией закачки  $c = c_0$ . Таким образом, граничное условие будет иметь вид

$$c(0, t) = c_0$$

Решение задачи определяют по формулам

$$c(x, t) = c^0, \quad x \leq \frac{q}{mbh(1+\alpha)}t$$

$$c(x, t) = 0, \quad x > \frac{q}{mbh(1+\alpha)}t.$$

Обозначим через  $v = \frac{q}{bh}$  скорость фильтрации из первого выражения определяем скорость фронта сорбции

$$v_c = \frac{x}{t} \quad \text{или} \quad v_c = \frac{v}{m(1+\alpha)}$$

$$v = \frac{q}{bh} =$$

$$450 / (350 \cdot 10) = 0.1285 \text{ м/сут}$$

$$v_c =$$

$$0.1285 / (0.27 \cdot 1.2) = 0.396 \text{ м/сут}$$

Ответ: Скорость продвижения фронта сорбции ПАВ составит **0,396 м/сут.**

### 3. РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ И КОЛИЧЕСТВА КИСЛОТЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СОЛЯНО КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ

#### Задача

Выберите концентрацию и количество реагентов, необходимое оборудование для проведения соляно кислотной обработки призабойной зоны скважины, составьте план обработки. Данные приведены в таблице.

Наименование исходных данных	Вариант 16/1
Глубина скважины Н, м	1500
Эффективная мощность пласта h, м	10
Тип и состав породы продуктивного пласта	Плотные трещиноватые известняки
Проницаемость породы k, мм <sup>2</sup>	0.1
Пластовое давление P <sub>пл</sub> , МПа	14.0
Внутренний диаметр D <sub>л</sub> , м	0.215
Диаметр НКТ d, мм	60
Температура пласта T <sub>пл</sub> , °С	30
Диаметр водовода d <sub>об</sub> , мм	60
Длина водовода l <sub>об</sub> , м	30

Методические указания к решению задачи.

Для решения задачи необходимо изучить тему и рассмотреть решение типовых задач.

1. Для заданных условий принимают концентрацию кислоты и объем раствора. 2. Определяют общий необходимый объем раствора соляной кислоты:

$$V = V' \cdot h' \cdot m^3$$

$$V = 0.6 \cdot 10 = 6 \text{ м}^3$$

где, V' - расход раствора HCl на 1 м толщины пласта, м<sup>3</sup>

3. Количество концентрированной товарной соляной кислоты можно найти по формуле:

$$V_k = (A \cdot X \cdot V(B-Z)) / (B \cdot Z(A-X))$$

$$V_k = (214 \cdot 10 \cdot 6 \cdot (226 - 27.5)) / (226 \cdot 27.5 \cdot (214 - 10)) = 2 \text{ м}^3$$

где А и В – числовые коэффициенты, определяется по таблице,

X – выбранная концентрация соляно-кислотного раствора, %

Z – 27.5%-ная концентрация товарно-соляной кислоты.

Таблица – Значения коэффициентов А и В:

z, x	В, А	z, x	В, А
5,15 - 12,19	214,0	29,95 – 31,52	227,5
13,19 - 18,11	218,0	32,10 – 33,40	229,5
19,06 – 24,78	221,5	34,42 - 37,22	232,0

25,75 – 29,57	226,0	-	-
---------------	-------	---	---

4. При обработке скважин к раствору соляной кислоты добавляют различные реагенты, выбирают их концентрацию.

а) Ингибиторы в количестве 0,01 % объема кислотного раствора, например, Катапин-А.

$$V_i = (V \cdot 0.01) / 100$$

$$V_i = (6 \cdot 0.01) / 100 = \mathbf{0.0006 \text{ м}^3}$$

б) Стабилизаторы, например, уксусную кислоту в количестве:

$$V_{y.k.} = (1000 \cdot b \cdot V) / C$$

$$V_{y.k.} = (1000 \cdot 1.5 \cdot 0.0006) / 80 = \mathbf{0.0113 \text{ м}^3}$$

где, b – процент добавки уксусной кислоты к объему раствора 1.5%;  
C – концентрация уксусной кислоты, принимаем 80%.

в) Интенсификаторы, например, Марвелан в количестве 1...1,5 % объема солянокислотного раствора.

$$V_{и} = (V \cdot 1.5) / 100 =$$

$$V_{и} = (6 \cdot 1.5) / 100 = \mathbf{0.09 \text{ м}^3}$$

г) Хлористый барий для удержания в растворенном состоянии продуктов реакции примесей раствора соляной кислоты с железом, цементом:

$$V_{x.б.} = 21.3 \cdot V \cdot ((a \cdot x) / z) \cdot (1 / \rho_{x.б.})$$

$$V_{x.б.} = 21.3 \cdot 6 \cdot ((0.6 \cdot 10) / 27.5) \cdot (1 / 4) = \mathbf{0.00697 \text{ м}^3}$$

где, a – содержание SO<sub>3</sub> в товарной соляной кислоте, a = 0,6 %  
ρ<sub>х.б.</sub> – плотность хлористого бария, ρ = 4 кг/дм<sup>3</sup>.

5. Определяют количество воды необходимое для приготовления принятого объема соляно кислотного раствора:

$$V = V_b - V_k - \Sigma V_p =$$

$$6 - 2 - (0.0113 + 0.09 + 0.0069) = \mathbf{3.89 \text{ м}^3}$$

где ΣV<sub>p</sub>- суммарный объем всех добавляемых реагентов к соляно кислотному раствору, м<sup>3</sup>

6. Определяют количество раствора, закачиваемого при открытой задвижке затрубного пространства (при отсутствии пакера) в объеме выкидной линии, насосно-компрессорных труб и ствола скважины от башмака НКТ до подошвы пласта:

$$V' = 0.785 d_{об}^2 \cdot l + 0.785 d_{вн}^2 (H-h) + 0.785 D_{\Lambda}^2 h$$

$$V' = 0.785 \cdot 0.06^2 \cdot 30 + 0.785 \cdot 0.06^2 \cdot (1500-10) + 0.785 \cdot 0.215^2 \cdot 10$$

$$V' = \mathbf{4.658 \text{ м}^3}$$

7. Количество жидкости, которое заканчивают при закрытой задвижке затрубного пространства:

$$V'' = V - V'$$

$$V'' = 6 - 4.658 = 1.34 \text{ м}^3$$

8. Объем продажной жидкости:

$$V_{\text{пр}} = V''$$

9. Выбирают необходимое оборудование (кислотный агрегат, автоцистерны), его количество, характеристики.

Тип агрегата	ЦА-320
Подача	10 дм <sup>3</sup> /с

10. Выбирают режим работы агрегата. Для этого, задавшись производительностью агрегата (q) на II, III и IV передачах определяют необходимое давление нагнетания:

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{заб}} - P_{\text{ж}} + P_{\text{тр}}$$

$$P_{\text{вн}} = 31.3 - 14.7 + 0.5 = 17.1 \text{ МПа}$$

где  $P_{\text{заб}}$  – максимальное забойное давление при продажке раствора, МПа,

$$P_{\text{заб}} = P_{\text{пл}} + q \cdot 10^{-3} \cdot (86400/K)$$

$$P_{\text{заб}} = 14 + 10 \cdot 10^{-3} \cdot (86400/50) = 31.3 \text{ МПа}$$

где  $K=50$  – коэффициент приемистости скважины

$P_{\text{ж}}$  – гидростатическое давление столба продажной жидкости, МПа

$$P_{\text{ж}} = \rho \cdot q \cdot H_{\text{ф}}$$

$$P_{\text{ж}} = 1000 \cdot 9.81 \cdot 1500 = 14.7 \text{ МПа}$$

Принимаем  $P_{\text{тр}} = 0,5 \dots 1,5 \text{ МПа}$ .

Давление, создаваемое насосом, должно быть достаточным для продажки раствора в пласт, т.е.  $P_{\text{нас}} \geq P_{\text{вн}}$ .

11. Определяют продолжительность нагнетания и продажки в пласт раствора:

$$\tau = (V + V_{\text{пр}}) \cdot (103 / (q \cdot 3600))$$

$$\tau = (6 + 4.658) \cdot (103 / (10 \cdot 3600)) = 0.296 \text{ ч}$$

Вывод:

1. Концентрация кислоты – 10 %

2. Необходимый объем раствора соляной кислоты – 6 м<sup>3</sup>
3. Количество концентраций товарной нефти – 2 м<sup>3</sup>
4. Концентрация и объем реагентов:
  - 4.1. Ингибитор – 0.0006 м<sup>3</sup>
  - 4.2. Стабилизатор – 0,0113 м<sup>3</sup>
  - 4.3. Интексификатор – 0.09 м<sup>3</sup>
  - 4.4. Хлористый барий – 0.00697 м<sup>3</sup>
5. Количество воды для приготовления соляно кислотного раствора – 3.83 м<sup>3</sup>
6. Количество раствора, закачиваемого в скважину – 4.658 м<sup>3</sup>
7. Количество жидкости закачиваемое в затруб – 1.34 м<sup>3</sup>
8. Объем продавочной жидкости – 3.83 м<sup>3</sup>
9. Оборудование ЦА-320
10. Продолжительность нагнетания 0.296 ч