

Калинин Тимофей Александрович, Студент,
Санкт-Петербургский Горный Университет императрицы Екатерины II
Kalinin Timofey Aleksandrovich,
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФОНТАННОЙ СКВАЖИНЫ SELECTION OF EQUIPMENT FOR OPERATING A FOUNTAIN WELL

Аннотация. В статье рассматривается процесс подбора оборудования для эксплуатации фонтанной скважины. Произведен расчет необходимого забойного давления и дебита жидкости. Выполнен подбор насосно-компрессорных труб с проверкой на страгивающую нагрузку, предельную нагрузку в опасном сечении и внутреннее давление.

Abstract. The article discusses the process of selecting equipment for the operation of a gushing well. The required bottom-hole pressure and liquid flow rate have been calculated. The selection of tubing has been performed, including testing for tensile load, maximum load in a critical section, and internal pressure.

Ключевые слова: Фонтанная скважина, забойное давление, дебит, насосно-компрессорные трубы, внутреннее давление, штуцер.

Keywords: Flowing well, bottom-hole pressure, flow rate, tubing, internal pressure, choke.

Для удобства представим исходные данные в виде таблицы 1.

Таблица 1

Обозначение	Величина	Единицы измерения
$D_{\text{ЭКвнеш}}$	146	мм
$P_{\text{пл}}$	18,9	МПа
$K_{\text{прод}}$	2,17	т/ (сут·атм)
$H_{\text{в}}$	1712	м
$\text{grad}P_{\text{зкц}}$	20	атм/м
$\rho_{\text{нд}}$	848,5	кг/м ³
$\rho_{\text{нпл}}$	792	кг/м ³
$\rho_{\text{в}}$	1168	кг/м ³
$\beta_{\text{в}}$	20	%
$\mu_{\text{нд}}$	8,9	МПа·с
$P_{\text{у}}$	1,44	МПа
$\mu_{\text{нпл}}$	3,4	МПа·с
$T_{\text{пл}}$	313	К
$P_{\text{нас}}$	8,4	МПа
ω	0,0195	°К/м
Γ	86	м ³ /м ³
$h_{\text{пл}}$	6,9	м
$\rho_{\text{го}}$	1,445	кг/м ³
$L_{\text{с}}$	1720	м
$Y_{\text{а}}$	0,039	д,ед
$Y_{\text{с1}}$	0,416	д,ед



Определение забойного давления и дебита

Для определения забойного давления воспользуемся системой:

$$\begin{cases} P_{заб} > 0,75 \cdot P_{нас}, \\ P_{заб} > P_{ЗКЦ}, \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{заб}$ – давление на забое, МПа; $P_{ЗКЦ}$ – давление, при котором происходит разрушение цементного камня, МПа:

$$P_{заб} > 0,75 \cdot 8,4 = 6,3 \text{ МПа}$$

$$P_{ЗКЦ} = P_{ВГ} - h \cdot grad P_{ЗКЦ} = \rho_e g H_e - (L_c - H_e) \cdot grad P_{ЗКЦ}, \quad (2)$$

где $grad P_{ЗКЦ}$ – градиент давления, при котором происходит разрушение цементного камня, h – расстояние между верхними (нижними) перфорационными отверстиями продуктивного нефтенасыщенного пласта и водоносным горизонтом, $P_{ВГ}$ – пластовое давление в водоносном горизонте (приближенно можно рассчитать, как гидростатическое давление пластовой воды с учетом глубины залегания водоносного горизонта H_b);

$$P_{ЗКЦ} = 1168 \cdot 9,81 \cdot 1712 - (1720 - 1712) \cdot 20 \cdot 101325 = 3,4 \text{ Мпа}$$

Таким образом, значение забойного давления должно быть больше 6,3 МПа. Например, можно принять, что давление на забое равно 9,4 МПа.

Расчёт дебита жидкости по уравнению притока:

$$Q_{ж} = K_{прод} \cdot (P_{пл} - P_3), \quad (3)$$

$$Q_{ж} = 2,17 \cdot 10 \cdot (18,9 - 9,4) = 206,15 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$$

Подбор оборудования

В соответствии с ГОСТ 633-80 для эксплуатации нефтяных и газовых скважин применяются стальные бесшовные насосно-компрессорные трубы различных типов. Исходя из условий прочности НКТ на разрыв в опасном сечении, на страгивающие нагрузки в резьбовом соединении и на внутреннее давление, определим глубину спуска ступеней колонны гладких НКТ 60×5 с треугольной резьбой из стали группы прочности «Д» для фонтанирующей скважины, имеющей обсадную колонну диаметром 146 мм. При расчете пренебрегаем потерей веса колонны труб в жидкости, так как уровень жидкости в межтрубном пространстве во время работы может быть отеснен до башмака колонны труб. Пополним исходные данные, упорядочим их в таблице 2

Таблица 2

Исходные данные для расчета НКТ

Параметр	Величина	Единицы измерения
Наружный диаметр D	60,3	мм
Толщина стенки δ	5	мм
Наружный диаметр муфты D_m	73	мм
Масса 1 п.м	6,8	кг
Высота резьбы, h	1,412	мм
Длина резьбы с полным профилем L	29,3	мм
Предел текучести σ_t	380	МПа

Расчет насосно-компрессорных труб при фонтанной эксплуатации скважин следует проводить на страгивающую нагрузку в резьбовом соединении, на предельную нагрузку в опасном сечении и на внутреннее давление. На страгивающую нагрузку рассчитываются гладкие НКТ с треугольной резьбой с наиболее слабым сечением в месте резьбового соединения по формуле Ф. И. Яковлева:



$$P_{стр} = \frac{\pi \cdot D_{ср} \cdot b \cdot \sigma_m}{1 + \eta \cdot \frac{D_{ср}}{2L} \cdot ctg(\alpha + \varphi)}, \quad (4)$$

где b – толщина тела трубы под резьбой в основной плоскости, мм, определяется по формуле:

$$b = \delta - h \quad (5)$$

$$b = 5 - 1,412 = 3,588 \text{ мм}$$

$D_{ср}$ – средний диаметр тела трубы под резьбой, мм:

$$D_{ср} = (D - 2\delta) + b \quad (6)$$

$$D_{ср} = (60,3 - 2 \cdot 5) + 3,588 = 53,888 \text{ мм}$$

η – поправка Шумилова, определяемая по формуле:

$$\eta = \frac{b}{\delta + b} \quad (7)$$

$$\eta = \frac{3,588}{5 + 3,588} = 0,418$$

α – угол наклона несущей поверхности резьбы к оси трубы, 30 град.;

φ – угол трения в резьбе ($\varphi = 7^\circ - 9^\circ$);

$$P_{стр} = \frac{\pi \cdot 53,888 \cdot 3,588 \cdot 380}{1 + 0,418 \cdot \frac{53,888}{2 \cdot 29,3} \cdot ctg(30 + 7)} = 152,85 \text{ кН}$$

Предельную нагрузку определим по формуле:

$$P_{пр} = \frac{\pi \cdot ((60,3 - 2h)^2 - d^2) \cdot \sigma_m}{4} \quad (8)$$

$$P_{пр} = \frac{\pi \cdot ((60,3 - 2 \cdot 1,412)^2 - 50,3^2) \cdot 380}{4} = 220,56 \text{ кН}$$

Наименьшая из двух (страгивающая) нагрузок принимается за расчетную, и определяется допустимая глубина спуска данной трубы с заданным коэффициентом запаса n (принимается в пределах 1,2-1,3):

$$L_{тр} = \frac{P_{рас}}{q \cdot n \cdot g} \quad (9)$$

$$L_{тр} = \frac{152850}{6,8 \cdot 1,3 \cdot 9,81} = 1762,56 \text{ м}$$

Допустимая глубина превышает глубину скважины, поэтому при подборе подземного оборудования ограничимся одной секцией НКТ.

Расчет на внутреннее давление производится на допустимое давление, исходя из прочности и геометрических параметров трубы по формуле Барлоу:

$$P_{вн} = \frac{2 \cdot \delta \cdot \sigma_m}{D} \quad (10)$$

$$P_{вн} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 380 \cdot 10^6}{60,3} = 63,01 \text{ Мпа}$$

Необходимо также определить фактическое внутреннее давление, определяемое высотой столба жидкости в трубах:

$$P_{ф} = L_{тр} \cdot \rho_{ж} \cdot g + P_y, \quad (11)$$

где $L_{тр}$ – длина колонны НКТ. Колонну НКТ обычно спускают до верхних отверстий перфорации, примем ее за 1700 м. $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м^3 .

Условием надежной работы НКТ является выполнение неравенства $P_{вн} > P_{ф}$:

$$P_{ф} = 1700 \cdot 912,4 \cdot 9,81 + 1,44 \cdot 10^6 = 16,65 \text{ Мпа}$$

Условие надежной работы НКТ пройдено.

Расчет и выбор штуцера

Допустим, что нам необходимо давление после штуцера равное 1 МПа. Рассчитаем для дебита равного $206,15 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$.



Диаметр штуцера можно определить по формуле расхода жидкости через насадку, если газовый фактор невелик или отсутствует:

$$d = \sqrt{\frac{Q}{0,785 \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}} = \sqrt{\frac{206,15}{86400 \cdot 0,785 \cdot 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1720}}} = 0,07 \text{ м} = 7 \text{ мм}, \quad (12)$$

Для данных давлений и по необходимому диаметру подходит штуцер маркировки ШРФ – 20, так как он имеет диапазон диаметров от 0 до 20 мм с плавным изменением проходного сечения.

Список литературы:

1. Гиматудинова Ш.К. Справочное руководство по проектированию разработки и эксплуатации нефтяных месторождений. Добыча нефти. – М: Недра, – 1983. – 455 с.
2. ГОСТ 633-80 Трубы насосно-компрессорные и муфты к ним.
3. ГОСТ 13846-89 Арматура фонтанная и нагнетательная.
4. ГОСТ Р 51365-2009 Нефтяная и газовая промышленность оборудование для бурения и добычи. оборудование устья скважины и фонтанное устьевое оборудование.
5. Крец В.Г., Шадрин А.В. Основы нефтегазового дела. Учебное пособие. – Томск: Изд-во Томском политехническом университете, 2011. – 200 с.
6. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. – Москва, 2003. – 816 с.
7. Молчанов А. Г., Чичеров В. Л. Нефтепромысловые машины и механизмы. М.: Недра, 1983, 308 с.
8. Сборник задач по технологиям и технике нефтедобычи. Учебное пособие. Мищенко И.Т., Сахаров В.А., Грон В. Г., Богомольный Г.И. – М: Недра, 1984. – 272с.

