

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»
(ФГБОУ ВО «ИЖГТУ имени М.Т. КАЛАШНИКОВА»)

Бойчук А.Е.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим работам
по дисциплине «Эксплуатация и ремонт машин и оборудования нефтяных и
газовых промыслов»

Рекомендовано учебно–методическим советом
ФГБОУ ВО «ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова» для использования в
учебном процессе в качестве элемента УЭМКД

для бакалавров направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины
и оборудование»

Профили «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»;
«Машины и оборудование систем трубопроводного транспорта и хранения
углеводородов».

Ижевск 2018

УДК 622.276.76.05(07)

Бойчук А.Е.

Методические указания к практическим работам по дисциплине «Эксплуатация и ремонт машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов» [Электронный ресурс] / Бойчук А.Е. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2018. – 23 с.

Рекомендовано к изданию кафедрой «Тепловые двигатели и установки» (протокол № ____ от ____ . ____ .2018)

В методических указаниях приведены задачи и примеры их выполнения. Даны варианты заданий. Изложены требования к оформлению работы. Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Эксплуатация и ремонт машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов»

Рекомендовано студентам по направлениям подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». Профили «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»; «Машины и оборудование систем трубопроводного транспорта и хранения углеводородов» по дисциплине «Эксплуатация и ремонт машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов».

Рецензент:

кафедра "Автомобили и металлообрабатывающее оборудование" Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова, д-р техн. наук, профессор Н.М. Филькин

Содержание

Введение	4
Задача 1	5
Задача 2	7
Задача 3	8
Задача 4	11
Задача 5	12
Задача 6	15
Задача 7	17
Задача 8	19
Требования к оформлению работы	20
Глоссарий	20
Контрольные вопросы	22
Список использованных источников	23

Введение

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) России — это стержень национальной экономики, обеспечивающий жизнедеятельность всех отраслей хозяйства, консолидацию регионов, формирование значительной части бюджетных доходов и основной доли валютных поступлений страны. В ТЭК аккумулируется $2/3$ прибыли, создаваемой в отраслях материального производства.

Степень надёжности нефтяных и газовых скважин и их оборудования во многом определяет стабильность обеспечения регионов России важнейшими топливо-энергетическими ресурсами. Одним из путей является повышение надёжности объектов комплекса, использование новых эффективных научно обоснованных технологий добычи и разработки углеводородного сырья.

Основной особенностью сооружения, эксплуатации, ремонта нефтяных и газовых скважин является разнообразие природно-климатических, гидрологических характеристик местности, что требует значительного разнообразия конструктивных и технологических решений при сооружении, эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин, промыслов в-целом.

Настоящие учебно-методические указания ставят цель овладение необходимыми знаниями и практическими навыками в области монтажа, эксплуатации и ремонта бурового и нефтепромыслового оборудования, призваны помочь в изучении устройства машин и оборудования для эксплуатации и ремонта машин и оборудования нефтяных и газовых, скважин, промыслов. Изучить причины и виды отказов, методы обеспечения надёжности машин и оборудования при их эксплуатации. Правильно подбирать оснастку, режимы работы для эффективной эксплуатации оборудования, рационально подбирать методы ремонта оборудования с учётом мер безопасности при эксплуатации и ремонте нефтяных и газовых скважин, промыслов.

В результате использования данных учебно-методических указаний студент должен:

знать: причины отказов машин и оборудования, методы технического диагностирования и прогнозирования технического состояния машин и оборудования, технологические методы поддержания надёжности оборудования при эксплуатации;

уметь: диагностировать техническое состояние машин и оборудования; организовать приемку, монтаж, пуск в эксплуатацию, техническое обслуживание, хранение и ремонт машин и оборудования и испытание их после ремонта;

владеть: выполнением расчетов показателей надёжности и остаточного ресурса оборудования.

Задача 1

Определить режим работы и подобрать оборудование ШСНУ, определить мощность и подобрать электродвигатель при следующих исходных данных по скважине: глубина спуска насоса $L=1080\text{м}$; дебит жидкости $Q_1=22\text{м}^3/\text{сут}$; плотность нефти $\rho_{н9}=830\text{кг}/\text{м}^3$; плотность пластовой воды $\rho_в=1030\text{кг}/\text{м}^3$; обводнённость продукции $n_{в9}=54\%$.

Решение

Определить плотность смеси

$$\rho_{см} = \rho_в \cdot P_в + \rho_н \cdot P_н,$$

где $P_н$ – доля нефти в продукции скважины, $P_н = 1 - P_в = 1 - 0,54 = 0,46$; $P_в$ – доля воды в продукции скважины, $P_в=0,54$

$$\rho_{см} = 1030 \cdot 0,54 + 830 \cdot 0,46 = 938\text{кг}/\text{м}^3$$

Переводим дебит жидкости из $\text{м}^3/\text{сут}$ в $\text{м}^3/\text{сут}$

$$Q = \frac{Q_1 \cdot 10^3}{\rho_{см}} = \frac{22 \cdot 10^3}{938} = 23,5\text{м}^3/\text{сут}$$

По диаграмме Адонина выбираем тип станка-качалки и диаметр насоса в зависимости от планируемого дебита и глубины спуска насоса. Для наших условий нас устраивает 5СК-4-2Д-1600 с диаметром насоса 32мм.

Приведём расшифровку станка-качалки: 5 – модификация СК; 4 – наибольшая допускаемая нагрузка на головку балансира в тоннах или 40 кН; 2,1 – максимальная длина хода сальникового штока в м; 1600 –наибольший допускаемый крутящий момент на ведомом валу редуктора в кгс·м или 16 кН·м.

Проводим выбор насоса по таблице в зависимости от глубины спуска насоса и планируемого дебита. Для наших условий подходит насос НСН2 с предельной глубиной спуска 1200 м. Выписываем техническую характеристику насоса:

- вязкость жидкости до 25 мПа·с;
- объёмное содержание механических примесей не более 0,05%;
- условный размер насоса 32 мм;
- идеальная подача при $n=10\text{мин}^{-1}$ 35 $\text{м}^3/\text{сут}$;
- максимальная длина хода плунжера 3 м;
- максимальная высота подъёма жидкости 1200 м;
- условный диаметр НКТ – 48 мм.

Проводим выбор штанг по таблице в зависимости от диаметра насоса и глубины спуска. Для наших условий рекомендуется одноступенчатая колонна штанг диаметром 19мм с предельной глубиной спуска 1170м изготовленных из углеродистой стали нормализованной при $[Q_{пр}] = 70\text{МПа}$.

Вес 1 метра штанг диаметра 19 мм по таблице соответственно: $q_{19} = 23,0535\text{ Н}$

С целью создания статического режима откачки и уменьшения нагрузки на головку балансира принимаем длину хода сальникового штока равную максимальной для данного СК $S = 2,1\text{ м}$.

Определяем необходимое число качаний:

$$n = \frac{Q}{1440 \cdot F_{пл} \cdot S \cdot a},$$

где a – коэффициент подачи насоса, находится в пределах $0,7 \div 0,8$, принимаем $a=0,75$; $F_{пл}$ – площадь сечения плунжера, определяется по формуле:

$$F_{пл} = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,032^2 / 4 = 0,000804\text{м}^2$$

$$n = \frac{23,5}{1440 \cdot 0,000804 \cdot 2,1 \cdot 0,75} = 12,9 \approx 13$$

Определяем максимальную нагрузку на головку балансира:

$$P_{\max} = P_{\text{ж}} + P_{\text{ш}} \cdot (\epsilon + m),$$

где $P_{\text{ж}}$ – вес столба жидкости в НКТ; $P_{\text{ш}}$ – вес колонны насосных штанг;

$$P_{\text{ж}} = F_{\text{пл}} \cdot L \cdot \rho_{\text{см}} \cdot g = 0,000804 \cdot 1080 \cdot 938 \cdot 9,81 = 7990 \text{ Н}$$

$$P_{\text{ш}} = q_{19} \cdot L = 23,0535 \cdot 1080 = 24898 \approx 24900 \text{ Н}$$

ϵ – коэффициент потери веса штанг в жидкости,

$$\epsilon = \frac{\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{см}}}{\rho_{\text{ш}}},$$

где $\rho_{\text{ш}}$ – вес материала штанг, $\rho_{\text{ш}} = 7850 \text{ кг/м}$

$$\epsilon = \frac{7850 - 938}{7850} = 0,88$$

m – коэффициент динамичности,

$$m = \frac{S \cdot n^2}{1440} = \frac{2,1 \cdot 13^2}{1440} = 0,25$$

$$P_{\max} = 7990 + 24900 \cdot (0,88 + 0,25) = 36127 \text{ Н}$$

Сравниваем полученное значение с допустимым для данного СК, так как $40 > 36,1$, то данный СК соответствует выбранным параметрам.

Определяем максимальный крутящий момент:

$$M_{\text{кр max}} = 300 \cdot S + 0,236 \cdot S \cdot (P_{\max} - P_{\min}),$$

где $P_{\min}$ – минимальная нагрузка на головку балансира, определяем её по формуле Милса, $P_{\min} = 19963 \text{ Н}$

$$M_{\text{кр max}} = 300 \cdot 2,1 + 0,236 \cdot 2,1 \cdot (36127 - 19963) = 8640 \text{ Н·м}$$

Определим необходимую мощность электродвигателя СК:

$$N = 0,401 \cdot 10^{-4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S \cdot n \cdot \rho_{\text{см}} \cdot L \cdot k_y + a,$$

где k_y – коэффициент уравниваемости, для балансирующих СК, $k_y = 1,2$

$$N = 0,401 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 \cdot 0,032^2 \cdot 2,1 \cdot 13 \cdot 938 \cdot 1080 \cdot 1,2 (+ 0,75) = 4,9 \text{ кВт}$$

По таблице выбираем стандартный электродвигатель АОП -52-4 мощностью $N = 7 \text{ кВт}$; число оборотов $n = 1440 \text{ об/мин}$; $\eta = 86\%$ [2].

Задание

Выполнить расчёт задачи 1 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
глубина спуска насоса $L, \text{ м}$	1050	1020	1010	1000	1030	1040	1060	1070	1050	1080
дебит жидкости $Q_1, \text{ м}^3/\text{сут}$	20	25	30	28	26	24	22	32	28	26
плотность нефти $\rho_{\text{н}}, \text{ кг/м}^3$	850	830	820	800	850	830	820	800	840	850
плотность пластовой воды $\rho_{\text{в}}, \text{ кг/м}^3$	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030	1030
Обвод-ть продукции $n_{\text{в}}$	45	48	50	52	56	58	55	54	46	50

Задача 2

Произвести расчёт устойчивости и уплотнения межтрубного пространства механическим пакером при ГРП для следующих условий: глубина скважины $L=1450\text{м}$; давление на устье при ГРП $P_y=48\text{МПа}$. Наружный диаметр обсадной колонны $d_{ок}=0,13\text{м}$; $\rho_{см}=7850\text{кг/м}^3$; $E_{см}=2,1 \cdot 10^{11}\text{Па}$. Плотность жидкости разрыва $\rho_{жс}=1000\text{кг/м}^3$. Наружный диаметр манжеты $d=0,114\text{м}$; $\beta=0,7^\circ$; $\alpha=15^\circ$; коэффициент трения $f=0,82$. Коэффициент Пуассона резиновой манжеты $\mu=0,485$; модуль упругости резины $E_y=188 \cdot 10^5\text{Па}$; коэффициент устойчивости пакеровки $k=1,25$. Количество плашек пакера $n=6$; диаметр плашек $d_{пл}=0,030\text{м}$. Диаметр НКТ $d_{НКТ}=48\text{мм}$.

Решение

Для начала рассчитаем необходимую величину подъема колоны НКТ для посадки пакера.

Определим необходимую нагрузку Q_1 :

$$Q_1 = \frac{0,785 \cdot D^2 \cdot P_y}{\text{tg}(\alpha + \beta) \cdot f} = \frac{0,785 \cdot 0,116^2 \cdot 48 \cdot 10^6}{\text{tg}(15 + 0,7) \cdot 0,82} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ Н},$$

где D – внутренний диаметр обсадной колонны, $D=0,116\text{м}$

Определим нагрузку от массы всей колонны НКТ Q_2 :

$$Q_2 = q \cdot L \cdot g,$$

где q – масса 1м колонны НКТ, $q=4,4\text{кг}$

$$Q_2 = 4,4 \cdot 1450 \cdot 9,81 = 62588 \text{ Н}$$

Так как условие устойчивости пакера не соблюдается, необходима установка якоря

$$Q_1 \cdot k < Q_2 = 2,2 \cdot 10^6 \cdot 1,25 < 62588 \text{ Н}$$

Определим давление внутри якоря P_1 :

$$P_1 = P_y + \rho_{жс} \cdot g \cdot L = 48 \cdot 10^6 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 1450 = 48 \cdot 10^6 + 14,2 \cdot 10^6 = 62,2 \text{ Мпа}$$

Радиальное усилие на шлицы якоря от внутреннего давления жидкости $R_я$:

$$R_я = \pi \cdot d_{пл}^2 \cdot P_1 \cdot n = 3,14 \cdot 0,03^2 \cdot 62,2 \cdot 10^6 \cdot 6 = 1,05 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Осевое усилие, создаваемое якорем $T_я$:

$$T_я = R_я \cdot f = 1,05 \cdot 10^6 \cdot 0,82 = 0,86 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Осевое усилие, создаваемое пакером T_n :

$$T_n = Q_2 \cdot \text{tg}(\alpha + \beta) \cdot f = 62588 \cdot \text{tg}(15 + 0,7) \cdot 0,82 = 14426 \text{ Н}$$

Осевое усилие, создаваемое пакером и якорем T :

$$T = T_n + T_я = 14426 + 0,86 \cdot 10^6 = 0,014 \cdot 10^6 + 0,86 \cdot 10^6 = 0,87 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Осевое усилие, возникающее под пакером P_2 :

$$P_2 = 0,785 \cdot D^2 \cdot P_y = 0,785 \cdot 0,116^2 \cdot 48 \cdot 10^6 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Проверяем выполнение условия устойчивости

$$T > P_2 \cdot k = 0,87 \cdot 10^6 > 0,5 \cdot 10^6 \cdot 1,25 = 0,63 \cdot 10^6$$

Условие выполняется.

Определим высоту подъема колонны δ :

$$\delta = \frac{\rho_{см} \cdot L \cdot Q_2}{E_{см} \cdot q} = \frac{7850 \cdot 1450 \cdot 62588}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,4} = 0,77 \text{ м}$$

Выполним расчёт межтрубного пространства

$$\Delta d = \mu \frac{Q_2 \cdot d}{2E_y \cdot 0,785(d^2 - d_{HKT}^2)} = 0,485 \frac{62588 \cdot 0,114}{2 \cdot 188 \cdot 10^5 \cdot 0,785(0,114^2 - 0,048^2)} = 0,01 м$$

Проверим выполнение условия уплотнения межтрубного пространства

$$\Delta d > D - d = 0,01 > 0,116 - 0,114 = 0,01 > 0,002$$

Условие выполняется, следовательно, пакер при проведении ГРП обязательно должен монтироваться в скважине вместе с якорем [2].

Задание

Выполнить расчёт задачи 2 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
глубина скважины $L, м$	1250	1300	1200	1400	1350	1280	1320	1420	1440	1280
давление на устье при ГРП P_y	45	46	42	50	48	44	48	45	47	43
$d_{ок}, м$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$\rho_{ст}, кг/м^3$	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850	7850
$E_{ст}, Па$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$	$2,1 \cdot 10_{11}$
$\rho_{жс}, кг/м^3$	1050	1100	1000	1150	1200	1050	1100	1150	1000	1200
$d, м$	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114	0,114
f	0,8	0,82	0,8	0,82	0,8	0,82	0,8	0,82	0,8	0,82
$d_{HKT} мм$	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Задача 3

Рассчитать параметры и детали превентора, а также выполнить расчёт сжатого стержня на устойчивость для следующих исходных данных: диаметр штока $d_{ш}=0,1м$; длина штока $l=0,4м$; давление в скважине $P_c=35МПа$; давление в гидроцилиндре $P_z=10МПа$; a – высота плиты, $a=0,04м$; S – толщина плиты, $S=0,022м$.

Решение

Определим площадь сечения штока $F м^2$:

$$F = \frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-3} м^2,$$

тогда момент инерции $J м^4$:

$$J = \frac{\pi \cdot d_{ш}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,1^4}{64} = 4,91 \cdot 10^{-6} м^4.$$

Определим радиус инерции $i м$:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} = \sqrt{\frac{4,91 \cdot 10^{-6}}{7,85 \cdot 10^{-3}}} \sqrt{0,625 \cdot 10^{-3}} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приведённая длина l_{np} м:

$$l_{np} = \nu \cdot l,$$

где ν – приведённый коэффициент длины, $\nu=0,7$;

$$l_{np} = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28 \text{ м,}$$

Тогда гибкость штока λ :

$$\lambda = \frac{l_{np}}{i} = \frac{0,28}{25 \cdot 10^{-3}} = 11,2$$

Определим предел прочности штока $[\sigma]_{пр}$:

$$[\sigma]_{np} = \varphi \cdot [\sigma],$$

где по рекомендациям примем $\varphi=0,45$; $[\sigma]=160 \text{ МПа}$

$$[\sigma]_{np} = 0,45 \cdot 160 = 72 \text{ МПа}$$

Расчётное значение прочности σ МПа:

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где P – усилие, развиваемое штоком, $P=309250 \text{ Н}$

$$\sigma = \frac{309250}{7,85 \cdot 10^{-3}} = 39,4 \text{ МПа.}$$

Проверим условие прочности

$$[\sigma]_{np} \geq \sigma,$$

$$72 \geq 39,4 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, устойчивость штока обладает высоким запасом прочности.

Расчёт гидроцилиндра

Гидравлический цилиндр рассчитываем на прочность из условия заданного диаметра цилиндра. Диаметр гидравлического цилиндра определяется в зависимости от давления на поршень при закрытом преленторе, необходимого, чтобы преодолеть выталкивающее усилие.

Усилие, развиваемое гидроцилиндром P_y , кН:

$$P_y = P_c \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4} = 35 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 274,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 274,8 \text{ кН}$$

Усилие на преодоление сил трения Q , Н

$$Q = P_c \cdot \pi \cdot d_{ui} \cdot h_0 \cdot f,$$

где P_c – давление в гидроцилиндре, $P_c=10 \text{ МПа}$; h_0 – высота контактного кольца, $h_0=7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; f – коэффициент трения, $f=0,01 \div 0,07$

$$Q = 10 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 0,05 = 110 \text{ Н}$$

Тогда полное усилие в гидроцилиндре

$$P = P_y + Q = 274800 + 110 = 274910 = 274,9 \cdot 10^3 \text{ Н} = 274,9 \text{ кН}$$

Площадь поршня гидроцилиндра

$$F = \frac{P}{P_c} = \frac{274910}{10 \cdot 10^6} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Диаметр гидроцилиндра D , м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,7 \cdot 10^{-2}}{3,14}} = 0,185 \text{ м}$$

Расчёт крышки гидроцилиндра превентора

Крышка гидроцилиндра испытывает нагрузки, создаваемые давлением внутри цилиндра и давлением в скважине, которое действует на шток поршня

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d_u^2) \cdot P_c}{4} + \frac{\pi \cdot d_u^2 \cdot P_c}{4} = \frac{3,14(0,185^2 - 0,1^2) \cdot 10 \cdot 10^6}{4} + \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 35 \cdot 10^6}{4} = 4,3 \cdot 10^5 H$$

Крышка гидроцилиндра имеет прямоугольную форму и крепится к крышке корпуса превентора шпильками.

С учётом затяжки одна шпилька воспринимает усилие $P_{шт}$, H :

$$P_{шт} = 1,2 \cdot \frac{Q}{z},$$

где 1,2 – коэффициент затяжки; z – число шпилек, $z=12$

$$P_{шт} = 1,2 \cdot \frac{4,3 \cdot 10^5}{12} = 4,3 \cdot 10^4 H$$

Изгибающий момент в тарелке фланца под одной шпилькой M_u , $H \cdot m$

$$M_u = P_{шт} \cdot l,$$

где l – плечо изгиба, $l=0,6m$

$$M_u = 4,3 \cdot 10^4 \cdot 0,6 = 2,58 \cdot 10^4 H \cdot m$$

Момент сопротивления изгибающего участка W , m^3

$$W = \frac{B \cdot h^2}{6},$$

где B – длина сечения, $B=0,14m$; h – высота сечения, $h=0,63m$

$$W = \frac{0,14 \cdot 0,63^2}{6} = 9,26 \cdot 10^{-3} m^3$$

Напряжение изгиба σ , $МПа$

$$\sigma = \frac{M_u}{W} = \frac{2,58 \cdot 10^4}{9,26 \cdot 10^{-3}} = 2,8 МПа$$

$$\sigma \leq [\sigma] \quad 2,8 \leq 160$$

Условие для углеродистой стали выполняется, отсюда следует, что крышка с креплением имеет достаточный запас прочности.

Рассчитаем вкладыш плашки по изгибающим моментам и напряжениям

Изгибающее напряжение σ , $МПа$

$$\sigma = \beta \cdot \frac{P \cdot a^2}{S^2},$$

где β – коэффициент, $\beta=0,1383$; P – давление в превенторе, $P=35МПа$; a – высота плиты, $a=0,04m$; S – толщина плиты, $S=0,022m$.

$$\sigma = 0,1383 \cdot \frac{35 \cdot 10^6 \cdot 0,04^2}{0,022^2} = 16 МПа$$

Условие прочности $\sigma \leq [\sigma]$ для углеродистой стали выполняется, следовательно, вкладыши плашки по изгибающим напряжениям достаточно прочны и отвечают необходимым условиям [2,5].

Задание

Выполнить расчёт задачи 3 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
давление в гидроцилиндре, P_c	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
давление в скважине P_c	45	46	42	50	48	44	48	45	47	43
$d_{ш}, м$	0,13	0,12	0,14	0,12	0,15	0,12	0,14	0,13	0,12	0,13
$l, м$	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5
$a, м$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$S, м$	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Задача 4

Выполнить расчёт плунжера гидронасоса при следующих исходных данных: $F_p=200H$; $V_p=2,0м/с$; $L=500мм=0,5м$; $l=25мм$; $d=20мм$; $D=600мм$; $h_{п}=100\%$

Решение

Определяем мощность рычага

$$N_p = F_p \cdot V_p = 200 \cdot 2,0 = 400 Вт$$

Определяем механическое передаточное число рычага:

$$U_m = L/l = 500/25 = 20$$

Рассчитаем силу плунжера ГН (гидронасоса)

$$F_n = F_p \cdot U_m = 200 \cdot 20 = 4000 Н$$

Рассчитаем скорость плунжера ГН:

$$V_n = V_p / U_m = 2,0/20 = 0,1 м/с$$

Определим мощность плунжера ГН

$$N_n = F_n \cdot V_n = 4000 \cdot 0,1 = 400 Вт$$

Определяем гидравлическое передаточное число:

$$U_z = (D/d)^2 = (600/20)^2 = 900$$

Рассчитаем силу поршня ГД (гидродвигателя)

$$F_o = F_n \cdot U_z = 4000 \cdot 900 = 3600000 Н$$

Рассчитаем скорость поршня ГД

$$V_o = V_n / U_z = 0,1/900 = 0,00011 м/с$$

Определяем мощность поршня ГД

$$N_o = F_o \cdot V_o = 3600000 \cdot 0,00011 = 396 \approx 400 \text{ Вт}$$

Площадь плунжера ГН

$$S_n = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2$$

Рассчитаем давление воды под плунжером ГН, беря во внимание что:

$$1 \text{ м}^2 = 106 \text{ мм}^2; 1 \text{ МПа} = 106 \text{ Па} = 1 \text{ Н/мм}^2; P = F_n / S_n = 4000 / 314 = 12,74 \text{ МПа}$$

Рассчитаем подачу воды, создаваемую плунжером ГН, для наглядности и удобства последующих расчётов комфортно использовать не $\text{м}^2 \times \text{м/с} = \text{м}^3/\text{с}$, а $\text{см}^2 \times \text{см/с} = \text{см}^3/\text{с}$

$$Q_n = S_n \cdot V_n = 3,14 \cdot 10 = 31,4 \text{ см}^3/\text{с}$$

Мощность потока воды

$$N_e = P \cdot Q_n = 12,74 \cdot 31,4 = 400 \text{ Вт}$$

Определяем вращающий момент на рычаге:

$$T = F_p \cdot L = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ Н·м}$$

Угловая скорость рычага:

$$\omega = V_p / L = 2,0 / 0,5 = 4,0 \text{ с}^{-1}$$

Мощность на рычаге:

$$N_p = T \cdot \omega = 100 \cdot 4,0 = 400 \text{ Вт}$$

Проверяем результаты расчётов. Так как, энергопотери в расчётах не учтены ($h_n=100\%$), то величина мощности во всех случаях должна быть схожа – $N_p=400 \text{ Вт}$ [2,5]

Задание

Выполнить расчёт задачи 4 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F_p, \text{ Н}$	150	160	170	180	190	210	220	250	240	230
$V_p, \text{ м/с}$	1,5	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,5	1,8	1,9	2,0
$L, \text{ мм}$	300	400	600	550	450	350	500	400	600	300
$l, \text{ мм}$	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
$d, \text{ мм}$	25	30	20	25	30	25	20	25	30	20
$D, \text{ мм}$	500	700	600	500	400	600	700	500	400	600
$h_n, \%$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Задача 5

Рассчитать необходимый напор ЭЦН, выбрать насос и электродвигатель для заданных условий скважины: наружный диаметр эксплуатационной колонны – 140мм; глубина скважины L_c – 2000м; дебит жидкости $Q=120 \text{ м}^3/\text{сут}$; статический уровень $h_{ст}=850 \text{ м}$; коэффициент продуктивности скважины $k=60 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{МПа})$; глубина погружения под динамический уровень $h=40 \text{ м}$; кинематическая вязкость жидкости

$\nu=2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; превышение уровня жидкости в сепараторе над устьем скважины $h_c=15 \text{ м}$; избыточное давление в сепараторе $P_c=0,2 \text{ МПа}$; расстояние от устья до сепаратора $l=60 \text{ м}$; плотность добываемой жидкости $\rho_{ж}=880 \text{ кг/м}^3$.

Решение

Определяем площадь внутреннего канала НКТ при $V_{cp}=1,3 \text{ м/с}$:

$$F_{вн} = \frac{Q}{86400 \cdot V_{cp}} = \frac{120 \cdot 10^6}{86400 \cdot 130} 10,68 \text{ см}^2,$$

тогда внутренний диаметр

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{F_{вн} \cdot 10^{-4}}{0,785}} = \sqrt{\frac{10,68}{0,785}} = 3,69 \text{ см} = 37 \text{ мм}$$

Ближайший больший $d_{вн}$ имеют НКТ диаметром 48 мм ($d_{вн}=40 \text{ мм}$).

Скорректируем выбранное значение $V_{cp}=130 \text{ см/с}$:

$$V_{cp} = \frac{Q}{86400 \cdot F_{вн}} = \frac{120 \cdot 10^6}{86400 \cdot 0,785 \cdot 4^2} = 110,58 \approx 110,6 \text{ см/с}$$

При выборе НКТ при дебите $120 \text{ м}^3/\text{сут.}$ и КПД=0,96, также получим НКТ диаметром 48 мм .

Тогда депрессия будет равна:

$$\Delta h = \frac{Q \cdot 10^6}{k \cdot \rho_{ж} \cdot g} = \frac{120 \cdot 10^6}{60 \cdot 880 \cdot 9,81} = 231,7 \approx 232 \text{ м.}$$

Определяем число Рейнольдса

$$Re = \frac{V_{cp} \cdot d_{вн}}{\nu} = \frac{1,106 \cdot 0,04}{2 \cdot 10^{-6}} = 22120$$

Относительная гладкость труб

$$k_s = \frac{d_{вн}}{2 \cdot \Delta},$$

где Δ – шероховатость стенок труб, принимаемая для незагрязнённых отложениями солей и парафина труб равной $0,1 \text{ мм}$

$$k_s = \frac{0,04}{2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}} = 200$$

тогда значение λ

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \text{ т.к. } Re > 2300 \quad \lambda = \frac{0,3164}{22120^{0,25}} = 0,025 \approx 0,03$$

Глубина спуска насоса

$$L = h_{ct} + \Delta h + h = 850 + 232 + 40 = 1122 \text{ м}$$

Определим потери на трение в трубах:

$$h_{тр} = \lambda \cdot \frac{(L + l) \cdot V_{cp}^2}{d_{вн} \cdot 2 \cdot g} = 0,03 \cdot \frac{(1122 + 60) \cdot 1,106^2}{0,04 \cdot 2 \cdot 9,81} = 55,27 \approx 55,3 \text{ м}$$

Определим потери напора в сепараторе

$$h_c = \frac{P_c}{\rho_{ж} \cdot g} = \frac{0,2 \cdot 10^6}{880 \cdot 9,81} = 23,17 \approx 23,2 \text{ м}$$

Необходимый напор определим:

$$H_c = h_{ct} + \Delta h + h_{тр} + h_c + h = 850 + 232 + 55,3 + 15 + 23,2 = 1175,5 \text{ м} \approx 1176 \text{ м}$$

Для получения дебита $Q=120 \text{ м}^3/\text{сут}$ и напора $H_c=1176 \text{ м}$ выбираем ЭЦН5-130-1200 с числом ступеней 282, учитывая, что эксплуатационная колонна у нас диаметром 140 мм

(гр.5). По графику насоса в рабочей области характеристики, при дебите $120\text{м}^3/\text{сут.}$ напор ЭЦН на воде составит 1250м.

Из соотношения $H_{\text{жс}} = H_{\text{в}} \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{жс}}}$, где $H_{\text{в}}$ – табличное значение напора ЭЦН; $\rho_{\text{в}}$ – плотность пресной воды; $\rho_{\text{жс}}$ – плотность реальной жидкости, найдём напор насоса на реальной жидкости, если по условию $\rho_{\text{жс}}=880\text{кг/м}^3$.

$$H_{\text{жс}} = 1250 \cdot \frac{1000}{880} = 1420\text{ м}$$

Так как вязкость жидкости не превышает 3 сантипауз, то пересчёт по вязкости жидкости не требуется.

Для совмещения характеристик насоса и скважины определим число ступеней, которое необходимо снять с насоса:

$$\Delta z = \left[1 - \frac{H_{\text{с}}}{H_{\text{жс}}} \right] \cdot z = \left[1 - \frac{1176}{1420} \right] \cdot 282 = 47,9 \approx 48$$

Следовательно, насос должен иметь $z=282-48=234$ ступени, вместо снятых устанавливаются проставки. Напор одной ступени составляет $5,03\text{м.}$

Совмещая напоры ЭЦН и скважины, уменьшаем подачу ЭЦН, одновременно уменьшаем его КПД.

Полезная мощность электродвигателя:

$$N_n = \frac{Q \cdot \rho_{\text{жс}} \cdot g \cdot H_{\text{с}}}{86400 \cdot 1000 \cdot \eta_n} = \frac{120 \cdot 880 \cdot 9,81 \cdot 1176}{86400 \cdot 1000 \cdot 0,57} = \frac{120 \cdot 880 \cdot 1176}{86400 \cdot 102 \cdot 0,57} = 24,7\text{ кВт},$$

где $\eta_n=0,57$ – КПД насоса. Необходимая мощность двигателя

$$N_{\text{н}} = \frac{N_n}{\eta_n} = \frac{24,7}{0,94} = 26,3\text{ кВт}$$

По каталогу подбираем электродвигатель ближайший больший по типоразмеру. Это ПЭД28-103 с КПД 0,73, напряжение 850В; сила тока 34,7 А; $\cos\alpha=0,75$; температура окружающей среды до 70°C [2].

Задание

Выполнить расчёт задачи 5 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L_{\text{с}}, \text{м}$	1500	1600	1700	1800	1900	2100	2200	2500	2400	2300
$Q, \text{м}^3/\text{сут}$	150	160	170	180	170	160	150	180	190	200
$h_{\text{ст}}, \text{м}$	800	700	600	750	850	650	700	800	600	700
$h, \text{м}$	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
$h_{\text{г}}, \text{м}$	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
$l, \text{м}$	50	70	60	50	40	60	70	50	40	60
$P_{\text{с}}, \text{МПа}$	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,25	0,2	0,25	0,3	0,2
$\rho_{\text{жс}}, \text{кг/м}^3$	800	850	860	880	900	870	860	880	890	850
$\nu, \text{м}^2/\text{с}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Задача 6

По заданным условиям эксплуатационной скважины и оборудованию определить глубину погружения ЭЦН под динамический уровень при наличии газового фактора и высоту подъёма жидкости газом: наружный диаметр эксплуатационной колонны – 146мм; глубина скважины $L_c=2000м$; дебит жидкости $Q=120м^3/сут$; динамический уровень $h_d=1098м$; тип насоса ЭЦН5-130-1200; необходимый напор насоса $H_c=1216м$; газовый фактор $\Gamma=70м^3/м^3$; давление в затрубном пространстве $P_z=1,3МПа$; обводнённость нефти $n=0,40$; плотность газа $\rho_g=1,10кг/м^3$; плотность нефти $\rho_n=880кг/м^3$; температура жидкости на приёме - 50°C.

Решение

Определим давление на приёме скважины для колонн диаметром 140мм примем $\sigma=0,15$. Из данных к расчёту $T_0=288°K$; $T=323°K$; $n=0,4$.

Принимая газосодержание на приёме $\beta=0,25$; $V_{pg}=47м^3/м^3$

По графикам определим псевдокритические давления и температуру по относительной плотности газа:

$$\rho_z^{20} = \frac{\rho_z}{\rho_g} = \frac{1,10}{1,22} = 0,9 \quad P_{нк}=46,1кгс/см^2 \quad T_{нк}=250°K$$

Принимая предварительно давление на приёме насоса 5МПа, найдём приведённые давление и температуру:

$$P_n = \frac{5}{4,7} = 1,06; \quad T_n = \frac{323}{250} = 1,29$$

Определим λ_n

$$\lambda_n = [4,3 + 0,858 \cdot \rho_z^{20} + 5,2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \Gamma) \cdot \Gamma - 3,54 \cdot \rho_n^{20}] \cdot 10^{-3} =$$

$$[4,3 + 0,858 \cdot 0,9 + 5,2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 70) \cdot 70 - 3,54 \cdot 0,88] \cdot 10^{-3} = 2,282 \cdot 10^{-3}$$

По графикам Брауна найдём $z=0,82$ и определим объёмный коэффициент нефти

$$B_n = 1 + \lambda_n \cdot \Gamma + \alpha_n \cdot (t_{np} - 20) - \beta_n \cdot P_{nn},$$

где β_n – коэффициент сжимаемости нефти, $\beta_n=6,5 \cdot 10^{-1} 1/МПа$; α_n – температурный коэффициент, при $0,86 < \rho_n < 0,96$ $\alpha_n=10^{-3} \cdot (2,513 - 1,975)$; λ_n – безразмерный параметр, равный отношению удельного приращения объёма при растворении в ней газа к газосодержанию.

$$B_n = 1 + 2,282 \cdot 10^{-3} \cdot 70 + 2,513 \cdot 10^{-3} \cdot (50 - 20) - 6,5 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = 1,232$$

Используя полученные данные определим P_{np}

$$P_{np} = \frac{(\Gamma - V_{pg}) \cdot (1 - \sigma) \cdot P_0 \cdot z \cdot T \cdot (1 - n) \cdot (1 - \beta)}{\beta \cdot T_0 \cdot [1 + (B_n - 1) \cdot (1 - n)]} =$$

$$= \frac{(70 - 47) \cdot (1 - 0,15) \cdot 0,1033 \cdot 0,82 \cdot 323 \cdot (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,25)}{0,25 \cdot 288 \cdot [1 + (1,232 - 1) \cdot (1 - 0,4)]} = 2,93МПа$$

Учитывая найденное давление на приёме насоса, вновь определим приведённое давление:

$$P_n = \frac{2,93}{4,7} = 0,62; \quad T_n=1,29$$

$$\text{тогда } B_n = 1,235 - 6,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2,93 = 1,233 \quad P_{np} = \frac{258,3}{82,02} = 3,15МПа$$

Вновь определяя $P_n=3,15/4,7=0,67$, из графиков найдём $z=0,87$, а $P_{np}=3,11МПа$, т.е. уточнение приблизительно на 1%, что выше точности определения z по графикам. Поэтому определим $P_{np}=3,15МПа$.

Определим $\rho_{см}$:

$$\rho_{см} = [\rho_n \cdot (1-n) + \rho_g \cdot n] \cdot (1-\beta) + \rho_z \cdot \beta = [880 \cdot (1-0,4) + 1000 \cdot 0,4] \cdot (1-0,25) + 1,1 \cdot 0,25 = 696,3 \text{ кг/м}^3$$

Найдём глубину погружения насоса под динамический уровень

$$h = \frac{(P_{np} - P_z) \cdot 10^6}{\rho_{см} \cdot g} = \frac{(3,15 - 1,3) \cdot 10^6}{696,3 \cdot 9,81} = 270,8 \approx 271 \text{ м}$$

Глубина спуска насоса

$$L = h_d + h = 1098 + 271 = 1369 \text{ м}$$

Высоту подъёма жидкости расширяющимся газом определим двумя методиками, как:

$$X = \frac{1}{\rho_{жс} \cdot g} \cdot [G - V_{гв}] \cdot (1-n) \cdot P_0 \cdot \eta \cdot \ln \frac{P_{нас} + P_0}{P_y + P_0} = \frac{1}{880 \cdot 9,81} \cdot [70 - 47] \cdot (1-0,4) \cdot 0,1 \cdot 10^6 \times \\ \times 0,65 \cdot \ln \frac{11 + 0,1}{0,2 + 0,1} = 375 \text{ м}$$

где $P_{нас} = 110 \text{ атм} = 11 \text{ МПа}$

По второй методике

$$H_z = 1,575 \cdot d \cdot G \cdot \left[1 - \sqrt[3]{\frac{P_{гвф}}{P_{нас}}} \right] \cdot (1-n) = 1,575 \cdot 4 \cdot 70 \cdot \left[1 - \sqrt[3]{\frac{2}{110}} \right] \cdot (1-0,4) = 195 \text{ м}$$

Так как из практики высота подъёма жидкости за счёт энергии газа в среднем равна 250 м, точнее расчёт по второй методике.

Таким образом, необходимый напор ЭЦН может быть снижен за счёт полезной работы газа в НКТ.

$$H_c = 1216 - 195 = 1021 \text{ м}$$

С учётом падения пластового давления и применения поправочного коэффициента:

$$H_c = 1216 - 0,7 \cdot 195 = 1080 \text{ м.}$$

Данные расчёты помогают существенно уточнить необходимую глубину погружения ЭЦН под динамический уровень, величину напора за счёт подъёмной силы газа [5].

Задание

Выполнить расчёт задачи 6 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L_c, \text{ м}$	1500	1600	1700	1800	1900	2100	2200	2500	2400	2300
$Q, \text{ м}^3/\text{сут}$	150	160	170	180	170	160	150	180	190	200
$h_d, \text{ м}$	1080	1070	1060	1075	1085	1065	1070	1080	1060	1070
$G, \text{ м}^3/\text{м}^3$	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
$H_c, \text{ м}$	1250	1225	1220	1200	1210	1215	1230	1220	1216	1200
n	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
$P_z, \text{ МПа}$	1,25	1,3	1,2	1,25	1,3	1,25	1,2	1,25	1,3	1,2
$\rho_n, \text{ кг/м}^3$	800	850	860	880	900	870	860	880	890	850
$\rho_z, \text{ кг/м}^3$	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
$t_{np}, ^\circ\text{C}$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Задача 7

Определить производительность и коэффициент подачи ШГНУ: глубина скважины $H=1500\text{м}$; глубина спуска насоса $L=1400\text{м}$; диаметр насоса $D_{пл}=38\text{мм}$; диаметр штанг $d_{ум}=19\text{мм}$; $d_{мп}=60\text{мм}$; плотность нефти $\rho_n=850\text{кг/м}^3$; длина хода точки подвеса штанг $S_a=2,1\text{м}$; число качаний $n=10\text{мин}^{-1}$; забойное давление $P_{заб}=30\text{кгс/см}^2$; содержание воды $n_b=0,25$.

Решение

Определим плотность жидкости

$$\rho_{жс} = \rho_n \cdot (1 - n_b) + \rho_g \cdot n_b = 850 \cdot 0,75 + 1000 \cdot 0,25 = 887,5 \text{ кг/м}^3$$

Расстояние до динамического уровня

$$h_o = H - \frac{P_{заб}}{\rho_{жс} \cdot g} = 1500 - \frac{3 \cdot 10^6}{887,5 \cdot 9,81} = 1155 \text{ м}$$

Вес столба жидкости над плунжером, полагая, что $P_{буф}=0$

$$P_{жс} = h_o \cdot \rho_{жс} \cdot F \cdot g = 1155 \cdot 887,5 \cdot 0,785 \cdot 0,038^2 \cdot 9,81 = 11399 \text{ Н} \approx 11400 \text{ Н}$$

Определим производительность по теории А.М. Юрчука, предварительно определим:

$$\lambda_{ум} + \lambda_{мп} = \frac{11400 \cdot 1400}{2,1 \cdot 10^{11}} \cdot \left[\frac{1}{2,83 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{7,84 \cdot 10^{-4}} \right] = 0,365 \text{ м}$$

$$f_{ум} = 0,785 \cdot 0,019^2 = 2,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$F = 0,785 \cdot 0,038^2 = 11,34 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$f_{мп} = 0,785 \cdot (0,06^2 - 0,051^2) = 7,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$Q_\phi = 1440 \cdot F \cdot n \cdot \left[S_a - (\lambda_{ум} + \lambda_{мп}) + \frac{225 \cdot L^2 \cdot n^2 \cdot S_a}{10^{12}} \right] =$$

$$= 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \left[2,1 - 0,365 + \frac{225 \cdot 1400^2 \cdot 10^2 \cdot 2,1}{10^{12}} \right] = 26,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Производительность по формуле А.Н. Адонина

$$\mu = \frac{\omega \cdot L}{a} = \frac{\pi \cdot n \cdot L}{30 \cdot 5000} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 1400}{30 \cdot 5000} = 0,293$$

Режим откачки статический, $D_{пл} < 43$, $m=1$

$$Q_\phi = 1440 \cdot F \cdot n \cdot \left[S_a \cdot \left(1 + m \cdot \frac{\mu^2}{2} \right) - (\lambda_{ум} + \lambda_{мп}) \right] =$$

$$= 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \left[2,1 \cdot \left(1 + \frac{0,293^2}{2} \right) - 0,365 \right] = 29,80 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Производительность по формуле А.С. Вирновского

$$\mu = \frac{0,293 \cdot 180}{3,14} = 16,8^\circ; \quad \cos \mu = 0,957$$

$$Q_\phi = 1440 \cdot F \cdot n \cdot \left[\frac{S_a}{\cos \mu} - (\lambda_{ум} + \lambda_{мп}) \right] = 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \left[\frac{2,1}{0,957} - 0,365 \right] = 29,87 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Определим производительность при условии, что $h=0,6\text{с}^{-1}$

$$\beta = \frac{h \cdot L}{a} = \frac{0,6 \cdot 1400}{5000} = 0,168 \quad sh\beta = \frac{e^\beta - e^{-\beta}}{2} = \frac{1,182 - 0,846}{2} = 0,168$$

$$Q_{\phi} = 1440 \cdot F \cdot n \cdot \left[\frac{S_a}{(\cos^2 \mu + \sin^2 \beta)^{1/2}} - (\lambda_{um} + \lambda_{mp}) \right] =$$

$$= 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \left[\frac{2,1}{(0,957^2 + 0,168^2)^{1/2}} - 0,365 \right] = 29,33 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Определим производительность полагая, что сила сопротивления движению плунжера $P_c = 4\kappa H$

$$\lambda_{c\kappa} = \frac{P_c \cdot L}{E_{\text{ш}} \cdot f_{\text{ш}}} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 1400}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,83 \cdot 10^{-4}} = 0,094 \text{ м}$$

Изгиб штанг под действием P_c

$$\lambda_{uz} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 0,016^2 \cdot 195}{8 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 6,39 \cdot 10^{-9}} = 0,019 \text{ м}, \text{ где } P_c = \frac{d_m - d_{\text{ш}}}{2} = \frac{0,051 - 0,019}{2} = 0,016 \text{ м}$$

$$L_{c\kappa} = \frac{P_c}{q_{\text{ш}}} = \frac{4 \cdot 10^3}{2,35 \cdot \left[1 - \frac{\rho_{\kappa}}{\rho_m} \right] \cdot g} = \frac{4 \cdot 10^3}{2,35 \cdot \left[1 - \frac{887,5}{7650} \right] \cdot 9,81} = 195 \text{ м}$$

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} = 0,785 \cdot 0,0095^4 = 6,39 \cdot 10^{-9}$$

тогда $\lambda = 0,365 + 0,094 + 0,019 = 0,478$

$$Q_{\phi} = 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot \left[\frac{2,1}{0,957} - 0,478 \right] = 28,0 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Существенных отличий в расчётах различными методами нет.

Определим коэффициент подачи

$$Q_m = 1440 \cdot F \cdot n \cdot S_a = 1440 \cdot 11,34 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 2,1 = 16,33 \cdot 2,1 = 34,29 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Коэффициент подачи

$$\eta = \frac{Q_{\phi}}{Q_m} = \frac{29,87}{34,29} = 0,871$$

с учётом вязкости жидкости

$$\eta = \frac{29,33}{34,29} = 0,855 \text{ [2]}$$

Задание

Выполнить расчёт задачи 7 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L_c, \text{ м}$	1500	1600	1700	1800	1900	2100	2200	2500	2400	2300
$H, \text{ м}$	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300	2600	2500	2400
$D_{\text{пл}}, \text{ мм}$	38	40	42	40	38	40	42	40	38	40
$d_{\text{ш}}, \text{ мм}$	19	20	22	20	19	20	22	20	19	20
$d_{\text{мп}}, \text{ мм}$	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
$S_a, \text{ м}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
$n, \text{ мин}^{-1}$	12	11	10	12	11	10	12	11	10	12
$P_z, \text{ кгс/см}^2$	30	32	35	36	32	30	34	36	32	30
$\rho_n, \text{ кг/м}^3$	800	850	860	880	900	870	860	880	890	850
$n_6,$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$t_{\text{нр}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Задача 8

Выбрать и рассчитать на прочность одноступенчатую колонну штанг для СК-6-2,1-2500: диаметр насоса $D_{nl}=38\text{мм}$; глубина спуска насоса $L=600\text{м}$; динамический уровень $h_d=520\text{м}$; плотность жидкости $\rho_{жс}=850\text{кг/м}^3$; буферное давление $P_б=0,3\text{МПа}$.

Решение

Выберем предварительно штанги диаметром 19мм и определим параметр Коши

$$\mu = \frac{1,57 \cdot 600}{5100} = 0,185 \quad (\omega=1,57\text{с}^{-1})$$

Режим статический

Определим перепад давления над плунжером

$$\Delta P_{жс} = P_{ст} + P_б + P_c - P_c$$

Полагаем, что гидравлическое сопротивление движению жидкости в трубах мало, $P_T=0$, тогда определим:

$$P_{ст} = 600 \cdot 850 \cdot 9,81 = 5 \text{ МПа}$$

Давление под плунжером:

$$P_c = (L - h_d) \cdot \rho_{жс} \cdot g = (600 - 520) \cdot 850 \cdot 9,81 = 0,667 \text{ МПа}$$

Перепад давления над плунжером

$$\Delta P = (5,00 + 0,3 - 0,667) \cdot 10^6 = 4,633 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Для СК-6-2,1-2500 максимальное число $n=15$, длина хода $S_a=2,1\text{м}$

Кинематический показатель

$$m = \frac{1 + r/L_{ш}}{\sqrt{1 - (r/k)^2}} = \frac{1 + \frac{1000}{2500}}{\sqrt{1 - \left[\frac{1000}{2100}\right]^2}} = 1,26 \approx 1,3$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 15}{30} = 1,57 \text{ с}^{-1}$$

Амплитуда напряжения цикла

$$\sigma_a = \frac{a_c}{2} \cdot \frac{D^2}{d_{ш}^2} \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{жс} \cdot g} + m_{cp} \cdot \rho_{ш} \cdot \frac{\omega^2 \cdot S_a}{2} \cdot X = \frac{115000}{2} \cdot \frac{0,038^2}{0,019^2} \cdot \frac{4,533 \cdot 10^6}{850 \cdot 9,81} + 1,3 \cdot 7850 \cdot \frac{1,57^2 \cdot 2,1}{2} \cdot 600 = 12,78 \cdot 10^6 + 15,96 \cdot 10^6 = 28,63 \text{ МПа}$$

Среднее напряжение в штангах

$$\sigma_{cp} = \left[\frac{D^2}{2 \cdot d_{ш}^2} - 1 \right] \cdot \Delta P + \rho_{ш} \cdot g \cdot X = \left[\frac{0,038^2}{2 \cdot 0,019^2} - 1 \right] \cdot 4,633 \cdot 10^6 + 7850 \cdot 9,81 \cdot 600 = 4,633 \cdot 10^6 + 46,2 \cdot 10^6 = 50,82 \text{ МПа}$$

По формуле А.С. Аливердизаде

$$\sigma_{cp} = X \cdot (\rho_{ш} - \rho_{жс}) \cdot g + a_c \cdot \frac{D^2}{2 \cdot d_{ш}^2} \cdot \Delta P = 600 \cdot (7850 - 850) \cdot 9,81 + 1,15 \cdot \frac{0,038^2}{2 \cdot 0,019^2} \times 4,633 \cdot 10^6 = 10,65 \cdot 10^6 + 41,2 \cdot 10^6 = 51,85 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$$

Максимальное напряжение

$$\sigma_{max} = \sigma_{cp} + \sigma_a = 51,85 + 28,63 = 80,48 \text{ МПа}$$

Приведённое напряжение

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_a \cdot \sigma_{max}} = \sqrt{28,63 \cdot 80,48} = 48,00 \text{ МПа}$$

Допустим штанги из ст.40 нормализованные $\sigma_{np}=70 \text{ МПа}$, $\sigma_m=320 \text{ МПа}$ [8]

Задание

Выполнить расчёт задачи 8 в соответствии с вариантом задания. Вариант задания выбирается по последней цифре зачётной книжки.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L_c, \text{ м}$	1500	1600	1700	1800	1900	2100	2200	2500	2400	2300
$H, \text{ м}$	1600	1700	1800	1900	2000	2200	2300	2600	2500	2400
$D_{пл}, \text{ мм}$	38	40	42	40	38	40	42	40	38	40
$h_d, \text{ м}$	519	520	522	520	519	520	522	520	519	520
$d_{тр}, \text{ мм}$	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
$S_a, \text{ м}$	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
$n, \text{ мин}^{-1}$	12	11	10	12	11	10	12	11	10	12
$P_{\bar{o}}, \text{ МПа}$	0,30	0,32	0,35	0,36	0,32	0,30	0,34	0,36	0,32	0,30
$\rho_n, \text{ кг/м}^3$	800	850	860	880	900	870	860	880	890	850
$n_6,$	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$t_{np}, ^\circ\text{C}$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Примечание: Остальные исходные данные можно использовать из примера задачи

Требования к оформлению работ

Работу оформлять в соответствии с общими требованиями к оформлению работ, при этом руководствуясь Методическими рекомендациями [1].

Глоссарий

ГД – гидродвигатель, гидравлическая машина, предназначенная для преобразования гидравлической энергии в механическую.

ГН – гидронасос, гидравлическая машина, преобразующая механическую энергию приводного гидродвигателя в энергию потока жидкости, служащую для перемещения и создания напора жидкостей всех видов.

ГРП – гидроразрыв пласта, метод интенсификации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения приёмистости нагнетательных скважин.

Дебит скважины – (фр. *debit* — сбыт, расход) — объём жидкости (воды, нефти) или газа, стабильно поступающий из некоторого естественного или искусственного источника в единицу времени.

Динамический уровень скважины — уровень пластовой жидкости, который устанавливается в затрубном пространстве буровой скважины в процессе её работы.

Забой скважины — нижняя часть (дно) скважины.

КПД — коэффициент полезного действия, показатель эффективности работы любого оборудования или характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии.

Напор насоса — избыточное давление, создаваемое насосом. Напор измеряется в м.

НКТ — насосно — компрессорные трубы, тип труб, используемых при эксплуатации газовых и нефтяных скважин, для транспортировки газообразных и жидкообразных веществ, а также при ремонтных и спуско-подъёмных работах на скважине.

Пакер — (англ. *Packer* — уплотнитель, от *pack* — упаковывать, уплотнять) приспособление в буровой скважине для перекрытия и герметизации отдельных зон скважин (нефтяных, газовых, водяных, геологоразведочных).

Подача насоса — это обеспечиваемый насосом расход (объем) перекачиваемой жидкости за единицу времени, например, л/мин или м³/ч.

Сепаратор — (лат. *Separator* — разделитель) — аппарат, производящий разделение продукта на фракции с разными характеристиками.

Скважина — горная выработка круглого сечения, пробуренная с поверхности земли или с подземной выработки без доступа человека к забою под любым углом к горизонту, диаметр которой намного меньше её глубины. Бурение скважин проводят с помощью специального бурового оборудования.

СК — станок — качалка, тип наземных приводов скважинных штанговых насосов.

УЭЦН — установка электроцентробежного насоса, тип погружного насосного оборудования, применяемого для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин и форсирования отбора жидкости.

Устье скважины — верхняя часть (начало) скважины.

Штанга — вал, для передачи крутящего момента от привода к породоразрушающему инструменту или для передачи механической энергии от привода к погружному скважинному насосу.

ШГНУ — штанговая глубинная насосная установка, тип привода для подъема пластовой жидкости из скважины на дневную поверхность.

ШСНУ — штанговая скважинная насосная установка, тип привода для подъема пластовой жидкости из скважины на дневную поверхность.

ЭЦН — электроцентробежный насос, тип погружного насосного оборудования, применяемого для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин и форсирования отбора жидкости.

Контрольные вопросы

1. Основные показатели надежности машин и оборудования при эксплуатации.
2. Оценка надежности оборудования при эксплуатации.
3. Причины отказов нефтегазопромыслового оборудования при эксплуатации.
4. Классификация причин отказов оборудования.
5. Сорбционно-механическое разрушение элементов оборудования.
6. Обеспечение надежности нефтегазопромыслового оборудования при эксплуатации.
7. Техническое обслуживание и ремонт оборудования, техническое диагностирование и прогнозирование технического состояния оборудования.
8. Технологические методы поддержания надежности оборудования при эксплуатации.
9. Хранение оборудования.
10. Основы монтажа нефтегазопромыслового оборудования.
11. Смазочные материалы и эффективность их использования.
12. Служба главного механика и базы производственного обслуживания машин и оборудования.
13. Эксплуатационная обкатка. Гарантийные сроки и списание машин и оборудования.
14. Транспортирование оборудования.
15. Смазка и заправка топливом машин.
16. Организация технического обслуживания и ремонта оборудования.
17. Теоретические основы системы планово-предупредительного обслуживания и ремонта.
18. Система ППР технологического оборудования нефтегазовой отрасли.
19. Организация ежесменного и сезонного технического обслуживания, организация периодического технического обслуживания оборудования.
20. Организация технического диагностирования оборудования.
21. Организация текущего ремонта оборудования.
22. Организация капитального ремонта оборудования.
23. Производственные процессы ремонта нефтегазопромыслового оборудования.
24. Диагностика технического состояния машин и оборудования. Техническое прогнозирование.
25. Окраска оборудования.
26. Способы восстановления деталей.
27. Основные технологические методы ремонта деталей.
28. Методика выбора рационального метода ремонта.
29. Типовые технологические процессы ремонта деталей нефтегазопромыслового оборудования.
30. Ремонт деталей типа: валов, втулок, дисков.
31. Ремонт крупногабаритных деталей.

32. Основы проектирования ремонтных предприятий. Стадии проектирования. Методика проектирования.

Список использованных источников

1. Бойчук А.Е. Методические указания к оформлению выпускной квалификационной работы бакалавров направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» / Бойчук А.Е. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2017. – 47с.
2. Бухаленко Е.И. Нефтепромысловое оборудование [Текст]: справочник – 2-е изд., перераб. и доп. / Бухаленко Е.И. – М.: «Недра», 1990. – 559 с.
3. Бухаленко Е.И. Монтаж, обслуживание и ремонт нефтепромыслового оборудования [Текст]: учебник – 2-е изд. перераб. и доп. / Бухаленко Е.И., Абдуллаев Ю.Г. - М.: Недра, 1985. – 391с.
4. Молчанов Г.В. Машины и оборудование для добычи нефти и газа [Текст] / Молчанов Г.В., Молчанов А.Г. – М.: «Недра», 1984. – 464с.
5. Сулейманов А.В. Практические расчеты при текущем и капитальном ремонте скважин [Текст]: учеб. пособие для техникумов / Сулейманов А.В., Карапетов К.А., Яшин А.С. - М.: Недра, 1984. – 225с.
6. Ремонт и монтаж бурового и нефтегазопромыслового оборудования [Текст] / Авербух Б. А. и др. – М.: Недра, 1976. – 368 с.
7. Расчет и конструирование бурового оборудования [Текст]: учебное пособие для вузов / Ильский А. Л. и др. – М.: Недра, 1985. – 452 с
8. Юрчук А.М. Расчеты в добыче нефти [Текст] / Юрчук А.М., Истомин А.З. - М.: Недра, 1989. – 270с.