

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра бурения скважин

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКВАЖИН

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 622.24-241 (073)

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКВАЖИН: Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *М.В. Нуцкова, М.Ю. Мерзляков, К.С. Кулавых*. СПб, 2020. 19 с.

Приводятся расчеты при текущем и капитальном ремонте скважин, даются технические характеристики оборудования и инструмента для решения поставленных задач.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 21.03.01 «Нефтегазовое дело» профиля «Бурение нефтяных и газовых скважин».

Научный редактор проф. *Н.И. Николаев*

Рецензент канд. техн. наук *В.Я. Климов* (СК «Тектоника»)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предмет курса «Реконструкция и восстановление скважин» направлен на изучение основных расчетов при текущем и капитальном ремонте скважин, связанных с глушением скважин, выбора наземных сооружений, оборудования и инструмента, ремонтно-исправительных и изоляционных и ловильных работ, методами увеличения проницаемости пород призабойной зоны скважин, зарезки и бурения второго ствола и т.д.

Изучение данной дисциплины позволяет сформировать у студентов необходимые знания и практические навыки при, производстве ремонтных работ, присущих различным способам эксплуатации нефтяных и газовых скважин, а также изучить технические средства для проведения отдельных видов ремонтных работ.

В конце методических указаний даются технические характеристики инструмента, необходимые для решения приводимых задач.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЛИНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Вес эксплуатационной колонны рассчитывается по формуле:

$$G = q_{\text{бт}} \cdot L + q_3(L/l), \quad (1.1)$$

где $q_{\text{бт}}$ – вес 1 м гладкой буровой трубы, Н; L – длина колонны буровых труб, м; q_3 – вес замкового соединения буровой трубы, Н; l – средняя длина трубы, м.

Площадь сечения трубы определяется по формуле:

$$F = \frac{\pi}{4}(d_{\text{н}}^2 - d_{\text{в}}^2), \quad (1.2)$$

где $d_{\text{н}}$, $d_{\text{в}}$ – соответственно наружный и внутренний диаметры трубы, м.

Удлинение эксплуатационной колонны определяется по следующей формуле:

$$\Delta l = \frac{GL}{EF}, \quad (1.3)$$

где E – модуль упругости данного материала, для стали $E = 2,0 \cdot 10^{11}$ Па.

Задание. По исходным данным, приводимым в конце методических указаний, определить удлинение эксплуатационной колонны.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ РАСТЯГИВАЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ЛОВИЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

К наиболее сложным и трудоемким видам работ, выполняемых при капитальном ремонте скважин, относятся ловильные работы.

Из всех видов ловильных инструментов широко применяют освобождающиеся инструменты с плашечно-клиновидными и резьбо-нарезными захватными устройствами. При использовании инструментов с плашечно-клиновидным захватным механизмом необходимо правильно выбрать растягивающие усилия для обеспечения надежного сцепления плашек с поверхностью тела трубы для ее успешного отвинчивания (табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Значения растягивающей нагрузки на ловильный инструмент в зависимости от применяемых НКТ

Показатель	Условный диаметр НКТ, мм					
	48	60	73	89	102	114
Оптимальная растягивающая нагрузка на ловильный инструмент, кН	15-20	20-30	50-60	70-80	100	100-120

При отвинчивании аварийных НКТ с усилиями меньшими, чем указаны в таблице 2.1, может произойти скольжение плашек труболовки, и процесс отвинчивания труб окажется безуспешным.

В случае невозможности отвинчивания аварийных труб ловильный инструмент необходимо освободить. Освобождение осуществляется резким его спуском (страгиванием), в результате чего плашки утапливаются, а затем фиксируются в указанном положении для исключения перемещения их вниз по корпусу ловильного инструмента. Из заклиненного состояния плашки выводятся путем передачи части веса бурильной колонны (страгивающей нагрузки $P_{стр}$) на ловильный инструмент.

Соотношение страгивающей нагрузки $P_{стр}$ и растягивающей $P_{раст}$ нагрузок характеризует коэффициент освобождения ловильного инструмента:

$$m = \frac{P_{стр}}{P_{раст}} < 1. \quad (2.1)$$

При ловильных работах с помощью освобождающихся труболовок с плашечно-клиновидными захватами необходимо учитывать коэффициент освобождения применяемого инструмента для определения максимально допустимого растягивающего усилия, передаваемого непосредственно на ловильный инструмент. При этом допустимая растягивающая нагрузка, определяемая по коэффициенту m , не должна превышать допустимую грузоподъемную силу ловильного инструмента.

Учитывая возможные погрешности при определении величины и соотношения страгивающих (сжимающих) и

растягивающих нагрузок при ловильных работах, а также во избежание не освобождения ловильного инструмента от захвата для практического пользования рекомендован $m=0,25$.

Вес колонны бурильных труб:

$$G_{\text{бк}} = H \cdot q, \quad (2.2)$$

где q – вес 1 м бурильной трубы с учетом замковых соединений, Н; H – глубина спуска колонны бурильных труб, м.

Максимально допускаемую растягивающую нагрузку на ловильный инструмент определяют по формуле 2.1.

При расчетах необходимо также учитывать грузоподъемную силу вышки и подъемной установки.

Как показала практика, при ловильных работах с отвинчиванием и извлечением колонны аварийных труб по частям не всегда приходится прилагать к ловильному инструменту большую растягивающую нагрузку. Тем не менее, до начала ловильных работ эту нагрузку необходимо определить по приведенному методу.

Задание. По исходным данным, приводимым в конце методических указаний, определить максимально допустимую нагрузку на трубуловку, спущенную в скважину для ликвидации аварии с НКТ.

3. РАСЧЕТ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ХВОСТОВИКА

Процесс крепления скважины состоит из нескольких технологических операций, обеспечивающих закрепление стенок скважины и длительную изоляцию пластов друг от друга, а также от дневной поверхности.

Поскольку гидродинамическое давление зависит от плотности тампонажного раствора и его реологических характеристик, решать данную задачу целесообразно методом последовательных приближений. Для этого задается верхняя и нижняя границы возможных вариаций плотности тампонажного раствора:

$$\rho_{\text{цр}}^{\text{н}} = \rho_{\text{пж}} + 200; \quad (3.1)$$

$$\rho_{\text{цр}}^{\text{в}} = \frac{P_{\text{гр}} - \rho_{\text{пж}}gh}{g(L_{\text{сл}} - h)}, \quad (3.2)$$

где $\rho_{\text{пж}}$ – плотность промывочной жидкости, кг/м³; $L_{\text{сл}}$ – глубина залегания подошвы наиболее слабого пласта, м; h – уровень тампонажного раствора от устья, м.

При этом следует учитывать, что чем меньше плотность тампонажного раствора, тем, как правило, хуже качество образующегося цементного камня. Также следует учесть, что если не оговорены специальные условия, интервал продуктивного пласта и зона на 300 – 500 м выше должна цементироваться цементным раствором нормальной плотности (1800 – 1900 кг/м³).

Определение необходимого объема буферной жидкости:

Объем буферной жидкости рассчитаем по формуле:

$$V_{\text{б.ж}} = 0,785(d_{\text{СКВ}}^2 - d_{\text{Н}}^2)h, \quad (3.3)$$

где $d_{\text{СКВ}}$ – диаметр скважины, м; $d_{\text{Н}}$ – наружный диаметр обсадной колонны, м; h – высота подъема буферной жидкости в кольцевом пространстве (h не менее 200 м).

Определение необходимого объема цементного раствора:

Необходимый объем цементного раствора будет складываться из нескольких объемов:

$$V_{\text{ц.р.}} = V_1 + V_2 + V_3, \quad (3.4)$$

где V_1 – объем межтрубного пространства, м³; V_2 – объем затрубного пространства, м³; V_3 – объем цементного стакана ниже стоп-кольца, м³.

$$V_1 = 0,785(d_{\text{в.пр}}^2 - d_{\text{Н}}^2)h_1; \quad (3.5)$$

$$V_2 = 0,785(d_{\text{СКВ}}^2 - d_{\text{Н}}^2)(H - h_1)k_1; \quad (3.6)$$

$$V_3 = 0,785d_{\text{вН}}^2h_2, \quad (3.7)$$

где H – глубина спуска рассчитываемой колонны, м; h_1 – глубина спуска предыдущей колонны, м; h_2 – высота цементного стакана ($h_2 = 20$ м); $d_{\text{в. пр}}$ – внутренний диаметр предыдущей обсадной колонны, м; $d_{\text{в}}$ – внутренний диаметр обсадной колонны, м; k_1 – коэффициент, учитывающий неровности стенок скважины ($k_1 = 1,1$).

Определение необходимого объема продавочной жидкости:

$$V_{\text{пр}} = 0,785d_{\text{вн}}^2(H - h_2)k_2, \quad (3.8)$$

где k_2 – коэффициент сжимаемости продавочной жидкости ($k_2 = 1,05$).

Определение количества сухого цемента:

$$M_{\text{с.ц}} = k_{\text{ц}}mV_{\text{ц,р}}, \quad (3.9)$$

где $k_{\text{ц}}$ – коэффициент, учитывающий потери сухого цемента при разгрузочных работах (1,03-1,05); m – масса сухого цемента в 1 м³ раствора заданной плотности, кг:

$$m = \frac{\rho_{\text{ц,р}}}{1 + \text{в/ц}}, \quad (3.10)$$

где $\rho_{\text{ц,р}}$ – выбранная на основании формул (3.1) и (3.2) плотность цементного раствора, кг/м³; в/ц – водоцементное отношение (для цементных растворов нормальной плотности (1800 ÷ 1900 кг/м³) – 0,4 ÷ 0,55; для облученных растворов – 0,6 ÷ 1,2).

Определение количества воды, необходимого для затворения:

$$V_{\text{в}} = \frac{\text{в/ц} \cdot M_{\text{с.ц}}}{\rho_{\text{в}}} k_{\text{в}}, \quad (3.11)$$

где $k_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий потери воды при разгрузочных работах (1,03-1,05); $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³.

Определение числа цементосмесительных машин:

$$n_{\text{см}} = \frac{M_{\text{с.ц}}}{\rho_{\text{ц}}V_{\text{б}}}, \quad (3.12)$$

где $\rho_{\text{ц}}$ – насыпная плотность цементного порошка (1100 ÷ 1400 кг/м³); $V_{\text{б}}$ – объем бака цементосмесительной машины, м³.

Расчет числа цементировочных агрегатов:

$$n_{\text{ц,а}} = \frac{0,785(d_{\text{СКВ}}^2 - d_{\text{Н}}^2)\omega}{Q_{\text{ц,а}}^{\text{IV}}} + 1, \quad (3.13)$$

где ω – скорость восходящего потока цементного раствора в затрубье (около 1,5 м/с); $Q_{ц.а}^{IV}$ – подача цементировочного агрегата на 4 передаче, м³/с.

Расчёт времени цементирования:

$$t_{цем} = t_{пр.ц.р} + t_{б.ж} + t_{ц.р} + t_{пр.ж}, \quad (3.14)$$

где $t_{пр.ц.р}$ – время приготовления цемента, мин; $t_{б.ж}$ – время прокачки буфера, мин; $t_{ц.р}$ – время прокачки цементного раствора, мин; $t_{пр.ж}$ – время прокачки продавочной жидкости, мин:

$$t_{пр.ц.р} = \frac{V_{ц.р}}{Q_{см} n_{см}}; \quad (3.15)$$

$$t_{б.ж} = \frac{V_{б.ж}}{Q_{ц.а}^{IV} n_{ц.а}}; \quad (3.16)$$

$$t_{б.ж} = \frac{V_{ц.р}}{Q_{ц.а}^{IV} n_{ц.а}}; \quad (3.17)$$

$$t_{б.ж} = \frac{V_{пр} \cdot 0,9}{Q_{ц.а}^{IV} n_{ц.а}} + \frac{V_{пр} \cdot 0,1}{Q_{ц.а}^I}, \quad (3.18)$$

где $Q_{ц.а}^I$ – подача цементировочного агрегата на 1 передаче, м³/с; $Q_{см}$ – производительность цементосмесительной машины, м³/с.

Определение времени начала схватывания цемента:

$$t_{нс} \geq \frac{t_{цем}}{0,75}. \quad (3.19)$$

Задание. По исходным данным, приводимым в конце методических указаний, для цементирования хвостовика определить плотность цементного раствора, объемы буферной жидкости, цементного раствора и продавочной жидкости, массу сухого цемента и воды для приготовления тампонажного раствора, число цементосмесительных машин и цементировочных агрегатов, время цементирования и время начала схватывания цементного раствора.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Размер и масса обсадных труб (ГОСТ 632-80)

Условный диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки труб, мм		Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м трубы, кг	
		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой
114	114,3	6		102,3	16,4	
		7	7	100,3	18,9	19,1
		8	8	98,3	21,4	21,6
127	127,0	6		115,0	18,5	
		7	7	113,0	21,3	21,4
		8	8	111,9	24,1	24,2
140	139,7	9	9	109,0	26,8	26,9
		6		127,7	20,5	
		7	7	125,7	23,6	23,7
		8	8	123,7	26,7	26,8
		9	9	121,7	29,8	29,8
		10	10	119,7	32,8	32,8
		11	11	117,7	35,6	35,7

Продолжение таблицы 1

Условный диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки труб, мм		Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м трубы, кг	
		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой
146	146,0	6,5		133,0	23,2	
		7	7	132,0	24,8	25,0
		8	8	130,0	28,0	28,2
		9	9	128,0	31,2	31,4
		10	10	126,0	34,3	34,5
168	168,3	11	11	124,0	37,4	37,6
		6,5		155,3	26,8	
		7		154,3	28,7	
		8	8	152,3	32,5	32,7
		9	9	150,3	36,2	36,4
		10	10	148,3	39,9	40,1
		11	11	146,3	43,5	43,7
		12	12	144,3	47,1	47,3
		140,3		54,3		

Продолжение таблицы 1

Условный диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки труб, мм		Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м трубы, кг	
		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой
178	177,8	7		163,8	30,5	
		8	8	161,8	34,5	34,6
		9	9	159,8	38,4	38,5
		10	10	157,8	42,4	42,5
		11	11	155,8	46,2	46,3
		12	12	153,8	50,0	50,1
194	193,7	7		179,7	33,4	
		8	8	177,7	37,8	38,1
		9	9	175,7	42,2	42,5
		10	10	173,7	46,5	46,8
		12	12	169,7	55,0	55,2
		14	14	165,7		63,5

Продолжение таблицы 1

Условный диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки труб, мм		Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м труб, кг	
		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой
219	219,1	7		205,1	38,2	
		8		203,1	43,2	
		9	9	201,1	48,2	48,7
		10	10	199,1	53,1	53,6
		11	11	197,1		58,5
245	244,5	12	12	195,1	62,8	63,3
		7		230,5	42,7	
		8		228,5	48,2	
		9	9	226,5	53,9	54,7
		10	10	224,5	59,5	60,3
		11	11	222,5		65,8
		12	12	220,5	70,5	71,3
14	14	216,5		82,0		

Окончание таблицы 1

Условный диаметр, мм	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки труб, мм		Внутренний диаметр, мм	Масса 1 м труб, кг	
		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой		с короткой и нормальной длиной резьбы	с удлиненной резьбой
273	273,1	7		259,1	48,0	
		8		257,1	54,4	
		9		255,1	60,7	
		10		253,1	66,9	
299	298,5	12		249,1	79,3	
		8		282,5	59,5	
		9		280,5	66,4	
		10		278,5	73,3	
		11		276,5	80,2	
		12		274,5	86,9	

Таблица 2

Размеры бурильных труб с высаженными внутрь концами и муфт к ним

Условный диаметр трубы, мм	Труба			Муфта		Масса, кг		
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	внутренний диаметр, мм	наружный диаметр, мм	длина, мм	1 м гладкой трубы	двух высаженных концов (для 1 трубы)	муфты
60	60,3	7	46,3	80	140	9,15	1,2	2,7
		9	42,3			11,3	1,4	
73	73,0	7	59,0	95	166	11,4	1,6	4,2
		9	55,0			14,2	2,4	
		11	51,0			16,8	2,2	
89	89,0	7	75,0	108	166	14,2	2,4	4,4
		9	71,0			17,8	3,4	
		11	67,0			21,2	3,2	
102	101,6	7	87,6	127	184	16,4	3,0	7,0
		8	85,6			18,5	3,4	
		9	83,6			20,4	3,8	
		10	81,6			22,4	4,0	
114	114,3	7	100,3	140	204	18,5	4,6	9,0
		8	98,3			20,9	5,8	
		9	96,3			23,3	6,0	
		10	94,3			25,7	6,6	
		11	92,3			28,0	6,4	

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Таблица 3

1. Определение удлинения эксплуатационной колонны

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Глубина скважины, м	1700	1900	2300	2500	2900	3100	3200	3400	3700	3900
Диаметр эксплуатационной колонны, мм	114	127	146	168	114	127	146	168	114	127
Толщина стенки труб, мм	9	10	11	9	10	11	9	10	11	9
Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Глубина скважины, м	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3800	4000
Диаметр эксплуатационной колонны, мм	114	127	146	168	114	127	146	168	114	127
Толщина стенки труб, мм	9	10	11	9	10	11	9	10	11	9

Таблица 4

2. Определение допустимой растягивающей нагрузки на ловильный инструмент

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр НКТ, мм	48	60	73	89	102	114	48	60	73	89
Глубина конца НКТ, м	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
Диаметр БТ, мм	60	73	89	102	114	127	60	73	89	102
Параметр	Номер варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Диаметр НКТ, мм	102	114	48	60	48	89	73	114	102	60
Глубина конца НКТ, м	240	250	260	330	340	350	360	370	380	390
Диаметр БТ, мм	114	127	60	73	89	102	114	127	60	73

Таблица 5

3. Расчет цементирования хвостовика

Параметр	Первая цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина второго ствола, м	1550	1555	1560	1565	1570	1575	1580	1585	1590	1595
Диаметр долота, мм	139,7	151	161	190,5	139,7	151	161	190,5	139,7	151
Диаметр хвостовика, мм	114	127,0	139,7	168,3	177,8	127,0	139,7	168,3	177,8	127,0
Длина хвостовика, м	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790
Параметр	Вторая цифра варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина БТ, м	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940
Диаметр колонны, где вскрыто окно, мм	139,7	168,3	177,8	193,7	219,1	139,7	168,3	177,8	193,7	219,1
Глубина вскрытия окна, м	860-863	870-873	880-883	890-893	900-903	910-913	920-923	930-933	940-943	950-953
Высота подъема тампонажного раствора до воронки, м	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Плотность б.р., кг/м ³	1200	1210	1220	1230	1240	1250	1260	1250	1240	1230

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Басаргин Ю.М.* Технология капитального и подземного ремонта нефтяных и газовых скважин: учебник для высших учебных заведений / Ю.М. Басаргин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. Краснодар: Сов. Кубань, 2002. 584 с.
2. *Иогансен К.В.* Спутник буровика: Справочник / К.В. Иогансен. М.: Недра, 1990. 302 с.
3. *Рогачев М.К.* Подземный и капитальный ремонт скважин. Обработка призабойной зоны пласта: Методические указания к лабораторным работам / М.К. Рогачев, Д.В. Мордашев. СПб: Санкт-Петербургский государственный горный университет, 2011. 54 с.
4. РД 153-39.0-088-01. Классификатор ремонтных работ в скважинах. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2001.
5. РД 153-39-023-97. Правила ведения ремонтных работ в скважинах. Краснодар: ОАО «НПО "Бурение"», 1997.
6. РД 39-049-90. Технология крепления призабойной зоны пескопроявляющих скважин. Краснодар: ВНИИКРнефть.
7. РД 39-0147035-236-89. Инструкция по технологии глубокопроникающего гидравлического разрыва пласта. Краснодар: ВНИИнефть.
8. *Нифонтов Ю.А.* Ремонт нефтяных и газовых скважин / Ю.А. Нифонтов, И.И. Клещенко, А.П. Телков и др. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 94 с.
9. *Амиров А.Д.* Справочная книга по текущему и капитальному ремонту нефтяных и газовых скважин / А.Д. Амиров, К.А. Карапетов, Д.Ф. Лемберанский, А.С. Яшин. М.: Недра, 1979. 309 с.
10. *Сулейманов А.Б.* Практические расчеты при текущем и капитальном ремонте скважин. Учебное пособие для техникумов / А.Б. Сулейманов, К.А. Карапетов, А.С. Яшин. М.: Недра, 1984. 224 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. Определение удлинения эксплуатационной колонны	4
2. Определение допустимой растягивающей нагрузки на ловильный инструмент	4
3. Расчет цементирования хвостовика.....	6
Приложение	10
Варианты заданий.....	16
Библиографический список.....	18

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СКВАЖИН

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов бакалавриата направления 21.03.01*

Сост.: *М.В. Нуцкова, М.Ю. Мерзляков, К.С. Купавых*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
бурения скважин

Ответственный за выпуск *М.В. Нуцкова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 17.03.2020. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.кр.-отт. 1,1. Уч.-изд.л. 0,9. Тираж 75 экз. Заказ 223. С 45.

Санкт-Петербургский горный университет

РИЦ Санкт-Петербургского горного университета

Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2