

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П.О.Сухого»

Кафедра «Нефтегазозаработка и гидропневмоавтоматика»

Т.В.Атвиновская

БУРОВЫЕ И ТАМПОНАЖНЫЕ РАСТВОРЫ

Гомель 2023

УДК 622.24.06 (075.8)
ББК 33.13я73

Рецензенты: начальник отдела обучения работников
нефтяного блока УПК РУП «Производственное
объединение «Белоруснефть» *С.В. Козырева*

Атвиновская Т.В.

Буровые и тампонажные растворы: практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной форм обучения /Т.В.Атвиновская; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О.Сухого. - Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 2023.- 26 с.

Предлагаемое практическое руководство позволяет помочь студенту в изучении технологических параметров буровых и тампонажных растворов, научиться определять и оценивать полученные значения.

УДК 622.24.063
ББК 33.361

Атвиновская Т.В. 2023
Учреждение образования «Гомельский
Государственный технический университет
имени П.О.Сухого», 2023

Практическая работа 1

Тема: метод расчета объемов бурового раствора для бурения скважины

Цель: научиться рассчитывать необходимое количество бурового раствора для бурения под обсадную колонну любого диаметра.

Теоретическая часть

Настоящая методика необходима для расчетов объемов бурового раствора в скважине и на бурение интервала пород. Она используется при расчете норм расхода материалов и реагентов, для определения необходимого количества реагентов на обработку раствора и т.д.

Общий объем раствора в скважине ($V_{\text{общ}}$) определяется суммированием объемов исходного раствора ($V_{\text{исх}}$) и раствора, необходимого на бурение интервала ($V_{\text{инт}}$).

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{исх}} + V_{\text{инт}} \quad (1.1)$$

Исходный объем бурового раствора рассчитывался суммированием объемов циркуляционной системы на поверхности буровой (120 м^3 и 60 м^3 – при восстановлении скважин бурением бокового ствола), внутреннего пространства колонны обсадных труб и скважины.

$$V_{\text{исх}} = 120(\text{или } 60) + (0,785 * D_i^2 * L_i) + (0,785 * D_i^2 * L_i * k) \quad (1.2)$$

где D_i и L_i – внутренний диаметр и длина обсаженных и необсаженных колонной участков скважины;

k – коэффициент кавернозности (учитывается в необсаженной части ствола).

Потребность бурового раствора на бурение интервала рассчитывается умножением нормы расхода бурового раствора в м^3 на 1 м бурения ($V_{\text{н}}$) на проходку в интервале (H).

$$V_{\text{инт}} = V_{\text{н}} * H \quad (1.3)$$

Нормы расхода бурового раствора в м^3 на 1 м проходки принимаются в зависимости от средней проектной коммерческой скорости по скважине (по

ГТН) и диаметра долота по СНИП гл. 2, ч. IV (см. табл. 1.1). Для условий Беларуси используются значения норм. колонки П.

Окончательная формула расчета объема бурового раствора в скважине для бурения интервала:

$$V_{\text{общ}} = 120(\text{или } 60) + (0,785 * D_i^2 * L_i) + (0,785 * D_i^2 * L_i * k) + V_H * H \quad (1.4)$$

Практическая часть

- Рассчитать объем бурового раствора для бурения открытого ствола под условную колонну диаметром – 146 мм.
- Необходимые данные для расчета:
- Техническая колонна 245 мм спущена на глубину 1200 м.
- Забой открытого ствола – на глубине 1700 м.
- Диаметр долота для бурения под 245 мм колонну – 295,3 мм.
- Диаметр долота под условную 146 мм колонну – 215,9 мм.
- Коммерческая скорость – 450 м/ст.мес.
- Коэффициент кавернозности – 1,2.
- Норму расхода бурового раствора на 1 м бурение определить по таблице СНИП.

Таблица 1.1

Нормы расхода бурового раствора на 1м проходки, м³, для месторождений Украинской ССР и районов с аналогичными геологическими условиями бурения (СНИП, гл.2, ч. IV)

Скорость бурения, м/ст.мес. до	Диаметр долота, мм													
	530		490		444,5		393,7		374,6		349,2		320	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
100	2,33	1,76	1,84	1,38	1,44	1,08	1,2	0,9	1,08	0,81	0,96	0,72	0,8	0,6
150	2,12	1,59	1,67	1,25	1,31	0,98	1,09	0,82	0,98	0,73	0,87	0,65	0,73	0,55
200	1,94	1,46	1,53	1,15	1,2	0,9	1	0,75	0,9	0,67	0,8	0,6	0,66	0,5
250	1,79	1,35	1,41	1,06	1,11	0,83	0,92	0,69	0,83	0,63	0,74	0,56	0,62	0,47
300	1,66	1,24	1,31	0,98	1,03	0,77	0,86	0,65	0,76	0,57	0,68	0,51	0,53	0,43
350	1,56	1,17	1,23	0,92	0,96	0,72	0,8	0,6	0,72	0,54	0,64	0,48	0,54	0,4
400	1,46	1,09	1,15	0,86	0,9	0,68	0,75	0,56	0,67	0,51	0,6	0,45	0,5	0,38
450	1,37	1,03	1,08	0,81	0,85	0,64	0,71	0,53	0,63	0,47	0,56	0,42	0,47	0,36
500	1,32	0,99	1,04	0,78	0,81	0,61	0,68	0,51	0,61	0,46	0,54	0,41	0,45	0,34
600	1,17	0,88	0,92	0,69	0,72	0,54	0,6	0,45	0,54	0,41	0,48	0,36	0,4	0,3
700	1,07	0,8	0,84	0,63	0,66	0,5	0,55	0,41	0,49	0,37	0,44	0,33	0,37	0,28
800	0,98	0,74	0,77	0,58	0,6	0,47	0,5	0,38	0,45	0,34	0,4	0,3	0,34	0,26
900	0,9	0,67	0,71	0,53	0,56	0,42	0,47	0,35	0,42	0,31	0,37	0,28	0,31	0,24
1000	0,84	0,63	0,66	0,5	0,51	0,38	0,43	0,32	0,38	0,29	0,34	0,26	0,29	0,22
1100	0,77	0,58	0,61	0,46	0,48	0,36	0,4	0,3	0,36	0,27	0,32	0,24	0,27	0,2
1200	0,73	0,56	0,58	0,44	0,45	0,34	0,38	0,29	0,34	0,26	0,3	0,23	0,25	0,19
1300 и >	0,68	0,52	0,54	0,41	0,42	0,32	0,35	0,26	0,32	0,24	0,28	0,21	0,24	0,18

Продолжение таблицы 1.1

Скорость бурения, м/ст.мес. до	Диаметр долота, мм													
	295,3		269,9		244,5		215,9		190,5		158,7		139,7	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
100	0,64	0,48	0,48	0,36	0,4	0,3	0,31	0,25	0,26	0,2	0,21	0,16	0,16	0,12
150	0,58	0,44	0,44	0,33	0,36	0,27	0,3	0,22	0,23	0,17	0,19	0,14	0,15	0,11
200	0,53	0,4	0,4	0,3	0,33	0,25	0,27	0,21	0,21	0,16	0,17	0,13	0,13	0,1
250	0,43	0,37	0,37	0,28	0,31	0,23	0,26	0,19	0,2	0,15	0,16	0,12	0,12	0,09
300	0,46	0,35	0,34	0,26	0,29	0,22	0,24	0,18	0,18	0,14	0,14	0,11	0,11	0,08
350	0,43	0,32	0,32	0,24	0,27	0,2	0,22	0,17	0,17	0,13	0,14	0,11	0,11	0,08
400	0,4	0,3	0,3	0,23	0,25	0,19	0,21	0,16	0,16	0,12	0,13	0,1	0,1	0,08
450	0,38	0,29	0,28	0,21	0,24	0,18	0,19	0,15	0,14	0,11	0,12	0,09	0,09	0,07
500	0,36	0,27	0,27	0,2	0,23	0,17	0,19	0,14	0,14	0,11	0,12	0,09	0,09	0,07
600	0,32	0,24	0,24	0,18	0,2	0,15	0,17	0,13	0,13	0,1	0,11	0,08	0,08	0,06
700	0,29	0,22	0,22	0,17	0,18	0,14	0,15	0,12	0,12	0,09	0,10	0,07	0,07	0,05
800	0,27	0,2	0,2	0,15	0,17	0,13	0,14	0,11	0,11	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05
900	0,25	0,18	0,18	0,14	0,16	0,12	0,13	0,1	0,09	0,07	0,08	0,06	0,06	0,05
1000	0,23	0,17	0,17	0,13	0,14	0,11	0,12	0,09	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
1100	0,21	0,16	0,16	0,12	0,13	0,1	0,12	0,08	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05	0,04
1200	0,2	0,15	0,15	0,11	0,13	0,1	0,1	0,08	0,08	0,06	0,07	0,05	0,05	0,04
1300 и >	0,19	0,14	0,14	0,11	0,12	0,09	0,1	0,07	0,08	0,06	0,07	0,05	0,05	0,04

Практическая работа 2

Тема: изучение геолого-технического наряда (ГТН) на строительство скважины

Цель: научиться “читать” ГТН

Теоретическая часть

Геолого-технический наряд составляется на бурение каждой глубокой скважины или группы мелких скважин, имеющие сходные геолого-технические условия бурения. Забуривание и бурение скважины без ГТН запрещается.

Геолого-технический наряд состоит из трех основных частей: геологической, технико-технологической и исследовательской. В процессе бурения, особенно при бурении глубоких, искусственно направленных и других скважин, бурящихся в сложных условиях или на недостаточно изученных площадях, составители ГТН уточняют и заполняют фактический разрез, проставляют категорию пород по буримости и выход керна, вносят коррективы в технические и технологические параметры.

Геолого-технический наряд составляют на основании: проектной конструкции скважины; выбранного бурового оборудования и инструмента; разработанной технологии бурения; намеченных исследований в скважине; проведения необходимых специальных работ в скважине. Геолого-технический наряд является обязательным документом к исполнению буровыми бригадами.

Геолого-технический наряд – инструктивный документ при строительстве скважины, один его экземпляр находится на буровой у бурового мастера.

Геолого-технический наряд – это оперативный план работы, в котором в виде таблицы приводятся геологическая характеристика намечаемой к бурению скважины и основные технические и технологические решения.

Геолого-технический наряд является технологическим руководством для рабочих, ведущих бурение скважины, поэтому его составление требует самого ответственного отношения.

В вводной части ГТН указываются номер скважины, проектная глубина, горизонт, отклонение и азимут (если скважина наклонно-направленная), основная техническая характеристика оборудования.

Геолого-технический наряд – основной документ, на основании которого осуществляется бурение скважин.

Подробно составленный технический наряд оказывает большую помощь буровой бригаде. Однако нельзя ограничиться только составлением хорошего геолого-технического наряда, необходимо тщательно наблюдать за выполнением всех содержащихся в нем указаний по геолого-промысловым исследованиям.

Геолого-техническим нарядом должна предусматриваться минимально допустимая плотность бурового раствора, применяемого в данной скважине.

Практическая часть

Задание: описать все параметры бурения данной скважины согласно ГТН по следующим пунктам.

1. Номер скважины, месторождение.
2. Проектная глубина.
3. Цель бурения.
4. Назначение скважины.
5. Вид бурения.
6. Скорость бурения.
7. Продолжительность бурения.
8. Ознакомиться с буровым оборудованием.
9. Согласно конструкции скважины по бурению каждой обсадной колонны ответить на следующие вопросы:
 - глубина бурения и спуска обсадной колонны;
 - диаметр обсадной колонны;
 - способ бурения;
 - литологический разрез;
 - пластовое давление;

- давление ГРП;
- возможные осложнения при бурении скважины;
- интервалы отбора керна (если они имеются);
- параметры бурового раствора (промывочной жидкости) для бурения под рассматриваемую обсадную колонну;
- название бурового раствора и перечень химических элементов для его приготовления и эксплуатации.

Практическая работа 3

Тема: методика расчета объемов отходов бурения, образующихся при строительстве скважин

Цель: расчет объемов отходов бурения, образующихся при строительстве скважины

Теоретическая часть

1.1 Настоящая методика позволяет определить объемы отходов бурения, образующихся в процессе строительства скважин с использованием технологий: амбарной, малоамбарной и безамбарной.

1.2 Отходы бурения содержат в своем составе химические реагенты, минеральные примеси и нефтепродукты и, попадая в почву и водные объекты, загрязняют их. В целях предотвращения загрязнения объектов природной среды в рабочих проектах на строительство скважин предусматриваются утилизация (полезное повторное использование) и захоронение отходов бурения.

1.3 Настоящая методика позволяет обосновать в проектах на строительство скважин количество технических средств и сооружений, необходимых для сбора, хранения, транспортировки, утилизации или захоронения отходов бурения.

1.4 Основным принципом, которым необходимо руководствоваться при определении объемов ОБР, является принцип расчета ОБР по интервалам бурения, заданных конструкцией скважины.

1.5 Объем ОБР, уходящего в отходы, складывается из избыточных объемов растворов, накапливаемых при поинтервальном бурении. При этом основными причинами образования и накопления избыточных объемов растворов являются:

- наработка раствора при бурении интервалов, сложенных глинистыми породами;
- замена одного типа бурового раствора на другой.

1.6 Количество отходов зависит:

- от эффективности очистки бурового раствора от выбуренной породы;
- от применения ресурсосберегающих технологий (оборотного водоснабжения, повторного использования бурового раствора, использования технологии отдельного сбора отходов бурения).

1.7 Для перевода объемного показателя отходов бурения в весовой принимать плотность бурового шлама 1,7 г/см³.

2 Общие формулы для расчетов объемов отходов бурения, образующихся при использовании разных технологий строительства скважин

2.1 Объем выбуренной породы или скважины в i -ом интервале определяется по формуле:

$$V_{\text{вп}i} = V_i = 0,785 \times D_i^2 \times H_i \times k_i, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{вп}i}$ – объем выбуренной породы в i – ом интервале, м³; V_i – объем скважины в i -ом интервале, м³; D_i – диаметр долота в i -ом интервале бурения, м; H_i – длина интервала ствола скважины, м; K_i – коэффициент кавернозности i -ом интервале бурения.

2.2 Исходный объем для бурения i -го интервала определяется по формуле:

$$V_{\text{исхБР}i} = 120 + V_{\text{БРСКВ}}, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{исхБР}i}$ – исходный раствор бурового раствора перед началом бурения i – го интервала, т.е. сумма объема рабочего бурового раствора на поверхности (согласно СТП 09100.17015.042-2006 – 120 м³) и объема бурового раствора в стволе или колонне в вышележащих интервалах, м³; 120 – объем рабочего бурового раствора на поверхности) 60 - при восстановлении скважин бурением боковых стволов), м³; $V_{\text{БРСКВ}}$ - объем бурового раствора в скважине перед началом бурения i -го интервала, м³.

2.3 Объем бурового раствора общий, необходимый для бурения i -го интервала, определяется по формуле:

$$V_{\text{БР}i} = 0,55 \times N_i \times H_i + V_{\text{исхБР}i}, \quad (3.3)$$

где $V_{\text{БР}i}$ – объем раствора общий, необходимый для бурения i -го интервала, м³; 0,55 – коэффициент, характеризующий применение ресурсосберегающих технологий; N_i – норма расхода бурового раствора для бурения i -го интервала согласно СНИП IV-2-82 [1] с учетом проектной коммерческой скорости бурения скважины.

2.4 Объем бурового шлама, образующегося при бурении i -го интервала, определяется по формуле:

$$V_{\text{БШ}i} = 0,785 D_i^2 \times H_i \times k_i \times K_n \times 0,8, \quad (3.5)$$

где $V_{\text{БШ}i}$ – объем бурового шлама, образующегося при бурении i -го интервала, м³; K_n – коэффициент потери бурового раствора при очистке, учитывающий разуплотнение горной породы, численно равный: для бурения под кондуктор -2, под другие колонны – 1,5 (определены эмпирически); 0,8 – коэффициент (C_0), характеризующий максимальную степень очистки бурового раствора от породы при использовании трех ступеней согласно РД 39-3-819-82 [2].

2.5 Объем бурового раствора в буровом шламе при бурении i -го интервала, рассчитывается по формулам:

$$V_{\text{БРШ}i} = V_{\text{БШ}i} - 0,8 V_{\text{ВШ}i}, \quad (3.6)$$

где $V_{\text{БРШ}i}$ – объем бурового раствора в буровом шламе при бурении i -го интервала, м³.

2.6 Объем ОБР после i -го интервала определяется по формуле:

$$V_{\text{ОБР}i} = V_{\text{БР}i} - V_{\text{исхБР}(i+1)} - V_{\text{БРШ}i}, \quad (3.4)$$

где $V_{\text{ОБР}i}$ – объем ОБР после бурения i -го интервала, м³; $V_{\text{исхБР}(i+1)}$ – исходный объем бурового раствора перед началом бурения $(i+1)$ интервала, м³, не учитывается, если раствор полностью меняется.

2.7 Объем БСВ при бурении i -го интервала определяется по формуле:

$$V_{\text{БСВ}i} = 6 V_{\text{ОБР}i} / 12 = 0,5 V_{\text{ОБР}i}, \quad (3.7)$$

где $V_{\text{БСВ}i}$ – объем БСВ, образующийся при бурении i -го интервала, м³; 6 – средний коэффициент разбавления ОБР водой при осветлении, значение которого определено из опыта работы; 12 – средний коэффициент, определяющий долю бурового раствора в составе БСВ, значение которого определено из опыта работы.

2.8 Объем воды после проведения АКЦ определяется по формуле:

$$V_{\text{В}} = 0,785 d_{\text{к}}^2 \times L, \quad (3.8)$$

где V_B – объем воды после проведения ОКЦ и АКЦ, m^3 ; d_k – внутренний диаметр колонны, м; L – длина колонны, м, заполненная водой при проведении АКЦ, численно равная: для кондуктора и технических колонн – 200м; для эксплуатационной колонны – всей ее длине; в колоннах–хвостовиках принимается по проекту.

2.9 Объем буферной жидкости с зонами смешения $V_{БЖ}$ равен 12 м.

2.10 Объем кека, образующегося в результате осветления БСВ при бурении i -го интервала, определяется по формуле:

$$V_{кеки} = 0,2 \times V_{БСВ_i}, \quad (3.9)$$

где $V_{кеки}$ – объем кека, m^3 ; 0,2 – коэффициент, определяющий долю объема кека в объеме БСВ_{*i*} (определен из опыта работы).

Пример расчета объемов отходов бурения, образующихся при разных технологиях строительства скважин, приведен в таблице 1.

3 Порядок проведения расчета объемов отходов бурения, образующихся при амбарной технологии строительства скважин

3.1 Объем отходов бурения при амбарной технологии строительства скважины складывается из объемов образующегося бурового шлама, отработанного бурового раствора, буровых сточных вод и определяется по формуле:

$$V_{ОБ} = V_{БШ} + V_{ОБР} + V_{БСВ} + V_B + V_{БЖ}, \quad (3.10)$$

где $V_{ОБ}$ – объем отходов бурения, m^3 ; $V_{БШ}$ – объем бурового шлама, m^3 ; $V_{ОБР}$ – объем отработанного бурового раствора, m^3 ; $V_{БСВ}$ – объем буровых сточных вод, m^3 ; V_B – объем воды после проведения АКЦ, m^3 ; $V_{БЖ}$ – объем буферной жидкости с зонами смешения, m^3 .

3.2 Рабочим проектом на строительство скважины должны предусматриваться пресный и соленый амбары для отдельного захоронения отходов бурения.

4 Порядок проведения расчета объемов отходов бурения, образующихся при безамбарной технологии строительства скважин

4.1 При безамбарной технологии строительства скважины производится отдельный сбор отходов бурения, которые вывозятся с территории буровой для утилизации (повторного использования) или захоронения.

4.2 После прохождения БСВ через КФУ образуется осветленная вода и кек. Весь объем воды утилизируется на нужды буровой и не

учитывается как отход бурения для сброса на рельеф местности или в водные объекты.

4.3 Объем отходов бурения (пресных и соленых) при безамбарной технологии, который необходимо вывезти с территории буровой, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{ОБ}} = V_{\text{БШ}} + V_{\text{ОБР}} + V_{\text{кекБСВ}} + V_{\text{В}} + V_{\text{БЖ}}, \quad (3.11)$$

где $V_{\text{кекБСВ}}$ – объем кека, образующегося при осветлении БСВ в результате осаждения твердой фазы центрифугой КФУ (МКФУ), м³.

4.4 Объем бурового шлама (общий), образующийся при бурении i -го интервала и предназначенный для вывоза с территории буровой для захоронения, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{БШ}i0} = V_{\text{БШ}i} + V_{\text{кекБСВ}i}, \quad (3.12)$$

где $V_{\text{БШ}i0}$ – объем бурового шлама (общий), образующийся при бурении i -го интервала, м³.

5 Порядок проведения расчета объемов отходов бурения, образующихся при малоамбарной технологии строительства скважин

5.1 При малоамбарной технологии строительства скважины в процессе бурения надсолевого комплекса осветление БСВ с помощью КФУ не производится, поэтому кек не образуется.

5.2 Объемы пресных ОБ рассчитываются по амбарной технологии строительства скважины.

5.3 Объемы соленых ОБ рассчитываются по безамбарной технологии строительства скважины.

5.4 Рабочим проектом на строительство скважины должен предусматриваться пресный амбар для захоронения пресных отходов бурения объемом, включающим расчетное количество пресных БШ, ОБР, БСВ, БЖ и воды для проведения АКЦ.

5.5 Соленый буровой шлам (общий, т.е. с кеком) хоронится в ОППХ.

5.6 Соленые ОБР и БСВ утилизируются, т.е. вывозятся на растворный узел для регенерации и повторного использования.

6 Результаты расчетов представить в табличном виде (таблица 3.1).

7 Пример расчета объемов отходов бурения с исходными данными варианта 0 представлен в таблице 3.2.

8 Исходные данные представлены в таблице 3.1А, номер варианта выбирается по варианту согласно зачетно-экзаменационной ведомости).

Таблица 3.1

Итоговая таблица расчета объемов отходов бурения

Пункт методики	Параметры	Бурение под колонну					Итого	Приложения
		кондуктор	1 технич.	2 технич.	хвостовик	эксплуат.		
	Интервал бурения, м							
	Проходка в интервале, H_i , м							
	Диаметр долота, D_i , м	0,490	0,394	0,295	0,216	0,165		
	Внутр. диам. предыдущ. колонны, D_K , м	0	0,404	0,303	0,222	0,172		
	Длина предыдущей колонны, L , м							H_i хвостовика+100м на перекрытие колонны хвостовиком
	Коэффициент кавернозности, k_i	1,25	1,25	1,3	1,25	1,15		
	Коэффициент разуплотнения, k_{Π}	2	1,5	1,5	1,5	1,5		
	Норма расхода бурового раствора на 1 м бурения (СНИП, м ³ /м), N_i	0,92	0,6	0,32	0,17	0,11		
	Степень очистки, C_o	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		
2.1	Объем выбуренной породы, м ³ $V_{ВПi} = V_i = 0,785 \times D_i^2 \times H_i \times k_i$							
2.2	Исходный объем для бурения интервала, м ³ , $V_{исхБРi} = 120 + V_{БРска} = 120 + 0,785 D_K^2 \times L$							H_i хвостовика+100м на перекрытие колонны хвостовиком
2.3	Объем бурового раствора на бурение интервала общий, м ³ , $V_{БРi} = 0,55 \times N_i \times H_i + V_{исхБРi}$							
2.6	Объем ОБР, м ³ , $V_{ОБРi} = V_{БРi} - V_{исхБР(i+1)} - V_{БРШi}$ (если раствор не меняется)							Тип раствора поменяли при бурении под

	$V_{OBRi} = V_{BPRi} - V_{BRШi}$ (если раствор полностью меняется)							<i>хвостовик и эксплуатационную колонну</i>
2.4	Объем бурового шлама, м ³ , $V_{BШi} = 0,785D_i^2 \times H_i \times k_i \times K_n \times C_0$							
2.5	Объем бурового раствора в шламе, м ³ , $V_{BRШi} = V_{BШi} - 0,8V_{ВПi}$							
2.7	Объем БСВ, м ³ , $V_{БСВi} = 6V_{OBRi} / 12 = 0,5V_{OBRi}$							
2.9	Объем буферной жидкости с зонами смешения, м ³ , $V_{БЖ}$	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	60,0	
2.10	Объем кека, м ³ , $V_{КЕКi} = 0,2 \times V_{БСВi}$							
3.1	Объем отходов бурения всего по амбарному способу бурения, м ³ , $V_{OB} = V_{BШ} + V_{OBR} + V_{БСВ} + V_{БЖ}$							
4.3	Объем отходов бурения всего по безамбарному способу бурения, м ³ , $V_{OB} = V_{BШ} + V_{OBR} + V_{КЕКБСВ} + V_{БЖ}$							

Таблица 3.2

Пример расчета объемов отходов бурения

Пункт методики	Параметры	Бурение под колонну					Итого	Приложения
		кондуктор	1 технич.	2 технич.	хвостови к	эксплуат.		
	Интервал бурения, м	0-170	170-1675	1675-3500	3500-5125	5125-5720		
	Проходка в интервале, H_i , м	170	1505	1825	1625	595		
	Диаметр долота, D_i , м	0,490	0,394	0,295	0,216	0,165		
	Внутр. диам. предыдущ. колонны, D_K , м	0	0,404	0,303	0,222	0,172		
	Длина предыдущей колонны, L , м	0	170	1675	3500	1725		<i>H_i хвостовика +100м на перекрытие колонны хвостовиком</i>
	Коэффициент кавернозности, k_i	1,25	1,25	1,3	1,25	1,15		
	Коэффициент разуплотнения, k_n	2	1,5	1,5	1,5	1,5		
	Норма расхода бурового р-ра на 1 м бурения (СНИП, м ³ /м), N_i	0.92	0.6	0.32	0.17	0.11		
	Степень очистки, C_0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		
2.1	Объем выбуренной породы, м ³ $V_{ВПi} = V_i = 0,785 \times D_i^2 \times H_i \times k_i$	40,1	229,2	162,1	74,4	14,6	520,4	
2.2	Исходный объем для бурения интервала, м ³ , $V_{исхБРi} = 120 + V_{БРсве} = 120 + 0,785 D_K^2 \times L$	120,0	141,8	241,1	255,2	157,7		<i>H_i хвостовика +100м на перекрытие колонны хвостовиком</i>
2.3	Объем бурового раствора на бурение интервала общий, м ³ , $V_{БРi} = 0,55 \times N_i \times H_i + V_{исхБРi}$	206,0	638,4	526,3	407,1	193,7		
2.4	Объем бурового шлама, м ³ , $V_{БШi} = 0,785 D_i^2 \times H_i \times k_i \times K_n \times C_0$	64,1	275,1	194,5	89,3	17,5	640,5	

2.5	Объем бурового раствора в шламе, м ³ , $V_{БРШi} = V_{БШi} - 0,8V_{ВПi}$	32,0	91,7	64,8	29,8	5,8	224,2	
2.6	Объем ОБР, м ³ , $V_{ОБРi} = V_{БРi} - V_{исхБР(i+1)} - V_{БРШi}$ (если раствор не меняется) $V_{ОБРi} = V_{БРi} - V_{БРШi}$ (если раствор полностью меняется)	32,2	305,7	242,3	377,3	187,9	1145,4	<i>Тип раствора поменяли при бурении под хвостовик и эксплуатационную колонну</i>
2.7	Объем БСВ, м ³ $V_{БСВ} = 0,5V_{ОБР}$	16,1	152,8	121,1	188,7	93,9	572,7	
2.9	Объем буферной жидкости с зонами смешения, м ³ , $V_{БЖ}$	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	60,0	
2.10	Объем кека, м ³ , $V_{КЕКi} = 0,2 \times V_{БСВi}$	3,2	30,6	24,2	37,7	18,8	114,5	
3.1	Объем отходов бурения всего по амбарному способу бурения, м ³ , $V_{ОБ} = V_{БШ} + V_{ОБР} + V_{БСВ} + V_{БЖ}$	124,4	745,6	569,9	667,3	311,4	2418,5	
4.3	Объем отходов бурения всего по безамбарному способу бурения, м ³ , $V_{ОБ} = V_{БШ} + V_{ОБР} + V_{кекБСВ} + V_{БЖ}$	111,5	623,3	473,0	516,4	236,2	1960,4	

Таблица 3.1А

Варианты конструкций скважин для проведения расчета

№п/п	Интервал бурения				
	кондуктор	1 техническа я	2 техническа я	хвостовик	эксплуата- ционная
0	0-170	170-1675	1675-3500	3500-5125	5125-5720
1	0-140	140-1500	1500-2900	2900-3800	3800-4000
2	0-145	145-1510	1510-3000	3000-3850	3850-4200
3	0-153	153-1520	1520-3010	3010-3740	3740-4300
4	0-160	160-1470	1470-2780	2780-3300	3300-4050
5	0-200	200-1365	1365-2640	2640-3085	3085-4410
6	0-180	180-1560	1560-2650	2650-4150	4150-4275
7	0-190	190-1590	1590-2350	2350-3000	3000-3478
8	0-138	138-1620	1620-2600	2600-3540	3540-3700
9	0-170	170-1390	1390-2490	2490-2900	2900-3155
10	0-138	138-1620	1620-2110	2110-3000	3000-3440
11	0-250	250-1770	1770-2700	2700-3890	3890-4500
12	0-245	245-1350	1350-1990	1990-2580	2580-2900
13	0-186	186-2000	2000-3010	3010-3580	3580-4000
14	0-170	170-2000	2000-2880	2880-3440	3440-3960
15	0-147	147-950	950-2020	2020-3100	3100-3570
16	0-177	177-1739	1739-1805	1805-2600	2600-3220
17	0-236	236-2450	2450-3200	3200-3600	3600-3870
18	0-220	220-2335	2335-3000	3000-3330	3330-3500
19	0-190	190-1580	1580-2440	2440-3010	3010-3770
20	0-155	155-1820	1820-2690	2690-3330	3330-3540
21	0-160	160-1830	1830-2800	2800-3500	3500-4000
22	0-185	185-1900	1900-2670	2670-3100	3100-3560
23	0-188	188-1555	1555-2500	2500-3330	3330-3650
24	0-150	150-1440	1440-2005	2005-2700	2700-3000
25	0-175	175-1200	1200-2000	2000-2400	2400-2650
26	0-177	177-1600	1600-2030	2030-2600	2600-2690
27	0-180	180-1760	1760-2850	2850-4150	4150-4440
28	0-145	145-1550	1550-3000	3000-3850	3850-4500
29	0-180	180-1760	1760-2850	2850-4150	4150-4440
30	0-138	138-1630	1630-2700	2700-3630	3630-3800

Практическая работа 4

Тема: Расчет затрат на цементирование обсадных колонн в скважине

Цель: научиться рассчитывать объемы тампонажного раствора для крепления обсадных колонн в скважине.

Таблица 4.1

Пример расчета

Исходные данные	324мм	245мм	168мм	114мм ХВОСТ.
Глубина спуска H , м	220	850	2555	3053
Диаметр долота D_{дол.} , мм	444.5	295.3	215.9	139.7
Наружный диаметр обсадных труб d₁ , мм	324	245	168	114
Толщина стенок обсадной колонны t_{ст.} , мм	9,5	9	9	9
Внутренний диаметр обсадных труб d₂ , мм	324- 2*9,5=305	245- 2*9=227	168- 2*9=150	114- 2*9=96
Плотность цементного раствора ρ_{ц.} , кг/м ³	1850	1850	1850	1850
Кольцо “стоп” установлено на высоте h , м	10	10	10	10
Коэффициент кавернозности k	1,2	1,2	1,2	1,2

Таблица 4.2

Свободная таблица по результатам расчетов

Диаметр колонны, мм	Объем ЦР, м ³	Кол-во сухого цемента, кг	Затраты на покупку цемента, у.е.	Кол-во воды, м ³	Затраты на подготовку воды, у.е.	Итого, у.е.
324	23,3	30174	4978,7	15,1	25	5004
245	34,5	44636	7364,9	22,3	36,8	7401,7
168	63,01	81597	13464	40,8	67,32	13531
114	4,48	5801,6	957,2	2,9	4,8	962
Итого	125,3	154962,6	25569,25	77,5	128,106	26898,7

Расчет цементированной колонны диаметром 324 мм

1. Определим диаметр скважины под колонну:

$$D_{\text{СКВ}} = \sqrt{k * D_{\text{ДОЛ}}^2} = \sqrt{1,2 * 0,4445^2} = 0,4869 \text{ м}$$

2. Определим объем цементного раствора, подлежащего закачке в скважину.

2.1. Определим объем цементного раствора между колоннами диаметром 630 мм и 324 мм на глубину 7 м ($V_{\text{ц1}}$):

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi}{4} * ((D - T_{\text{ст.нап}})_{\text{кон}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от7до0)}}$$
$$V_{\text{ц}} = 0,785 * ((0,630 - 0,02)^2 - 0,324^2) * 7 = 1,4678 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от7до0)}}$ – высота подъема цемента между обсадными трубами диаметром 630 мм и 324 мм на глубине от 7 до 0 м;

$D_{\text{кон}}$ – наружный диаметр кондуктора.

$T_{\text{ст.нап}}$ – толщина стенки направления

2.2 Определим объем цементного раствора за обсадной колонной диаметром 324 мм ($V_{\text{ц2}}$) на глубине от 7 м до 220 м:

$$V_{\text{ц2}} = \frac{\pi}{4} * (D_{\text{СКВ}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от220до7м)}} * k$$
$$V_{\text{ц2}} = 0,785 * (0,4869^2 - 0,324^2) * (220 - 7) * 1,2 = 21,06 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от220до7м)}}$ – высота подъема цементного раствора за обсадной колонной от 220 до 7 м.

2.3. Определим объем цементного раствора в обсадной колонне диаметром 324 мм до стоп-кольца:

$$V_{\text{ц3}} = \frac{\pi}{4} * d_2^2 * h_{10\text{м}} = 0,785 * 0,305^2 * 10 = 0,73 \text{ м}^3$$

Общий объем цементного раствора, подлежащий закачке в скважину:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{ц1}} + V_{\text{ц2}} + V_{\text{ц3}} = 1,4678 + 21,6 + 0,73 = 23,3 \text{ м}^3$$

3. Определим количество сухого цемента для приготовления цементного раствора:

$$f_{\text{ц}} = \frac{1}{1 + \text{в/ц}} * \rho_{\text{ц}} * V_{\text{ц}} * k_2 = \frac{1}{1 + 0,5} * 1850 * 23,3 * 1,05 = 30174 \text{ кг}$$

где $k_2=1,05$ – коэффициент, учитывающий наземные потери при затворении цементного раствора при использовании машин.

4. Определим необходимое количество воды для приготовления цементного раствора 50% консистенции:

$$V_{\text{в}} = 0,5 * f_{\text{ц}} = 0,5 * 30174 = 15,1 \text{ м}^3$$

5. Определим затраты на подготовку воды:

$$Z_{\text{в}} = 1,5 * V_{\text{в}} * k_3$$

$$Z_{\text{в}} = 1,5 * 15,1 * 1,1 = 24,9 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку цемента.

Стоимость 1 тонны цемента 150 у.е.

Расчет цементирования колонны диаметром 245 мм

1. Определим диаметр скважины под колонну:

$$D_{\text{скв}} = \sqrt{k * D_{\text{дол}}^2} = \sqrt{1,2 * 0,2953^2} = 0,3244 \text{ м}$$

2. Определим объем цементного раствора, подлежащего закачке в скважину.

2.1 Определим объем цементного раствора между колоннами диаметром 324 мм и 245 мм на глубину 220 м:

$$V_{\text{ц2}} = \frac{\pi}{4} * ((D - T_{\text{ст.кон}})_{\text{кон}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от220до0)}}$$

$$V_{\text{ц2}} = 0,785 * (0,324 - 0,0095)^2 - 0,245^2 * 220 = 6,718 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от220до0)}}$ – высота подъема цемента между обсадными трубами диаметром 324 мм и 245 мм на глубине от 220 до 0 м;

$D_{\text{кон}}$ – внутренний диаметр кондуктора;

$T_{\text{ст.кон}}$ – толщина стенки кондуктора.

2.2. Определим объем цементного раствора за обсадной колонной диаметром 245 мм на глубине от 220 м до 850 м:

$$V_{\text{ц2}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{скв}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от850до220м)}} * k$$

$$V_{\text{ц2}} = 0,785 * (0,3244^2 - 0,245^2) * (850 - 220) * 1,20 = 26,83 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от850до220м)}}$ – высота подъема цементного раствора за обсадной колонной от 850 до 220 м.

2.3. Определим объем цементного раствора в обсадной колонне диаметром 245 мм до стоп кольца:

$$V_{ц3} = \frac{\pi}{4} * d_2^2 * h_{10м} = 0,785 * 0,227^2 * 10 = 0,92 \text{ м}^3$$

Общий объем цементного раствора, подлежащий закачке в скважину:

$$V_{ц} = V_{ц1} + V_{ц2} + V_{ц3} = 6,718 + 26,83 + 0,92 = 34,468 \text{ м}^3$$

3. Определим количество сухого цемента для приготовления цементного раствора:

$$f_{ц} = \frac{1}{1+в/ц} * \rho_{ц} * V_{ц} * k_2 = \frac{1}{1+0,5} * 1850 * 34,468 * 1,05 = 44636 \text{ кг}$$

где $k_2=1,05$ – коэффициент, учитывающий наземные потери при затворении цементного раствора, при использовании машин.

4. Определим необходимое количество воды для приготовления цементного раствора 50% консистенции:

$$V_{в} = 0,5 * f_{ц} = 0,5 * 44636 = 22318 \text{ м}^3$$

5. Определим затраты на подготовку воды:

$$З_{в} = 1,5 * V_{в} * k_3$$

$$З_{в} = 1,5 * 22,3 * 1,1 = 36,8 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку воды.

Стоимость 1 м³ воды 1,5 у.е.

6. Определим затраты на покупку цемента:

$$З_{ц} = f'_{ц} * 150 * k_3$$

$$З_{ц} = \frac{44636}{1000} * 150 * 1,1 = 7364,9 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку цемента.

Стоимость 1 тонны цемента 150 у.е.

Расчет цементирования колонны диаметром 168 мм

1. Определим диаметр скважины под колонну:

$$D_{скв} = \sqrt{k * D_{дол}^2} = \sqrt{1,2 * 0,2159^2} = 0,2365 \text{ м}$$

2. Определим объем цементного раствора, подлежащего закачке в скважину.

2.1. Определим объем цементного раствора между колоннами диаметром 245 мм и 168 мм на глубину 850 м:

$$V_{\text{Ц1}} = \frac{\pi}{4} * ((D - T_{245\text{кол}})^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от850до0)}}$$

$$V_{\text{Ц1}} = 0,785 * ((0,245 - 0,009)^2 - 0,168^2) * 850 = 18,330 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от850до0)}}$ – высота подъема цемента между обсадными трубами диаметром 245 мм и 168 мм на глубине от 0 до 850;

$D_{245\text{кол}}$ – внутренний диаметр 245 мм колонны;

$T_{245\text{кол}}$ – толщина стенки 245 мм колонны.

2.2. Определим объем цементного раствора за обсадной колонной диаметром 168 мм на глубине от 850 м до 2555 м:

$$V_{\text{Ц2}} = \frac{\pi}{4} * (D_{\text{скв}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от850до2555м)}} * k$$

$$V_{\text{Ц2}} = 0,785 * (0,2365^2 - 0,168^2) * (2555 - 850) * 1,2 = 44,5 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от850до2555м)}}$ – высота подъема цементного раствора за обсадной колонной от 850 м до 2555 м.

2.3. Определим объем цементного раствора в обсадной колонне диаметром 168 мм до стоп – кольца:

$$V_{\text{Ц3}} = \frac{\pi}{4} * d_2^2 * h_{10\text{м}} = 0,785 * 0,150^2 * 10 = 0,18 \text{ м}^3$$

Общий объем цементного раствора, подлежащий закачке в скважину:

$$V_{\text{Ц}} = V_{\text{Ц1}} + V_{\text{Ц2}} + V_{\text{Ц3}} = 18,33 + 44,5 + 0,18 = 63,013 \text{ м}^3$$

3. Определим количество сухого цемента для приготовления цементного раствора:

$$f_{\text{Ц}} = \frac{1}{1 + v_{\text{Ц}}} * \rho_{\text{Ц}} * V_{\text{Ц}} * k_2 = \frac{1}{1 + 0,5} * 1850 * 63,01 * 1,05 = 81,6 \text{ кг}$$

где $k_2 = 1,05$ – коэффициент, учитывающий наземные потери при затворении цементного раствора, при использовании машин.

4. Определим необходимое количество воды для приготовления цементного раствора 50% консистенции:

$$V_{\text{В}} = 0,5 * f_{\text{Ц}} = 0,5 * 81597,95 = 40,8 \text{ м}^3$$

5. Определим затраты на подготовку воды:

$$Z_{\text{В}} = 1,5 * V_{\text{В}} * k_3$$

$$Z_{\text{В}} = 1,5 * 40,8 * 11 = 67,32 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку воды.

Стоимость 1 м³ воды 1,5 у.е.

6. Определим затраты на покупку цемента:

$$Z_{\text{Ц}} = f'_{\text{Ц}} * 150 * k_3$$
$$Z_{\text{Ц}} = \frac{81600}{1000} * 150 * 1,1 = 13464 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку цемента.

Стоимость 1 тонны цемента 150 у.е.

Расчет цементирования колонны диаметром 114 мм (хвостовик)

1. Определим диаметр скважины под колонну:

$$D_{\text{скв}} = \sqrt{k * D_{\text{дол}}^2} = \sqrt{1,2 * 0,1397^2} = 0,1530 \text{ м}$$

2. Определим объем цементного раствора, подлежащего закачке в скважину.

2.1. Определим объем цементного раствора между колоннами диаметром 168 мм и 114 мм на глубину 11 м:

$$V_{\text{Ц1}} = \frac{\pi}{4} * ((D * h_{\text{ннап}})_{\text{кон}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от2455до2555)}}$$
$$V_{\text{Ц1}} = 0,785 * ((0,168 - 0,009)^2 - 0,114^2) * 100 = 0,3429 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от2455до2555)}}$ – высота подъема цемента между обсадными трубами диаметром 168 мм и 114 мм на глубине от 2455 до 2555 м;

$D_{\text{кон}}$ – наружный диаметр кондуктора;

$h_{\text{ннап}}$ – толщина стенки направления.

2.2 Определим объем цементного раствора за обсадной колонной диаметром 114 мм на глубине от 2555 м до 3053 м:

$$V_{\text{Ц2}} = \frac{\pi}{4} * (D_{\text{скв}}^2 - d_1^2) * h_{\text{меж.тр(от2555до3053м)}}$$
$$V_{\text{Ц2}} = 0,785 * (0,1530^2 - 0,114^2) * (3053 - 2555) = 4,07 \text{ м}^3$$

Где $h_{\text{меж.тр(от2555до3053м)}}$ – высота подъема цементного раствора за обсадной колонной от 2555 до 3053 м.

2.3. Определим объем цементного раствора в обсадной колонне диаметром 114 мм до стоп-кольца:

$$V_{\text{ЦЗ}} = \frac{\pi}{4} * d_2^2 * h_{10\text{м}} = 0,785 * 0,096^2 * 10 = 0,07 \text{ м}^3$$

Общий объем цементного раствора, подлежащий закачке в скважину:

$$V_{\text{Ц}} = V_{\text{Ц1}} + V_{\text{Ц2}} + V_{\text{ЦЗ}} = 0,3429 + 4,07 + 0,07 = 4,48 \text{ м}^3$$

3. Определим количество сухого цемента для приготовления цементного раствора:

$$f_{\text{Ц}} = \frac{1}{1+v_{\text{Ц}}} * \rho_{\text{Ц}} * V_{\text{Ц}} * k_2 = \frac{1}{1+0,5} * 1850 * 4,48 * 1,05 = 5801,6 \text{ кг}$$

где $k_2=1,05$ – коэффициент, учитывающий наземные потери при затворении цементного раствора, при использовании машин.

4. Определим необходимое количество воды для приготовления цементного раствора 50% консистенции:

$$V_{\text{В}} = 0,5 * f_{\text{Ц}} = 0,5 * 5801,6 = 2,9 \text{ м}^3$$

5. Определим затраты на подготовку воды:

$$З_{\text{В}} = 1,5 * V_{\text{В}} * k_3$$

$$З_{\text{В}} = 1,5 * 2,9 * 1,1 = 4,78 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку воды.

Стоимость 1 м³ воды 1,5 у.е.

6. Определим затраты на покупку цемента:

$$З_{\text{Ц}} = f'_{\text{Ц}} * 150 * k_3$$

$$З_{\text{Ц}} = \frac{5801}{1000} * 150 * 1,1 = 957,2 \text{ у.е.}$$

где $k_3=1,1$ – коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку цемента. Стоимость 1 тонны цемента 150 у.е.

Практическая часть

Таблица 4.1

Заполнить таблицу по результатам расчета согласно своему варианту

Диаметр колонны, мм	Объем ЦР, м ³	Кол-во сухого цемента, кг	Затраты на покупку цемента, у.е.	Кол-во воды, м ³	Затраты на подготовку воды, у.е.	Итого, у.е.
324						
245						
168						
114						
Итого						

Таблица 4.2

**Варианты индивидуальных заданий
Глубина спуска Н, м.**

№	324мм	245	168	114
1	205	830	2020	3000
2	200	900	2010	3100
3	210	1005	2000	3200
4	190	970	2300	3300
5	230	950	2250	3400
6	240	1100	2600	3500
7	245	1100	2700	3600
8	225	1300	2650	3700
9	205	1400	2400	3650
10	180	1590	2450	3550
11	170	1500	2050	3450
12	175	1250	2760	3360
13	220	1200	2440	3280
14	235	910	2230	3010
15	280	1600	2080	3020
16	290	1550	2550	3030
17	300	1440	2800	3050
18	305	1330	2750	3150
19	360	1220	2850	3250
20	350	1100	2900	3340