

**НЕФТЕГАЗОВЫЙ ИНЖИНИРИНГ**

**КЕННЕТ Л. БРИДЖЕС**

**РУКОВОДСТВО  
ДЛЯ СУПЕРВАЙЗЕРА  
ПО БУРОВЫМ РАСТВОРАМ  
И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ**



# Оглавление

От редакционного совета серии . . . . .	xvii
<b>ГЛАВА 1. Функции промывочных жидкостей для бурения скважин . .</b>	<b>1</b>
Определение промывочных жидкостей для бурения скважин и их ос- новные функции . . . . .	1
Охлаждение и смазка долота и колонны бурильных труб . . . . .	1
Очистка долота и забоя скважины . . . . .	2
Удержание механических частиц во взвешенном состоянии, вынос шла- ма и обрушившейся породы . . . . .	2
Обеспечение устойчивости стенок ствола и контроль давлений в скважине	2
Использование бурового раствора при сборе геологических данных и оценке пластов . . . . .	3
<b>ГЛАВА 2. Свойства буровых растворов . . . . .</b>	<b>5</b>
Введение . . . . .	5
Свойства буровых растворов, определяемые промысловым анализом	5
Удельный вес бурового раствора . . . . .	6
Гидростатическое давление столба жидкости . . . . .	7
Промысловые измерения удельного веса . . . . .	7
Эквивалентная циркуляционная плотность (ЭЦП) . . . . .	9
Вязкость бурового раствора . . . . .	11
Влияние вязкости на закон Стокса . . . . .	12
Закон вязкого течения Ньютона . . . . .	12
Модель вязкопластической жидкости Бингама . . . . .	13
Замеры реологических параметров . . . . .	14
Контроль вязкости бурового раствора . . . . .	16
Пластическая вязкость ( $PВ = \theta_{600} - \theta_{300}$ ) . . . . .	17
Предел текучести ( $ПТ = \theta_{300} - ПВ$ ) . . . . .	17
Вязкопластичные жидкости . . . . .	20
Степенная реологическая модель . . . . .	21
Расчет $n$ и $K$ . . . . .	23
Реологическая модель Гершеля – Балкли . . . . .	23
Оптимальная вязкость бурового раствора . . . . .	25
Корректировка реологических свойств . . . . .	26
Статическое напряжение сдвига . . . . .	26

Водоотдача . . . . .	28
Факторы, влияющие на водоотдачу . . . . .	30
Температура . . . . .	30
Тип и размер частиц . . . . .	31
Время . . . . .	31
Давление . . . . .	32
Профиль скоростей потока . . . . .	32
Промысловые измерения водоотдачи . . . . .	33
Стандартный анализ по регламенту АНИ . . . . .	34
Анализ водоотдачи по регламенту АНИ для высоких давления и температуры . . . . .	35
Методика получения показателей мгновенной и общей водоотдачи	37
Водоотдача — пример расчета . . . . .	37
Контроль водоотдачи . . . . .	38
Содержание твердой фазы . . . . .	41
Промысловые измерения концентрации твердой фазы . . . . .	42
Содержание песка . . . . .	42
Анализ с помощью реторты . . . . .	42
Титрование бурового раствора метиленовой синей краской . . . . .	45
Расчет типа и количества твердой фазы . . . . .	47
Химический анализ буровых растворов . . . . .	49
рН . . . . .	49
Щелочность ( $P_{бр}$ , $P_f$ , $M_f$ и $P_1$ , $P_2$ ) . . . . .	50
Интерпретация результатов анализа . . . . .	51
Интерпретация $P_f$ и $M_f$ . . . . .	51
Интерпретация $P_1$ и $P_2$ . . . . .	53
Хлориды . . . . .	54
Общая жесткость . . . . .	55
Анализ ежедневных сводок по буровым растворам . . . . .	56
Предлагаемые методы супервайзинга и технологического контроля . . . . .	59
<b>ГЛАВА 3. Основные химические понятия и термины . . . . .</b>	<b>69</b>
Введение . . . . .	69
Буровой раствор в понимании химика . . . . .	69
Базовые компоненты вещества . . . . .	70
Основные взаимодействия между веществами . . . . .	76
Формирование химических соединений . . . . .	76
Ионная связь . . . . .	76
Ковалентная связь . . . . .	78
Соединения, имеющие и ковалентные и ионные связи . . . . .	78
Полярные и неполярные связи . . . . .	79
Органические и неорганические соединения . . . . .	81

Смеси . . . . .	82
Суспензии . . . . .	82
Растворимость и растворы . . . . .	85
Химические типы и химические реакции . . . . .	91
Стехиометрия и расчеты, основанные на химических реакциях . . . . .	91
Кислоты и основания . . . . .	92
Кислотно-основная нейтрализация и рН . . . . .	94
рН . . . . .	95
Понятие химического равновесия . . . . .	98
Движущая сила химических изменений . . . . .	103
Химические расчеты . . . . .	104
Стехиометрия и расчеты, основанные на химических реакциях . . . . .	104
Решение . . . . .	105
Способы выражения концентрации . . . . .	105
Концентрация растворов . . . . .	105
Масса растворяемого вещества в объеме растворителя . . . . .	106
Масса растворяемого вещества в объеме раствора (масса/объем) . . . . .	106
Масса растворяемого вещества на массу растворителя . . . . .	106
Масса растворяемого вещества на массу раствора (масса/масса) . . . . .	106
Молярность (М) . . . . .	107
Моляльность ( <i>m</i> ) . . . . .	107
Нормальность ( <i>N</i> ) . . . . .	108
Объем растворенного вещества на объем раствора (объем/объем) . . . . .	109
Химический анализ буровых растворов . . . . .	109
<b>ГЛАВА 4. Химия глин . . . . .</b>	<b>111</b>
Введение . . . . .	111
Фундаментальная структура глин . . . . .	112
Глинистые минералы, представляющие интерес для бурения . . . . .	116
Бентонит . . . . .	116
Каолинит . . . . .	120
Иллит . . . . .	120
Хлорит . . . . .	123
Смешаннослойные глинистые минералы . . . . .	123
Аттапульгит . . . . .	125
Сепиолит . . . . .	126
Поведение глин в буровых растворах . . . . .	126
Агрегированные системы . . . . .	126

Диспергированные системы . . . . .	128
Флокулированные системы . . . . .	128
Дефлокулированные системы . . . . .	129
Механизмы флокуляции/дефлокуляции . . . . .	129
Эффект высоких концентраций соли и/или поливалентных ионов .	130
Заключение по физико-химическому взаимодействию . . . . .	133
Молекулярный вес . . . . .	134
Адсорбция на поверхности глины . . . . .	134

## ГЛАВА 5. Расчеты, выполняемые при разработке рецептуры буровых

<b>растворов и поддержании их эксплуатационных параметров . . . . .</b>	<b>135</b>
Введение . . . . .	135
Гидростатическое давление . . . . .	135
Примеры с уравнением гидростатического давления . . . . .	136
Уравнения материального баланса . . . . .	136
Смешивание двух буровых растворов . . . . .	137
Утяжеление бурового раствора . . . . .	138
Разбавление бурового раствора водой . . . . .	139
Приготовление бурового раствора в точном соответствии с требованием по объему . . . . .	139
Утяжеление бурового раствора без изменения имеющегося объема . . . . .	140
Разбавление бурового раствора без изменения его объема .	141
Определение среднего удельного веса твердой фазы . . . . .	142
Определить концентрации твердой фазы с высокой и низ- кой плотностями . . . . .	143
Определение среднего удельного веса твердой фазы буро- вого раствора с высокой минерализацией . . . . .	144
Определение концентраций (в кг/м <sup>3</sup> ) твердой фазы с низ- ким и высоким удельными весами для бурового раствора с сильной минерализацией, о котором шла речь в предыдущем примере . . . . .	145
Изменение величины соотношения нефть/вода в буровом раство- ре на нефтяной основе . . . . .	147
Определение требуемого количества жидкости для измене- ния соотношения нефть/вода . . . . .	148
Приготовление бурового раствора в строгом соответствии с требованием по объему . . . . .	149
Расчеты объемов циркуляции, скважины и оборудования . . . . .	151
Расчеты подачи насоса . . . . .	151
Расчет объема скважины и затрубного пространства . . . . .	152

Объем внутреннего пространства бурильных труб и вытесняемый ими объем . . . . .	153
Расчеты объема растворной емкости . . . . .	153
Расчет продолжительности циркуляции . . . . .	153
Расчет потребности в материалах, необходимых для поддержания заданных параметров бурового раствора и его обработки . . . . .	156
Возврат барита в буровой раствор . . . . .	164
Ежедневное поддержание параметров полимерных систем . . . . .	166
Гидравлика и гидравлические формулы . . . . .	167
Расход бурового раствора . . . . .	168
Гидравлическая мощность . . . . .	168
Перепад давления на долоте . . . . .	169
Скорость истечения из насадок . . . . .	169
Разница между силой удара струи и гидравлической мощностью . . . . .	170
Гидравлические формулы . . . . .	170
<b>ГЛАВА 6. Устойчивость стенок скважины . . . . .</b>	<b>173</b>
Породы . . . . .	174
Магматические породы . . . . .	174
Метаморфические породы . . . . .	175
Осадочные породы . . . . .	176
Механические факторы, влияющие на устойчивость стенок скважины . . . . .	180
Градиент давления вышележащих пород . . . . .	181
Поровое давление . . . . .	183
Тектонический сдвиг . . . . .	184
Быстрое осадконакопление . . . . .	185
Структура коллектора . . . . .	185
Диagenез глин . . . . .	186
Повышение давлений в коллекторах, залегающих на небольших глубинах . . . . .	187
Палео-давления . . . . .	188
Солевые купола и отложения солей . . . . .	189
Градиент давления гидравлического разрыва . . . . .	190
Циркуляционные давления . . . . .	192
Движение бурильного инструмента в стволе скважины . . . . .	193
Пласты, которым свойственна потеря циркуляции буровых растворов . . . . .	193
Напряжения, способствующие развитию трещины . . . . .	194
Неустойчивость стенок скважины, связанная с солевыми пластами . . . . .	196
Влияние бурового раствора на устойчивость стенок скважин . . . . .	197

---

Механизмы дегидратации глинистых сланцев . . . . .	199
Классификация глинистых сланцев . . . . .	201
Классификация глинистых сланцев, основанная на описательном геологическом анализе . . . . .	202
Классификация глинистых сланцев, основанная на результатах анализа поведения в статических и динамических условиях . . . . .	202
Повышение устойчивости глинистых сланцев и подбор бурового раствора . . . . .	205
Химическое ингибирование реакционно-активных сланцев . . . . .	208
Обволакивание глинистых сланцев . . . . .	209
Механическая устойчивость глинистых сланцев . . . . .	210
<b>ГЛАВА 7. Компоненты бурового раствора . . . . .</b>	<b>213</b>
Утяжеляющие материалы или уплотнители . . . . .	214
Загустители . . . . .	215
Материалы по контролю водоотдачи . . . . .	215
Материалы для контроля реологии . . . . .	216
Материалы для контроля pH . . . . .	217
Кольматанты . . . . .	217
Поверхностно-активные вещества . . . . .	218
Смазывающие материалы . . . . .	220
Флоккулянты . . . . .	220
Материалы, стабилизирующие глинистые сланцы . . . . .	221
Защита от токсичных воздействий или коррозии . . . . .	222
Прочие вещества, имеющие специализированные функции . . . . .	222
Биоциды . . . . .	222
Осаждающие реактивы . . . . .	223
Материалы, ингибирующие твердые отложения . . . . .	223
Минеральные руды . . . . .	223
Барит . . . . .	224
Минералы железа . . . . .	225
Оксиды железа . . . . .	225
Карбонат железа . . . . .	226
Титанат железа . . . . .	226
Прочие минералы . . . . .	226
Карбонат кальция . . . . .	226
Сульфат стронция . . . . .	227
Сульфид свинца . . . . .	227
Растворимые соли . . . . .	227
Глины . . . . .	228
Бентонит . . . . .	228

Аттапульгит . . . . .	230
Сепиолит . . . . .	231
Органофильные глины . . . . .	231
Другие минеральные продукты . . . . .	232
Асбест . . . . .	232
Лигнит . . . . .	233
Органофильный лигнит (гумат) . . . . .	234
Полимеры . . . . .	234
Основная структура и типы полимеров . . . . .	235
Структура и функции полимера в буровых растворах . . . . .	239
Характеристика некоторых органических полимеров, используемых в буровых растворах . . . . .	240
Сахариды и полисахариды . . . . .	242
Крахмалы . . . . .	242
Гуаровая камедь . . . . .	245
Микробиальные полисахариды — ксантановая смола . . . . .	247
Лигнит и лигносульфонаты . . . . .	249
Танин . . . . .	251
Модифицированные танины . . . . .	252
Производные целлюлозы . . . . .	252
Карбоксиметилцеллюлоза . . . . .	253
Полианионная целлюлоза . . . . .	254
Гидроксиэтилцеллюлоза . . . . .	254
Прочие водорастворимые полимеры на основе целлюлозы . . . . .	254
Синтетические полимеры . . . . .	255
Неорганические полимеры . . . . .	257
Органические фосфаты . . . . .	258
Распространенные неорганические материалы . . . . .	259
Простые коммерческие материалы . . . . .	263
Кольматанты . . . . .	263
Поверхностно-активные вещества . . . . .	264
Поверхностно-активное вещество бурового раствора (ПАВ БР) . . . . .	265
Эмульгатор бурового раствора (ЭБР) . . . . .	265
Гидрофобизаторы . . . . .	266
Биоциды . . . . .	266
Смазочные вещества . . . . .	267
Противовспенивающие реагенты . . . . .	267
<b>ГЛАВА 8. Системы буровых растворов . . . . .</b>	<b>275</b>
Системы глинистых буровых растворов . . . . .	276
Глинистые растворы на основе пресной воды . . . . .	276



Глинистые растворы на основе минерализованной или морской воды . . . . .	279
Насыщенные солью буровые растворы на глинистой основе . . . . .	280
Ингибированные буровые растворы на глинистой основе . . . . .	281
Гипсовые растворы на глинистой основе . . . . .	281
Известковые растворы на глинистой основе . . . . .	282
Обработанные калием растворы на глинистой основе . . . . .	284
Растворы на полимерной основе . . . . .	286
Растворы с одним типом соли . . . . .	287
Солевой раствор с хлоридом калия . . . . .	287
Солевой раствор с хлоридом натрия . . . . .	287
Солевой раствор с хлоридом кальция . . . . .	287
Системы на нефтяной основе . . . . .	288
Буровые растворы на основе обращенных эмульсий . . . . .	289
Буровые растворы с частично фильтрующейся углеводородной фазой . . . . .	294
<b>ГЛАВА 9. Анализ тенденций . . . . .</b>	<b>297</b>
Выявление тенденций . . . . .	299
Признаки, указывающие на состояние ствола скважины . . . . .	301
Материалы, влияющие на свойства бурового раствора . . . . .	304
<b>ГЛАВА 10. Посторонние примеси . . . . .</b>	<b>311</b>
Посторонние примеси, встречающиеся при бурении . . . . .	312
Посторонние примеси, устранимые химической обработкой . . . . .	313
Выбуренная твердая фаза . . . . .	313
Способы регулирования содержания твердой фазы . . . . .	316
Отстаивание . . . . .	316
Разбавление . . . . .	316
Механическая очистка . . . . .	317
Химическая обработка . . . . .	318
Эвапоритовые (растворимые) соли . . . . .	319
Хлорид натрия . . . . .	320
Пласты каменной соли . . . . .	320
Приток минерализованной пластовой воды . . . . .	320
Соленая вода затворения . . . . .	321
Эвапоритовые отложения . . . . .	321
Отложения сульфата кальция . . . . .	322
Загрязнение растворимыми карбонатами . . . . .	322
Цемент . . . . .	323
Загрязнение другими двухвалентными ионами . . . . .	323
Кислые газы . . . . .	324

---

Бактериальное загрязнение . . . . .	325
Нефтепродукты . . . . .	325
Изменения характеристик буровых растворов. Посторонние примеси и их обработка . . . . .	326
Загрязнение твердой фазой (глинами или сланцевыми породами) . . . . .	326
Загрязнение гидрокарбонатами . . . . .	326
Загрязнение карбонатами . . . . .	330
Солевое загрязнение . . . . .	332
Загрязнение цементом . . . . .	333
Загрязнение ангидритом . . . . .	334
Воздействие высоких температур . . . . .	335
Бактериальное загрязнение . . . . .	336
Загрязняющие примеси в буровых растворах на нефтяной основе . . . . .	338
Выбуренная порода . . . . .	338
Вода . . . . .	339
Кислые газы . . . . .	340
Эвапоритовые соли . . . . .	340
Прочие посторонние примеси . . . . .	342
<b>ГЛАВА 11. Разработка технологического регламента на буровые растворы . . . . .</b>	<b>343</b>
Подготовка технологического регламента на буровые растворы . . . . .	345
Пластовые давления . . . . .	347
Метод Хубера и Уиллиса . . . . .	349
Метод Мэтьюза и Келли . . . . .	349
Метод Бена Итона . . . . .	350
Описание методики исследований и анализа образцов керна . . . . .	352
Внешний осмотр и группировка образцов керна . . . . .	352
Описание аналитических исследований . . . . .	354
Репрезентативные результаты исследований и их интерпретация . . . . .	355
Элементный анализ . . . . .	360
Визуальное описание шлама глинистых пород . . . . .	365
Учет термических воздействий . . . . .	367
Рекомендуемый вариант регламента на буровые растворы . . . . .	368
<b>ГЛАВА 12. Очистка бурового раствора от шлама . . . . .</b>	<b>373</b>
Введение . . . . .	373
Наземная часть циркуляционной системы бурового раствора . . . . .	379
Емкости циркуляционной системы . . . . .	379
Вибросита и сетки . . . . .	381
Применение . . . . .	381
Выбор . . . . .	382

---

Производительность вибросит . . . . .	383
Установка оборудования . . . . .	387
Техническое обслуживание . . . . .	388
Влияние характеристик бурового раствора на эффективность ра- боты очистного оборудования . . . . .	389
Многослойные сетки . . . . .	389
Гидроциклоны . . . . .	390
Центрифуги . . . . .	394
Советы по эксплуатации . . . . .	397
Дегазаторы . . . . .	398
Газосепараторы . . . . .	398
Дегазатор . . . . .	398
Перемешиватели . . . . .	402
Центробежные насосы . . . . .	402
Механизм действия центробежного насоса . . . . .	403
Напор . . . . .	405
Различные сведения и рекомендации по эксплуатации . . . . .	408
<b>Библиография . . . . .</b>	<b>411</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>413</b>