

Н. Ф. Семенко

**УТЯЖЕЛИТЕЛИ
на базе
неглинистых
материалов
для бурения
скважин**

Н. Ф. Семенко

УТЯЖЕЛИТЕЛИ на базе неглинистых материалов для бурения скважин

Нап. технологии
авт. д. Федору
ПТО Герман
Васильевич
автор
Корнеев

С. у. в.



МОСКВА "НЕДРА" 1987

Семенко Н.Ф. Утяжелители на базе неглинистых материалов для бурения скважин. — М.: Недра, 1987, 134 с.

Рассмотрены актуальные вопросы создания утяжелителей для бурения скважин из комплекса неглинистых пород с частичной заменой дорогостоящих утяжелителей типа барита, магнетита, являющихся дефицитным сырьем металлургической и химической промышленности. Применение этих типов утяжелителей значительно повысит технико-экономическую эффективность буровых работ, существенно снизит стоимость бурения. Даны рекомендации по применению активных добавок для стабилизации и регулирования утяжеленных буровых растворов. Описаны схемы и оборудование, применяемые при получении утяжелителей, показана экономическая эффективность использования утяжелителей на базе неглинистых пород.

Для инженерно-технических работников буровых предприятий нефтяной, горной и горнорудной промышленности.

Табл. 49, ил. 36, список лит. — 18 назв.

Рецензент: Л.Н. Шадрин, канд. техн. наук (ВНИИОЭНГ)

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусматривается обеспечить в 1990 году добычу 625—640 млн. тонн нефти и газового конденсата, а также 835—850 млрд. кубических метров газа.

В дальнейшем повышенными темпами будет развиваться нефтегазодобывающая промышленность в районах Западной Сибири, в Казахской ССР и на севере европейской части страны. Будет осуществляться ускоренный ввод в промышленную разработку новых нефтяных и газовых месторождений на базе широкого применения индустриальных методов строительства и использования блочно-комплектного оборудования высокой заводской готовности.

Развитие нефтяной и газовой промышленности потребует и значительного увеличения объемов буровых работ как в новых, так и в старых нефтегазодобывающих районах страны. Возросшие объемы бурения потребуют улучшения технико-экономических показателей за счет ускоренного технического перевооружения и дальнейшего совершенствования технологии.

Технико-экономические показатели бурения во многом зависят от совершенства технологии промывки, состава и свойств буровых растворов и соответствия их физико-химических свойств конкретным горно-геологическим условиям. Состав и свойства буровых растворов существенно влияют на характер разрушения горной породы. Следовательно, при соответствующем регулировании состава и свойств буровых растворов можно управлять процессами разрушения горных пород, устойчивостью стенок ствола скважин и другими процессами.

В зависимости от природы и содержания дисперсной фазы, состава и свойств дисперсионной среды буровых растворов зависят работоспособность породоразрушающего инструмента, долговечность работы всего наземного и подземного оборудования и инструмента.

В настоящее время при бурении нефтяных и газовых скважин применяется большая разновидность буровых растворов различной модификации, в том числе и растворы высокой плотности, где в качестве утяжелителей используют барит, гематит, магнетит и другие минералы, которые увеличивают плотность растворов до $2,0 \text{ г/см}^3$ и выше. Однако основной объем бурения на месторождениях с аномально высокими пластовыми давлениями ведется с помощью буровых растворов плотностью не более $1,5\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$.

Повышение плотности буровых растворов железистыми утяжелителями, как известно, сложно и дорого из-за необходимости перевозки больших количеств утяжелителя к месту бурения, а также затрат средств и времени на их заготовку. При проходке скважин на растворах высокой плотности, утяжеленных указанными минералами, заметно ухудшаются технико-экономические показатели бурения. Утяжеленные

буровые растворы этих типов снижают механическую скорость проходки и способствуют осложнениям в виде прихватов и затажек бурового инструмента. Поэтому изыскание более дешевых и доступных материалов для частичной замены барита, магнетита, гематита, представляющих собой важнейшее сырье металлургической и химической промышленности, следует считать актуальной практической и экономической задачей.

В книге рассмотрены вопросы создания и разработки утяжелителей на базе неглинистых пород — известняков, доломита, мела, мергеля, являющихся доступным и дешевым сырьем.

Результаты экспериментальных и опытно-промышленных работ показали, что буровые растворы, утяжеленные этими минералами, обладают рядом существенных преимуществ перед растворами, утяжеленными железистыми добавками, ввиду отличительных особенностей их дисперсной фазы.

Автор изложил физико-химические основы создания утяжелителей на базе неглинистых пород для частичной замены дорогостоящих железистых утяжелителей типа барита, магнетита, гематита и рассмотрел экономическую целесообразность их применения, исходя из рационального использования природных минеральных ресурсов.

ГЛАВА I

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Рациональное использование природных ресурсов при производстве утяжелителей для буровых растворов

Проблема повышения эффективности использования минерального сырья, борьбы за экономию и бережливость — важнейшая составная часть политики партии, направленной на повышение эффективности общественного производства, на его всемерную интенсификацию.

Центральный Комитет КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление от 30 июня 1981 г. "Об усилении работы по экономии и рациональному использованию сырьевых, топливно-энергетических и других материальных ресурсов". В этом имеющем принципиальное значение документе изложена долговременная программа действия, включающая комплекс организационных, научно-технических и экономических мер.

Эффективность состоит в том, чтобы, вовлекая в производство сравнительно меньше ресурсов, добиваться большего результата.

Анализ сложившихся условий общественного производства, перспектив ее развития показывает, что в 80-е годы значение снижения материалоемкости продукции для экономики страны резко возрастает. Это связано прежде всего с расширением масштабов нашего народного хозяйства. Объемы вовлекаемых в производство ресурсов настолько велики, что каждый процент снижения их затрат сберегает для общества огромные средства, труд миллионов людей. Например, 1 % экономии ресурсов пятнадцать лет назад был равен 9 млн. т условного топлива, а в настоящее время — 17 млн. т [3].

В нашей стране темпы роста производства и потребления минерального сырья, энергоресурсов существенно опережают мировые. Однако потребности народного хозяйства в ресурсах растут еще быстрее, чем их производство. Решить эту проблему можно только путем рационального их использования.

Актуальность проблемы бережного отношения к материальным ресурсам обуславливает необходимость экономного и рационального решения ряда научных и практических задач в отраслях промышленности, которые по производственному назначению связаны с разработкой, добычей, обогащением, переработкой, потреблением полезных ископаемых и продуктов, получаемых из них.

Важнейшим вопросом в технологии бурения является повышение качества буровых растворов и утяжеляющих материалов. Последним отводится ведущее место в улучшении технико-экономических показателей бурения. Задачей первостепенной важности является изыскание более дешевых и доступных утяжелителей для частичной замены дорогостоящих утяжелителей, таких, как барит, магнетит, гематит и др.

Основной объем бурения (75 %), как показали статистические данные по ряду буровых предприятий нефтяной, газовой и особенно горнорудной промышленности, ведется буровыми растворами плотностью до 1,7 г/см³, и использование для этих целей дорогостоящих и дефицитных утяжелителей крайне нерационально.

В этом случае могут использоваться дешевые и широко доступные материалы-заменители, а использование железистых и свинцово-цинковых утяжелителей должно быть крайне ограничено. Это обеспечит рациональное и экономное использование материальных ресурсов.

При проходке скважин и шахтных стволов с использованием буровых растворов высокой плотности, утяжеленных указанными минералами, заметно ухудшаются технико-экономические показатели бурения, что затрудняет регулирование структурно-механических свойств утяжеленных буровых растворов (повышаются вязкость и статическое напряжение сдвига).

Важно подчеркнуть, что структурно-механические показатели ухудшают реологические свойства буровых растворов, способствуют образованию висязих и забойных пробок, снижают эффективность работы забойных двигателей и буровых насосов, увеличивают вероятность отложений на стенках ствола скважин, шахты толстой липкой корки, оказывают отрицательное влияние на сохранение естественной проницаемости пласта в результате явлений коагуляции. Все это затрудняет вскрытие продуктивных горизонтов, увеличивает сроки их освоения, уменьшает коэффициент нефтеотдачи и т.д.

Неудовлетворительная очистительная способность указанных типов буровых растворов снижает механическую скорость проходки и способствует возникновению осложнений в виде прихватов и затяжек бурового инструмента. Избежать подобных явлений можно заменой железистых утяжелителей утяжелителями на базе неглинистых пород.

Экспериментальными и опытно-промышленными работами, проводимыми автором совместно с инженерно-техническими работниками ряда буровых предприятий нефтяной, газовой и горнорудной промышленности, доказана возможность создания утяжелителей на основе неглинистых пород (доломит, известняк, мергель, мел и т.д.), представляющих собой доступное нерудное минеральное сырье повсеместного пользования.

Предпосылкой для исследования и создания утяжелителей из комплекса неглинистых пород явились особенности физико-химического взаимодействия дисперсной фазы этих пород с водной средой и разбуриваемыми горными породами, позволяющие сохранять удовлетворительные реологические свойства системы.

Другое, не менее важное свойство пород — это кристаллохимическое строение формы частиц, а также их пространственное расположение в кристаллической решетке, структурные и текстурные свойства.

Дисперсная фаза этих утяжелителей, состоящая в основном из карбонатных пород, легко растворяется в кислотах и других органи-

ческих веществах, что позволяет устранять последствия закупорки (коагуляции) продуктивных горизонтов и восстанавливать первоначальную проницаемость продуктивных пластов.

Основа дисперсной фазы этих утяжелителей обладает хорошей совместимостью с физико-химическими свойствами разбуриваемых горных пород и потоком бурового раствора (большинство горно-геологических разрезов сложено из комплекса карбонатных пород), что способствует повышению устойчивости стенок скважин.

Таким образом, предлагаемые утяжелители позволят: существенно сократить затраты на бурение нефтяных и газовых скважин и шахтных стволов в горнорудной промышленности; частично высвободить сырье для металлургической и химической промышленности; сократить сроки освоения скважин и в результате повысить эффективность поисково-разведочных работ. Поэтому постановка и решение вопроса о создании и применении указанных утяжелителей имеет важное народнохозяйственное значение.

Сырьевая база для производства утяжелителей из комплекса неглинистых пород

Анализ состояния и перспектив развития сырьевой базы нерудного минерального сырья (известняк, доломит, мел, мергель) показал, что в стране насчитывается более 210 месторождений меловых пород, суммарные запасы которых исчисляются в 1,3 млрд. т, а запасы известнякового и доломитового сырья еще более значительны.

Известняк — осадочная горная порода, состоящая преимущественно из кальцита CaCO_3 . Наиболее частыми примесями в известняках являются доломит, кварц, глинистые минералы, окислы и гидроксиды железа и марганца, а также пирит, марказит, фосфаты, гипс, органическое вещество.

Химический состав чистых известняков приближается к теоретическому составу кальцита (56 % CaO и 44 % CO_2). При действии на них даже слабого холодного раствора соляной кислоты происходят разложение кальцита и бурное выделение углекислого газа (вскипание).

При содержании в известняках 4—17 % MgO их называют доломитизированными известняками. С увеличением содержания магния известняки через ряд промежуточных разновидностей переходят в доломиты. Известняки, содержащие 25—50 % глинистых частиц, называются мергелями — это переходные образования от известняков и песчаников к глинистым породам. Природный мел также представляет собой известняк, содержащий до 98 % CaCO_3 . В результате перекристаллизации известняка или доломита под влиянием процессов метаморфизма происходит образование мрамора. Переходные разновидности называются мраморизованными известняками. Характер и степень зернистости известняков различны. Иногда в известняках на-

блюдается хорошо выраженная слоистость. По структурным признакам известняки разделяются на кристаллические, обломочные и смешанные. Чистые известняки обычно белого или светло-серого цвета, примеси же органических веществ окрашивают известняки в черный и темно-серый цвета, а окислы железа — в желтый, коричневый и красный.

Основные физические свойства известняков находятся в прямой зависимости от их структуры и текстуры. Плотность известняков колеблется в пределах 2,7–2,9 г/см³ в зависимости от количества и состава примесей.

У плотных кристаллических известняков пористость изменяется от долей процента у кристаллических до 50–60 % по объему у ракушечников, а водопоглощение — соответственно от долей процента до 40–60 %. Твердость зависит от состава, структуры и текстуры известняка и изменяется в очень широких пределах. Предел прочности известняков при сжатии составляет 250–300 МПа, а у кристаллических разновидностей — 15 ÷ 60 МПа. Коэффициент морозостойкости известняков колеблется в пределах 0,2–1,0, чаще 0,7–0,9. Известняки, чистые по химическому составу, обычно морозоустойчивы.

По происхождению различают: органогенные известняки, образующиеся путем накопления органических остатков (ракушечники, шлаковые и рифовые известняки); гомогенные известняки, образующиеся в результате осаждения кальцита из растворов; обломочные известняки, образующиеся вследствие накопления обломков — продуктов разрушения более древних известняков.

Большинство известняков формировалось в мелководных морских бассейнах в результате накопления органических остатков и при одновременном химическом осаждении кальцита, реже в водоемах суши. Известняки залегают в виде пластов мощностью от нескольких сот до тысяч метров. Залежи известняков встречаются среди отложений всех геологических систем — от докембрийских до антропогенных.

Известняки широко распространены на территории СССР. В европейской части СССР известняки встречаются в отложениях почти всех геологических возрастов. В докембрии в Карелии и на Украине отмечаются отдельные линзы сильно доломитизированного мрамора.

В Ленинградской области и Прибалтике известняки залегают вместе с доломитом в толще силура, образуя ряд слоев мощностью 15–40 м. Почти весь девон и карбон Подмоскovie, бассейна Дона, западного склона Урала и Тимана сложены известняками, яйла Крымских гор — юрскими известняками. Меловые известняки развиты в Курской области, Поволжье (Вольский район), третичные известняки (ракушечники) распространены по всему Северному Причерноморью — от Молдавии до Крыма. Особенно известны месторождения Анкермана, Одессы и Керчи.

Известняки используются в отраслях народного хозяйства: в черной металлургии — в качестве флюса, в промышленности строительных материалов — для изготовления портландцемента.

Доломит — широко распространенный породообразующий минерал из группы карбонатов. По химическому составу доломиты — двойная углекислая соль кальция и магния $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, содержит 30,4 % CaO , 21,7 % MgO , 47,9 % CO_2 , 54,35 % CaCO_3 и 45,65 % MgCO_3 . В результате частичного замещения магния двухвалентным железом, а иногда двухвалентным марганцем доломит переходит в анкерит. По физическим свойствам доломит занимает промежуточное положение между кальцитом и магнезитом. Доломит кристаллизуется в тригональной системе, нередко образуя четко ограненные кристаллы ромбоэдрической формы, иногда с седлообразно-вогнутыми гранями. Кристаллическая структура доломита отличается тем, что ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} попеременно чередуются вдоль тройной оси. Агрегаты обычно кристаллически-зернистые, часто пористые, реже скрытокристаллические. Цвет доломита серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым или зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный или матовый, спайность совершенная по ромбоэдру, твердость 3,5–4, плотность 2,8–2,9 г/см³. Растворим в растворах соляной кислоты.

Доломитом также называют осадочную карбонатную породу, на 90 % и более состоящую из минерала доломита. При содержании доломита 50–90 % породу называют известковистым доломитом, а при еще меньшем его содержании — доломитизированным известняком. Наиболее часто встречается доломит с примесями кальция, опала, кварца, марганцевых и железистых соединений, глинозема.

Доломит весьма распространен в природе и залегает обычно в известняках в виде пластов (иногда большого протяжения), крестообразных линз, скоплений кристаллов и т.д. Реже доломит находится среди глин, обломочных и сульфатных пород (ангидритов) и еще реже — в виде гидротермальных жил совместно с другими карбонатами.

Доломиты обнаружены в осадочных толщах всех геологических периодов, но особенно широко они распространены в отложениях докембрийского и палеозойского возраста. В этих толщах доломиты нередко слагают целые массивы или переслаиваются с известняками, иногда встречаются в виде не совсем правильных залежей, гнезд и т.д.

Наряду с морскими доломитовыми толщами в составе земной коры известны доломиты, возникшие в лагунных условиях, т.е. в морских заливах с осолоняющейся водой. Современные морские и океанические осадки не содержат массового накопления доломитов, а образуют только отдельные кристаллы, их группы и конкреции. В больших количествах доломиты накапливаются на современных материках в осолоняющихся озерах засушливой зоны, не имеющих связи с морями богатых углекислым магнием (например, оз. Балхаш) или карбонатом натрия (например, содовые озера Кулундинской степи). Докембрийские и палеозойские пласты доломита образовались, по-видимому, как первичные морские осадки древних морей. Доломитовые линзы и гнезда обычно представляют собой вторичные образования, развивающиеся в процессе диагенетического изменения и доломитиза-

ции первоначального известкового осадка. Вопрос о генезисе доломитов не решен и остается спорным.

Высказаны различные гипотезы о его происхождении. В советской геологической литературе после работы Б.П. Кротова получил распространение взгляд, согласно которому доломит образуется по реакции Гайдингера: $2\text{CaCO}_3 + \text{MgSO}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 + \text{CaSO}_4$. Но это не объясняет многообразие процессов доломитизации в истории Земли и их современных форм. Н.М. Страховым выдвинута другая гипотеза, объясняющая доломитизирование не реакциями двойного обмена (Гайдингера, Мариньяка), а условиями карбонатных равновесий CaCO_3 и MgCO_3 , находящимися в тесной связи с углекислым газом в атмосфере и воде. Доломит обладает, по-видимому, большей растворимостью, чем CaCO_3 , поэтому для насыщения раствора (воды) требуется относительно высокий щелочной резерв (много ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} в воде).

В древние геологические эпохи, когда содержание CO_2 в атмосфере было повышенным, естественно, и щелочной резерв воды был высок, доломит осаждался прямо из воды, но мог образовываться и путем диagenеза. С уменьшением содержания CO_2 в атмосфере щелочной резерв морской воды значительно понизился и осаждение доломита из воды прекратилось. Но в илах в стадии их диagenеза в ограниченных размерах доломит образуется и в настоящее время, поскольку илы вследствие разложения органического вещества бактериями содержат в больших количествах CO_2 и обладают высоким содержанием щелочи.

Месторождения доломитов весьма многочисленны. В СССР известны месторождения на Урале, в Донбассе, Восточной Сибири, Белоруссии, Прибалтике, Подмосковье. Мощное развитие имеют нижнесилурийские доломиты в Ленинградской области.

Доломиты широко используются при изготовлении огнеупорных изделий и при производстве металлического магния методом прямого восстановления с применением ферросилиция. В черной металлургии доломиты употребляются в качестве флюса, используются также в строительстве для производства магнезиальных цементов, стекловатной и керамической промышленности для изготовления бута, щебня и облицовочного камня.

Мел — разновидность карбонатных пород — состоит в основном из карбоната кальция природного происхождения или полученного искусственным путем. Природный минерал сложен главным образом кальцитовыми частицами скелетов микроорганизмов. Изредка в меле встречаются раковины моллюсков, скелеты мшанок, морских ежей, лилий, кремневых губок, кораллов.

Химический состав мела:

Вещество	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	AlO ₃
Количество, %	45–50	0,2–0,3	0,5–0,6	0,2–0,4	0,002–0,7	40–43

Минеральный состав мела (в %): 90–99 кальцита, 1–8 глинистых

минералов (монтмориллонит, гидрослюда и каолинит); 0,01–0,1 пирита; 0,1–0,5 глауконита; 0,2–6 кварца; 0,01–7,0 опала; 0,01–0,50 цеолита (гейландита); 0,01 барита. Содержание частиц размером меньше 0,01 мм обычно свыше 90 %, плотность 2,70–2,72 г/см³, объемная масса мела 1,42–1,56 г/см³, пористость 45–50 %, естественная влажность 30–33 %, сопротивление влажного мела сжатию — 1–2 МН/м², сухого — 4–5 МН/м². Мел хорошо растворим в соляной кислоте. В меле иногда рассеяны конкреции кремния, пирита и фосфорита. Мел широко распространен в природе и приурочен в основном к верхнемеловым и нижнелавоогеновым отложениям. Мощность пласта отложений мела местами достигает сотен метров.

Мел широко используется в сельском хозяйстве для известкования почв, подкормки животных, в промышленности — для производства цемента и извести, как наполнитель для резины, пластмасс, лакокрасочных материалов, соды, стекла и т.п.

Месторождения мела сосредоточены на всей европейской части СССР, а также в Западном и Восточном Казахстане. В районе Воронежского кристаллического массива и в Днепровско-Донецкой впадине толща отложений мела достигает 200–250 м.

Мергель — осадочная горная порода, состоящая из кальцита или доломита и глинистых минералов. Соотношения карбонатной и глинистой составляющих могут быть различными. Обычно к мергелям относят породу, содержащую 30–90 % CaCO_3 или MgCO_3 и соответственно 10–70 % глинистых частиц. Плотность мергеля колеблется от 2,67 до 2,78 г/см³. Различают глинистые, известняковые, мелоподобные и доломитовые мергели, а в зависимости от примесей — кремнеземистые, глауконитовые, песчаные, слюдяные, битуминозные, углистые и т.д.

Мергели широко распространены в природе и встречаются во всех системах, начиная с протерозоя. В СССР мергели развиты повсеместно среди карбонатных и глинистых толщ. Они используются как сырье в производстве некоторых видов цемента. Чаще всего применяются так называемые цементные мергели, содержащие 75–80 % CaCO_3 . В СССР наиболее известны месторождения цементных мергелей в районе Новороссийска, Донецкой, Воронежской и других областях. Месторождения разрабатываются открытым способом.

Аргиллиты — осадочная горная порода, затвердевшая в результате уплотнения, обезвоживания и сцементирования глин. Тектонические области, где повышенные давление и температура благоприятствуют этим процессам, являются местами сосредоточения аргиллитов. При превращении в метаморфические кристаллические сланцы глины полностью видоизменяются, и поэтому аргиллит резко отличается по свойствам от глин. Так, аргиллиты не обладают пластичностью, не размокают в воде, твердость аргиллитов колеблется от 20 до 75 Н/мм², в то время как твердость глины не превышает 10 Н/мм², плотность аргиллитов 2,7–2,8 г/см³.

Аргиллиты широко распространены в геосинклинальных областях,

где давления и температуры достигают высоких значений при тектонических движениях. С увеличением глубин скважин, шахтных стволов плотность аргиллитовых пород в комплексе разбуриваемых отложений значительно возрастает. В большинстве районов бурения встречаются аргиллиты. Так, в восточных нефтяных районах мощность аргиллитовых отложений иногда превышает 1000 м. Мощные толщи этих пород встречаются в морских и меловых отложениях Русской платформы, среди верхнепермских отложений при бурении глубоких скважин на Днепро-Донецкой впадине.

Алевриты — твердые осадочные породы, которые образовались в результате уплотнения и сцементирования алевритов. Последние представляют собой переходную форму между обломочными и глинистыми породами, утратившими многие характерные свойства песков. Плотность алевритов 2,6–2,7 г/см³.

В виде пластов и пропластков алевриты широко распространены почти во всех глинисто-песчаных породах. Мощные толщи алевритовых пород имеются в юрских и меловых отложениях Кавказского хребта, верхнеюрских осадках Карпат, отложениях Русской платформы, третичных осадках Азербайджана, в ряде районов Сибири.

Сульфатно-галлоидные породы — породы, к которым относятся гипсы, ангидриты и каменная соль (галит). Осадочные минералы этого типа широко распространены на некоторых месторождениях полезных ископаемых. Мощность их залегания колеблется от нескольких десятков до тысяч метров.

Ангидрит CaSO_4 — осадочная порода, состоящая из 41,2 % CaO и 58,8 % SO_3 ; залежи обычно приурочены к галиту и гипсу. Плотность ангидрита равна 2,89–2,98 г/см³.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) встречается в виде волокнисто-игольчатой разности в прослоях или в виде трещин с иглами, расположенными нормально к их стенкам. Плотность гипса 2,31–2,32 г/см³ при содержании 32,56 % CaO , 46,51 % SO_3 и 20,93 % H_2O . Гипс, как и ангидрит, больше, чем многие другие минералы, проявляет способность частично дегидратироваться при небольшом нагревании. Он обычно залегает вместе с ангидритом и каменной солью. На значительной глубине гипс переходит в ангидрит.

Каменная соль (галит) — осадочная порода, состоящая в основном из минерала галита NaCl ; обычно имеет незначительные примеси хлористых и сернокислых соединений, глинистых частиц и др. Плотность каменной соли 2,1–2,2 г/см³. Твердость по Моосу равна 2, кристаллизуется в кубические сингонии. Это бесцветные, белые, желтые, синие кристаллы; чаще встречаются кристаллические агрегаты. Залегает каменная соль вместе с гипсом и ангидритом, нередко крупными массивами. Мощные толщи галита встречаются при бурении скважин на месторождениях Русской платформы, Днепро-Донецкой впадины и др.

Таким образом, исходя из наличия сырьевых ресурсов перечисленных минералов, можно определить основные направления получения утяжелителей из комплекса неглинистых (карбонатных) пород.

Первое направление — рациональная и комплексная переработка полезных ископаемых. Полезные ископаемые по геохимической природе обычно представляют собой комплекс одного или нескольких основных и попутных минералов. Так, в месторождениях руд черных металлов (железо, марганец, хром) встречаются нерудные минералы: титан, ванадий, кобальт, цинк, сера, фосфор. На месторождениях руд цветных металлов в различных соотношениях находятся олово, никель, кобальт, вольфрам, молибден, драгоценные металлы и комплекс редких элементов. Во многих случаях попутные компоненты имеют самостоятельное значение для промышленности, причем их экономическая ценность может порой превышать ценность основного полезного ископаемого.

Вмещающие породы различных месторождений полезных ископаемых, представленные различными примесями (глины, известняки, доломиты, мергели и другие кристаллические породы), могут также использоваться в различных отраслях народного хозяйства.

Таким образом, комплексная разработка (с учетом попутных компонентов и вмещающих пород) даже мелких по запасам основных компонентов месторождений может оказаться рентабельной для промышленного освоения. В цветной металлургии, химической и газовой промышленности за счет комплексной переработки сырья получают вместе с основной продукцией большое количество других ценных веществ.

Стоимость извлекаемых попутно ценных продуктов в цветной металлургии составляет четверть стоимости всей товарной продукции, получаемой из рудного сырья; почти треть прибыли образуется здесь за счет комплексного использования сырья. Этому направлению придается серьезное значение и за рубежом.

Некомплексное использование полезных ископаемых является источником значительного количества промышленных отходов, отрицательно воздействующих на окружающую среду.

Требования к рациональному и эффективному использованию недр в нашей стране повысились в свете решений XXVII съезда КПСС. О важности и безотлагательности решения этой задачи свидетельствуют постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об усилении охраны природы и улучшения использования природных ресурсов" (1972 г.) и "О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов" (1978 г.). Однако, несмотря на это, все еще велики отходы минерального сырья, особенно при производстве нерудных строительных материалов. В табл. 1 приведены прогнозные расчетные объемы извлекаемых горных пород и отходов производства по данным Института проблем по комплексному освоению недр (АН СССР).

В связи с этим комплексное использование сырья потребует:

- разработки новых технологических процессов;
- расширения исследований в области переработки, обогащения;
- разработки методов улучшения нерудных материалов;
- внесения изменений в методику определения оценки месторождений, мощностей, предприятий, границ и производительности карьеров;

обобщения системы проектирования предприятий с учетом производства нерудных материалов.

Интенсификация и повышение эффективности горнопромышленных отраслей на комплексной основе могут достигаться за счет повышения качества переработки основных и попутных минералов в результате более полного и эффективного освоения имеющихся производственных фондов.

Второе направление в получении утяжелителей на базе неглинистого сырья — использование вторичных ресурсов, сырья, материалов, энергии и т.д. Проблема комплексности использования минерального сырья включает также рациональное использование отходов горных отвалов, вмещающих пород, обогатительных фабрик, металлургических заводов, топливных электростанций и т.д.

Таблица 1

Продукция и вскрышные породы	Ожидаемый объем выпускаемой продукции, млн. м ³	Выход продукции из горной массы, поступающей на переработку, %	Отходы, образующиеся при переработке пород, %	Количество отходов, образующихся при переработке, млн. м ³	Объем извлекаемых горных пород в плотном теле, млн. м ³
А. Продукция					
Щебень	410	77	23	135	330
в том числе:					
из изверженных пород	230	80	20	60	155
из карбонатных пород	120	65	35	65	120
из гравия	60	85	15	10	55
Гравий	90	90	10	30	300
Песок из песчано-гравийных месторождений	200				
Песок из песчаных месторождений	110	95	5	5	105
Песчано-гравийная смесь	160	100	—	—	140
Бутовый камень	30	75	25	10	25
Всего	1000	—	—	180	900
Б. Вскрышные породы					
Рыхлые породы	—	—	—	—	290
Скальные породы	—	—	—	—	100
Всего	—	—	—	180	1290

Количество вторичных ресурсов в народном хозяйстве постоянно увеличивается. Ежегодно образуется примерно 350 млн. т условного топлива вторичных энергоресурсов. Вовлечение их в оборот экономически выгодно. Затраты в этом случае в несколько раз меньше, чем на добычу первичного сырья. В комплексе мер по рациональному использованию и экономии ресурсов важное место также отводится малоотходной и ресурсосберегающей технологии.

В качестве примера можно привести данные по Криворожскому бассейну, где в отвалах находится более 700 млн. м³ вскрышных пород и 700 млн. т отходов обогащения, на что затрачены огромные материальные, финансовые и трудовые ресурсы. Отходы не только загрязняют окружающую среду, но и занимают большие земельные площади. В то же время они могут быть превращены из фактора, удорожающего продукцию предприятия, в фактор, снижающий затраты на основную продукцию. Особый интерес представляют скальные и осадочные породы: известняки, доломиты, мергели и др.

Третье направление — получение утяжелителей из неглинистых пород непосредственно на карьерах открытых разработок, где производится промышленная добыча известняков, доломитов, мергелей для различных отраслей промышленности, и на заводах по производству железистых, баритовых утяжелителей, бентонитовых порошков и других материалов. Такой способ получения утяжелителей не внесет в технологические схемы существенных изменений, связанных с реконструкцией, регламентацией и т.д.

Классификация и применение утяжелителей

Для выполнения своих функций при бурении нефтяных, газовых скважин и проходке шахтных стволов буровые растворы должны представлять собой устойчивые дисперсные системы, обладающие оптимальными реологическими и структурно-механическими свойствами. Это должно относиться и к утяжеленным буровым растворам.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, успех проходки глубоких скважин с аномально высокими пластовыми давлениями в значительной степени зависит от качества применяемых утяжеляющих материалов.

В связи с повышенными темпами развития нефтяной, газовой и горнорудной промышленности и ростом объемов буровых работ возникает необходимость в новых утяжеляющих материалах. Утяжелители для буровых растворов в зависимости от назначения можно разделить на три группы: первая — плотностью до 3,0 г/см³; вторая — плотностью 3,8–4,5 г/см³; третья — плотностью 5,0–7,0 г/см³ [10, 15, 23].

Первую группу составляют неглинистые породы (доломит, известняк, мел, мергель и др., включая сульфатные и сульфатно-галлоидные породы). Вследствие гидрофобности, инертности и других физико-механических и химических свойств эти породы можно вводить в больших

количествах в буровой раствор, повышая его плотность до $1,8 \text{ г/см}^3$. Кроме того, эти минералы обладают сравнительно небольшой структурообразующей способностью, что позволяет иметь в буровом растворе значительное количество твердой фазы, при этом сохраняются их оптимальные реологические и структурно-механические свойства, а это способствует улучшению технико-экономических показателей бурения.

Вторую группу утяжелителей составляют в основном баритовые и железистые утяжелители, которые являются сырьем для металлургической и химической промышленности. Как уже отмечалось выше, использование этих утяжелителей нерационально и дорого, особенно для получения буровых растворов плотностью $1,7 \text{ г/см}^3$. В этом случае можно применять утяжелители первой группы, что даст возможность частично высвободить дорогое сырье и заменить его более дешевыми и доступными материалами.

Третью группу формируют материалы, состоящие главным образом из соединений свинца и железа. Утяжелители этой группы применяются для приготовления буровых растворов плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$ и выше. Такие буровые растворы необходимы для разбуривания отложений, имеющих аномально высокие пластовые давления.

Утяжелители третьей группы должны быть плотностью не менее $4,5\text{--}5,0 \text{ г/см}^3$ для приготовления буровых растворов плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$, хотя в ряде районов при бурении скважин для ликвидации нефтегазопроявлений необходимо иметь буровые растворы плотностью $2,7\text{--}3,0 \text{ г/см}^3$ [10].

Теоретические и практические предпосылки к созданию утяжеленных растворов непосредственно в стволе скважины

Буровые растворы с основой из дисперсной фазы выбуренных неглинистых пород (карбонатных алевролитовых, аргиллитовых сульфатно-галлоидных и др.) находят все более широкое применение при бурении нефтяных, газовых скважин и в горнорудной промышленности при проходке шахтных стволов. В настоящее время используют такие растворы различных модификаций: крахмально-силикатные, эмульсионные, меловые и др.

В результате применения буровых растворов на основе выбуренных неглинистых пород улучшаются технико-экономические показатели бурения — повышаются скорости, снижается себестоимость 1 м проходки и улучшается качество проводки скважин. Предпосылкой для создания таких растворов явились работы П.А. Ребиндера и К.Ф. Жигача по бурению скважин с добавками электролитов — понизителей твердости пород.

В дальнейшем работы по созданию естественных буровых растворов и регулированию их свойств были продолжены С.Е. Ятровым.

В работах по совершенствованию регулирования состава и

свойств буровых растворов из комплекса неглинистых пород большой интерес представляет проблема получения буровых растворов значительной плотности непосредственно в стволе скважины из комплекса выбуриваемых пород.

Экспериментальными и опытно-промышленными работами установлено, что с помощью широко распространенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) и активных добавок (ССБ, КМЦ, УЩР, жидкого стекла, полиакриламидных препаратов и др.) при оптимальном их сочетании можно получить естественные буровые растворы плотностью до $1,5\text{--}1,6 \text{ г/см}^3$ непосредственно в стволе скважины из комплекса выбуренных пород с оптимальными реологическими и структурно-механическими свойствами.

Такие растворы были получены при бурении нефтяных и газовых скважин в Харьковской, Полтавской, Куйбышевской и Львовской областях, а также при проходке скважин и шахтных стволов на предприятиях горнорудной промышленности (Львовско-Волынский, Карагандинский, Донбасский угольные бассейны). Однако увеличение плотности буровых растворов из комплекса неглинистых отложений требует дополнительного диспергирования с учетом направленного регулирования состава и свойств бурового шлама. Дополнительное диспергирование бурового шлама достигается с помощью специальных механизмов мокрого помола непрерывного действия (шаровых, вибрационных и других механизмов).

В настоящее время наиболее актуальная задача по созданию и совершенствованию буровых растворов — создание методов избирательного регулирования их состава и свойств, основанные на физико-химических и механических методах. Как показали опытно-промышленные работы на ряде месторождений, методы избирательного регулирования состава и свойств буровых растворов на основе выбуренных пород — весьма перспективны. Вопрос создания утяжелителей на базе неглинистых материалов с целью частичной замены барита, магнетита и гематита, представляющих собой металлургическое и химическое сырье, в промышленных масштабах ставится впервые.

В этой связи предстоит решить ряд организационных вопросов, связанных с обоснованием технического оснащения; выбора и получения исходного сырья; разработки технологических схем с привязкой к конкретному объекту; определение экономических источников для получения утяжелителей из комплекса неглинистых пород; рассмотрение физико-химических аспектов получения и их реализации.

ГЛАВА II

АНАЛИЗ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ И РАЗРАБОТКЕ НЕГЛИНИСТЫХ УТЯЖЕЛЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Роль и значение утяжелителей в процессе бурения

Известно, что бурение нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях, как правило, характеризуется аномально высокими пластовыми давлениями, вызывающими газонефтепроявления и нарушения устойчивости стенок скважин, сложенных из пород, склонных к обвалам, осыпям и другим осложнениям. Для предотвращения подобных явлений создают противодействие выше гидростатического, используя для этих целей утяжеленные буровые растворы. Эти буровые растворы содержат утяжеляющий материал, а также поверхностно-активные вещества — стабилизаторы, структурообразователи и понизители вязкости. В этих коллоидно-суспензионных системах с развитой поверхностью раздела фаз существенную роль играют процессы, происходящие на границе раздела фаз твердое тело — жидкость и зависящие как от дисперсной фазы, так и от дисперсной среды.

Свойства растворов, в которых содержится значительное количество утяжелителя, достигающее порой 60—70 %, определяются особенностями утяжеляющих материалов. Большое значение в этих случаях имеют их поверхностные свойства (гидрофильность, гидрофобность и адсорбционная активность), обусловленные рядом физико-химических факторов (химическим и минеральным составом, величиной, структурой и состоянием поверхности, содержанием водорастворимых солей и др.).

Гидрофильность и гидрофобность, сорбционная способность утяжелителей оказывают огромное влияние на коллоидно-химические и структурно-механические свойства утяжеленных буровых растворов. Природа, дисперсность, а также концентрация утяжелителей и ряд других факторов в значительной степени определяют характер развития коагуляционных и других процессов в утяжеленных системах. В этой связи исследование состава и свойств утяжелителей представляет большой практический интерес.

В отечественной литературе потенциальные возможности различных утяжелителей оцениваются критерием предела утяжеления, т.е. максимальной плотностью, при которой, несмотря на введенный утяжелитель, сохраняются заданные оптимальные свойства бурового раствора. Критерий предела утяжеления учитывает степень дисперсности, наличие глинистых и других включений, адсорбционные и электрокинетические процессы, включая магнитные свойства, абразивность (для железистых утяжелителей) и т.д.

Предлагаемые утяжелители на базе неглинистых материалов гидрофобны, т.е. плохо смачиваются водой, поэтому они могут быть введены

в раствор в значительно больших количествах, чем, например, глина или железистые утяжелители, барит. Очень эффективны добавки утяжелителей этого типа в растворы на нефтяной основе, которые становятся более стойкими к солевой и температурной агрессии.

Гидрофобные и адсорбционные свойства этих утяжелителей не находятся в прямой зависимости от степени дисперсности, как у железистых утяжелителей и барита.

Исследования автора показали, что утяжелители на основе мела, мергеля, доломита и известняка значительно меньше подвержены влиянию присутствующих солей и степень дисперсности не влияет на структурно-механические и реологические свойства утяжеленных буровых растворов.

Как известно, опыт применения железистых утяжелителей выявил ряд их существенных недостатков: абразивность агрессивных и гидрофильных примесей, а также неустойчивых соединений, в частности низших окислов железа, сульфидов и сульфатов; магнитную восприимчивость. Например, твердость по шкале Мооса магнетита и гематита 5,5—6,5, барита 3,0—3,5, твердость карбонатных и сульфатно-галоидных пород колеблется от 2,0 у галита до 3,0 у известняка. Электронно-микроскопическим путем было установлено, что комплекс неглинистых пород имеет, как правило, изодиаметрическую, или многограноообразную, форму частиц. Исходя из этого абразивность неглинистых пород в 5—6 раз ниже, чем железистых утяжелителей.

Утяжелители из комплекса неглинистых пород не кольматируют призабойную зону, что очень важно при освоении нефтяных и газовых месторождений.

Установлено, что даже небольшие дозы соляной кислоты при обработке продуктивных горизонтов обеспечивают естественную проницаемость пласта.

Краткий обзор научно-исследовательских работ по созданию утяжелителей на базе неглинистых пород

Впервые утяжелители буровых растворов были применены в начале 20-х годов, и связано это было с поиском методов борьбы с выбросами при разбуривании высоконапорных пластов. Так, В.К. Строуд применил тонкоизмельченные окислы железа для повышения плотности глинистых растворов и предотвращения их излишнего загустевания. Позднее для утяжеления стали использовать барит. Это направление нашло отражение в систематических исследованиях Л.К. Мискари, В.С. Баранова, С.Н. Ятрова, Э.Т. Кистера, И.Д. Фридмана, Е.Д. Щеткиной, С.Ю. Жуховицкого, К.Ф. Пауса и других ученых, которые позволили улучшить качество утяжеляющих материалов и определить перспективные направления их применения. Существенный вклад в развитие утяжеляющих материалов внесли работы А.И. Булатова, С.А. Рябоконя, С.Н. Шандина, И.Н. Резниченко и других исследователей.

В настоящее время многие научно-исследовательские институты

и лаборатории ведут работы в области совершенствования сырья для получения новых утяжеляющих материалов. В этом плане интересные исследования проведены во ВНИИКРнефть под руководством С.А. Рябоконя по созданию утяжелителей на базе сидерита и других специальных видов утяжеляющих материалов [10]. Большая работа по созданию высокоэффективных и термостойких химических реагентов для стабилизации и регулирования состава и свойств утяжеляющих систем проводится во ВНИИБТ под руководством М.И. Липкеса. Существенный вклад в решение проблемы внесли работы О.А. Ангелопуло (МИНГ им. И.М. Губкина) по разработке научных основ получения буровых растворов высокой плотности с конденсированной твердой фазой.

Однако разработанные различные модификации железистых утяжелителей, их разновидности, а также целая гамма ПАВ для их регулирования не решают проблем повышения скоростей бурения, особенно в сложных горно-геологических условиях, более того — неблагоприятно сказываются на технологиях бурения.

Поиски более эффективных утяжеляющих материалов — задача первостепенной важности. Предпосылкой для созданий таких утяжелителей явились работы группы научных и инженерно-технических работников под руководством С.Н. Ятрова по получению и промышленному внедрению естественных буровых растворов. Экспериментальными и опытно-промышленными работами была доказана возможность создания утяжелителей на базе неглинистых пород (известняк, доломит, мел, мергель) для частичной замены дорогостоящих железистых утяжелителей.

Утяжелители на базе неглинистых пород обладают рядом преимуществ перед железистыми утяжелителями: при значительной плотности сохраняют оптимальные структурно-механические и реологические свойства; более полно соответствуют требованиям технологии бурения; просты в приготовлении, имеют незначительную стоимость.

Увеличение объемов бурения с применением буровых растворов, где в качестве дисперсной фазы используются неглинистые материалы, закономерно, так как материалы с малой обменной емкостью, состоящие в основном из солей двухвалентных металлов, более устойчивы к агрессивному воздействию минерализованных вод, чем глинистые материалы. Использование этих материалов предупреждает осыпи и обвалы вследствие гидрофобности, дегидратации пород, слагающих обвалы скважины. Это подтверждается практикой применения буровых растворов во многих нефтегазодобывающих районах страны.

За последние годы проведены большие работы по дальнейшему совершенствованию буровых растворов с использованием в качестве дисперсной фазы комплекса разбухающих неглинистых пород и специально приготовленных на их основе утяжеляющих материалов.

Предпосылкой для экспериментальных и опытно-промышленных исследований по созданию утяжелителей из неглинистых пород послужили работы по получению утяжеленных буровых растворов непосредственно в стволе скважины.

Если же в буровые растворы, получаемые в процессе проходки из выбуренных неглинистых пород, добавить железистые утяжелители, то можно получить раствор, лишенный недостатков утяжеленных глинистых растворов. Были проведены специальные исследования и опытно-промышленные работы по утяжелению естественных растворов. Исследовали пробы растворов, взятые непосредственно из бурящихся скважин. Растворы предварительно обрабатывали поверхностно-активными веществами и активными добавками в определенном сочетании. В качестве утяжелителя использовали гематит плотностью $4,07 \text{ г/см}^3$ Константиновского завода.

Так, в Шебелинском управлении буровых работ ПО "Укргазпром" при бурении опытных скв. 187 и 207 буровые растворы плотностью $1,42\text{--}1,50 \text{ г/см}^3$ показали хорошие структурно-механические, реологические и фильтрационные свойства [11].

В последующих работах основное внимание было сосредоточено на получении утяжеленных буровых растворов непосредственно в процессе бурения из комплекса выбуриваемых неглинистых пород без применения каких-либо утяжеляющих материалов. Известно, что твердая фаза естественных буровых растворов в процессе бурения образуется в основном за счет тонкоизмельченных фракций разбухающих горных пород, полученных в процессе механического воздействия долота на забой скважины и физико-механических факторов, способствующих дополнительному диспергированию в процессе движения частиц по циркуляционной системе. В этой связи системно проводятся экспериментальные и опытно-промышленные работы по дополнительному диспергированию выбуренной твердой фазы.

Однако опыт бурения скважин и шахтных стволов в горнорудной промышленности показал, что в процессе проходки могут быть получены буровые растворы значительной плотности без дополнительного диспергирования. Так, при бурении клетового ствола шахты диаметром 6,2 м (Донецкий угольный бассейн) был получен мергелистый буровой раствор плотностью $1,42 \text{ г/см}^3$ при использовании широко распространенных поверхностно-активных веществ и активных добавок [12].

Особого внимания заслуживает опыт применения утяжеленных меловых растворов плотностью $1,46\text{--}1,52 \text{ г/см}^3$ в ПГО "Полтавнефтегазразведка", а также буровых растворов на предприятиях Львовской области, утяжеленных местными неглинистыми материалами — мелом и мергелем.

Работы по созданию утяжелителей из неглинистых пород и получению утяжеленных растворов непосредственно в стволе скважины проводят при бурении газовых и газоконденсатных скважин в меловых разрезах на юго-западных месторождениях УзССР. В СредАзНИИгазе были проведены комплексные исследования и принято решение о возможности использования выбуриваемого шлама для замены им привезенных глин с целью получения оптимальных реологических и структурно-механических свойств бурового раствора повышенной плотности.

Утяжелители на базе неглинистых пород, в частности известняка, нашли применение в США [15]. Так, фирма "Магкобар" для этих целей выпускает молотый карбонат кальция (известняк CaCO_3) плотностью $2,8 \text{ г/см}^3$. Этот вид утяжелителя используется для приготовления растворов плотностью $0,96\text{--}1,44 \text{ г/см}^3$ на углеводородной основе или плотностью $1,56 \text{ г/см}^3$ на водной основе.

Для получения растворов на нефтяной основе более высокой плотности используется барит. Сырьем для производства известнякового утяжелителя служат раковины устриц, добываемые в мелководных заливах. Этот сорт утяжелителей имеет низкую скорость осаждения, а также легко растворяется в соляной кислоте, что является положительным фактором при освоении продуктивных пластов.

В настоящее время утяжеляющие материалы из комплекса неглинистых пород находят все большее применение при бурении геолого-разведочных скважин на нефть и газ в особо отдаленных и труднодоступных районах и в горнорудной промышленности при бурении шахтных стволов вентиляционных и замораживающих скважин.

Пути дальнейшего совершенствования утяжеляющих материалов из неглинистых пород. Регулирование их свойств

Научно обоснованный выбор утяжеляющих материалов для буровых растворов, методов стабилизации и регулирования их свойств должен базироваться прежде всего на представлении физико-химических процессов взаимодействия на поверхностях раздела фаз твердое тело—жидкость.

Совершенствование утяжеляющих материалов из неглинистых пород, как специально приготовленных, так и на базе выбуренных пород, подразумевает:

дальнейшее изучение влияния физико-химических и технологических свойств утяжелителей на процессы структурообразования;

рассмотрение регламентации утяжелителей и их технические условия;

исследование молекулярно-поверхностных явлений в утяжеленных системах;

рассмотрение избирательных методов управления их свойствами, основанных на изменении структуры и поверхности их дисперсной фазы (физико-химическое средство разбуриваемых пород с потоком утяжеленного раствора);

изучение влияния комплекса технологических факторов избирательного регулирования на устойчивость ствола скважины;

исследование температурных факторов, влияющих на технологическое состояние утяжеленных растворов;

рассмотрение влияния pH среды на утяжеляющую устойчивость;

исследование стабилизирующей активности новых поверхностно-

активных веществ и флотационных реагентов применительно к утяжелителям из неглинистых пород;

установление влияния утяжеленных растворов на условия работы бурового оборудования и инструмента;

разработку основных методических положений по установлению основоопределяющих технологических свойств утяжеленного раствора на выбор оптимальных конструктивных параметров бурового оборудования;

разработку алгоритмов расчета и постановки задач на ЭВМ потока утяжеленного раствора на условия работы оборудования и инструмента с учетом выявления изучения и совершенствования технико-экономических расчетов;

создание оборудования для приготовления и регулирования утяжелителей, механизации и автоматизации этих процессов.

Регулирование состава и свойств буровых растворов, утяжеленных неглинистыми материалами, развивалось в направлении использования распространенных поверхностно-активных веществ и активных добавок и создания новых поверхностно-активных веществ [12].

Приведение дисперсной системы в устойчивое состояние характеризуется усилением взаимной связи между дисперсной фазой и дисперсионной средой. Эта связь должна быть достаточной для установления динамического равновесия в системе. Для сохранения коагуляционной устойчивости помимо поверхностно-активных веществ, которые способны под действием молекулярных сил концентрироваться, адсорбироваться на границе раздела фаз системы, большое значение придается исследованиям электрокинетических явлений.

Обработка утяжеленных буровых растворов химическими реагентами является сложным физико-химическим процессом и в то же время основным средством, обеспечивающим регулирование свойств таких растворов и придание им необходимых для бурения качеств.

Эффективность химической обработки утяжеленных растворов в большинстве случаев зависит от выбора поверхностно-активных веществ с учетом задач, которые они должны выполнить в процессе бурения. Выбор поверхностно-активных веществ для химической обработки утяжеленных буровых растворов, их дозировку, а также технологию применения можно рекомендовать только после проведения предварительных лабораторных исследований.

Сказанное не означает, что существуют только физико-химические методы регулирования состава и свойств буровых растворов. Выбор методов регулирования состава и свойств утяжеленных буровых растворов из комплекса неглинистых пород зависит от ряда факторов, в частности от свойств применяемых утяжелителей, а также от способа получения утяжеленных растворов: непосредственно в стволе скважины, при избирательном методе регулирования свойств растворов и искусственном создании утяжелителей.

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ НЕГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Рассмотрим физико-химические свойства неглинистых пород, применяемых в качестве утяжеляющих материалов для буровых растворов. Это необходимо прежде всего потому, что при взаимодействии утяжеленных буровых растворов с разбухаемыми породами возникает ряд совершенно новых явлений с точки зрения механики дисперсных систем.

Неглинистые материалы характеризуются гидрофобностью, обменной емкостью, формой частиц дисперсной фазы, структурными и текстурными особенностями, дисперсностью, гидратацией, набухаемостью и рядом других свойств.

Как уже отмечалось, ранее неглинистые породы гидрофобны, т.е. молекулярное взаимодействие между дисперсной фазой и дисперсионной средой (на границе раздела фаз, в данном случае с водной средой) выражено очень слабо. Частицы дисперсной фазы не защищены сольватными оболочками дисперсионной среды и самопроизвольно коагулируют, чего не наблюдается у лиофильных систем, к которым относится группа глинистых пород. Кроме того, коагуляция гидрофобных систем усиливается при наличии даже небольшого количества электролитов. Для повышения устойчивости таких систем необходимо применять стабилизаторы, роль которых заключается в повышении поверхностной сольватации, т.е. в образовании адсорбционно-сольватной оболочки на поверхности частиц дисперсной фазы.

Исходя из этих соображений при создании утяжелителей из неглинистых пород возникает необходимость рассмотрения свойств их дисперсной фазы с целью обоснования и выбора ПАВ и активных добавок для стабилизации и регулирования структурно-механических и реологических параметров утяжеленных растворов, создаваемых на их основе.

Обменная емкость

Каждый минерал имеет свою специфическую ионообменную способность, характеризующуюся расположением обменных ионов, способных к замещению.

Изучение обменной емкости (способности) неглинистых пород имеет важное значение при использовании их в качестве утяжеляющих материалов. Исследования показали, что неглинистые породы обладают незначительной обменной емкостью. Ниже приведены величины обменных емкостей ряда неглинистых пород.

Породы	Известняк	Мергель	Аргиллит	Доломит	Ангидрит
Обменная емкость, моль/100 г	1,88	9,02	10,8	2,33	1,78

Для сравнения приведем значения обменных емкостей некоторых глин.

Глины	Монтморилло-нитовая	Иллитовая	Каолинитовая	Полигорски-товая
Обменная емкость, моль/100 г	80—150	20—40	7,16—24,34	30—30

Небольшая обменная емкость неглинистых пород характеризует незначительное физико-химическое сродство их с водной средой, что и определяет ряд специфических особенностей при создании на их основе утяжеляющих материалов.

Определение обменной емкости глинистых и комплекса неглинистых пород проводилось по методу П.А. Грабарова и З.Л. Уваровой, разработанному в Казахском научно-исследовательском институте земледелия и основанному на применении $BaCl_2$.

Сущность метода. Известно, что величина обменной емкости в значительной степени зависит от величины pH раствора, поэтому ее определение необходимо вести при адсорбции в условиях, когда равновесие между породой и раствором устанавливается при определенном значении pH за счет получения буферных растворов. За меру обменной емкости по данному методу принято максимальное число молей бария, которое данная порода может адсорбировать из 0,1 н. раствора ионов Ba при pH = 6,5.

Для получения раствора с постоянным значением pH рекомендуется разрушать карбонаты 1 %-ной соляной кислотой, так как при кратковременной обработке более крепкой соляной кислотой меньше снижается емкость поглощения, меньше водорода входит в поглощающий комплекс.

После разрушения карбонатов получаем буферный раствор с необходимыми свойствами.

Ход анализа. Навеска карбонатной породы массой 5 г обрабатывается в фарфоровой чашке 1 %-ным раствором HCl до полного разрушения карбонатов. Вначале в чашку вливают 50—60 см³ HCl, раствор равномерно перемешивают стеклянной палочкой. Через некоторое время жидкость отфильтровывается. В чашку вливают новую порцию HCl. Декантация повторяется до тех пор, пока не прекратится вскипание при добавлении новой порции HCl. Обычно для разрушения карбонатов требуется 150—200 см³ 1 %-ной HCl. Затем оставшуюся породу обрабатывают 0,1 н. буферным раствором $BaCl_2$.

После того как набирается 150—200 мл фильтрата, порода переносится на фильтр, и дальнейшее насыщение продолжается на воронке и идет до тех пор, пока pH раствора фильтрата не станет равным pH исходного раствора $BaCl_2$.

Обычно для полного насыщения обменной емкости карбонатной породы барием достаточно пропустить 300–400 мл раствора BaCl_2 . Для страховки рекомендуется пропустить 500 мл раствора. Насыщение обычно заканчивается через 2–3 дня. По окончании насыщения избыток хлористого бария отмывается 96 %-ным спиртом до исчезновения реакции на хлор. Барий вытесняет 1 н. HCl , и фильтрат собирают в стакан емкостью 400 мл. Фильтрат в стакане после упаривания нагревают до кипения. Затем барий осаждают кипящим 10 %-ным раствором H_2SO_4 . Серная кислота приливается в избытке (20 мл). После осаждения стакан ставят в теплую водяную баню. Затем осадок промывают четырехкратной декантацией 50 мл воды, подкисленной серной кислотой. Жидкость отфильтровывается через плотный беззольный фильтр с синей отметкой "д". Осадок переносят на фильтр и промывают горячей водой до исчезновения реакций на серную кислоту. Осадок, оставшийся на фильтре, помещают в тигель вместимостью 12 мл, слегка подсушивают и прокаливают в муфельной печи. После охлаждения в эксикаторе тигель с осадком взвешивают. Затем определяют коэффициент пересчета на сухое вещество K (моль/100 г), который характеризует обменную емкость, по формуле

$$K = \frac{(m_{\text{т.о}} - m_{\text{т}}) 1000 \cdot 100}{116,7 m_n} \quad (3.1)$$

где $m_{\text{т.о}}$ — масса тигля с осадком; $m_{\text{т}}$ — масса пустого тигля; m_n — масса навески породы; 116,7 — эквивалентная масса сернокислого бария.

Метод определения обменной емкости карбонатных пород с помощью буферного раствора BaCl_2 с предварительным разрушением карбонатов дает результаты, близкие к результатам определения обменной емкости универсальным методом Гедройца.

По схождению параллельных определений метод Гедройца значительно уступает рассмотренному методу. Разработанный сотрудниками Казанского института земледелия метод отличается от метода Гедройца быстротой выполнения, его производительность почти в 2,5 раза выше. Все это позволяет рекомендовать его для определения обменной емкости.

Структурные и текстурные свойства утяжеляющих минералов и форма их частиц

Научный и практический интерес представляют собой вопросы структурных и текстурных свойств утяжеляющих материалов из неглинистых пород, в частности карбонатного комплекса (доломит, известняк, мел) и сульфатно-галоидных соединений (ангидрита гипса, галита и др.).

Особенности строения неглинистых пород и их свойства зависят не только от минерального состава, но и от размеров, формы и расположения слагающих их составных частей. Размер составных частиц, форма

минеральных зерен, характер их поверхности, зависящий от расположения составных частей, характеризуют структуру рассматриваемых пород.

Горные породы в основном являются телами полиминеральными, поэтому никаких закономерностей в расположении составляющих их минералов не наблюдается. Они неоднородны по механическим свойствам, распределению и взаимному расположению зерен в массе породы.

Осадочные горные породы, как правило, не имеют правильной геометрической формы, так как они образовались под действием больших давлений. Расположение соответствующих осей и решеток чаще всего носит беспорядочный характер.

Взаимное сцепление отдельных кристаллов (или их обломков) осуществляется либо в результате химических реакций (кварциты, известняки, каменная соль), либо посредством цементирующих веществ (песчаник, конгломерат и другие обломочные породы). Природа сил сцепления в этом случае такая же, как и природа сил, действующих внутри кристаллов, т.е. это те же электростатические и поляризованные силы. Однако поверхности обломков кристаллов обычно шероховаты, и поэтому среднее расстояние между взаимодействующими частицами в местах контакта больше, чем внутри кристалла.

В обломочных горных породах песчаника различают силы сцепления в зернах C_s , с цементирующим веществом C_c и между обломками и цементом C_{sc} . Чаще всего встречаются породы, у которых $C_s > C_{sc} > C_c$, реже $C_s > C_c > C_{sc}$, совсем редко $C_s < C_{sc} < C_c$. В обломочных горных породах типа глин сцепление между обломками обуславливается наличием в них коллоидных частиц.

Коллоидные частицы, имеющие размер менее 0,001 мм, адсорбируются на поверхности более крупных частиц, в результате чего создаются пленки гелей. Адсорбция происходит под влиянием сил молекулярного притяжения.

Основным текстурным признаком осадочных горных пород обычно считается их слоистость, которая причинно связана с накоплением исходного осадка и процессом его превращения в горную породу. В то же время известны отдельные массивные осадочные породы, лишенные слоистости. К ним можно отнести карбонатные породы, которые не имеют слоистости, а представляют собой неориентированную текстуру — частицы, слагающие эти породы, располагаются без всякого порядка и ориентировки.

Рассмотрим некоторые признаки карбонатных пород, в частности доломита и известняка. Обычный доломит (магнезидоломит) состоит из более или менее чистого минерала — доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, который смешивается в любых соотношениях с $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$, или ферродоломитом, а также с $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$, или манганоидоломитом. Иногда в кристаллическом доломите содержится некоторое количество $\text{CaCa}(\text{CO}_3)_2$ или $\text{MgMg}(\text{CO}_3)_2$. Реже встречаются небольшие количества CO или Zn .

Кристаллы доломита представляют собой ромбоэдр, грани которого

Химическая формула минералов доломита	Состав компонентов, %				
	магнезиодолomite	паранкерита	анкерита	ферродолomite	манганодолomite
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	100–90	80	52,4–24,7	—	—
$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$	0–8	20	45,6–70,6	100	—
$\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$	0–2	0	2,0–4,7	—	100

часто бывают искривлены. Кристаллические формы обычно наблюдаются даже в массивной породе: двойники по 0001 или 1011, совершенная спайность по ромбоэдру 1011. Твердость по Моосу 3,5–4.

Оптические свойства доломита характеризуются одноосностью с отрицательным рядом и очень высоким двойным лучепреломлением. Преломление света n и двойное лучепреломление повышаются с содержанием Fe и Mg.

В табл. 2 показаны оптические свойства минералов доломита $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2, \text{CaFe}(\text{CO}_3)_2, \text{CaMn}(\text{CO}_3)_2]$, а на рис. 1 приведено из-

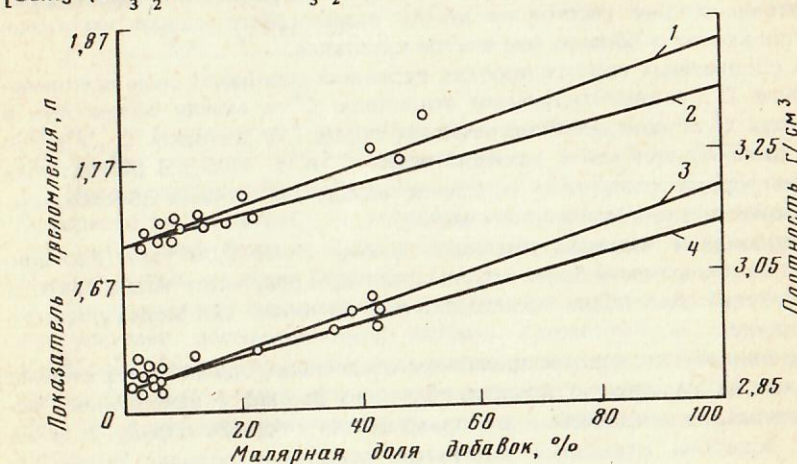


Рис. 1. Зависимость оптических свойств (1, 2) и плотности (3, 4) доломита от добавок: 1, 3 — Fe; 2, 4 — Mg

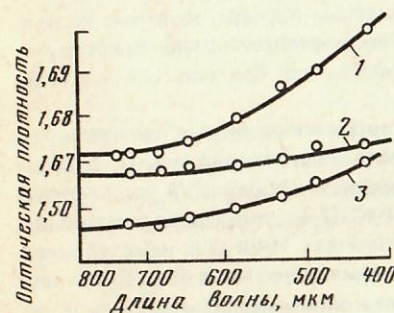


Рис. 2. Зависимость оптической плотности компонентов доломита от длины волны: 1 — наибольший показатель светопреломления N_g ; 2 — средний показатель светопреломления N_m ; 3 — наименьший показатель светопреломления N_p

Таблица 2

Оптическая плотность при длине волны 589 мкм					Плотность, г/см³
магнезиодолomite	паранкерита	анкерита	ферродолomite	манганодолomite	
1,679	1,686	1,728	1,765	1,743	2,87
1,502	1,513	1,531	1,555	1,546	3,25
0,177	0,187	0,197	0,210	0,197	3,1

менение оптических свойств этих минералов в зависимости от содержания Fe и Mg.

В табл. 3 приведено преломление света компонентов доломита, а на рис. 2 показано изменение светопреломления компонентов доломита в зависимости от их оптической плотности.

Известняки (CaCO_3) характеризуются двумя гранулометрическими структурами: крупнозернистые (зерна более 0,5 мм) и микрозернистые (зерна около 0,01 мм). В шлифе они имеют вид лапчатых зерен разной величины и неправильной формы, находящихся друг на друга. По физическим свойствам известняки имеют хорошую спайность по 010, несовершенную — по 110 и 011. Спайность и двойники хорошо выражены в крупных зернах, в средних наблюдаются редко, в мелких отсутствуют. Твердость по Моосу 3–3,5. Что касается оптических свойств, то в микрозернистых известняках отдельные зерна почти неразличимы. При скрещенных николях затухание отсутствует и наблюдается агрегатная поляризация в высоких желтовато-светлых тонах. При очень малой величине зерен шлиф становится почти непрозрачным, отличаясь в этом случае большей белизной в отраженном свете.

По структуре и текстуре сульфатные породы (гипсы и ангидриты) разделяются на крупнокристаллические и столбчато-мелкозернистые, неправильнозернистые, разномзернистые, спутановолокнистые, микрочешуйчатые, микрозернистые.

В некоторых структурах встречаются сростки лучистых кристаллов. Гипсовые породы обычно окрашены в белые, желтоватые и розо-

Таблица 3

Компоненты доломита	Показатели преломления	Оптическая плотность при длине волны, мкм		
		656	589	486
MgCO_3	N_g	1,6799	1,6799	1,6893
CaCO_3	N_m	1,4993	1,5013	1,5054
FeCO_3	N_p	0,1761	0,1786	0,1839

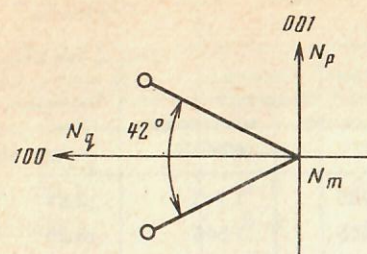


Рис. 3. Оптическая ориентация ангидрита

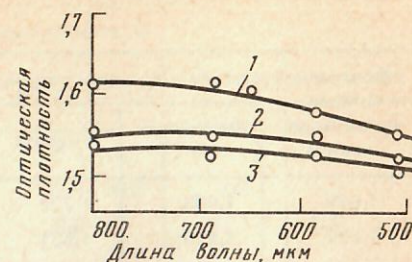


Рис. 4. Изменение преломления света ангидрита. Обозначения те же, что на рис. 2

вые цвета, тогда как ангидритовые породы чаще голубовато-серые или светло-серые, реже белые и красноватые.

Ангидрит легко отличить от гипса как под микроскопом (яркие цветы интерференции), так и по его свойствам (большие плотность, твердость). Структура как у гипса, но чаще встречаются столбчато-мелкозернистые разности. Гипсы и ангидриты могут быть первичные, первичнохемогенные, явно перекристаллизованные, связанные с гидратацией или дегидратацией.

Как в ангидритовых, так и в гипсовых породах развитие микроструктуры неравномерно; разнообразны их сочетания и постепенные переходы друг в друга.

Кристаллы ангидрита (CaSO_4) редко встречаются в природе, разнообразны.

Двойники по 012; полисинтетические двойники по 101. Спайность совершенная по 001 и 010 и ясная по 100. Плоскость оптических осей 010. Наибольший показатель преломления N_g совпадает с первой кристаллической осью (рис. 3). Угол оптических осей 2ψ медленно уменьшается при нагревании. Оптическая плотность при наибольшем показателе преломления N_g составляет 1,614, при среднем N_m — 1,576, а при наименьшем показателе преломления N_p — 1,570 (рис. 4). Дисперсия, т.е. разница между оптической плотностью при наибольшем и наименьшем показателях преломления, составляет 0,044. Для ангидритов характерны прямоугольная спайность по трем направлениям и сильное двойное лучепреломление. Ангидрит легко получается дегидратацией гипса при температуре около 200 °C.

Кристаллы гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (рис. 5) — простые по форме, обычно таблитчатые по 010 или призматические (до игольчатых) по кристаллической оси (C), а также встречаются плотные, листоватые или зернистые агрегаты. Двойники по 100 стрельчатой формы, также и по 101. Спайность совершенная по 010 и несовершенная по 100 и 111. Твердость по Моосу равна 2. Угол оптических осей быстро изменяется с температурой (рис. 6). Так, при температуре 91 °C угол оптических осей доходит до нуля, а при еще более высокой температуре оптические оси переходят в плоскость, перпендикулярную к 001. В то же время дисперсия меняется и соответственно уменьшается оптическая плотность

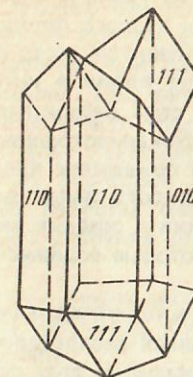


Рис. 5. Кристалл гипса

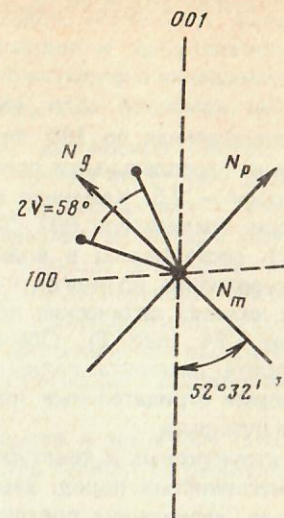


Рис. 6. Оптическая ориентация гипса

при различных значениях показателей преломления. Так, при наибольшем показателе преломления оптическая плотность гипса составляет 1,530, при среднем — 1,523, а при наименьшем — 1,521. При нагревании до 128 °C гипс теряет 3/4 воды, образуя полугидрат или штукатурный гипс. Остальную воду он теряет при температуре 163 °C с образованием так называемого растворимого ангидрита. Для гипса характерны кристаллические формы, одна совершенная и две несовершенные спайности, мягкость, содержание воды, слабое двойное лучепреломление и сильная наклонная дисперсия относительно среднего угла оптических осей.

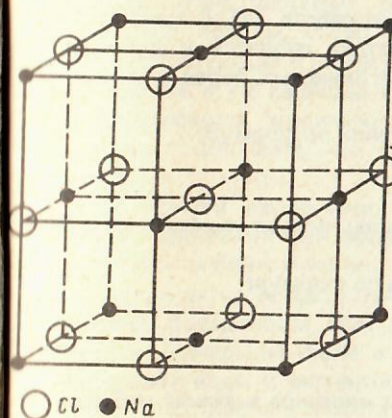


Рис. 7. Кристалл каменной соли

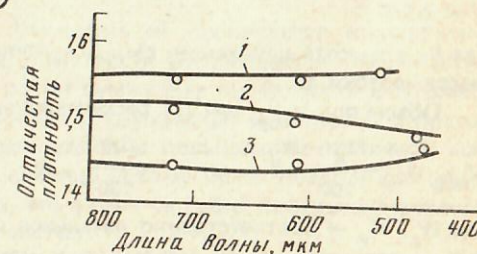


Рис. 8. Изменение преломления света каменной соли

Галлоидные соединения подразделяются на простые и сложные, включая оксигаллоидные и водные галлоидные соли. Расположены они в порядке уменьшения в формуле отношения A/X или $(A+B)/X$.

Кристаллы каменной соли (NaCl) обычно кубические (рис. 7). Спайность совершенная по 100. Фигура удара на грани 100 характеризуется лучами, параллельными осям симметрии второго порядка. Твердость по Моосу — 2,5. Каменная соль легко плавится, часто с растрескиванием при температуре 802 °С, окрашивает пламя в интенсивный желтый цвет, растворяется в воде. Каменная соль бесцветная или белая, обычно изотропна, но иногда отмечается слабая анизотропия; преломление света низкое; оптическая плотность при показателе преломления N составляет 1,54 (рис. 8). Обычно каменная соль имеет включения гипса, ангидрита, лимонита, глины и т.п. Нередки и жидкие включения, иногда в форме отрицательных кристаллов, которые содержат подвижные газовые пузырьки.

Знание структурных и текстурных особенностей утяжеляющих материалов из неглинистых пород, характеризующихся распределением составных частиц, характером поверхности минералов из этих пород, позволит видоизменить утяжеляющую способность буровых растворов.

Набухание

В основе явления набухания лежат действия адсорбционных осмотических и капиллярных сил. Процесс набухания веществ характеризуется количеством поглощенной жидкости, увеличением объема исходного вещества, количеством поглощаемого тепла при набухании, скоростью процесса и т.д.

Определение величины набухания можно производить весовым и объемным методами. Величина набухания группы карбонатных пород определялась весовым методом аналогично работе [4] с помощью торсионных весов ВТ-500. Суть данного метода сводится к регистрации увеличения массы различных образцов неглинистых пород в результате набухания.

Величину набухания H ($\text{см}^3/\text{г}$) определяли по формуле

$$H = hS/F, \quad (3.2)$$

где h — высота набухания, см; S — площадь кольца чашечки, см^2 ; F — масса навески, г.

Объем пор $V_{\text{пор}}$ ($\text{см}^3/\text{г}$) рассчитывали по формуле

$$V_{\text{пор}} = \frac{W_{\text{к}} - W_{\text{н}}}{100} - H = \frac{\Delta W}{100} - H, \quad (3.3)$$

где $W_{\text{н}}$, $W_{\text{к}}$ — соответственно начальное и конечное значения набухания; ΔW — разность между конечным и начальным значениями набухания. Экстраполяция прямой $H = f(V)$ позволила определить увеличение объема, которое наблюдается у образца нулевой пористости [4].

Величина набухания для различных образцов составила 0,6—0,9 % от первоначального объема.

Дисперсность

Ряд физико-химических свойств дисперсных систем значительно зависит от их степени дисперсности, причем некоторые свойства проявляются сильнее при переходе от грубодисперсных к высокодисперсным системам. Так, например, с уменьшением размера частиц вещества растворимость его увеличивается. Скорость диффузии растворенных веществ также повышается с ростом их дисперсности. Окраска многих коллоидных растворов изменяется в зависимости от размеров частиц. Некоторые свойства систем имеют максимальное выражение при промежуточных степенях дисперсности, отвечающих коллоидным размерам частиц.

Особенно важна дисперсность веществ в различных технологических процессах. Например, качество цементов зависит от размеров составляющих их частиц.

Интенсивность электроосмотического движения жидкости, широко применяющегося при обезвоживании различных дисперсных систем (в частности, грунтов), зависит также от дисперсности объекта, подвергающегося осушке.

Дисперсность веществ имеет большое значение при создании и регулировании состава и свойств утяжеленных растворов для бурения скважин и шахтных стволов. При этом важен выбор оптимальных размеров частиц дисперсной фазы и их избирательное регулирование. Так, в процессе бурения скважин и шахтных стволов встречаются разнообразные осадочные породы с различными физико-химическими свойствами — от мягких, хорошо смачиваемых гидрофильных веществ (натриевые бентонитовые глины, образующие при взаимодействии с водой стабильные коллоидные системы) до твердых гидрофобных (сульфатные и карбонатные породы, слабо взаимодействующие с водной дисперсной средой и образующие в ней неустойчивые системы). Степень дисперсности таких систем и их свойства весьма различны. Так, с увеличением степени дисперсности значительно повышается удельная поверхность того или иного компонента, что способствует гидратации и структурообразованию.

При тонком измельчении утяжелителей проявляется комплексное действие нескольких факторов, в частности увеличивается концентрация кинетически активных частиц, растет суммарная поверхность дисперсной фазы, повышается ее адсорбционная и химическая активность. С ростом суммарной поверхности этих минералов и повышением частичной концентрации дисперсной фазы в единице объема увеличивается адсорбция их частицами воды и реагентов, что влечет за собой повышение реологических и тиксотропных свойств систем.

Еще большее влияние оказывает увеличение степени дисперсности в тех случаях, когда компоненты дисперсной фазы содержат химически

нестойкие соединения, активность которых значительно возрастает с ростом их удельной поверхности.

Для установления оптимальных размеров частиц дисперсной фазы утяжелителей из неглинистых пород были проведены специальные исследования. Они включали определение размеров частиц дисперсной фазы и седиментационной устойчивости как основного критерия стабилизации систем.

Степень дисперсности устанавливалась для целого комплекса карбонатных и сульфатных пород. Исследования проводились электронно-микроскопическим методом. Изучали три вида фракций, приготовленных искусственным путем: первая с размером частиц 0,2–0,6 мкм, вторая и третья фракции — соответственно 0,5–2,0 и 4–10 мкм.

Исследования показали, что оптимальный размер частиц составил 0,5–2,0 мкм. Результаты исследований предопределили проведение опытно-промышленных работ по кинетике перехода выбуренных пород в буровой раствор, а также исследований и опытно-промышленных работ по созданию утяжелителей из комплекса неглинистых пород.

Однако свойства систем характеризуются не только степенью дисперсности, но и наличием межфазной поверхности раздела, обуславливающих возможность самых разнообразных адсорбционных явлений, взаимодействием дисперсной фазы с дисперсионной средой, а также различными химическими реакциями, которые могут протекать в системе.

Было установлено, что поверхность раздела фаз не ограничивается геометрическими формами и границами, а охватывает реальный поверхностный слой, обладающий определенной толщиной, в котором свойства вещества, характеризующие факторами интенсивности (концентрация, плотность энергии и др.), отличаются от их постоянных значений в каждой из объемных фаз, непрерывно изменяясь в направлении к поверхности. В большинстве случаев толщина такого поверхностного слоя не превышает нескольких молекулярных диаметров.

Молекулы, находящиеся в поверхностном слое, отличаются от молекул в объеме энергетическим состоянием вследствие асимметрии поля молекулярных сил у поверхности раздела. Так, молекула, находящаяся в глубине фазы, испытывает притяжение таких же молекул, окружающих ее равномерно со всех сторон, и, следовательно, равнодействующая молекулярных сил равна нулю.

Для молекулы, находящейся на поверхности раздела, равнодействующая не равна нулю и направлена в глубь фазы.

При образовании новой поверхности, часть молекул из объема переходит в поверхностный слой; при этом производится работа, направленная против молекулярных сил. Такая работа приводит к накоплению свободной энергии в межфазном поверхностном слое, иначе говоря, к появлению свободной поверхностной энергии.

Величина свободной поверхностной энергии $F(S)$ выражается соотношением: $F(S) = \sigma S$, где σ — свободная энергия единицы поверхности (удельная свободная поверхностная энергия); S — площадь поверхности раздела фаз.

Наличие свободной энергии в поверхностных слоях раздела фаз дисперсных систем связано с некомпенсированностью межмолекулярных сил. Молекулы частиц твердой фазы, расположенные вблизи поверхности раздела фаз, находятся под действием сил притяжения соседних молекул: они не испытывают уравновешивающего притяжения молекул жидкой фазы, расположенных с внешней стороны. Поэтому равнодействующая этих сил направлена внутрь тела и стремится как бы втянуть в него поверхностные молекулы. Такое соотношение межмолекулярных сил порождает тенденцию к уменьшению поверхности раздела фаз.

Свойство самопроизвольного уменьшения поверхности наиболее ярко проявляется в жидких телах на границе с газообразной средой (воздухом). Стремлением сократить поверхность до минимума и объясняется сферическая форма капель жидкости.

Чтобы увеличить поверхность тела, необходимо преодолеть силы, стремящиеся втянуть поверхностные молекулы внутрь, т.е. совершить определенную работу.

Если поверхность однородна по природе и строению, то работа, необходимая для увеличения этой поверхности на единицу площади, эквивалентна удельной свободной поверхностной энергии.

Работу R , затраченную на образование единицы новой поверхности (1 м^2), численно равную удельной поверхности, принято определять как поверхностное натяжение (Н/м)

$$\delta = R/S. \quad (3.4)$$

Как известно, поверхностное натяжение является следствием существования внутреннего давления под действием силы, втягивающей молекулы внутрь жидкости и направленной перпендикулярно к поверхности.

Внутреннее давление тем выше, чем полярнее вещество, так как причиной его является действие молекулярных сил. Например, внутреннее давление воды составляет 1480 МПа, а бензола — 380 МПа. Большое значение внутреннего давления объясняется малой сжимаемостью молекул.

Под влиянием поверхностного натяжения жидкость при отсутствии внешних сил стремится принять форму шара, так как его поверхность является наименьшей поверхностью, ограничивающей данный объем, и, следовательно, поверхностная энергия системы при этом будет минимальной.

Понятие удельной свободной поверхностной энергии можно заменить понятием поверхностного натяжения, действующего касательно к поверхности, т.е. поверхностное натяжение рассматривается как сила, отнесенная к единице длины контура поверхности, действующая в плоскости, касательной к этой поверхности, в сторону ее уменьшения.

Методы определения поверхностного натяжения дисперсных систем на границах раздела фаз жидкость — газообразная среда, жидкость — жидкость, твердое тело — жидкость различны и еще недостаточно раз-

работаны. Однако при исследованиях поверхностного натяжения дисперсных систем и растворов ПАВ пользуются распространенным методом максимального давления, при котором из стеклянного капилляра выдавливаются пузырек газа в жидкость или капля одной жидкости в другую.

Для измерения величины поверхностного натяжения указанным способом широко применяется прибор П.А. Ребиндера. В своих исследованиях по определению поверхностного натяжения на границе жидкость — твердое тело автор использовал прямой метод адсорбции из растворов ПАВ с помощью колориметра ФЭК-56.

Для растворов общая картина может сильно усложняться. Так, по С.С. Воюцкому, все растворимые вещества по их способности адсорбироваться на границе жидкость — воздух можно разделить на две группы: поверхностно-активные и поверхностно-иноактивные вещества.

Поверхностно-активные вещества способны накапливаться в поверхностном слое, и, следовательно, при этом должна происходить положительная адсорбция, т.е. выполняется условие $\Gamma > 0$ (где Γ — величина адсорбции, моль/см²). Примером поверхностно-активных веществ по отношению к воде могут служить многие органические соединения: жирные кислоты с большим углеводородным радикалом, соли этих жирных кислот (мыла), сульфокислоты и их соли, высокомолекулярные спирты, амины.

Поверхностно-иноактивные вещества стремятся уйти с поверхности жидкости в объем, в результате чего наблюдается отрицательная адсорбция, т.е. соблюдается условие $\Gamma < 0$.

Поверхностно-иноактивными веществами в отношении воды являются все неорганические электролиты — кислоты, щелочи, соли. Молекулы этих веществ не имеют гидрофобной части и распадаются в воде на полярные, хорошо гидратирующиеся зоны.

Вещества, не влияющие на поверхностное натяжение растворителя, распределяются равномерно между поверхностным слоем и объемом раствора, и, следовательно, для них $\Gamma = 0$. Такие вещества имеют поверхностное натяжение, близкое к поверхностному натяжению растворителя.

Гидратация

Процесс гидратации имеет важное значение при создании многокомпонентных дисперсных систем, таких, как буровые растворы, в которых дисперсионной средой является вода.

Процесс гидратации происходит под действием сил молекулярного взаимодействия молекул воды и гидратируемого вещества (в данном случае частиц дисперсной фазы неглинистых пород).

Большое распространение имеют реакции гидратации солей, так как соли состоят из ионов, обладающих значительными электрическими полями, которые притягивают полярные молекулы воды. В гид-

ратированном состоянии находятся и отдельные ионы растворенной в воде соли, что влияет на многие свойства растворов солей. Например, электрохимическая подвижность ионов связана с их гидратацией: чем меньше ионов, тем они сильнее гидратируются, т.е. прочнее связаны с окружающими молекулами воды, и тем больше затруднено их передвижение под действием электрического поля, а потому меньше их подвижность.

Нельзя считать, что ионы в водном растворе прочно связаны с каким-то определенным числом молекул воды. Электростатическое поле иона оказывает притягивающее и ориентирующее действие на многие молекулы воды раствора, причем нельзя резко ограничивать молекулы, гидратирующие ион, от остальных молекул. Поэтому можно считать, что ион гидратируется главным образом теми молекулами воды, которые в данный момент расположены непосредственно вокруг него. Гидратация ионов сопровождается выделением значительного количества тепла (теплота гидратации ионов), которое составляет порой до 2,1 мДж/моль. Теплота гидратации ионов во многих случаях с избытком компенсирует теплоту, идущую на разрушение кристалла соли, вследствие чего ряд солей растворяется с выделением тепла.

Реакция гидратации чрезвычайно важна в технологии бурения нефтяных и газовых скважин, например при схватывании гипса, цемента и т.д.

В минеральных веществах вода может войти в решетку самого минерала, составляя его неотъемлемую часть (гидроксильная вода); она может образовывать с минералами твердый раствор (кристаллогидратная вода) или войти в каналы, существующие в решетках некоторых минералов, и находиться на гранях кристаллических решеток в форме адсорбированной воды. Значение вопросов гидратации необходимо при выборе поверхностно-активных веществ, активных добавок к ПАВ для стабилизации неустойчивых гидрофобных систем, которыми являются неглинистые материалы. Кроме того, знание особенностей гидратации позволяет установить некоторые закономерности адсорбционных и электрокинетических явлений, развивающихся на границе раздела фаз.

Утяжеляющая способность исходных материалов

Степень дисперсности утяжелителей является важнейшим фактором, влияющим на их утяжеляющую способность. Количество затраченного утяжелителя необходимого для изменения плотности раствора от исходного значения ρ_1 до заданного ρ_2 называется утяжеляющей способностью.

Утяжелитель, расход которого на утяжеление оказывается меньшим, обладает лучшей утяжеляющей способностью, и его можно рекомендовать для использования.

Наибольшей утяжеляющей способностью обладают железистые утяжелители. Им присущи следующие недостатки: высокая абразивность, содержание химически активных примесей, наличие магнитных свойств и др. [10, 16].

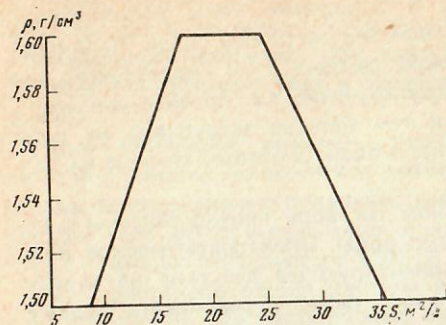


Рис. 9. Зависимость утяжеляющей способности неглинистых утяжелителей от величины их удельной поверхности

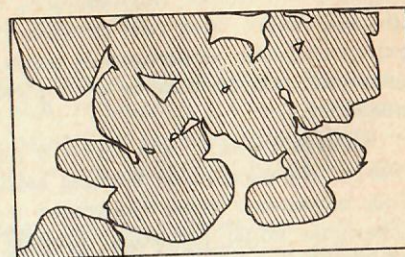


Рис. 10. Микроструктура мела

Свойства предлагаемых утяжелителей из неглинистых (карбонатных) пород еще недостаточно изучены, поэтому автором была исследована зависимость утяжеляющей способности от удельной поверхности утяжелителей из карбонатных пород, а также изучены три вида фракций, приготовленных искусственным путем [13].

Размер частиц различных фракций был определен с помощью электронного микроскопа ВНИГНИ с увеличением в 15000 раз. Первая, вторая и третья фракции имели соответственно размеры: 0,2–0,6; 0,5–2,0; 4–10 мкм. Для каждой фракции была определена ее удельная поверхность S (м²/г) по формуле

$$S = \frac{6}{\rho d_{\text{ср}}}, \quad (3.5)$$

где ρ — плотность породы, г/см³; $d_{\text{ср}}$ — средний поверхностный диаметр частиц каждой фракции, мкм.

Было получено: $S_1 = 40,8\text{--}21,3$ м²/г; $S_2 = 24,6\text{--}17,2$ м²/г; $S_3 = 16,1\text{--}8,1$ м²/г.

Исходя из этих данных была построена кривая зависимости утяжеляющей способности от значения удельной поверхности карбонатного утяжелителя (рис. 9). Как видно из представленного рисунка, оптимальным для получения заданной плотности $\rho_p = 1,6$ г/см³ является размер частиц 0,5–2,0 мкм.

Влияние формы и размера частиц утяжелителей из неглинистых пород на процессы структурообразования

На процессы структурообразования влияет форма частиц минералов. Электронно-микроскопическими исследованиями было установлено, что частицы неглинистых пород имеют изодиаметрическую форму (например, у частиц ангидрита эллипсоидальная форма с лучевыми отростками) [11]. Аналогичная форма у мергеля, несколько многогранно-

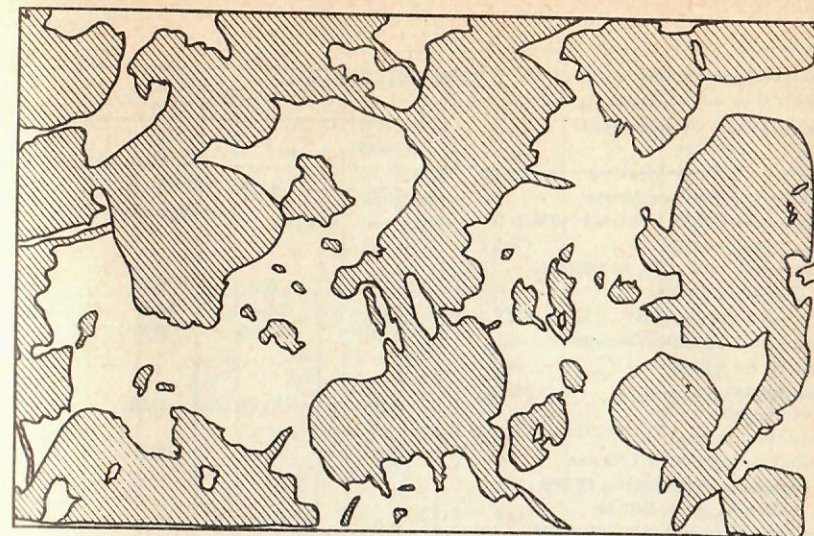


Рис. 11. Микроструктура известняка

вальная у мела, известняка, доломита. На рис. 10, 11 в качестве примера приводятся микроструктуры мела, известняка с увеличением в 15000.

Структурообразующие свойства баритовых утяжелителей, по заключению ряда авторов, зависят от степени дисперсности [10, 15]. Повышенная степень дисперсности утяжелителей связана с увеличением в их составе коллоидных частиц, что приводит к росту их гидрофильной способности, обусловленной в основном наличием в баритосодержащих рудах глинистых включений.

Химический анализ баритовых утяжелителей Салаирского месторождения показал, что с увеличением, например, степени дисперсности салаирского утяжелителя снижается содержание сульфата бария и растет количество кремнезема, а тонкодисперсные фракции с диаметром частиц меньше 10 мкм состоят в основном из окисей кремния и алюминия.

Аналогичные явления наблюдаются при анализе утяжелителя Кайрактинского месторождения. Тонкодисперсная часть баритовых утяжелителей характеризуется увеличенным содержанием основных компонентов глинистых минералов — SiO_2 и Al_2O_3 [15].

Учитывая полученные данные, провели большие исследования, направленные на выявление комплекса факторов, влияющих на процессы структурообразования в утяжеленных буровых растворах. Результатом этих работ явился ряд рекомендаций. Так, например, исследователи считают, что при характеристике качества утяжелителей необходимо исходить из содержания частиц размером < 2 мкм, а не < 5 мкм, как это регламентируется действующими техническими условиями на баритовые утяжелители.

Регламентированное содержание фракционного состава дисперс-

Таблица 4

Показатели утяжелителя	Сорт			
	Высший	1	2	3
Плотность, г/см ³ , не менее	4,25	4,20	4,10	4,00
Содержание BaSO ₄ (в пересчете на сухое вещество), %	9	Не нормируется		
Содержание влаги, %, не более:				
в подсушенном	5,0	5,0	5,0	5,0
в неподсушенном	14,0	14,0	14,0	14,0
Содержание водорастворимых солей, %, не более	0,30	0,35	0,4	0,45
В том числе:				
кальция	0,05	0,05	0,05	0,06
Тонкость помола;				
остаток на сите 170 мм	10,0	10,0	10,0	10,0
при размере ячеек в свету 0,08 мм, %, не более	8,0	10,0	15,0	20,0
Содержание фракции размером < 5 мкм, %, не более	14,0	—	—	—
Растекаемость по конусу АзНИИ, мм, не менее				

ных частиц железистых и баритовых утяжелителей определяется действующими техническими условиями.

В табл. 4 приведены показатели, характеризующие выпускаемый баритовый утяжелитель BaSO₄.

Таким образом, содержание определенных размеров фракций должно быть строго регламентировано. Для определения регламентированного содержания частиц в баритовых утяжелителях используют различные методы. Наиболее широкое применение находит метод адсорбции метиленовой сини, в основе которого лежит явление катионного обмена [10, 15].

Автором данной книги исследовалось влияние глинистых включений на структурообразующую способность утяжелителей из неглинистых пород. Анализу подвергались глинистые растворы с различным содержанием глины (табл. 5). Одна группа растворов обрабатывалась 2,5 % ССБ, 2,5 % крахмала и 15 % NaCl. При этом максимальная плотность составила 1,29 г/см³, водоотдача — 40 см³ за 27 мин, вязкость по СПВ-5 — 152 с, статическое напряжение сдвига (СНС) — 6,27 Па.

При обработке глинистых суспензий 1 % КМЦ, 2 % КССБ и 1 % крахмала плотность доходит до 1,20 г/см³, раствор не течет, водоотдача равна 4,5 см³ за 30 мин, статическое напряжение сдвига — 6,27 Па. Обработка глинистых суспензий (пресных и минерализованных) синтетическими поверхностно-активными веществами позволяет получить суспензии плотностью до 1,35 г/см³ (табл. 6).

Из приведенных данных можно сделать заключение, что наличие даже незначительного количества твердой глинистой фазы в диспер-

Таблица 5

Количество глины в 100 см ³ раствора, г	Параметры раствора				Количество твердой фазы, выделившейся за 2 ч, см ³		
	плотность, г/см ³	вязкость по СПВ-5, с	предельное статическое напряжение сдвига через 1 мин, Па	водоотдача за 30 мин, см ³	отстой	тонкодисперсная система	грубодисперсная система
	2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 15 % NaCl						
20	1,23	18	0,26	40*	—	35	65
30	1,27	24	0,3	40**	—	22	78
40	1,29	152	0,7	40***	Система однородна		
	1 % КМЦ + 2 % КССБ + 1 % крахмала						
10	1,0	26	0	13	1,5	28,5	70
20	1,15	35	0,4	5,5	Система однородна		
30	1,20	Не течет	6,27	4,5	То же		

* Водоотдача за 15 мин.

** Водоотдача за 22 мин.

*** Водоотдача за 27 мин.

Таблица 6

Количество глины в 100 см ³ раствора, г	Параметры раствора				Количество твердой фазы, выделившейся за 2 ч, см ³		
	плотность, г/см ³	вязкость по СПВ-5, с	предельное статическое напряжение сдвига через 1 мин, Па	водоотдача за 30 мин, см ³	отстой	тонкодисперсная система	грубодисперсная система
	0,5 % ЭСЦ						
10	1,07	66	0	5,0	Система однородна		
15	1,09	124	0,8	4,5	То же		
20	1,16	Не течет	1,82	4,0	—		
	0,5 % ЭСЦ + 15 % NaCl						
20	1,22	20	0	40	2	63	35
30	1,30	26	0	40*	2	19	79
40	1,35	38	0,2	40**	Система однородна		

* Водоотдача за 9 мин.

** Водоотдача за 15 мин.

Таблица 7

Месторождение	Состав неглинистого сырья по основным компонентам, %								
	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	P ₂ O ₃	Na ₂ + K ₂ O	Прочие минералы
Первомайское	35,11	15,88	2,12	1,25	0,97	0,23	0,4	0,13	43,91
Негребовское	30,49	21,54	1,68	0,45	0,98	—	0,31	0,31	44,24
Кузинское	30,61	21,59	0,24	0,47	1,02	0,85	0,28	0,26	44,68
Щелковское	29,44	20,70	2,72	1,0	1,63	1,0	0,33	1,3	41,07
Еленовское	35,10	17,33	0,94	1,04	1,04	1,0	0,31	0,36	43,88
Витебское	34,11	17,3	2,08	0,9	0,02	0,03	0,06	0,35	44,25
Саткинское	29,51	21,29	1,94	1,0	1,83	7,5	—	1,0	35,98
Щебекинское	53,3	0,12	—	0,32	0,08	43,44	—	0,06	2,69

ной системе резко изменяет ее реологические и структурно-механические свойства.

В работах [11, 12] была найдена допустимая концентрация глинистой фазы. Так, для утяжеленных растворов она составляет 1–2 %, для неутяжеленных буровых растворов с основой дисперсной фазы из неглинистых пород — 2–3 %, хотя, как показали экспериментальные работы, наличие глинистых включений даже в такой концентрации нежелательно.

Однако в каждом отдельном случае допустимая концентрация глины может быть определена только после проведения предварительных лабораторных исследований.

В табл. 7 приведен состав неглинистого сырья некоторых месторождений, пригодного для создания утяжелителей.

Анализ данных исследований показывает, что сырье практически всех месторождений содержит SiO₂, Al₂O₃ и другие разновидности глинистых минералов. Физико-химические особенности дисперсной фазы рекомендуемых утяжелителей существенно влияют на процессы структурообразования утяжеляющих систем.

Регламентированное содержание (технические условия) фракционного состава дисперсных частиц утяжеляющих материалов

В исследованиях наряду с традиционными применяли два новых метода — "отмучивания" и калориметрический. Последний метод, как показали многочисленные эксперименты по адсорбционным процессам, является надежным, точным и сравнительно быстрым.

В результате проведенных работ были определены оптимальный размер частиц утяжелителей из неглинистых пород, который составил 0,5–2,0 мкм, и оптимальное содержание дисперсной фазы утяжелителей. Боль-

шинство исследователей считают, что утяжелители должны иметь строго определенную регламентацию коллоидных частиц. Однако в последние годы в связи с появлением весьма эффективных диспергаторов (дезинтеграторов) твердой фазы и на основании первых оригинальных исследований в данном направлении традиционные представления об ограничении коллоидальности подлежат сомнению и пересмотру.

Так, группой инженерно-технических работников ЦНИЛа ПО "Эмбанефть" Миннефтепрома совместно с сотрудниками ПО "Дезинтегратор" Эстонской ССР было показано, что применение оригинальных технических и технологических решений по комплексному диспергированию дисперсной фазы и дисперсионной среды открывает совершенно новые перспективы в создании и развитии поверхностных явлений на границе раздела фаз.

Первые исследования дисперсных систем в этом направлении позволяют пересмотреть взгляды на структурообразование, адсорбционные, электрокинетические и другие процессы.

Вопросы регламентированного и фракционного состава дисперсных частиц утяжеляющих материалов из комплекса неглинистых пород тесно связаны с вопросами эффективного применения этих материалов в процессе бурения.

По мнению некоторых исследователей [15], при приготовлении утяжеленных растворов рекомендуется учитывать коэффициент рационального использования утяжелителя K , определяемый как отношение плотности бурового раствора к плотности утяжелителя.

С помощью коэффициента K нами была проверена возможность рационального использования утяжелителей из неглинистых пород.

На рис. 12 приведена оптимальная зона применения утяжелителей в зависимости от коэффициента рационального использования K . Из рис. 12 видно, что с помощью коэффициента K можно установить область применения того или иного утяжелителя, согласуя его с конкретными горно-геологическими условиями проходки скважины.

Значение коэффициента должно находиться в пределах 0,4–0,5, причем чем оно выше, тем эффективнее может использоваться утяжелитель. Для приведенного случая можно сделать вывод, что для заданной плотности, равной 1,6 г/см³, рационально использовать утяжелители на базе неглинистых пород. Для получения бурового раствора с большей плотностью выгодно применять утяжелители, плотность которых 4,0 г/см³ и выше.

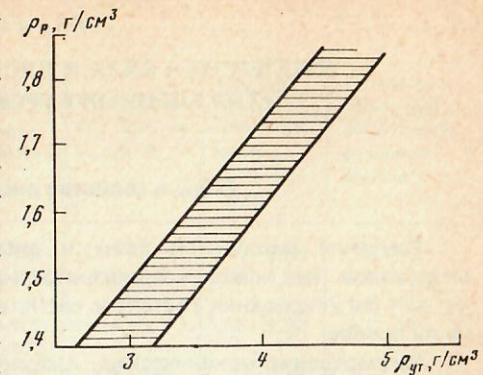


Рис. 12. Зона оптимальной плотности бурового раствора, утяжеленного карбонатными породами

ДИСПЕРСНАЯ ФАЗА И ДИСПЕРСИОННАЯ СРЕДА
УТЯЖЕЛЕННЫХ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Виды и свойства дисперсной фазы

Изучение дисперсной фазы и дисперсионной среды утяжеляющих материалов из комплекса неглинистых карбонатных пород необходимо для регулирования состава и свойств буровых растворов, получаемых на их основе.

Рассмотрение механических, пластических, абразивных, прочностных и других свойств, а также степени дисперсности, адсорбционных явлений, развивающихся на границе раздела фаз твердое тело — жидкость, электрокинетических явлений, температурных факторов утяжеляющих материалов имеет существенное значение для изучения их дисперсной фазы и дисперсионной среды. Неоднородность горных пород вызывает значительные колебания показателей их механических свойств. Как правило, горные породы анизотропны, что обусловлено главным образом их слоистостью. Так, упругие свойства и прочность горных пород резко различаются в зависимости от направления действия сил по отношению к плоскости напластования.

Исследования показали, что механические свойства неглинистых пород характеризуются повышенной твердостью и незначительной пластичностью по сравнению с глинистыми породами [13]. Было установлено, что твердость пород увеличивается с повышением карбонатности. Кроме того, твердость увеличивается в зависимости от различного минерального состава и при возрастании температуры приблизительно до 400 °C (при более высоких температурах твердость снижается). При температуре 50 °C твердость пород увеличивается на 3—7 % по сравнению с твердостью при комнатной температуре, при 100 °C — на 6—8 %, а при 150 °C — на 8—23 %.

На твердость рассматриваемых неглинистых пород существенное влияние оказывает их пористость, которая характеризуется коэффициентом пористости P_n и зависит от модуля продольной упругости E (табл. 8).

Связь между E и P_n может быть выражена следующим уравнением:

$$\lg E = a - b P_n, \quad (4.1)$$

где a , b — коэффициенты, зависящие от минерального состава породы (например, для большинства проб известняка $a = 0,11$, $b = 0,033$, для мергелей — соответственно 0,18 и 0,033).

В табл. 8 приведены механические характеристики некоторых неглинистых пород. При коэффициенте пористости $P_n = 0$ —5 % у пелитоморфных известняков, цементированных карбонатным цементом и содер-

Неглинистые породы	Твердость $P_{ш}$, МПа	Предел текучести, $P_{б}$, МПа	Коэффициент пластичности K_p	Модуль продольной упругости $E \cdot 10^{-4}$, МПа	Удельная объемная работа разрушения, Дж/см ²
Известняк	386—2530	196—2210	1,01—7,06	0,46—2,88	2,68—40,1
Доломиты	766—3320	480—1680	1,4—6,3	1,19—3,86	4,6—53,2
Мел	—	18—696	—	—	—
Ангидрит	885—1470	392—1020	1,4—6,3	1,58—3,92	9,6—28,4
Каменная соль	—	98—120	—	—	—
Мергель	392—1470	196—785	1,5—4,4	0,26—0,96	—
Аргиллит	341—780	168—490	0,9—1,96	0,49—1,60	2,1—8,9

жащих 3—9 % пелитовых частиц, коэффициент пластичности равен единице или близок к этой величине, т.е. такие породы разрушаются как хрупкие, что имеет немаловажное значение при измельчении.

Существенным признаком горных пород (в данном случае утяжеляющих материалов) является их абразивность. Под этим понятием понимается способность или свойство горных пород изнашивать при трении металлы, твердые сплавы и другие твердые тела [9].

Известно, что эта способность зависит от упругих, прочностных и пластических свойств трущихся тел, особенностей их поведения в тонких поверхностных слоях, скорости скольжения, нагрузки и т.д. При этом значительное влияние может оказать внешняя среда, уменьшая или увеличивая износ.

При классификации горных пород по абразивным свойствам предложено пользоваться коэффициентом абразивности W (см³/(м · Н)) и относительным износом I_o . Эти характеристики можно выразить следующими формулами:

$$W = I_c / P; \quad (4.2)$$

$$I_o = I_c / I_n, \quad (4.3)$$

где I_c — износ стали на единицу пути трения, см³/м; P — нагрузка, нормальная к поверхности трения, Н; I_n — износ породы на единицу пути трения, см³/м.

Как видно из табл. 9, абразивность пород оценивается по коэффициенту абразивности и равна 2,0—2,4 для карбонатных пород, а для сульфатных и сульфатно-галоидных пород — 0,35—1,22.

Абразивность железистых утяжелителей находится в пределах 10—50, исключая барит, абразивность которого значительно ниже. Большое значение имеет степень дисперсности утяжеляющих материалов из неглинистых пород, так как на процессы структурообразования существенное влияние оказывают форма частиц, их структурные и текстурные особенности, а также их расположение в кристаллической решетке.

Таблица 9

Группа пород по классификации Шрейнера	Породы	Сталь марки 48			Сплав ВК-15		
		коэффициент абразивности $W \cdot 10^{-10}$, $\text{см}^3/(\text{м} \cdot \text{Н})$	коэффициент относительной абразивности $W \cdot 10^{-10}$, $\text{см}^3/(\text{м} \cdot \text{Н})$	относительный износ I_0	коэффициент абразивности $W \cdot 10^{-10}$, $\text{см}^3/(\text{м} \cdot \text{Н})$	коэффициент относительной абразивности $W \cdot 10^{-10}$, $\text{см}^3/(\text{м} \cdot \text{Н})$	относительный износ I_0
3	Доломиты	2,04	6	30—40	0,12	12	3—4
2	Известняки	2,24	6,5	12—20	0,06	6	1,0—1,5
1	Сульфатные и сульфатно-галоидные породы	0,35—1,22	1—3	3,12	0,01—0,03	1—3	0,25

Таблица 10

Месторождение	Размеры включений, мм			
	кальцита		кварца	халцедона
	зерна	скопления гнезда	зерна	зерна
Первомайское	0,002	—	0,008	—
Негребовское	0,001	—	0,006	—
Кузинское	0,003	—	0,007	—
Щелковское	0,001—0,1	—	0,004—0,4	0,001—0,0
Елоновское	0,1—0,5	3—80	0,01—0,3	—
Витебское	0,005—0,75	—	0,01—1,0	0,02—0,03
Саткинское	0,01—0,1	0,5—1,0	0,01—0,15	—
Щебекинское	0,01	0,1	0,02—1,5	0,002

Продолжение табл. 10

Месторождение	Размеры включений, мм			
	халцедона	флюорита	глинистых	материалов
	скопления гнезда	зерна	частицы	прослойки
Первомайское	—	0,02—0,09	0,002	1—3
Негребовское	—	0,01—0,06	0,001	0—1
Кузинское	—	0,015—0,03	0,003	1—2
Щелковское	2—80	0,02—0,9	0,001—0,002	2—3
Елоновское	—	—	0,001—0,02	0,2—0,1
Витебское	3—40	0,01—0,15	0,002—0,05	3—4
Саткинское	—	—	0,001—0,07	0—0,5
Щебенское	1—60	0,03—0,07	0,004	0—1,5

Пробы из различных месторождений нерудного сырья показали, что степень дисперсности и их фракционный состав далеко не одинаковы (табл. 10). Эта особенность должна учитываться при составлении технологических схем и выборе оборудования при использовании этого сырья в качестве утяжелителя.

Как видно из приведенных материалов, фракционный состав представлен в основном степенью дисперсности 0,01 мкм.

Виды и свойства дисперсионной среды утяжеляющих материалов

Физико-химические особенности дисперсной фазы и дисперсионной среды необходимо связывать прежде всего с изучением кинетики перехода разбуриваемых неглинистых пород в буровой раствор в процессе бурения, так как эта проблема приобретает особо важное значение при создании буровых растворов повышенной плотности, получаемых непосредственно в стволе скважины.

Кинетика перехода этих пород зависит от состава дисперсионной среды и дисперсной фазы, степени взаимодействия твердой и жидкой фаз, активности поверхностно-активных веществ, присутствия водорастворимых пород — электролитов и т.д. Поэтому была поставлена цель изучить химический состав различных разбуриваемых карбонатных и сульфатно-галоидных пород при бурении нефтяных и газовых скважин в Куйбышевской, Харьковской, Ульяновской областях.

Химический состав карбонатных суспензий, отобранных из бурящихся скважин

Основные компоненты суспензии	NaCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	K	Na
Глубина отбора пробы 800 м							
Содержание компонента, мг/л	235,46	520,90	531,90	288,49	46,21	39,1	329,82
Глубина отбора пробы 2270 м							
Содержание компонента, мг/л	140,30	1267,0	45488,8	1262,50	369,80	105,04	27896,70

Из приведенных данных следует, что химический состав жидкой фазы карбонатных суспензий является хлоридно-натриевым.

Ниже представлен фракционный состав твердой фазы карбонатного и сульфатно-галоидного растворов.

Размер фракции, мм	Карбонатный раствор					Нерастворимый осадок 3,1
	1—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001	
Содержание фракции, %	15,8	4,1	17,5	15,4	47,2	3,1
Размер фракции, мм	Сульфатно-галоидный раствор					0,005
	0,2	0,2—0,05	0,05—0,01	0,01—0,001	0,001—0,0001	
Содержание фракции, %	0,17	1,54	2,35	25,94	70,00	

Таблица 11

Температура, °C	Количество выделившейся твердой фазы (мг) за время, мин								Водоотдача за 30 мин, см ³	Кинематическая вязкость, м ² /с
	5	10	15	20	30	40	50	60		
20	140	150	156	168	177	184	188	192	4,0	16,27
60	174	188	192	195	202	204	208	211	5,0	16,72
100	164	170	176	180	189	194	200	204	3,5	16,96
150	163	170	179	183	190	197	200	204	4,0	14,43
200	160	169	178	183	188	196	199	203	4,5	14,4

Таблица 12

Состав суспензии	t, °C	Плотность, г/см ³	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па	Водоотдача за 30 мин, см ³
40 %-ная суспензия (25 % известняка и 15 % зыхской глины) + УЩР (10:1,5)	20	1,35	0,32/4,58	> 40
	100	1,35	1,9/5,2	> 40
	150	1,35	4,0/6,4	> 40
	200	1,35	7,0/2,7	7,5
40 %-ная суспензия (25 % известняка и 15 % зыхской глины) + УЩР (10:3,5)	20	1,35	3,4/10,3	0,0
	100	1,35	3,0/3,9	0,0
	150	1,35	4,9/8,9	4,0
	200	1,35	1,22/2,1	8,0
65 %-ная суспензия (53 % известняка и 12 % зыхской глины) + УЩР (10:3,5)	20	1,68	1,21/7,0	2,4
	100	1,68	3,3/10,0	5,0
80 %-ная суспензия (79,8 % известняка и 0,2 % зыхской глины) + УЩР (10:2,5)	20	1,79	0,6/4,0	0,0
	100	1,79	1,6/6,4	0,0

Химический анализ жидкой фазы сульфатных и сульфатно-галоидных растворов показал, что преобладающими компонентами являются хлоридные, сульфатные и карбонатные соли. Твердая фаза сульфатно-галоидных отложений представлена в основном минералами сульфатно-галоидной группы, незначительную часть составляют глинистые и другие минералы.

Акцентируя внимание на особенностях дисперсной фазы неглинистых утяжеляющих материалов, остановимся на вопросах повышения термостойкости утяжеляющих материалов и соответственно растворов на их основе, так как эта проблема имеет весьма актуальное значение, особенно при бурении глубоких скважин.

Дисперсная фаза неглинистых материалов инертна при термическом воздействии [11, 12]. В связи с этим представляет интерес изучение условий получения термически устойчивых растворов на базе известняка, доломита, мергеля, ангидрита.

При этом исследовалось влияние поверхностно-активных веществ и активных добавок, включая и синтетические поверхностно-активные вещества (СЦ, ЭСЦ), на структурно-реологические, электрокинетические и адсорбционные свойства карбонатных и сульфатных суспензий при изменении температуры в широком диапазоне — от 20 до 200 °C.

Седиментационную устойчивость исследуемых суспензий при разных температурах находили по количеству выделившейся твердой фазы за определенное время с помощью торсионных весов ВТ-500.

Данные табл. 11 свидетельствуют о высокой седиментационной устойчивости 5 %-ной карбонатной суспензии ее невосприимчивости к действию значительных температур. Большой интерес в этом направлении представляют работы азербайджанских ученых [11]. Они исследовали известняково-глинистые суспензии (25 % известняка и 15 % зыхской глины), стабилизированные солями натрия, каприновой кислотой, УЩР, КМЦ и другими реагентами. Так, по данным табл. 11 суспензии, обработанные добавками этих ПАВ, представляют собой тиксотропные системы с малой водоотдачей и низкими значениями статического напряжения сдвига (СНС) при температурах в пределах 200 °C.

Большой интерес представляет изучение влияния УЩР и КМЦ на термостойкость известняково-глинистых буровых растворов, так как при бурении скважин на нефть и газ эти реагенты широко применяются для обработки буровых растворов.

В табл. 12 приведены значения параметров известняково-глинистых суспензий, стабилизированных УЩР при разных температурах. Из табл. 12 видно, что суспензии термически устойчивы до 200 °C.

Аналогичные результаты по термостойкости были получены при обработке карбонатно-глинистых систем КМЦ. Наилучшие результаты, по заключению авторов, были получены для растворов, приготовленных на морской воде в присутствии КМЦ.

Таким образом, на основании исследований [11, 12] можно сделать заключение, что неглинистые породы являются термостойкими. Это связано с особенностями их дисперсной фазы. Учитывая физико-химический состав дисперсной фазы и дисперсионной среды, необходимо рассмотреть механизм воздействия поверхностно-активных веществ на дисперсную фазу этих утяжеляющих материалов.

Особенности взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды и влияние на стабилизацию утяжеленных систем

Основным фактором стабилизации гетерогенных гидрофобных систем является адсорбция поверхностно-активных веществ на границе раздела твердых частиц с жидкостью. Исследования заключались в изучении адсорбции по изменению поверхностного натяжения калориметрическим методом, на границе раздела фаз и по изменению поверхностной активности ПАВ до и после адсорбции.

Роль адсорбционных процессов в стабилизации чрезвычайно велика. В этой связи наибольший интерес представляет система твердое те-

ло — жидкость, являющаяся многокомпонентной смесью, в которой наблюдаются взаимодействия молекул твердого тела, растворителя и растворенных веществ.

Условия адсорбции в такой системе определяются интенсивностью молекулярных силовых полей твердой и жидкой фаз на границе раздела. Различие в интенсивности силовых полей (разность полярностей двух фаз) является причиной возникновения свободной энергии σ на границе, разделяющей эти фазы.

Зависимость между изменением свободной поверхностной энергии на поверхности раствора и концентрацией веществ в поверхностном слое, т.е. адсорбцией на границе раздела фаз, выражена уравнением Гиббса [1]

$$\Gamma = \frac{a}{RT} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial a} \right) T, \quad (4.4)$$

где Γ — избыток вещества на единице поверхности раздела, моль/см²; a — активность растворенного вещества в растворе; R — газовая постоянная, равная $8,31 \cdot 10^3$ Дж/(моль·К); T — абсолютная температура, К.

Для разбавленных растворов можно принять, что значение a равно концентрации C , а следовательно,

$$\Gamma = \frac{C}{RT} \frac{\partial \sigma}{\partial C}. \quad (4.5)$$

Это фундаментальное уравнение, являясь приложением второго начала термодинамики к поверхностям раздела фаз, дает количественное выражение для распределения растворенного вещества между объемом и поверхностным слоем в результате самопроизвольных процессов, приводящих к уменьшению свободной поверхностной энергии.

Уравнение Гиббса позволяет построить кривую зависимости Γ от C на основании измерений поверхностного натяжения растворов различной концентрации. Для этого по данным опыта строят кривую зависимости σ от C и находят для отдельных значений C производные.

Другой метод нахождения Γ более распространенный, хотя и менее точный. Он состоит в определении разности величин поверхностного натяжения σ_1 и σ_2 для двух различных концентраций раствора C_1 и C_2 .

Уравнение Гиббса $\Gamma = f(\sigma, C)$ не дает однозначного выражения для функции $\Gamma = f(C)$, т.е. для изотермы адсорбции, так как термодинамическое описание системы, выражающей поверхность раздела фаз, содержит не менее трех переменных (σ, C, Γ) по условию равновесия, выраженному уравнением Гиббса.

Для исключения одной из независимых переменных, например σ , необходимо задаться дополнительным условием, которое может быть получено с помощью молекулярной теории.

Исходя из представления о мономолекулярности слоя на границе раздела фаз, Ленгмюр вывел следующее выражение для изотермы адсорбции:

$$\Gamma = \Gamma'' \frac{K''C}{1 + K''C}. \quad (4.6)$$

В данном уравнении Γ и Γ'' — не избыточное, а полное количество поверхностно-активного компонента в 1 см² поверхностного слоя. Уравнение содержит две константы равновесия: K'' и K . Константа K'' в рамках молекулярно-кинетической теории представляет собой отношение констант скоростей процессов адсорбции и десорбции. Константа K зависит от природы растворенного вещества и характеризует ее поверхностную активность.

Уравнение Ленгмюра хорошо согласуется с данными опыта и соответствует кривой $\Gamma = f(C)$, а именно: при малых концентрациях ($K''C \ll 1$) уравнение дает прямую пропорциональность между адсорбцией Γ и концентрацией C ; при больших концентрациях ($K''C \gg 1$) значение адсорбции достигает предельного значения $\Gamma = \Gamma''$. Величина Γ'' является важной характеристикой и позволяет вычислить размеры адсорбируемых молекул.

Таким образом, пользуясь изложенными представлениями о распределении молекул в монослое при предельной адсорбции, можно вычислить площадь, занимаемую одной молекулой, т.е. поперечное сечение молекулы. Для этого необходимо разделить величину площади раздела фаз на число молекул. Согласно определению величины адсорбции на площади 1 см² адсорбируются Γ молекул растворенного вещества или ΓN молекул (где N — число Авогадро). Следовательно, площадь, занимаемая одной молекулой, можно вычислить по формуле

$$A = 1/\Gamma'' N. \quad (4.7)$$

Можно также найти толщину поверхностного слоя δ , или осевую длину ориентированной молекулы, где толщина адсорбционного слоя

$$\delta = \Gamma'' M/\rho, \quad (4.8)$$

где M и ρ — соответственно молекулярная масса и плотность растворенного вещества.

Известно, что адсорбция в большей степени зависит от химического состава адсорбирующего вещества и обеих фаз, составляющих поверхность раздела [2].

Для того чтобы вещество адсорбировалось в водной среде, оно должно иметь четко выраженное асимметричное молекулярное строение — полярные гидрофильные и неполярные гидрофобные группы. В поверхностных слоях они располагаются таким образом, что их гидрофильная группа обращена к воде (водной среде), а гидрофобная (углеводородная) — к менее полярной фазе, например к воздуху.

Ориентация молекул адсорбирующегося вещества наблюдается и в случае, когда одной из соприкасающихся фаз является твердая поверхность. Образование адсорбционного слоя ведет к изменению молекулярной структуры твердой поверхности; в одних случаях она становится более гидрофильной, в других, наоборот, менее гидрофиль-

ной. Ориентация молекул поверхностно-активных веществ и определяет возможность создания и стабилизации как обычных буровых растворов, так и утяжеленных с твердой фазой из частиц неглинистых пород.

Проведенными исследованиями установлено, что применяемые в бурении ПАВ, несмотря на их различные природу и химические свойства в водных суспензиях (особенно неглинистых пород), адсорбируются на частицах твердой фазы, понижая при этом поверхностное натяжение на границе раздела фаз твердое тело — жидкость. Ход этих процессов в большей степени зависит от эффективности самих поверхностно-активных веществ — стабилизаторов. Так как неглинистые породы обладают большой гидрофобностью, процесс стабилизации и регулирования их свойств является более сложным, чем стабилизация водных суспензий коллоидных глинистых пород.

Исходя из этих соображений, все исследования в основном базировались на выявлении адсорбционного эффекта на базе неглинистых пород.

Исследования поверхностной активности ПАВ состояли в определении концентрации их до и после адсорбции. Растворы поверхностно-активных веществ брались разной концентрации: сульфозефиры целлюлозы — этансульфонат целлюлозы (ЭСЦ) — 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 %; сульфонатные соли (СНС) сланцевых смол — 0,5; 0,75; 1,0; 2,0; 3,0 % при добавлении 1 % крахмала; гидролизированный полиакрилонитрил — 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 10,0; 15,0 %; углещелочной реагент (УЩР) — 5,0; 7,5; 10,0; 15,0; 20,0 % при добавлении 0,5 % Na_2CO_3 ; сульфит-спиртовая барда (ССБ) — 0,25; 0,5; 1,0; 1,25 %.

Для исследования адсорбционной способности перечисленных выше поверхностно-активных веществ и активных добавок применялся так называемый прямой метод, основанный на применении фотоколориметра. Концентрация ПАВ в фильтрате после адсорбции определялась с помощью фотоэлектрического колориметра ФЭК-56. Для выбора светового фильтра предварительно строились для каждого поверхностно-активного вещества спектральные характеристики (рис. 13). Концентрацию веществ в исследуемых растворах находили по предварительно построенным градуировочным графикам стандартных растворов (рис. 14). Концентрацию после адсорбции можно рассчитать

$$C_x = (C_0 n_x) / n_0, \quad (4.9)$$

где C_x — концентрация исследуемого раствора; n_x — средний отсчет исследуемого раствора; C_0 — концентрация стандартного раствора; n_0 — средний отсчет стандартного раствора.

Изменение концентраций и оптических плотностей ЭСЦ, СНС, УЩР, ССБ и гидролизованного полиакрилонитрила в растворе после адсорбции показано в табл. 13.

Как видно из табл. 13, концентрации поверхностно-активных веществ и активных добавок в растворе после адсорбции уменьшаются, что свидетельствует о закреплении указанных поверхностно-активных веществ на частицах твердой фазы в виде адсорбционных слоев.

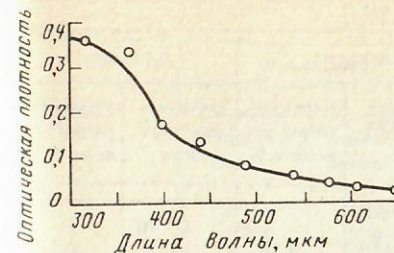


Рис. 13. Спектральная характеристика ЭСЦ

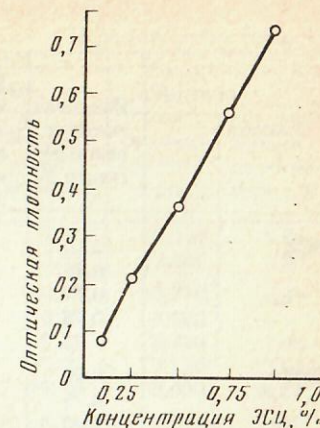


Рис. 14. Градуировочная кривая ЭСЦ

Величина поглощения ЭСЦ в зависимости от его концентрации в растворе при содержании твердой фазы 5 г на 700 мл раствора дана в табл. 14, а для других реагентов приведена ниже (в %):

Для СНС:

концентрация	0,50	0,75	1,0	2,0	3,0
поглощение	12	10	13	17	18

Для полиакрилонитрила:

концентрация	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	10,0	16,0
поглощение	4	4	11	13	12	14	10	12	9

Для УЩР:

концентрация	5	7,5	10,0	15,0	20,0
поглощение	5,6	11,6	10,3	9,3	12,5

Для ССБ:

концентрация	0,25	0,5	1,0	1,25
поглощение	16,0	16,0	15,0	21,6

Наряду с адсорбционными процессами изучали электрокинетические явления, так как они имеют большое практическое значение при создании и регулировании утяжеленных буровых растворов. Природа этих явлений связана с возникновением двойного электрического слоя на границе раздела фаз дисперсных систем.

При соприкосновении двух фаз на границе раздела происходит переход частиц из фазы с более высоким значением химического потенциала в фазу с меньшей величиной [11, 12].

Переход заряженных частиц (ионов, электронов) приводит к образованию заряда в одной фазе и равного, но противоположного по знаку заряда в другой. Эти противоположные заряды благодаря взаимному притяжению остаются на границе раздела, образуя двойной электрический слой.

Последующий переход вещества из одной фазы в другую будет задерживаться возникающей разностью потенциалов $\Delta\varphi$ и, наконец, прекратится при достижении максимальной равновесной величины $\Delta\varphi$.

Если рассматривать возникновение двойного электрического слоя,

Таблица 13

Реагент	Исходная концентрация реагента, %	Оптическая плотность исходных концентраций	Ангидрит		Доломит	
			Оптическая плотность	Концентрация реагента, %	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %
ЭСЦ	0,10	0,08	—	—	0,170	—
	0,25	0,21	0,150	0,19	—	0,21
	0,5	0,36	0,295	0,39	—	0,42
	0,75	0,56	0,430	0,59	0,390	0,54
СНС	1,00	0,73	0,600	0,81	0,596	0,79
	0,50	0,68	0,560	0,38	0,530	0,28
	0,75	0,98	0,850	0,65	0,810	—
	1,00	1,24	1,110	0,87	1,080	0,79
УЩР	2,00	2,30	2,110	1,83	2,090	1,76
	3,00	2,95	2,830	2,82	—	2,00
	5,0	3,68	3,530	4,89	3,480	4,78
	7,5	4,95	4,400	7,00	4,410	7,10
ССБ	10,0	7,01	6,830	9,63	6,900	9,58
	15,0	10,12	9,120	14,00	9,000	14,20
	20,0	18,20	17,680	19,10	18,000	18,10
	0,25	0,33	0,310	0,21	0,800	0,22
Полиакрилонитрил	0,50	0,71	0,630	0,41	0,620	0,46
	1,00	1,34	1,120	0,91	1,110	0,92
	1,25	1,72	1,590	0,98	1,480	1,11
	0,25	0,77	0,72	0,21	0,730	0,19
	0,50	0,83	0,76	0,46	0,780	0,47
	1,00	0,98	0,92	0,89	0,960	0,85
	2,00	2,24	2,13	1,87	2,150	1,86
	3,00	3,21	3,09	2,88	3,110	2,90
	4,00	4,32	3,99	3,86	3,980	3,79
	6,00	6,41	6,13	5,90	6,000	5,86
	10,00	9,98	8,94	8,88	8,790	8,78
	15,00	15,30	15,11	14,00	15,140	14,00

Продолжение табл. 13

Реагент	Известняк		Мергель		Аргиллит	
	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %
ЭСЦ	—	—	—	—	—	—
	0,180	0,200	0,19	0,22	0,158	0,20
	0,283	0,380	0,35	0,42	0,300	0,40
	0,400	0,600	0,40	0,60	0,440	0,60
СНС	0,600	0,795	0,61	0,80	0,670	—
	0,550	0,290	0,57	0,39	0,590	—
	0,860	0,680	0,86	0,71	0,870	0,74
	1,120	0,880	1,09	0,88	1,110	0,81

Продолжение табл. 13

Реагент	Известняк		Мергель		Аргиллит	
	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %	Оптическая плотность	Концентрация реагента, %
СНС	2,150	1,860	2,25	1,91	2,180	1,81
	2,930	2,860	—	2,93	2,840	2,87
УЩР	3,600	4,810	3,61	4,52	3,710	4,83
	—	—	4,81	6,30	4,400	—
	9,390	9,200	7,00	9,31	6,700	7,00
	14,110	14,000	11,10	13,09	9,100	13,80
ССБ	18,800	18,330	16,90	16,10	18,000	18,60
	0,280	0,240	0,31	0,21	—	0,28
	0,640	0,450	0,65	0,40	0,680	—
	1,110	0,930	0,91	0,81	0,920	0,85
Полиакрилонитрил	1,000	1,000	1,51	0,98	—	0,99
	0,740	0,180	0,71	0,18	0,730	0,185
	0,790	—	0,77	0,40	0,780	0,39
	0,940	0,870	0,91	0,79	—	0,89
	2,100	1,890	2,12	1,79	2,150	1,83
	3,090	2,830	3,08	2,81	3,130	2,90
	3,790	3,690	3,88	3,69	3,810	3,88
	—	5,790	6,15	5,78	6,090	5,90
	8,690	8,810	8,94	8,71	9,000	8,90
	15,120	13,990	15,13	14,0	15,110	14,10

Таблица 14

Концентрация ЭСЦ в растворе, %	Поглощение ЭСЦ, %				
	ангидрита	доломита	известняка	мергеля	аргиллита
0,25	24,0	16,0	20,0	12,0	16,6
0,50	22,0	16,0	24,0	16,0	20,0
0,75	21,0	28,0	20,0	20,0	18,7
1,00	19,00	21,0	20,0	20,0	10,8
Среднее	21,5	20,25	21,0	17,0	18,4

то можно констатировать, что первый случай имеет место при диссоциации молекул, составляющих поверхностный слой твердой фазы (например, поликислот). При этом один из ионов (например, H^+) входит в жидкую фазу, в то время как другой ион, связанный более прочно (обычно силами основных валентностей), остается в твердой фазе. Во втором случае двойной электрический слой возникает в результате преимущественной адсорбции одного из ионов раствора, обычно иона, общего или изоморфного с ионами твердой фазы (например, Ag^+ на $AgCl$).

Отсюда в результате адсорбции одна фаза приобретает положительный заряд, другая — отрицательный. Поэтому наложение внешнего электрического поля приводит к относительному перемещению двух фаз,

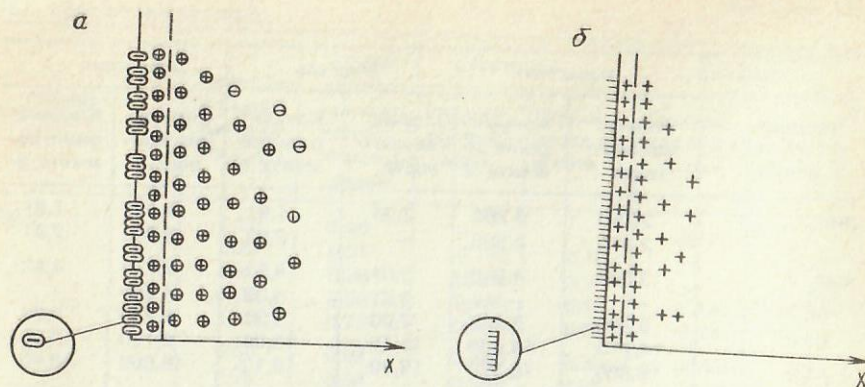


Рис. 15. Схемы распределения избыточных ионов в двойном электрическом слое

каждая из которых будет двигаться. Относительное движение фаз под действием внешнего механического усилия приводит к смещению зарядов, а следовательно, возникновению градиента потенциала в направлении смещения.

Если движение свободно заряженных частиц дисперсной фазы (суспензии, эмульсии, золи) в дисперсионной среде осуществляется под действием внешнего электрического поля, то явление носит название электрофореза, а движение жидкости относительно неподвижной твердой фазы (капиллярные системы, гели) происходит под действием приложенной внешней электродвижущей силы называется электроосмосом.

Изучение этих явлений имеет большое значение в теории процессов, происходящих в поверхностном слое (в частности, в вопросах устойчивости дисперсных систем), и широко используется при решении различных практических задач.

Наличие двойного электрического слоя наряду с рассмотренными явлениями изменяет условия прохождения тока в растворе, находящемся в равновесии с твердой фазой, а именно изменяет характер переноса ионов и электропроводность в жидкости, заполняющей поры капиллярных систем. Эти свойства, получившие название электрокинетических свойств дисперсных систем, тесно связаны с электрокинетическими явлениями и играют большую роль при практическом применении капиллярных систем, в частности при использовании мембран в процессе электродиализа.

Представление о двойном электрическом слое с развитием физико-химии дисперсных систем и электрохимии коллоидов видоизменилось.

Современное представление о строении двойного электрического слоя на границе твердого тела — жидкости изображено на рис. 15. Ионы, входящие в состав твердой фазы (например, анионы поликремневых кислот $n\text{SiO}_2 \cdot \text{SiO}_2^{2-}$, возникающие в результате диссоциации), образуют внутреннюю обкладку двойного слоя (рис. 15,а). Ионы противо-

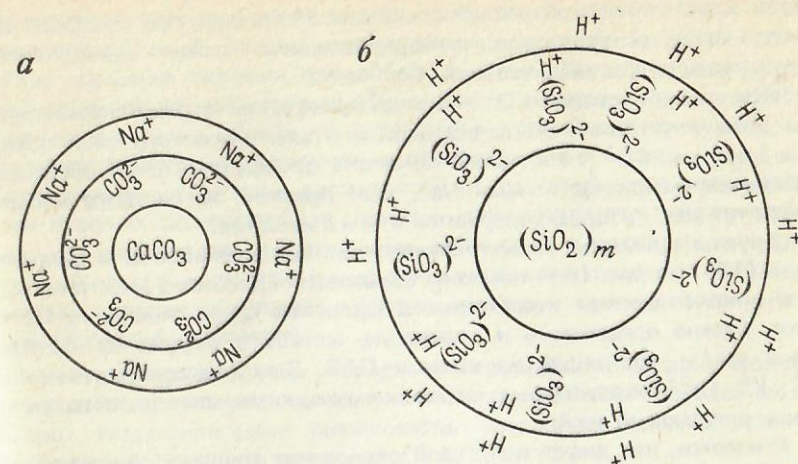


Рис. 16. Схема образования двойного электрического слоя вокруг частицы: а — кальцита в присутствии Na_2CO_3 ; б — кремнезема в щелочной среде

положного знака (катионы Na^+ , отделившиеся при диссоциации от твердой фазы), т.е. противоионы, образуют внешнюю обкладку двойного электрического слоя, обращенную к жидкой фазе (рис. 15,б). Ионы внешнего слоя под действием электрических сил вплотную притянуты к внутренней обкладке и образуют плотный слой внешней обкладки.

Благодаря молекулярному тепловому движению часть ионов внешнего слоя, обладающие большой кинетической энергией, преодолевают потенциальную энергию поля и уходят в объем раствора.

В результате устанавливается динамическое равновесие, при котором скорость диффузии ионов поверхностного слоя, стремящихся перейти в объем раствора, равна скорости обратного процесса, обусловленного полем электростатических сил. Это равновесие аналогично распределению молекул газа в гравитационном поле и подчиняется закону Больцмана.

Таким образом, процесс диффузии стремится выравнять концентрации ионов во всем объеме. В результате этого в жидкой фазе создается объемный заряд, плотность которого постепенно уменьшается с удалением от поверхности раздела фаз. Отсюда слой, в котором диффузионно распределен объемный заряд (противоположный по знаку заряду поверхности), называется диффузным слоем.

При регулировании свойств буровых растворов также используют представления о двойном электрическом слое. На рис. 16,а показана схема образования двойного электрического слоя вокруг частицы кальцита CaCO_3 при наличии в растворе Na_2CO_3 .

Очевидно, в первом случае образование электрического слоя происходит посредством адсорбирования поверхностью частицы минерала или породы противоположно заряженных ионов. При этом притягиваются ионы, одинаковые или близкие по свойствам к ионам, входящим в

состав кристаллической решетки частицы. Например, при создании мергелисто-меловых растворов частица кальцита может адсорбировать из окружающего ее раствора ионы Co^{2+} и Na^+ .

При адсорбировании CO_3^{2-} частица приобретает отрицательный заряд, при этом внутренняя обкладка двойного электрического слоя образована анионами CO_3^{2-} , а внешняя обкладка (диффузный слой) образована катионами, например ионами Na^+ . Как правило, из раствора адсорбируется тот ион, который содержится в нем в избытке.

Другим примером может служить частица кремнезема в щелочной среде [14]. На рис. 16,б показаны образования двойного электрического слоя вокруг частицы кремнезема в щелочной среде. Аналогичным образом можно представить и глинистую частицу в окружении дисперсионной среды, состоящей из воды и ПАВ. Здесь адсорбционные ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} положительно заряжают глинистую частицу, образуя тем самым диффузный слой.

Считается, что диффузный слой определяет толщину гидратной оболочки, препятствующей агрегированию частиц, их слипанию и дальнейшей коагуляции: чем дальше от поверхности частицы распространен диффузный слой (т.е. чем он толще), тем меньше возможность проявления сил слипания частиц и больше величина сил отталкивания τ .

Участие ионов диффузного слоя в относительном движении жидкости характеризуется не всем межфазным потенциалом ξ , а лишь той его частью, которая представляет собой падение потенциала в области диффузного слоя. Эта часть падения потенциала, точнее разность потенциалов между границей скольжения жидкости и глубиной раствора (т.е. областью, где объемный заряд равен нулю), называется электрокинетическим или ξ -потенциалом [2]. Следует отметить, что электрокинетические процессы, происходящие на границе раздела фаз, особенно под воздействием электролитов, изменяют динамическое равновесие дисперсной системы.

В зависимости от соотношений поверхностных сил, концентрации поверхностно-активных веществ и нейтральных солей электролитов эти изменения могут внешне выражаться в усилении устойчивости системы и, наоборот, в резком снижении устойчивости коллоидно-суспензионной системы, ее коагуляции при резком падении ξ -потенциала. Таким образом, величина ξ -потенциала является как бы физико-химической характеристикой поверхностных явлений, происходящих на границе раздела фаз.

Поскольку ξ -потенциал определяется толщиной диффузного слоя [2], то все факторы, влияющие на структуру этого слоя, сказываются на этом показателе. Отсюда оценка ξ -потенциала твердой фазы бурового раствора сводится к электроосмотическим и электрофоретическим процессам.

В последнее время [12] этим процессам стали уделять большое внимание. Особый интерес представляют исследования, направленные на изучение явлений электроосмоса, связанных с устойчивостью ствола бурящихся скважин. Из изложенного выше следует, что коллоидно-

суспензионные системы определяются в основном состоянием и свойствами поверхностей (поверхностных слоев) на границах раздела фаз.

При проходке скважин в процессе бурения образуется дисперсная фаза из комплекса выбуренных пород. Такая дисперсная фаза, обработанная поверхностно-активными веществами, становится системой, которая может состоять из гидрофобных и гидрофильных частиц.

Управление структурно-механическими и реологическими свойствами буровых растворов, как известно, осуществляется поверхностно-активными веществами и активными добавками в определенных пропорциях. В этом смысле ПАВ существенным образом изменяют состояние и природу поверхности твердых частиц и степень взаимодействия их с водной дисперсионной средой.

Молекулы, ориентируясь полярными группами в сторону водной среды, а углеводородными цепями — к менее полярной твердой фазе, вызывают гидрофилизацию поверхности, увеличивая степень взаимодействия воды с твердыми частицами [2, 23].

Концентрированные гидрофобные системы (из комплекса неглинистых пород) могут быть предельно устойчивыми, т.е. достаточное время не коагулировать только при наличии прослоек жидкой фазы, препятствующих движению частиц или разрыву технических (вязкостных или упругопрочностных) барьеров.

Необходимым условием стабилизации концентрированных дисперсных систем является образование адсорбированных слоев, обладающих высокими структурной вязкостью, упругостью и механической прочностью на сдвиг.

ГЛАВА V

ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И АКТИВНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ УТЯЖЕЛЕННЫХ РАСТВОРОВ

Роль поверхностно-активных веществ в стабилизации утяжеленных растворов из неглинистых пород

Вещества, способные адсорбироваться на поверхности раздела фаз и активно влиять на поверхностные свойства систем, получили название поверхностно-активных веществ.

Поверхностно-активные вещества классифицируются по следующим признакам: химическому состоянию — неионогенные и ионогенные, последние, в свою очередь, подразделяются на анионоактивные, и катионоактивные; коллоидно-структурному признаку — вещества, растворимые в данном растворителе до молекулярного или сложного состояния, и вещества, растворимые до коллоидного состояния и не растворимые в данном растворителе.

По механизму действия в соответствии с классификацией П.А. Ребиндера ПАВ разделены на четыре группы.

К первой группе относятся поверхностно-активные вещества на границе раздела жидкость — газ и прежде всего на границе раздела вода — воздух, но не образующие коллоидных фаз (структур) ни в объеме, ни в адсорбционных слоях. Это — низкомолекулярные, истинно водорастворимые соединения. Типичными представителями этой группы ПАВ являются спирты.

Вещества первой группы слабо смачиваются, понижают поверхностное натяжение воздух — вода (до $(3 \div 5) \cdot 10^{-2}$ Н/м, а также являются слабыми пенообразователями. Некоторые из них применяются при флотации, где требуется неустойчивая, легко разрушающаяся пена, а наиболее активные вещества этой группы применяются как пеногасители; они вытесняют менее активные стабилизаторы пены.

Вторая группа объединяет ПАВ, проявляющие свою активность на границе двух несмешивающихся жидкостей или на твердых поверхностях раздела. Эти вещества, как и вещества первой группы, не образуют коллоидных структур ни в объеме раствора, ни в поверхностных слоях. Адсорбируясь на жидких и твердых поверхностях, они понижают свободную (некомпенсированную) поверхностную энергию, облегчая процесс образования новых поверхностей и дальнейшего диспергирования системы. Таким образом, вещества второй группы относятся к диспергаторам, или пептизаторам. Диспергаторы одновременно являются в той или иной степени и стабилизаторами. В водных системах в результате избирательной ориентированной адсорбции они выполняют роль добавок, гидрофилизующих поверхность, создающих коллоидную структуру. Диспергаторы в той или иной степени — вещества первой группы, которые поверхностно-активны на жидких и твердых поверхностях, но часто не оказывают стабилизирующего действия.

К третьей группе относятся поверхностно-активные вещества, образующие гелеобразную структуру в адсорбционном слое и растворе и являющиеся стабилизаторами суспензий, т.е. предотвращающие коагуляцию частиц. Механизм действия ПАВ этой группы заключается в создании структурированных защитных оболочек на поверхностях частиц твердых тел и капель жидкости, препятствующих непосредственному контакту между частицами. Следовательно, ПАВ третьей группы не могут служить пептизаторами. Вследствие более симметричного распределения полярных и неполярных групп молекул эти вещества могут быть эффективными стабилизаторами и не иметь сильно выраженных поверхностно-активных свойств, поэтому их относят к структурированным системам. Защитные оболочки с достаточными прочностными свойствами могут создаваться и при слабой адсорбции. Как стабилизаторы они находятся в растворе в виде относительно крупных мицелл и макромолекул, поэтому они могут и не быть диспергаторами, так как проникновение сравнительно крупных элементарных частиц в микротрещины и другие поверхностные дефекты твердой фазы суспензий затруднительно.

В зависимости от физико-химических свойств дисперсной фазы

и дисперсионной среды, а также самого стабилизатора достижение динамического равновесия системы (стабилизации) может не сопровождаться резким повышением ее структурно-механических показателей — предельного статического напряжения сдвига и вязкости. В процессе адсорбционного блокирования мест сцепления частиц прочность структуры системы может уменьшаться в связи с разрушением пространственной сетки и освобождением водной дисперсионной среды, находящейся в ней в относительно свободном состоянии (не связанной молекулярными силами). В этих случаях сильные стабилизаторы действуют как адсорбционные пластификаторы и разжижители.

Свойство сильных стабилизаторов образовывать даже при небольшой поверхностной активности достаточно прочные сольватные оболочки без резкого повышения структурно-механических и реологических показателей было установлено исследованиями автора при создании естественных карбонатных растворов.

Указанное сочетание большой подвижности и необходимой прочности при стабильности системы дает возможность в соответствующих горно-геологических условиях обеспечить скоростное бурение при соблюдении технологических условий проходки.

К четвертой группе ПАВ П.А. Ребиндер относит моющие средства, которые являются наиболее распространенными поверхностно-активными веществами, нашедшими широкое применение в производственных процессах.

Поверхностно-активные вещества моющего типа имеют свойства, присущие перечисленным выше трем группам поверхностно-активных веществ.

Области применения поверхностно-активных веществ определяются прежде всего особенностями их физико-химических свойств. Воздействие поверхностно-активных веществ на технологические процессы — стабилизация различных дисперсных систем, пептизация твердых частиц, эмульгирующее, смачивающее и моющее действия — связано с образованием ориентированных адсорбционных слоев и уменьшением свободной поверхностной энергии.

Свойства ПАВ и прежде всего их поверхностную активность следует рассматривать как результат особого строения молекул. Молекулы большинства ПАВ асимметричны, длина их значительно превышает поперечные размеры. Они состоят из двух групп: полярной (гидрофильной) и неполярной — гидрофобного органического радикала, обычно представляющего собой длинную углеводородную цепь: $C_{10} - C_{18}$ и выше.

Поверхностная активность ПАВ изменяется с повышением их концентрации в системе. Было установлено, что правильный выбор оптимальных концентраций ПАВ позволяет создавать стабильные буровые растворы из неглинистых пород с регулируемыми свойствами. Для стабилизации утяжеленных растворов из неглинистых пород использовали различные группы ПАВ, а именно: углекислотный реагент (УЩР), сульфит-спиртовую барду (ССБ), карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), сульфонат-

риевые соли сланцевых смол (СНС), полиакрилонитрилы, сульфозефиры целлюлозы и другие в сочетании с активными добавками (крахмал, жидкое стекло и т.д.).

Прежде чем перейти к экспериментальным и опытно-промышленным работам, кратко остановимся на исследованиях по регулированию свойств неутяжеленных суспензий.

В качестве исходных материалов (дисперсной фазы) применялись карбонатные породы (известняк, доломит, мергель, мел), сульфатные (ангидрит), а также технические суспензии бурящихся скважин плотностью 1,03–1,04 г/см³. Стабилизирующая способность исследуемых ПАВ и активных добавок качественно оценивалась по количеству выделившейся за определенное время из суспензии твердой фазы, состоянию фильтрационных свойств, количеству образовавшейся стабильной дисперсной системы, интенсивности ее действия на процессы стабилизации, зависимости от активности исследуемых ПАВ, их концентрации и состава регистрировались, в верхней части отстой (дисперсная среда) — соответственно тонкодисперсная и грубодисперсная системы.

Исследование новых ПАВ представляет особый интерес, так как реагенты-стабилизаторы, применяемые в промышленных масштабах для стабилизации и регулирования свойств буровых растворов, часто оказываются недостаточно эффективными в сложных горно-геологических условиях проходки скважин.

Ниже приводятся исследования различных сочетаний поверхностно-активных веществ для стабилизации неглинистых систем, причем рассматриваются только эффективные варианты, с тем чтобы можно было воспользоваться данными рекомендациями по созданию стабильных утяжеленных систем. Известно, что как карбонатные, так и сульфатные породы, т.е. их твердая фаза, являются агрессивной средой для глинистых систем. В большей степени это относится к сульфатным и сульфатно-галоидным системам.

Несомненный интерес представляют данные по стабилизации сульфатных пород различной степени минерализации сульфит-спиртовой бардой и крахмалом. Стабилизирующая способность этого комплекса эффективно проявилась при высокой степени минерализации. В опытах содержание NaCl в объеме раствора изменялось в широких пределах — от 10 до 20 %. Количество ССБ изменялось от 1 до 3 % к общему объему. В табл. 15 представлены результаты опытов по стабилизации сульфатной суспензии сочетаниями ССБ, крахмалом и NaCl.

Как видно из табл. 15, с увеличением минерализации и добавок крахмала фильтрация уменьшается. При содержании 1–2 % ССБ, 2–3 % крахмала и 20 % NaCl водоотдача доходит до 7 см³ за 30 мин. Толщина фильтрационной корки также уменьшается и составляет 1 мм.

На рис. 17 представлена зависимость водоотдачи ангидритовой суспензии от степени минерализации. На графике прослеживается закономерное улучшение фильтрационных свойств, а следовательно, и повышение стабилизации ангидритовой суспензии с увеличением минерализации.

Реагент			Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па	рН
	ССБ	крахмал					
1	1	10	1,15	15,0	38,5	0/0	11,5
2	1	10	1,15	15,0	25	0/0	10,5
3	1	10	1,15	15,0	33,5	0/0	9,77
1	2	10	1,15	17,0	12,5	0,10/0,30	12,06
2	2	10	1,15	17,0	7,5	0,10/0,20	11,75
3	2	10	1,15	17,0	9,0	0,10/0,10	11,12
1	2	10	1,15	15,0	5,5	0,040/0,08	11,22
2	2	10	1,15	18,0	6,0	0,040/0,08	9,96
3	2	10	1,15	16,0	12,0	0,040/0,04	9,55
1	1	15	1,18–1,19	15,0	12,5	0/0	11,22
2	1	15	1,18–1,19	18,0	13,0	0/0	9,55
3	1	15	1,18–1,19	16,0	12,5	0/0	9,27
1	2	15	1,18–1,19	16,0	9,0	0/0,04	9,12
2	2	15	1,18–1,19	16,0	9,0	0,08	9,12
3	2	15	1,18–1,19	20,0	9,0	0,04/0,12	9,12
1	3	15	1,18–1,19	17,0	11,0	0,12/0,16	11,84
2	3	15	1,18–1,19	17,0	13,0	0,40/0,12	12,05
3	3	15	1,18–1,19	17,0	7,0	0,04/0,12	12,25
1	1	20	1,24–1,26	15,0	11,0	0/0	12,10
2	1	20	1,24–1,26	15,0	14,0	0/0	12,10
3	1	20	1,24–1,26	16,0	11,0	0/0	12,10
1	2	20	1,24–1,26	17,0	10,0	0/0	12,00
2	2	20	1,24–1,26	16,0	14,0	0/0	11,77
3	2	20	1,24–1,26	17,0	18,0	0/0	11,85
1	3	20	1,24–1,26	17,0	7,0	0/0	11,91
2	3	20	1,24–1,26	17,0	8,0	0/0	11,36
3	3	20	1,24–1,26	17,0	11,0	0/0	10,86

Примечание. Раствор содержал 15 г ангидрита.

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлено, что для стабилизации бурового раствора с основной дисперсной фазой из карбонатных, сульфатных и других неглинистых пород оптимальной концентрацией ССБ будет 2–2,5 %, технического крахмала — 1–2 %.



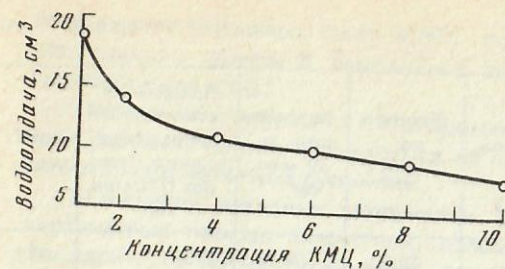
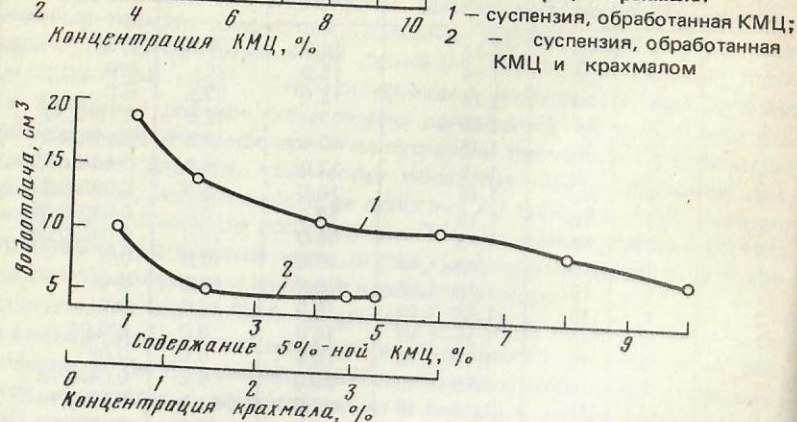


Рис. 18. Зависимость водоотдачи сульфатной суспензии от концентрации КМЦ

Рис. 19. Зависимость водоотдачи сульфатной суспензии от содержания 5 %-ной КМЦ и концентрации крахмала:



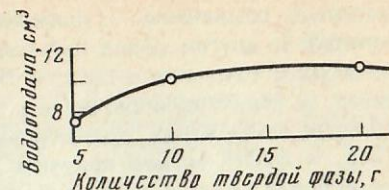
Наличие в системе NaCl способствует лучшей стабилизации и значительному снижению фильтрационных показателей.

Эффективность стабилизирующего действия КМЦ проверялась на 15 %-ных ангидритовых суспензиях как без добавки, так и с добавкой технического крахмала.

Экспериментальные данные подтверждают, что КМЦ является активным стабилизатором пресной суспензии. Этот реагент повышает гидратацию частиц дисперсной фазы и значительно снижает водоотдачу. На рис. 18 показано изменение водоотдачи в зависимости от концентрации 5 %-ной КМЦ. При содержании этого реагента около 10 % водоотдача снижается до 8 см³ за 30 мин, в то время как при первоначальном содержании около 2 % КМЦ водоотдача составляла 14 см³ за 30 мин и выше. Фильтрационная корка с уменьшением фильтрационных показателей достигла 0,5–0,2 мм. Лучшие результаты получены при совместном действии КМЦ и крахмала (рис. 19).

Несколько иначе ведет себя карбоксиметилцеллюлоза в условиях минерализации. Так, при обработке ангидритовой суспензии, содержащей 15 % NaCl, КМЦ и крахмалом получить стабильную систему не удалось. Система расслаивалась, и по мере увеличения содержания NaCl в суспензии наблюдалась полная коагуляция дисперсной фазы, что приводило к полному осаждению твердой фазы и увеличению отстоя дисперсионной среды. Было также замечено, что при совместных добавках КМЦ и крахмала структурно-механические свойства суспензий бывают, как правило, низкие, и с увеличением концентрации КМЦ роста статического напряжения сдвига не наблюдается. Таким образом, КМЦ в данном случае

Рис. 20. Зависимость водоотдачи неглинистых суспензий, обработанных окисленным лигнином 5 %-ной концентрации, от количества твердой фазы



является не структурообразующим компонентом, а стабилизатором — разжижителем. Приведенные экспериментальные данные характеризуют КМЦ как стабилизатор; оптимальная концентрация его для слабонерализованных неглинистых суспензий будет равна 1–2 %, для пресных — 1,5–2 %. При совместном действии КМЦ и крахмала оптимальные концентрации будут соответственно равны 2 и 1–3 %.

Стабилизирующее действие окисленного лигнина, полиакриламида, гипана проверялось на карбонатных и сульфатных суспензиях. Указанные ПАВ являются эффективными стабилизаторами растворов из неглинистых пород.

Окисленный лигнин был применен в качестве поверхностно-активного вещества — стабилизатора 5 %-ной концентрации в соотношении со щелочью 1:0,3 и 1:0,5.

Обработанные окисленным лигнином неминерализованные карбонатные и сульфатные суспензии, содержащие различное количество дисперсной фазы, заливались в мерные цилиндры вместимостью 100 см³ и отстаивались в течение 2 ч. За это время в образцах, где количество твердой фазы составляло 5 %, осадка дисперсной фазы и отстоя дисперсионной среды обнаружено не было. При более значительном содержании твердой фазы (в количестве 10–20 % к объему) осадок составил 2–3 см³ и сохранился до конца наблюдений. Как показывают результаты анализа, окисленный лигнин является весьма активным стабилизатором карбонатных и сульфатных суспензий.

В процессе экспериментальных работ с окисленным лигнином было установлено, что карбонатные и сульфатные суспензии в результате обработки их указанным реагентом приобретают явно выраженные тиксотропные свойства. Окисленный лигнин как стабилизатор неминерализованных суспензий — эффективный понизитель водоотдачи. Как видно из рис. 20, водоотдача карбонатных и сульфатных суспензий при повышении содержания твердой фазы изменяется незначительно.

Результаты экспериментальных исследований стабилизирующей активности окисленного лигнина позволяют рекомендовать его в качестве стабилизатора и регулятора свойств промывочных жидкостей на основе неглинистых пород. При соотношении со щелочью 1:0,3 оптимальная концентрация окисленного лигнина определена в количестве 5 % к общему объему.

Стабилизирующая способность полиакриламида проверялась на карбонатных и сульфатных суспензиях в присутствии NaOH и CaCl₂. Полиакриламид — синтетическое высокомолекулярное поверхностно-

активное соединение — применяется как коагулятор для осаждения кальция и других пород при очистке питьевых и сточных вод. Полиакриламид в сочетании с CaCl_2 и NaOH выступает как реагент — стабилизатор и структурообразователь растворов из неглинистых пород. Регулируя содержание полиакриламида, при неизменной концентрации CaCl_2 и NaOH , можно получить стабильные системы с регулируемыми свойствами в довольно широком диапазоне.

Стабилизирующая активность этого комплекса по отношению к карбонатным и другим суспензиям из неглинистых пород качественно оценивалась по отстою дисперсной фазы за определенное время и фильтрационным показателям. Анализировался полиакриламид 1 и 5%-ной концентрации при неизменной концентрации CaCl_2 и NaOH . Так, при содержании полиакриламида 1, 2 и 5 % осадок через 2 ч составил соответственно 3, 2 и 1 см^3 . Вся суспензия при этом представляла собой однородную тонкодисперсную систему.

Суспензия полиакриламида в сочетании с CaCl_2 и NaOH кроме коагуляционной устойчивости характеризуется хорошими фильтрационными показателями. Если при 1%-ной концентрации этого реагента водоотдача составляет 7 см^3 за 30 мин, при 3 и 5%-ной концентрациях основного вещества водоотдача снижается до 4 см^3 . Эффективность этого реагента состоит еще в том, что он стоек к воздействию электролитов. При оптимальном содержании основного вещества в объеме суспензии имеет хорошие реологические показатели. Так, вязкость карбонатной суспензии, обработанной полиакриламидом с предельной концентрацией, составляет 30 с.

Структурно-механические и реологические свойства бурового раствора из неглинистых пород зависят от содержания в системе разных пород, которые имеют отличные от глины физико-химические свойства и химический состав (превращениями одних пород в другие и т.д.). Стабилизация и регулирование неконцентрированных водных суспензий из неглинистых пород достигаются с помощью добавок ПАВ и активных добавок, электролитов, структурообразователей и понизителей вязкости, а также своевременным и достаточным повышением содержания дисперсной фазы в процессе бурения.

В табл. 16 приведены результаты исследований седиментационной устойчивости мергелистых суспензий, обработанных ЭСЦ в присутствии различного количества электролита NaCl . Хлористый натрий выступает как активная добавка к основному поверхностно-активному веществу, улучшающая его стабилизирующие свойства. Кроме того, NaCl выполняет роль разжижителя, способствует резкому снижению вязкости и повышению плотности, не снижая при этом фильтрационных показателей. Если в 10 %-ной суспензии, обработанной 2 %-ной сульфатцеллюлозой, при отсутствии NaCl вязкость составляла 61,5 с, то в присутствии 15 % NaCl в системе вязкость снижается до 30 с. При добавках электролитов CaCl_2 и NaCl к известняковым суспензиям, обработанным ЭСЦ, имеющим повышенное содержание твердой фазы, снижается вязкость и увеличивается статическое напряжение сдвига.

Таблица 16

Реагент, %		Плотность, г/см^3	Вязкость по СПВ-5, с	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па	Водоотдача за 30 мин, см^3
ЭСЦ	NaCl				
0,5	5	1,15	16,0	—	8,0
1,0	5	1,16	21,0	—	4,0
1,5	5	1,16	27,5	0/0	3,5
2,0	5	1,16	37,5	0/0,09	2,0
0,5	10	1,19	16,0	—	2,0
1,0	10	1,19	20,0	—	3,0
1,5	10	1,19	27,5	0/0	3,0
2,0	10	1,19	32,5	0,01/0,08	3,0
0,5	15	1,22	16,0	—	8,0
1,0	15	1,22	20,0	—	2,5
1,5	15	1,22	27,0	0,09	3,5
2,0	15	1,22	30,0	0/0,09	1,5

Примечание. Раствор содержал 20 г известняка.

Таблица 17

Добавка ССБ, %	Количество выделившейся твердой фазы (в кг) за время, мин					
	5	10	15	20	30	40
—	498	556	603	634	688	714
0,25	301	368	421	459	501	530
0,5	360	419	464	487	517	539

Продолжение табл. 17

Добавка ССБ, %	Количество выделившейся твердой фазы (в кг) за время, мин		Вязкость по СПВ-5, с	Плотность, г/см^3	Водоотдача за 30 мин, см^3
	50	60			
—	746	763	21	12,00	5
0,25	551	570	18	1,12	—
0,5	565	576	16,5	1,12	4,5—5

Примечание. Здесь и в табл. 18 суспензия содержала 20 г мергеля; СНС отсутствовало.

Были также проведены экспериментальные исследования по снижению вязкости мергелистых суспензий, обработанных сульфатцеллюлозой, небольшими добавками сульфит-спиртовой барды и полифенола лесохимического (ПФЛХ). В табл. 17 и 18 показана эффективность действия этих добавок. Седиментационная устойчивость и фильтрацион-

Таблица 18

Реагент, %		Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Плотность, г/см ³
СЦ	ПФЛХ-1			
1	0,2	21	5,5	1,12
1	0,3	19	5,5	1,12
1	0,5	18	5,5	1,12
2	0,2	63	3,0	1,123
2	0,3	58	3,0	1,123
2	0,5	54	3,0	1,123

ные показатели карбонатной суспензии, обработанной этансульфонатцеллюлозой совместно с ССБ, значительно улучшаются.

Сульфит-спиртовая барда и полифенол лесохимический эффективно снижают вязкость, не ухудшая при этом показателей водоотдачи.

Представляло интерес изучить эффективность действия этансульфонатцеллюлозы в сочетании с другими ПАВ, известными в бурении. Было установлено, что добавка этансульфонатцеллюлозы к растворам, содержащим ССБ, КМЦ и УЩР, позволяет регулировать свойства буровых растворов в широких пределах.

Хорошие результаты получены при совместном действии ЭСЦ и ССБ (рис. 21), УЩР и ЭСЦ (рис. 22), КМЦ и ЭСЦ, СНС и ЭСЦ (табл. 19 и 20).

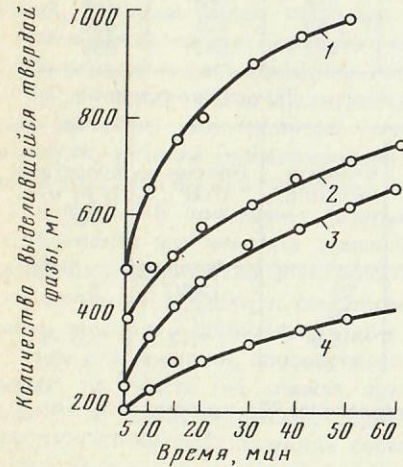


Рис. 21. График изменения седиментационной устойчивости 20%-ной карбонатной суспензии, обработанной ЭСЦ 0,5%-ной концентрации с добавкой ССБ (в %): 1 — без добавок; 2 — 0,25; 3 — 0,5; 4 — 0,75

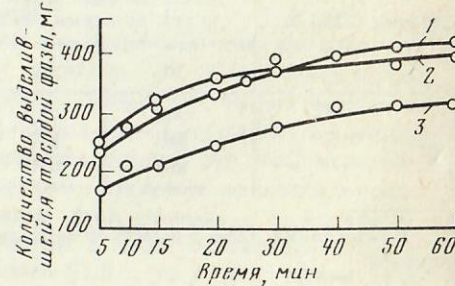


Рис. 22. График изменения седиментационной устойчивости 5%-ной известковой суспензии, обработанной УЩР 25%-ной концентрации с добавкой ЭСЦ (в %): 1 — 0,25; 2 — 0,5; 3 — 0,75

Таблица 19

Реагент, %		Количество выделившейся твердой фазы (в мг) за время, мин								Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Плотность, г/см ³	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па
		5	10	15	20	30	40	50	60				
ЭСЦ	жидкое стекло	бентонитовая глина	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,5	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—				

Примечание. Суспензия содержала 20 г твердой фазы.

Таблица 20

Реагент, %			Количество выделившейся твердой фазы (в мг) за время, мин								Водоотдача за 30 мин, см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Плотность, г/см ³	
СНС	крах-мал	ЭСЦ	бенто- нито- вая глина	5	10	15	20	30	40	50				60
1	1,0	0,25	—	446	505	531	555	585	609	628	641	—	17,0	1,030
2	1,0	0,25	—	449	514	549	573	613	650	661	661	18,0	17,0	1,030
1	1,0	0,50	—	406	471	502	539	565	589	604	614	9,0	20,0	1,030
2	1,0	0,50	—	442	491	520	543	579	600	620	636	15,0	20,0	1,030
1	1,15	—	1	572	727	811	842	873	887	898	905	—	—	1,035
2	1,5	—	1	683	840	939	989	1000	—	—	—	—	—	1,035
1	1,5	—	3	642	715	760	783	841	914	От- стой	—	40/15	22,0	1,035
2	1,5	—	3	758	860	893	920	976	1000	—	—	—	—	—

Примечание. Суспензия содержала 5 г известняка; СНС отсутствовало.

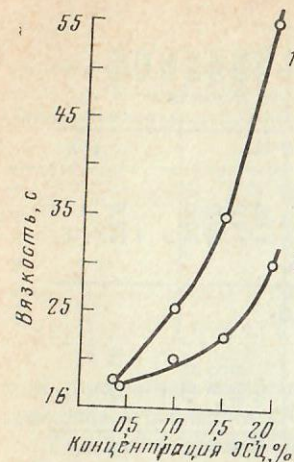


Рис. 23. Зависимость вязкости неглинистых суспензий от концентрации ЭСЦ в присутствии ССБ: 1 — раствор, обработанный ЭСЦ; 2 — раствор, обработанный ЭСЦ и 0,5 % ССБ.

Если при добавке 0,5 % ЭСЦ выпадает более 1000 мг твердой фазы, то при добавках в этот же раствор 2 % ССБ в системе выпадает только 645 мг твердой фазы. Аналогичные результаты получены при совместном действии ЭСЦ, СНС и крахмала (табл. 20).

Таким образом, эффективность синтетических поверхностно-активных веществ (СЦ и ЭСЦ) при небольших добавках к ним широко известных в бурении химических реагентов значительно повышается. Кроме того, существенно снижается их расход для обработки. Если предельная концентрация СЦ и ЭСЦ

для стабилизации растворов составляет 2,0–2,5 %, то при совместном действии их с перечисленными выше химическими реагентами расход СЦ и ЭСЦ составляет 1–1,5 %. Ввиду эффективности синтетических поверхностно-активных веществ (СЦ и ЭСЦ) как стабилизаторов и регуляторов изучалось всестороннее воздействие их на технологические свойства буровых растворов.

Экспериментальные и опытно-промышленные работы показали, что в качестве понизителей вязкости могут быть применены ССБ, хроматы, гипан, NaOH, лигносульфонаты и электролиты. Наиболее эффективными понизителями вязкости для буровых растворов из неглинистых пород оказались добавки ССБ, хроматов и электролитов. На рис. 23 показано изменение реологических свойств неглинистых суспензий, обработанных ЭСЦ различной концентрации с добавкой ССБ в количестве 0,5 %.

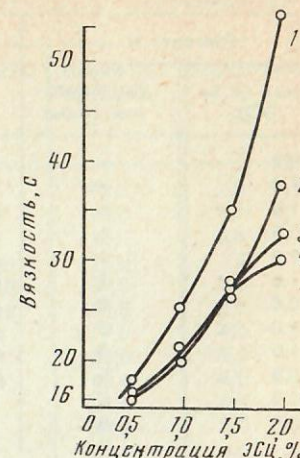
Из рис. 23 следует, что при 2 %-ной концентрации ЭСЦ в системе вязкость составляет 55 с по СПВ-5. При той же концентрации основного вещества в системе и присутствии 0,5 % ССБ вязкость снижается до 30 с. Аналогично снижается вязкость суспензии при добавке 0,1 % хроматов.

Изменение вязкости 20 %-ной карбонатной суспензии, обработанной ЭСЦ различной концентрации, в присутствии электролита (в частности, 5,0–15 % NaCl) показано на рис. 24. Как видно из рис. 24, электролиты являются весьма эффективными понизителями вязкости, снижающими ее до 25–28 с по СПВ-5. Кроме того, электролиты в сочетании с этими ПАВ значительно улучшают фильтрационные показатели неглинистых растворов, а также улучшают их структурно-механические свойства.

Исследовалось влияние добавок бентонитовой глины на структурно-механические и реологические свойства карбонатных суспензий (табл. 21). Было установлено, что небольшие добавки бентонитовой глины

Рис. 24. Зависимость вязкости 20 %-ной карбонатной суспензии от концентрации ЭСЦ в присутствии электролита:

1 — без добавки электролита; 2, 3, 4 — при добавках соответственно: 5; 10; 15 % NaCl



(около 1 %) к этим суспензиям упрочняют структуру, повышаются стабильность, вязкость, появляется статическое напряжение сдвига.

Увеличение добавок бентонита на 3 % и более не улучшает седиментационной устойчивости суспензии и незначительно снижает водоотдачу. Во всех случаях добавки бентонитовых глин повышают вязкость системы. Таким образом, оптимальная концентрация бентонитовой глины находится в пределах 1 %.

Аналогично воздействует бентонит и на сульфатные суспензии. Исследования по влиянию добавок бентонита на карбонатные и сульфатные суспензии позволяют сделать вывод, что применяемые добавки в оптимальных пределах могут выступать как реагенты-структурообразователи.

Для улучшения структурно-механических и реологических свойств неглинистых растворов использовали активные добавки в небольшом количестве к основному поверхностно-активному веществу. Например, при добавке 0,25–0,5 % жидкого стекла к 20 %-ной карбонатной суспензии появляется статическое напряжение сдвига, а при добавках к суспензии 2 % жидкого стекла статическое напряжение сдвига составляет 1,8 Па (рис. 25).

Определялось влияние нефти на свойства карбонатных и сульфатных растворов. Нефть добавлялась в нормальный и утяжеленный растворы на базе неглинистых пород. Как показали исследования, нефть улучшает свойства неглинистых растворов, снижая отстой, липкость и водоотдачу (табл. 22).

Нефть одинаково эффективно воздействует на нормальные и утяжеленные растворы. Добавка 2 % нефти к суспензии, содержащей сульфатнонатриевые соли сланцевых смол, снижает фильтрационные показатели (в пределах допустимых величин), увеличивают вязкость и статическое напряжение сдвига).

Таким образом, экспериментальные и опытно-промышленные работы показали, что в качестве стабилизаторов и регуляторов свойств буровых растворов из неглинистых пород могут быть следующие ПАВ и активные добавки в определенном их сочетании.

Для пресных и слабоминерализованных (до 5 % NaCl и CaCl_2) буровых растворов на базе карбонатных пород (известняк, мел, доломит, мергель, аргиллит, алевролит):

1) УЩР 15–20 % (углещелочной реагент готовится нормальной концентрации: 13 мас. ч. бурового угля 30–40 %-ной влажности и

Реагент, %		Количество выделившейся твердой фазы (в мг) за				
ЭСЦ	бентонитовая глина	5	10	15	20	30
0,5	—	497	662	760	815	908
1,0	—	390	463	520	550	610
1,5	—	270	305	350	390	450
0,5	1	415	570	675	745	845
1,0	1	305	360	408	452	515
1,5	1	260	315	350	380	420
0,5	3	460	650	740	820	910
1,0	3	370	465	525	575	645
1,5	3	260	310	355	395	440
0,5	5	410	527	615	685	755
1,0	5	340	415	475	525	590
0,5	5	485	610	665	745	825

Примечание. Раствор содержал 20 г известняка.

1 мас. ч. NaOH; при использовании порошкообразного УЩР его содержание должно быть в пределах 2–4 %;

2) УЩР в тех же количествах + 0,5–1,0 % жидкого стекла (жидкое стекло может добавляться при необходимости повышения структурно-механических показателей раствора);

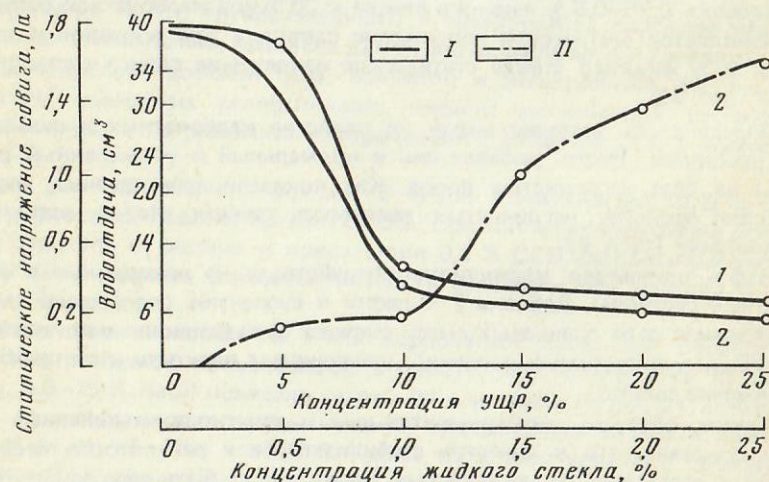


Рис. 25. Зависимость свойств сульфатной суспензии от концентрации УЩР и жидкого стекла:

1 — суспензия, обработанная УЩР; 2 — суспензия, обработанная УЩР и жидким стеклом.

I — водоотдача; II — статическое напряжение сдвига

Таблица 21

время, мин			Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³
40	50	60			
965	1000	—	1,11	17,5	7,0
655	687	610	1,12	25,0	6,0
480	510	530	1,12	35,0	5,5
910	970	1000	1,125	20,0	3,5
560	595	629	1,125	30,0	3,0
455	480	495	1,125	37,5	2,0
965	1000	—	1,14	17,5	4,5
690	725	755	1,14	20,0	4,0
485	520	530	1,14	40,0	4,0
803	838	860	—	21,5	4,5
645	665	665	—	27,0	3,0
895	940	955	—	52,0	4,0

Таблица 22

Добавка нефти, %	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па	Концентрация сульфатно-натриевой соли, %	pH	Отстой, %
—	1,48	39	12	1,9/2,0	13,7	11,27	3,0
2	1,44	44	10,5	1,6/2,0	13,7	11,06	2,0
4	1,44	41	10,0	1,2/1,4	8,6	11,45	1,5
5	1,43	42	7,0	1,1/1,4	9,0	11,85	2,0
6	1,43	42	7,0	1,2/1,4	9,0	11,8	1,5
7	1,42	44	7,0	1,2/1,4	9,0	11,85	1,5
8	1,42	44	6,0	1,4/1,6	9,0	11,80	1,5
9	1,42	48	7,5	1,4/1,7	9,0	12,2	1,5
10	1,41	48	7,5	1,2/1,5	9,0	12,2	1,5

3) УЩР 10–15 % + кальцинированная сода 0,25–0,5 % к объему;
 4) СНС сланцевых смол 1,5–2,5 % (при отсутствии минерализации);
 5) СНС сланцевых смол 1,5–2,5 % + 0,5–1,0 % крахмала (в случае слабоминерализованных суспензий);

6) КМЦ 1,5–2 %;

7) КМЦ 1,5–2 % + крахмала 1–2 %;

8) сульфозефир целлюлозы (СЦ ЭСЦ) 1,0–2,0 %;

9) полиакриламида 3–5 % в сочетании с CaCl₂ и NaOH;

10) окисленного лигнина 5 %;

11) гидролизованного полиакрилонитрила 5 %.

В условиях минерализации (10–20 % NaCl и CaCl₂):

- 1) ССБ или КССБ 1,5–2,0 % + крахмала 1,0–1,5 %;
- 2) КМЦ 1,0–2,0 % + ССБ или КССБ 1,0–2,0 %;
- 3) крахмала 1,0–1,5 % + КМЦ 1,5–2,0 %;
- 4) сульфозиров целлюлозы (СЦ ЭСЦ) 1,0–2,0 %;
- 5) полиакриламида 3–5 % в сочетании с (CaCl₂, NaOH).

Для стабилизации буровых растворов на базе сульфатных и сульфатно-галлоидных пород в присутствии 15–20 % NaCl:

- 1) ССБ или КССБ 1,5–2,5 % + крахмала 1,0–2 %;
- 2) ССБ или КССБ 1,0–1,5 % + КМЦ 1,0 % + крахмала 0,5–1,0 %;
- 3) СЦ 1–1,5 %;
- 4) полиакриламида 3–5 % в сочетании с (CaCl₂ + NaOH);
- 5) ССБ или КССБ 1,5–2,5 %, крахмала 1,0–2 % и нефти 3–6 %.

Совместное действие поверхностно-активных веществ и активных добавок на стабилизацию утяжеляющих систем

В ходе исследований было установлено, что для стабилизации систем целесообразно применять ПАВ в сочетании с другими поверхностно-активными веществами, получившими название активных добавок. Активные добавки, по существу, являются модификаторами ПАВ — веществами, позволяющими регулировать свойства растворов в нужном направлении.

В естественных буровых растворах роль активных добавок обычно выполняют неорганические электролиты, поступающие в раствор из пластов, содержащих высокоминерализованные воды, при разбуривании водорастворимых горных пород. В зависимости от физико-химических свойств дисперсной системы, качества и концентрации электролитов их воздействие может в некоторых случаях приводить к повышению устойчивости и стабилизации (коагуляционному структурообразованию), а в ряде случаев, наоборот, к снижению агрегативной устойчивости и гидрофобной сплошной коагуляции. Активные добавки неорганических электролитов по количеству могут значительно превышать содержание ПАВ.

Проведенные исследования показали, что во многих случаях при использовании одновременно нескольких поверхностно-активных веществ часто получаются хорошие результаты и может быть достигнут эффект, которого нельзя иметь при использовании каждого ПАВ в отдельности. Таким образом, в большинстве случаев рациональным является применение ПАВ с активными добавками и одновременное использование смеси нескольких поверхностно-активных веществ. Доказано, что использование поверхностно-активных веществ в сочетании с активными добавками дает хорошие результаты при создании и регулировании состава и свойств утяжеленных буровых растворов, получаемых из комплекса неглинистых пород.

Так, добавки электролитов к синтетическим ПАВ вызываются не-

обходимостью создания адсорбционных слоев с более сильными структурно-механическими свойствами, обладающими достаточной структурирующей способностью. Например, органические добавки к ПАВ широко применялись с моющими средствами. Некоторые органические добавки к поверхностно-активным веществам обладают свойством связывать ионы (катионы) тяжелых металлов, удалять их из раствора, образуя растворимые внутрикомплексные соединения. Органические добавки выполняют и другие функции — повышают растворимость ПАВ в воде, их смачивающее и моющее действия, улучшают устойчивость пен.

Применение ПАВ и активных добавок оказывает решающее влияние на успешность проходки скважин, особенно в осложненных условиях. Безаварийная проходка скважин стала возможной только в результате резкого улучшения технологических и структурно-механических свойств буровых растворов, повышения их стойкости при коагулирующем влиянии внешних агентов. Улучшение же структурно-механических и реологических свойств буровых растворов, соответствие их требованиям технологии бурения в разнообразнейших горно-геологических условиях, в свою очередь, стали возможными в результате применения ПАВ и активных добавок.

Итак, рассмотренные поверхностно-активные вещества и активные добавки явились исходными для последующих экспериментальных и опытно-промышленных работ при создании и регулировании состава и свойств утяжеленных буровых растворов, получаемых на базе утяжелителей из комплекса неглинистых пород.

ГЛАВА VI

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАБОТЫ ПРИ СОЗДАНИИ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ ИЗ НЕГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Экспериментальные исследования

Была отработана методика регулирования состава и свойств буровых растворов, получаемых на базе выбуренных пород [18]. Установлено, что с помощью широко применяемых поверхностно-активных веществ (ССБ, КМЦ, УЩР и др.) при рациональном их сочетании можно получить буровые растворы плотностью до 1,7 г/см³, а с помощью синтетических поверхностно-активных веществ (СЦ, ЭСЦ и др.) — плотностью 1,8 г/см³ и выше. В экспериментальных исследованиях по утяжелению растворов использовалась твердая фаза из различных неглинистых пород: ангидритов (плотность 2,9–3,0 г/см³), доломитов (2,8–3,1 г/см³), известняка (2,8 г/см³), аргиллита (2,9 г/см³). Степень дисперсности твердой фазы этих неглинистых материалов составляла 0,5–2,0 мкм. Твердая фракция для экспериментов готовилась отмучиванием и ситовым анализом на

базе исходной суспензии, отобранной из буровых скважин. Утяжеление проводилось с суспензиями пресными и минерализованными в присутствии NaCl и CaCl_2 .

Составленные растворы перемешивались на мешалке с механическим приводом в течение 5 ч. После тщательного перемешивания замерялись плотность, вязкость, водоотдача, статическое напряжение сдвига. Через 2 ч отстоя наблюдалось изменение структуры растворов, регистрировались величины отстоя, дисперсионной среды и осадка крупных частиц дисперсной фазы, проверялась плотность из средней части мерного цилиндра.

В табл. 23 приводятся результаты этих исследований. На рис. 26, 27, 28 показано изменение параметров пресных и минерализованных неглинистых суспензий, обработанных поверхностно-активными веществами, в зависимости от количества твердой фазы.

Как видно из рис. 26, 27, 28 (кривые 1—4) ангидритовые суспензии, обработанные 2,5 % ССБ, 2,5 % крахмального реагента и 15 % NaCl , представляют собой стабильную систему. Отстой дисперсионной среды в мерном цилиндре не превышает 1—3 см³, осадка дисперсной фазы при значительной плотности (1,7 г/см³) не обнаруживается, вязкость по СПВ-5 составляет 48 с, водоотдача 7,5 см³ за 30 мин, статическое напряжение сдвига равно 0,7 Па. При обработке ангидритовой и карбонатных суспензий, КМЦ, КССБ и крахмалом (в сочетании 1—2 % КМЦ, 2 % КССБ, 1 % крахмала) достигается плотность до 1,7 г/см³ (см. табл. 23). При этом вязкость составляет 52 с по СПВ-5, статическое напряжение сдвига 3,58 Па, водоотдача 6 см³ за 30 мин.

Применение синтетических поверхностно-активных веществ (СЦ и ЭСЦ), стабилизирующая активность которых лучше вышеперечисленных поверхностно-активных веществ — стабилизаторов, позволяет создавать утяжеленные буровые растворы из комплекса неглинистых пород большей плотности с хорошими реологическими свойствами (см. табл. 23). При сравнительно небольшой добавке этих стабилизаторов (0,5 % к объему) для обработки ангидритовых и известняковых суспензий удается получить суспензию плотностью до 1,8 г/см³, причем отстоя дисперсионной среды и осадка дисперсной фазы не обнаруживается. Вся система представляет собой однородную среду с равномерно распределенными частицами дисперсной фазы. Параметры такой суспензии следующие: водоотдача 6—7 см³ за 30 мин, вязкость 48—52 с по СПВ-5, статическое напряжение сдвига 4,93 Па. Причем добавки электролитов NaCl и CaCl_2 не снижают эффективности этих реагентов, водоотдача несколько уменьшается, вязкость находится в тех же пределах, а плотность значительно возрастает и достигает 1,8 г/см³ (см. рис. 28).

Для сравнения были проведены исследования в аналогичных условиях суспензий на основе глинистых пород. Поверхностно-активные вещества и активные добавки брались в тех же пропорциях, что и при обработке неглинистых суспензий.

Результаты стабилизации глинистых суспензий и изменение их параметров в зависимости от количества твердой фазы при обработке

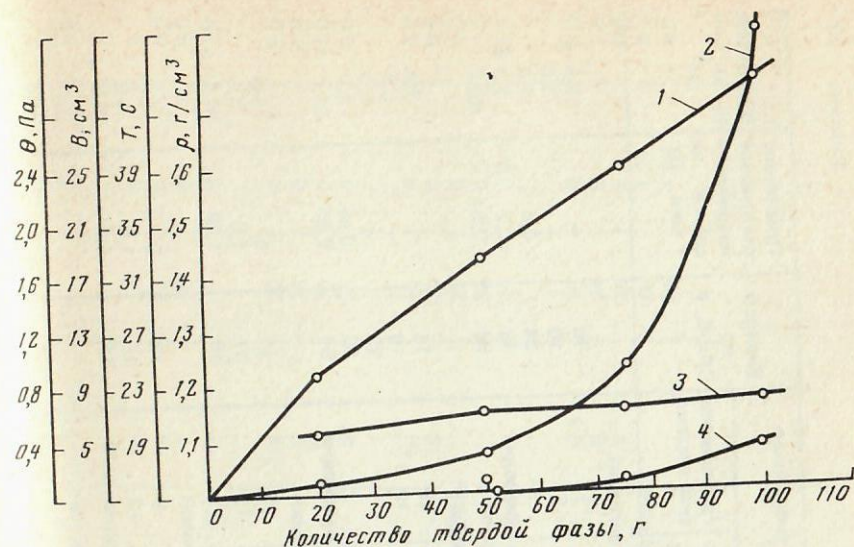


Рис. 26. Зависимость параметров минерализованных и неминерализованных сульфатных суспензий, обработанных 2,5 % ССБ, 2,5 % крахмала и 15 % NaCl , от количества твердой фазы:

1 — плотность; 2 — вязкость; 3 — водоотдача; 4 — СНС

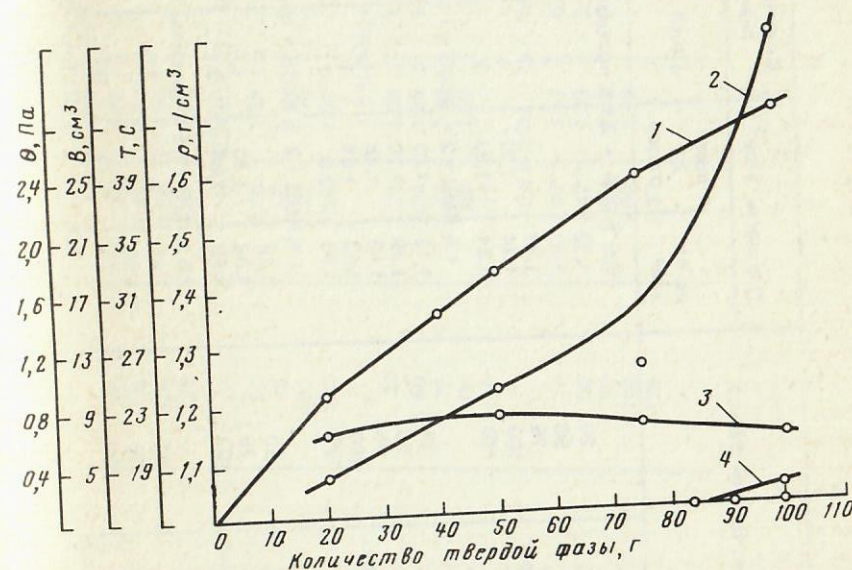


Рис. 27. Зависимость параметров карбонатных суспензий, обработанных 0,5 % ЭСЦ и 15 % NaCl , от количества твердой фазы:

1 — плотность; 2 — вязкость; 3 — водоотдача; 4 — СНС

Таблица 23

Количество твердой фазы, г	Плотность, г/см ³		Количество твердой фазы, выделенной за 2 ч, см ³			Вязкость по СПВ-5, с	Пределное статическое напряжение сдвига на 1 мин, Па	Водоотдача за 30 мин, см ³
	до отстоя	после 2 ч отстоя	отстой	тонкодисперсная система	грубодисперсная система			
Ангидрит:	20	2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 15 г NaCl + ангидрит	2	81	17	16	—	5,5
	50	1,22	2	41	57	16	—	7,0
	75	1,42	2	97	—	24	0,4	7,0
	100	1,38	3	—	—	48	0,7	7,5
	120	1,74	1	Система однородна	То же	56	0,53	20,0
Ангидрит:	20	1 % КМЦ + 2 % КССБ + 1 % крахмала + ангидрит	2	83	15	16	—	3,5
	50	1,12	2	83	10	18	—	5,5
	75	1,39	2	99	—	22	—	5,0
	100	1,48	1	99	—	36	0,45	6,0
	120	1,65	1	Система однородна	То же	54	0,86	24,0
Доломит:	50	1 % КМЦ + 2 % КССБ + 1 % крахмала + доломит	2	73	13	20	0	5,0
	75	1,28	1,5	69	14	37	1,0	5,0
	100	1,36	1,5	78	8	58	1,79	7,5
	50	2,5 % ССБ + 1,5 % крахмала + 15 % NaCl + доломит	2	78	9	18,0	0	5,0
	75	1,41	2,0	74	13	32	1,6	4,0
Доломит:	100	1,50	2,0	Система однородна	То же	53	1,3	6,0
	50	1,73	0,5	84	15	20	0	5,0
	75	1,32	1,0	85	14	22	0	5,0
	100	1,48	1,0	—	—	—	—	—
	120	1,82	1,0	—	—	—	—	—

Известняк:	100	1,68	1,68	1,0	89	10	40	0	5,0
	120	1,80	1,80	0,5	Система однородна	—	—	0	9,0
	50	1,30	1,25	—	90	10	20	0	5
	75	1,48	1,54	—	86	14	24	0	6,0
	100	1,66	1,70	—	99	1	48	0	6,0
Известняк:	120	1,82	1,84	—	Система однородна	—	52	0	11,0
	50	0,5 % ЭСЦ + 15 г NaCl + известняк	1,38	1,0	85	14	20	0	8,0
	75	1,56	—	0,5	94,5	5	24	0	6,5
	100	1,72	1,76	—	98	2	36	0	14,0
	120	1,89	1,89	—	Система однородна	58	58	0	20,0
Ангидрит:	20	0,5 % ЭСЦ + ангидрит	1,22	1,06	89	10	16	0	6,0
	50	1,32	1,25	1	89	10	20	0	6,0
	75	1,48	1,48	1	Система однородна	—	28	0	8,0
	100	1,68	1,68	—	То же	—	52	0,5	7,0
	120	1,75	—	—	—	—	74	0,9	21,0
Ангидрит:	20	0,5 % ЭСЦ + 15 г NaCl + ангидрит	1,22	1,17	90	9,5	18	0	6,0
	50	1,42	1,39	0,5	93	5	24	0	7,0
	75	1,58	1,55	2	95	—	25	0	6,0
	100	1,69	1,69	5	Система однородна	—	48	1,34	5,0
	120	1,80	—	—	То же	—	54	4,93	4,0

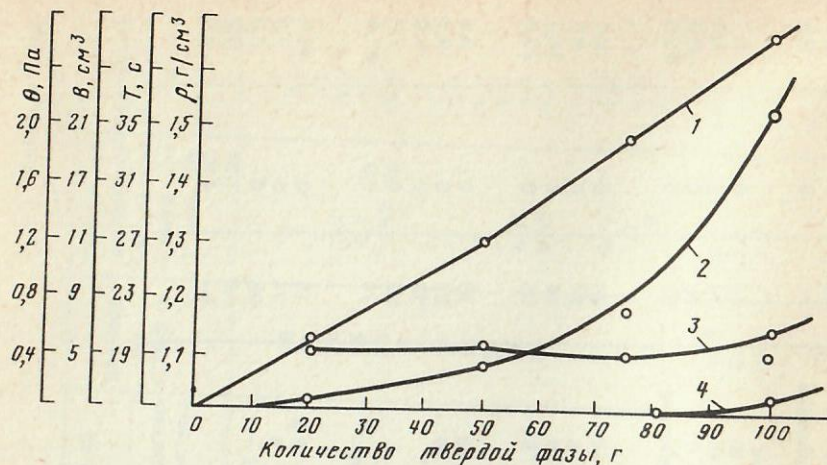


Рис. 28. Зависимость параметров карбонатных суспензий, обработанных 2 % КМЦ, 2 % КССБ и 1 % крахмала, от количества твердой фазы:
1 — плотность; 2 — вязкость; 3 — водоотдача; 4 — СНС

2,5 % ССБ, 2,5 % крахмального реагента и 15 % NaCl показали, что максимальная плотность 1,2 кг/см³, водоотдача 40 см³ за 27 мин, вязкость по СПВ-5 152 с, статическое напряжение сдвига 6,28 Па. При обработке суспензий 2 % КМЦ, 2 % КССБ и 1 % крахмального реагента плотность доходит до 1,20 г/см³, водоотдача равна 4,5 см³ за 30 мин, статическое напряжение сдвига 6,27 Па и раствор не течет. Обработка глинистых суспензий (как пресных, так и минерализованных) синтетическими ПАВ позволяет получить суспензии плотностью до 1,35 г/см³.

Таким образом, на базе неглинистых пород в процессе бурения можно получить буровые растворы большой плотности. Такие растворы обладают хорошими структурно-механическими и реологическими свойствами, соответствующими требованиям технологии бурения.

Применение распространенных понизителей вязкости (ПФЛХ, синтан, окисленный лигнин и др.) позволяет получить буровые растворы с минимальными реологическими свойствами.

Большой интерес представляет проблема создания утяжеленных буровых растворов из комплекса выбуриваемых неглинистых отложений до плотности 1,6 г/см³ и выше непосредственно в стволе скважины.

Получение буровых растворов указанной плотности непосредственно в процессе бурения достигается дополнительным диспергированием выбуренной породы, которое может быть проведено с помощью различных устройств — шаровых и вибрационных мельниц, шаровых и бисерных диспергаторов, универсальных установок гидродинамического диспергирования бурового раствора (УГДР) и других механизмов мокрого помола.

Опытно-промышленные исследования

Утяжелители из комплекса неглинистых пород для средних областей утяжеления имеют большое практическое значение.

В процессе проведения опытно-промышленных работ при бурении скважин было отмечено, что дисперсная фаза этих растворов не оказывает отрицательного влияния на технологические свойства железистых утяжелителей. Таким образом, можно констатировать хорошую сочетаемость этого утяжелителя с данным раствором.

Исследованию подвергались пробы утяжеленных железистыми утяжелителями растворов, взятые непосредственно из бурящихся скважин. Растворы предварительно обрабатывались поверхностно-активными веществами и активными добавками в определенном сочетании. В качестве утяжелителя использовался гематит Константиновского завода плотностью 4,07 г/см³.

В табл. 24 приводятся результаты опытно-промышленных работ при бурении скв. 63, 67 на Шебелинском газовом месторождении Харьковского газопромислового управления.

Так, в табл. 24 приведены данные по утяжелению естественного сульфатно-галлоидного раствора по скв. 63, 67 железистыми утяжелителями до плотностей 1,42–1,88 г/см³, при этом буровой раствор имел хорошие фильтрационные свойства, вязкость по СПВ-5 составляла 32 с, статическое напряжение сдвига — 0,6 Па.

В табл. 25 представлены результаты опытно-промышленных работ при проходке скв. 184 и 207 на буровых растворах, полученных за счет выбуренных карбонатных пород.

Как видно из приведенных в табл. 25 данных буровой раствор на конечной стадии имел параметры: плотность 1,4–1,46 г/см³, вязкость 70–85 с по СПВ-5, водоотдачу 11,0 см³ за 30 мин, СНС_{1/10} = 8,2/9,0 Па.

Рассматривая кинетику перехода выбуренной породы в систему, следует сказать, что твердая фаза буровых растворов образуется в основном за счет тонкоизмельченных фракций разбуриваемых горных пород, получаемых в процессе механического воздействия долота на забой скважины, и физико-механических факторов, способствующих дополнительному диспергированию в процессе движения частиц по циркуляционной системе. Однако не вся выбуренная порода переходит в буровой раствор, часть ее выпадает в осадок в желобной системе, емкостях, отстойниках. При бурении скважин долотами малого диаметра, особенно в геологоразведочном бурении, или колонковыми снарядами возникают трудности в приготовлении естественных буровых растворов, вызванные небольшим объемом выбуренной породы, например при сплошном отборе керна, что также препятствует переходу выбуренной породы в систему.

В этой связи были проведены лабораторные и опытно-промышленные работы по дополнительному диспергированию выбуренной твердой фазы.

Исследования в этом направлении обусловлены необходимостью

Таблица 24

Буровой раствор	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача, за 30 мин, см ³	Толщина корки, мм	pH	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па
Раствор из скв. 63	1,15	16	40*	2,0	9,90	0/0,8
№ 1 + 0,7 % крахмала + 1 % ССБ	1,14	18	15	1,0	12,09	1,1/1,4
№ 2 + утяжелитель (гематит)	1,50	23	33	1,0	12,09	2,0/8,7
№ 3 + 0,5 % крахмала + 0,5 % ССБ	1,42	30	12	5,0	12,09	0,9/1,7
№ 4 + утяжелитель	1,70	51	25	5,0	12,09	2,3/4,9
№ 5 + 0,5 % крахмала + 0,5 % ССБ	1,60	40	5	1,5	12,09	0,6/1,7
№ 6 + утяжелитель	1,80	44	8	—	12,09	2,9/3,8
№ 7 + 3 % часовьярской глины	1,88	44	20	6,0	12,09	5,2/11,0
№ 7 + 3 % жидкого стекла (70 %)	1,82	52	40**	1,0	12,09	2,8/3,0
№ 10 + 0,7 % крахмала + 1 % ССБ	1,18	27	27,5	3,0	12,09	2,0/2,6
№ 11 + утяжелитель	1,48	52	20	2,5	12,09	2,8/3,5
№ 12 + 0,5 % крахмала + 0,5 % ССБ	1,45	56	6,8	1,0	12,09	1,2/1,7
№ 13 + утяжелитель	1,79	85	16	4,0	12,09	2,5/2,9
Раствор из скв. 67	1,14	15	40***	5,0	6,6	0,6/0,8
№ 15 + 1,6 % крахмала	1,13	29	17	1,5	6,6	0,6/0,8
№ 16 + 1,5 % жидкого стекла	1,13	35	5	1,5	6,6	0,6/1,2
№ 18 + 1 % крахмала	1,61	35	20	—	—	0,7/1,3
№ 16 + 2 % крахмала	1,61	42	26	5,0	6,6	0,7/1,3
№ 16 + 2,5 % жидкого стекла + 0,5 % крахмала	1,52	32	4	1,0	6,6	0,7/1,3

*Водоотдача за 2,5 мин.

**Водоотдача за 24 мин.

***Водоотдача за 4 мин.

получения бурового раствора повышенной плотности непосредственно в стволе скважины.

Известно, что основной объем бурения в стране осуществляется с помощью буровых растворов плотностью до 1,4 г/см³, поэтому получение таких буровых растворов в процессе проходки скважин оправдано. Особенно это касается предприятий Министерства геологии СССР, ведущих большие структурно-поисковые и разведочные работы в отдаленных и труднодоступных регионах страны, а также бурение шахтных стволов, где объемы бурового раствора достигают порой 30 000 — 50 000 тыс. м³. Включение в общую циркуляционную систему механизма для дополнительного диспергирования не влечет за собой существенных изменений в технологической схеме расположения бурового оборудования.

Таблица 25

Концентрация реагентов	Интервал бурения, м	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Толщина корки, мм	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10 мин, Па	pH
1,5 % ССБ + 0,5 % крахмала + 0,1 % пеногасителя + 0,5 % нефти	1304—1450	1,02; 1,4	15; 18	40; 5	0,5	0/0	10,0
1,5 % ССБ + 0,5 % крахмала + 0,1 % пеногасителя + 1 % нефти	1500—1552	1,24; 1,24	18; 18	17; 12	0,5; 1,5	0/0	10,0
2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 0,5 % пеногасителя + 2 % нефти	1600—1700	1,36; 1,40	30; 40	38; 30	5,0; 8,0	0/3,2; 4,6/6,0	9,5; 9,3
2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 0,5 % пеногасителя + 1,5 % нефти	1810—1900	1,40; 1,40	60; 85	20; 19	8,0; 7,0	6,6/8,6; 3,9/9,2	9,3; 9,1
2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 0,1 % пеногасителя + 1 % нефти	1970—2120	1,41	95; 80	20; 10	7,0; 4,0	4,0/10,5; 8,2/9,9	9,0; 9,0
2,5 % ССБ + 2,5 % крахмала + 0,1 % пеногасителя + 0,5 % нефти	2232	1,46	70	11,0	3,0	5,9/8,2	8,3
2,5 % ССБ + 1,5 % крахмала + 1 % нефти + 0,1 % пеногасителя	2240	1,46	85	11,0	4,0	8,2/9,0	8,0

Примечание. Количество твердой фазы пополнилось за счет выбуренных неглинистых фракций в процессе бурения.

Решение этой проблемы исключает большие расходы утяжелителя, так как нет необходимости доставлять глинопорошок к месту потребления на приготовление буровых растворов.

Исследования по дополнительному диспергированию автор проводил с применением лабораторной шаровой мельницы. В качестве исходной твердой фазы использовался буровой шлам, отобранный из пробуренных скважин на различных месторождениях в Куйбышевской и Харьковской областях. Пробы отбирались при разбуривании как глинистых, так и карбонатных отложений.

Дополнительное диспергирование различных типов твердой фазы проводилось в одинаковых условиях как по скорости прохождения бурового раствора в циркуляционной системе, так и по степени наполнения.

В результате лабораторных исследований было установлено, что оптимальная степень дисперсности бурового шлама, переходящего в раствор, лежит в пределах 0,5–2 мкм. Эта степень дисперсности подтверждена исследованиями по стабилизации и регулированию структурно-механических и реологических свойств буровых растворов. Было установлено также, что в процессе стабилизации могут принимать участие и более крупные частицы, но не более 5–8 % в объеме структурированной системы. Результаты лабораторных исследований позволили перейти к экспериментальным работам по дополнительному диспергированию выбуренной породы в промышленных условиях в Куйбышевской и Ульяновской областях.

В настоящее время на буровых предприятиях для измельчения глинистых пород и меловой крошки успешно применяются фрезерно-струйные мельницы конструкции Воронежского инженерно-строительного института. Как показали опытные работы по скв. 350, 300 и 265 Шебе-

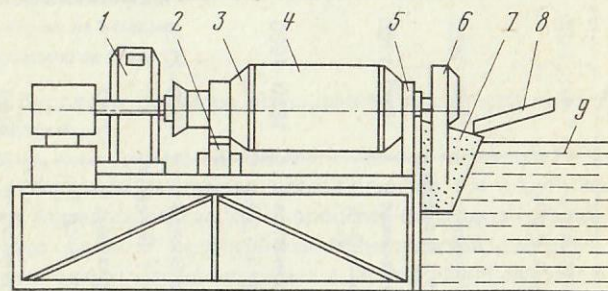


Рис. 29. Шаровая мельница мокрого помола СМ-434:

1 — привод шаровой мельницы; 2 — желоб для стока диспергированного шлама; 3 — загрузочное окно; 4 — барабан мельницы; 5 — ролик-опоры; 6 — комбинированный питатель; 7 — шламонакопитель; 8 — желоб; 9 — приемная емкость

линского управления буровых работ объединения "Укргазпром", а также в ПГО "Полтавгеология", фрезерно-струйная мельница использовалась для дополнительного диспергирования недостаточно измельченного бурового шлама. Это предопределило применение для дополнительного диспергирования выбуренных твердых частиц шлама шаровыми мельницами мокрого помола, так как добиться хороших результатов по дополнительному диспергированию этими мельницами не удалось.

В нашем случае была применена шаровая мельница мокрого измельчения СМ-434 (рис. 29). Хорошо зарекомендовали себя мельницы "Аэро-фол", паровые и биссерные диспергаторы, а также были апробированы шаровые мельницы типа ШМЦ-3000 × 3000, которые успешно прошли экспериментальную проверку.

В настоящее время в Ульяновской нефтегазоразведочной экспедиции успешно проходит испытание универсальный комплекс для измельчения твердой фазы как в сухом, так и в мокром режиме.

Опытные работы показали целесообразность использования этого комплекса для дополнительного диспергирования шлама и более интенсивного повышения концентрации твердой фазы в системе (табл. 26).

В перспективе разрабатываются схемы по дополнительному диспергированию. Так, во ВНИИКРнефти проходит испытание быстрходный биссерный диспергатор типа БД-2 для получения глинистой суспензии с высокой степенью дисперсности.

Вопросам избирательного регулирования состава твердой фазы и свойств буровых растворов придается особое значение, так как возможно снизить капитальные вложения и стоимость проходки. Поэтому в Сред-АзНИИгазе были проведены исследования эффективности диспергирующего воздействия роторно-пульсационного аппарата.

Опыт применения в ПГО "Полтавнефтегазгеология" в самых различных геологических условиях утяжеленных меловых растворов плотностью 1,46–1,52 г/см³ при бурении глубоких скважин, показал их высокую эффективность. Как видно из табл. 27, значительное снижение водоотдачи достигается обработкой УЩР без добавок каких-либо других поверхностно-активных веществ и активных добавок.

Лучшие результаты достигаются при совместной обработке раствора УЩР и жидким стеклом. В этом случае все параметры удовлетворяют нормальным условиям. Комбинированная обработка раствора УЩР и жидким стеклом применяется обычно для первичной заготовки мелового раствора. В процессе бурения, когда часть выбуренной породы перешла в раствор, необходимость в использовании жидкого стекла отпадает. На скважинах, где вскрываются терригенные отложения, переход на меловой раствор осуществляется постепенным пополнением бурового раствора меловой суспензией. Меловые растворы готовятся различной плотности от 1,3 до 1,6 г/см³ в зависимости от требуемой плотности бурового раствора и реологических свойств.

Стандартные утяжелители типа барита, магнетита и другие полностью заменены мелом при получении растворов плотностью 1,5–1,6 г/см³.

Таблица 26

Размер частиц шлама, мм	Количество частиц	
	шлама до дополнительного диспергирования, %	шлама после дополнительного диспергирования, %
1,0—0,25	37,0	17,7
0,25—0,1	3,7	1,4
0,1—0,05	17,1	10,2
0,05—0,01	11,2	18,2
< 0,01	30,7	52,5

Таблица 27

Состав раствора, %	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Предельное статическое напряжение сдвига через 1/10, мин, Па
Исходный 100 %-ный меловой раствор	1,46	107	40	0,9/1,1
100 %-ный меловой раствор + 3 % УЩР	1,46	107	11	0,0/1,2
Исходный 50 %-ный меловой раствор	1,26	105	40	0/1,3
50 %-ный меловой раствор + 3 % УЩР + 2 % жидкого стекла	1,26	107	8	3,1/3,2
50 %-ный меловой раствор + 2 % жидкого стекла	1,24	105	19	1,9/2,5
50 %-ный меловой раствор + 1 % крахмала	1,20	106	8	0/0
Исходный 90 %-ный меловой раствор	1,46	22	40	7,7/8,0
80 %-ный меловой раствор + 0,5 % К-4	1,44	30	9	1,6/2,7
80 %-ный меловой раствор + 3 % УЩР + 4 % жидкого стекла	1,44	48	15	0,8/1,7
80 %-ный меловой раствор + 1 % КМЦ	1,40	17	10	0/0,6
80 %-ный меловой раствор + 1 % КМЦ + 2 % жидкого стекла	1,44	27	8	2,3/4,8
Исходный 40 %-ный меловой раствор	1,24	5	40	0/0
40 %-ный меловой раствор + 1 % гипана	1,24	17,0	7	0/0
40 %-ный меловой раствор + 1 % К-4	1,24	11	7	0/0,4

Следует обратить внимание на то, что хорошим стабилизатором для утяжеленных меловых растворов является гидролизированный полиакриламид (ГПАА). Таким образом, использование мела в качестве утяжелителя снижает стоимость 1 м бурения. Только за счет замены глины и утяжелителя годовой эффект по данным ПГО "Полтавнефтегазгеология" составляет 168 тыс. руб.

При бурении шахтных стволов различного диаметра на Львовско-Волжском угольном бассейне, где применялись мергелисто-меловые растворы, были получены аналогичные результаты. Так, в процессе бу-

Таблица 28

Глубина извлечения, м бурового раствора скипового ствола	Плотность, г/см ³	Вязкость по СПВ-5, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Предельное статическое напряжение сдвига за 1 мин, Па
50—80	1,17	30	18,0	5,3
130—150	1,23	29	18,3	5,2
194—204	1,28	26	19,5	5,0
298	1,31	23	20,5	3,8
352	1,35	21	20,0	3,6
352—400	1,38	21	21,0	3,6
400—523	1,38	20	21,0	18,6

рения клетового ствола большего диаметра израсходовали 14 тыс. м³ глинистого раствора, на приготовление которого затратили 3525 т глины.

Эти растворы, обработанные поверхностно-активными веществами и активными добавками, имели высокую плотность и оптимальные реологические свойства (табл. 28).

Обработку данных растворов проводили 0,25 %-ным раствором кальцинированной соды (NaCO₃) и торфощелочной вытяжкой (7,5 % УЩР). Исходный раствор имел следующие параметры: плотность — 1,17 г/см³, вязкость — 30 с, водоотдача — 17 см³, статическое напряжение сдвига — 5,32 Па.

Из табл. 28 следует, что при необходимости можно получать буровые растворы повышенной плотности непосредственно в шахтных стволах, используя выбуренную породу. Применение таких растворов позволяет отказаться от привозных дорогостоящих глинопорошков и утяжеляющих добавок.

Утяжелители из неглинистого сырья, которые позволили частично заменить стандартные утяжелители, в настоящее время находят все большее применение в различных нефтегазодобывающих районах страны.

Как показали лабораторные исследования и промышленные работы У.Д. Мамаджанова, К.М. Мусаева, Ф.Ю. Юсупова, наиболее выгодным для приготовления утяжеленных пресных и минерализованных глинистых растворов плотностью до 2,2 г/см³ является барит, выпускаемый комбинатом "Ачполиметалл" Казахской ССР, плотностью 4,0—4,1 г/см³. Использование гематита и магнетита приводило к седиментационной неустойчивости раствора в забойных условиях, а иногда и к прихватам инструмента. По этим причинам в последние годы железистые утяжелители в районах Юго-Западного Узбекистана не применяются [7].

В отдельных районах, где отсутствуют anomalно высокие пластовые давления (Памук, Айзоват, Гумбулак, Караиль, Уритабулак, Денгаз-

куль, Газли и др.), плотность применяемых буровых растворов составляет 1,4–1,6 г/см³ и вполне отвечают технологическим условиям проходки скважин.

Для такой области утяжеления буровых растворов по данным лабораторных исследований и последующих промышленных испытаний авторов (на площадях Караиль, Гумбулак и Намп в Туркменской ССР) вполне пригодными оказались местные лёссовидные породы. Высокая степень дисперсности, плотность в пределах 2,7–2,75 г/см³ и доступность этих пород выгодно отличают их от дорогостоящих и дефицитных привозных утяжелителей типа барита, гематита и др. [7].

Буровые растворы, утяжеленные лёссовидными породами, обладают хорошими эксплуатационными свойствами. Так, при бурении скв. 1, 2, 3 на площади Караиль, скв. 1, 2, на площади Гумбулак ПГО "Узбекгазгеология" начиная с 1975 г. применяются растворы, утяжеленные лёссом.

Обрабатываются такие растворы реагентом УЩР, кальцинированной содой и местной лёссовидной породой. Они имеют плотность 1,46–1,49 г/см³, вязкость 25–40 с, водоотдачу за 30 мин 10–8 см³.

В качестве химических реагентов, улучшающих стабилизирующие свойства буровых растворов, утяжеленных лёссовидными породами, применяются: УЩР, крахмал, КМЦ, гипан, КССБ, ССБ, сунил, нитроглинн, сода (кальцинированная и каустическая) и К-4.

При приготовлении лёссовидных буровых растворов повышенной плотности можно добиться значительной экономии материальных затрат за счет сокращения количества применяемой глины, исключения утяжелителей.

Существенным достоинством буровых растворов, утяжеленных лёссовидными породами, являются их высокая термостойкость и устойчивость к солям натрия, кальция и магния [7]. Экономия от расходов материалов (глин, утяжелителя) приблизительно составляет 24 руб. на 1 м³.

Таким образом, приведенные данные экспериментальных работ позволяют рассмотреть их экономическую целесообразность. Контроль качества утяжеленных буровых растворов в процессе экспериментальных работ осуществлялся с помощью современных приборов и средств.

Коагуляционный анализ твердой фазы, выделившейся из исследуемого раствора в течение двухчасового наблюдения, проводили с помощью торсионных весов марки ВТ-500 и ВТ-1000. Плотность контролировали ареометрами и пикнометрами. Вязкость измеряли по СПВ-5,6 вискозиметром Оствальда и Пинкевича. Адсорбция определялась фотоэлектрическим колориметром ФЭК-56. Структурно-механические свойства раствора измеряли прибором СНС-2. Концентрация водородных ионов (рН) проверяли с помощью прибора ЛП-58.

Основное внимание в исследованиях по определению устойчивости этих растворов уделялось количеству образовавшейся стабильной дисперсной системы в течение определенного времени.

ГЛАВА VII

СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ НЕГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Применяемые утяжелители типа барита и гематита

Бурение нефтяных и газовых скважин с аномально высокими пластовыми давлениями ведется с использованием утяжеленных буровых растворов. В качестве утяжеляющих материалов, как известно, применяют барит, гематит, магнетит.

Статистический анализ по Миннефтепрому, Мингазпрому и Мингео СССР показал, что расход баритовых утяжелителей составляет около 50 %, остальные 50 % приходятся на железистые и карбонатные утяжелители.

В нашей стране баритовые утяжелители из полиметаллических руд (свинцово-цинковых, свинцово-баритовых концентратов и т.д.) выпускаются Миргалимской, Салаирской, Карагайлинской и другими обогащательными фабриками. Лучшими из них являются баритовые утяжелители комбината "Ачполиметалл" и Салаирского рудоуправления. Железистые утяжелители (гематит и магнетит) относятся к широко распространенным минералам железа [10, 15].

В СССР имеются крупнейшие месторождения гематитовых руд в Кривом Роге, в районе Курской магнитной аномалии, а также на Урале и в Сибири. Основные руды магнетита находятся в Кривом Роге, в районе Курской магнитной аномалии, на Урале, в Казахстане. Месторождения карбонатных пород встречаются в большинстве регионов нашей страны. Расход карбонатных утяжелителей по Миннефтепрому составляет 28 тыс. т. Основными потребителями являются ПО "Башнефть", "Белоруснефть", "Саратовнефтегаз", "Укрнефть" [6]. Применение утяжелителей при бурении нефтяных и газовых скважин связано в основном с утяжелением буровых растворов, в которых, как правило, присутствуют поверхностно-активные вещества — стабилизаторы, структурообразователи и понизители вязкости. В этих коллоидно-суспензионных системах с развитой поверхностью раздела фаз существенную роль играют процессы, происходящие на границе раздела фаз твердое тело — жидкость и зависящие от дисперсной фазы и дисперсионной среды.

В настоящее время основным методом производства утяжелителей является обогащение руд, основанное на индивидуальных физических, химических и минералогических свойствах минералов, входящих в состав руд и других полезных ископаемых. Наиболее распространены гравитационный, флотационный и ручной методы обогащения, а также обогащение по крупности, электромагнитное и электрическое.

К основным методам обогащения для производства утяжелителей относятся гравитационный и флотационный. Во ВНИКРнефти проделана большая работа по улучшению качества флотационных баритовых утя-

желителей с целью создания экспериментальных и теоретических основ их модифицирования [10, 15].

Так, экспериментальными исследованиями установлено, что модифицирование флотационных баритовых концентратов конденсированными фосфатами (триполифосфатами) позволяет резко улучшить свойства утяжелителей буровых растворов. При этом резко снижается гидрофобность поверхности, уменьшается содержание коагулирующих солей, вызывающих ухудшение показателей бурового раствора, нейтрализуется структурообразующее влияние коллоидных частиц, содержащихся в концентратах.

Однако, как рекомендует автор [10], проверять положительные свойства модифицированных утяжелителей необходимо в процессе приготовления буровых растворов, так как только в этом случае можно оценить эффективность модифицирования флотационных баритовых концентратов (табл. 29).

Как видно из табл. 29, модифицированный баритовый концентрат имеет гидрофильную поверхность частиц и пониженное содержание солей кальция. Исследованиями установлено, что растворы, утяжеленные модифицированным баритом, характеризуются практически нулевой воздухомаслосодержательностью, в то время как воздухомаслосодержательность раствора, утяжеленного серийным баритом, составляет 4 %. Применение модифицированных баритов обуславливает лучшие реологические параметры утяжеленных растворов.

Выше рассматривалась утяжеляющая способность неглинистых пород: степень дисперсности, взаимосвязь размеров частиц этих утяжелителей с процессами структурообразования, регламентированное содержание коллоидных частиц и др. На основании исследований было выявлено, что на структурообразующую способность утяжелителей из неглинистых материалов существенное влияние наряду с другими включениями оказывают глинистые частицы.

Известно, что глинистые породы состоят главным образом из пылевидных частиц размером 0,05—0,005 мм и частиц размером менее 0,005 мм. Минералы глинистых пород составляют группу сложных и сложно-ленточных силикатов, кристаллы которых имеют ярко выраженную трехмерную структуру.

Способность частиц глинистых пород к сорбции, ионному обмену, кристаллическому действию, коагуляционному структурообразованию и т.д. определяется дисперсностью кристаллов глинистых минералов или типом кристаллической структуры.

Для получения утяжелителей из нерудного минерального сырья необходимо удалить примеси песка и глинистых включений. В этой связи необходимо рассмотреть ряд задач, связанных с улучшением использования нерудного сырья.

Качество продукции некоторых промышленных предприятий по производству материалов из щебня, гравия, песка, доломита, известняка, мела и другого сырья не отвечает современным требованиям. Производительность имеющихся технологических средств для удаления

Показатели баритовых концентратов	Баритовый концентрат					
	Ильского завода		Константиновского завода		Комбината "Ачполиметалл"	
	немодифицированный	модифицированный	немодифицированный	модифицированный	немодифицированный	модифицированный
Плотность, г/см ³	4,20	4,20	4,222	4,22	4,15	4,15
Условная вязкость утяжеленного раствора, с	61	52	59	48	60	58
Содержание влаги, %	1,2	0,5	0,8	0,2	1,5	1,0
Содержание водорастворимых солей кальция, %	2,5	1,4	2,2	2,0	2,2	0,8
Содержание остатка после просева на сите с сеткой № 009K (ГОСТ 3584-73), %	2,12	2,32	2,14	2,36	2,08	2,27
Утяжеляющая способность, г/см ³	0,82	0,35	0,75	0,27	0,66	0,10
Коэффициент флотуемости						

глинистых включений и комовой глины, к которым относятся механические классификаторы, сепараторы, барабанные мойки, гидроволлеры, вибрационные мойки, виброгрохоты, низка, а эффективность промывки, особенно тяжелых пластичных глин (коэффициент пластичности свыше 15), недостаточна.

Для сухой очистки щебня и гравия от комовой глины на ряде щебеночных заводов применяются классификаторы типа ДБК-200. Принцип действия классификатора основан на разделении материалов по их упругости. Он заключается в следующем. Материал из бункера с высоты 500—600 мм падает на поверхность верхнего барабана, вращающегося с частотой 250 об/мин. Более прочный материал отскакивает от барабана в сторону, противоположную его вращению, а менее прочный материал с барабана поступает непосредственно на ленточный конвейер. Более прочный материал попадает на нижний (второй) барабан, вращающийся

с той же скоростью, что и первый, где происходит разделение материала на классы.

Разработаны и усовершенствованы и другие типы классификаторов, но принцип действия один и тот же. Анализ показал, что метод удаления глинистых примесей малоэффективен и применяется лишь для предварительного разделения. Наиболее эффективным методом обогащения, например для щебня или гравия, является гравитационный.

Оборудование для обогащения щебня или гравия разрабатывается с учетом физико-механических и физико-химических свойств глин (вязкости, пластичности и др.). Результаты обогащения нерудных строительных материалов принято оценивать по выходу обогащенного материала из исходного продукта по формуле

$$\gamma = \frac{q_{об}}{q_{исх}} 100 \%, \quad (7.1)$$

где γ — выход чистого материала; $q_{об}$ — количество обогащенного материала; $q_{исх}$ — количество исходного продукта.

Извлечение характеризуется отношением количества кондиционного материала в обогащенном продукте к его количеству в исходном сырье (в %):

$$\epsilon = \frac{\beta}{\alpha} \gamma, \quad (7.2)$$

где α , β — содержание материала соответственно в исходном продукте и в обогащенном.

В табл. 30 приведены оборудование для очистки от глины и его (технические) показатели.

Анализ существующих промывочных машин показывает, что они нашли ограниченное применение на предприятиях нерудной промышленности.

С целью повышения качества нерудных строительных материалов ведется работа по изысканию методов и средств для ослабления связей между глинистыми частицами с последующими их диспергированием и извлечением.

Один из возможных способов частичного, а впоследствии и полного решения этого вопроса — использование вибрации, в том числе и акустических колебаний. Этот способ находит все большее распространение для интенсификации различных технологических процессов, более или менее близких к процессу диспергирования.

Процесс диспергирования твердых тел в жидкости — эффективное средство для получения буровых растворов не только повышенной плотности, но и для регулирования их состава и свойств в широком смысле этого слова.

Кроме того, этот процесс является важной задачей для ряда производств, например горнодобывающей, строительной, бумажной, резиновой и других отраслей промышленности.

Работы, проведенные в СССР и за рубежом в направлении исполь-

Таблица 30

Оборудование	Технические показатели оборудования			Способность сырья к отмывке	Показатели промывки сырья		
	Производительность P , $\text{м}^3/\text{ч}$	Удельная энергоемкость E , $\text{кВт}/\text{ч} \times \text{м}^3$	Масса применяемого устройства G , т		Удельный расход воды Q , $\text{м}^3/\text{м}^3$	Загрязненность сырья S , %	Время промывки глинистых включений T , мин
Виброгрохоты	30—130	0,1—1,0	2,5	Легкопромывистые	4,5	5	3
Корытные мойки	18—60	0,6—2,0	11—15	Легко- и среднепромывистые	2—3	10	4
Вибромойки	40—100	0,3—1,0	до 5	Легко, средне- и частично труднопромывистые	1,0—1,5	10	2
Гравиемойки	50—100	2,5	5—10	Легко-, средне- и частично труднопромывистые	2,5	10	2
Скрубберы	< 300	0,5—1,0	< 20	Легко-, средне- и частично труднопромывистые	1,5—4,0	10	2
Бутары	< 300	0,3—0,5	10—15	Средне- и частично труднопромывистые	5—26	10	2

зования акустических колебаний для диспергирования горных пород, свидетельствуют о возможности значительной интенсификации процессов очистки нерудных материалов. Существующие средства и возможности их совершенствования позволяют получить достаточно мощные акустические колебания частотой от 5 до 1000 Гц.

Несмотря на очевидную перспективность применения акустических колебаний для ускорения процесса диспергирования глинистых частиц, воздействие звука на процесс диспергирования изучен недостаточно, не найдены оптимальные режимы работ преобразователей и параметры устройств, которые соответствовали бы технологии обогащения нерудных строительных материалов. В этой связи необходимо избирательно подойти к разработке акустических устройств и выбору источников излучения.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о целесообразности исследования действия низкочастотных акустических колебаний на процесс диспергирования загрязнений, содержащихся в нерудных строительных материалах.

Касаясь непосредственно получения утяжелителей из комплекса карбонатных пород, основным представителем которого является доломит, необходимо отметить, что из 200 разведочных месторождений только на 10 встречаются минералы доломита (смолодоломиты).

Доломиты образуются в осадочной оболочке литосферы в месторождениях различных масштабов. Морфология месторождений весьма разнообразна (см. гл. I).

Региональный и контактовый метаморфизм, а также пневматолитовые, гидротермальные и гидротермально-метасоматические процессы приводят к различным вторичным изменениям доломитов.

Под влиянием метаморфизма претерпевают изменения содержащиеся в месторождениях минеральные примеси, из которых наиболее часто встречаются кальций, минералы, содержащие кремний (кварц, опал, халцедон), окислы и гидроокиси железа, магнезиальные силикаты и минералы групп глин. За счет названных выше минералов возникают и развиваются минеральные новообразования — термолит, фостерит, антонит, хлорит, тальк, антимонит и другие силикаты.

Минеральные примеси вызывают отклонения химического состава породы от теоретического состава минерала (доломита). В доломитах часто наблюдается избыток карбонатов кальция и в меньшей степени магния, свидетельствующий о наличии кальцита и магнезита. Карбонат магния может быть изоморфно замещен карбонатами железа (сидерит, анкерит и марганец (родохрозит)) в различных соотношениях. Содержание карбоната кальция при этом остается неизменным.

Исследования пробы доломитового сырья Витебского производственного объединения показали, что она содержит повышенное количество кремнезема и не удовлетворяет требованиям технических условий по содержанию окиси кальция и окиси магния.

Состав пробы доломитового сырья (в %)

Кремнезем	2,08
Глинозем	0,093
Окись кальция	34,11
Окись магния	17,3
Окись железа	0,02
Окись марганца	0,04
Сумма щелочей	0,044
Окись хрома	0,001
Фтор	0,06
Фосфор	0,006
Сера	0,0035
Потери при прокаливании	45,87

Проба представлена доломитом (79,5 %), кальцитом (17,7 %), кварцем (1,5 %), опалом (0,3 %), каолинитом (0,2 %) и другими минералами. Доломит пробы в различной степени кальцинирован, местами окварцован. Кальцит наблюдается между зернами доломита, преимущественно в ксеноморфных выделениях размером от 0,01 до 1,0 мм, часто замещающих зерна доломита или образующих среди них тонкие (0,002—0,05 мм) включения. Кварц преимущественно вторичный, размещается между

зернами доломита в редких выделениях размером 0,01—0,15 мм. Опал, серпентин, каолинит находятся в тонковкрапленном состоянии и отмечены в нерастворимом остатке.

Тонкая вкрапленность примесей в руде предопределила применение тонкого измельчения и его обогащения методом флотации.

Следует сказать, что применяемая в настоящее время в отечественной практике технология подготовки доломита рассчитана на удаление только легкодезинтегрируемых балластных примесей в виде песчано-глинистых разновидностей пустой породы. Дробильно-обогащительные фабрики имеют в основном однотипные схемы, не учитывающие особенностей вещественного состава обогащаемого сырья, в связи с чем не обеспечивается получение концентратов, однородных по качеству и гранулометрическому составу. Технология обогащения на действующих дробильно-обогащительных фабриках включает, как правило, двух- и трехстадийное дробление и выделение посредством грохочения товарных фракций размером 80—25 и 25—5 мм. На некоторых предприятиях применяются сезонная промывка доломита и ручная обработка балластных примесей. Однако используемые методы обогащения не обеспечивают получения сырья, удовлетворяющего современным требованиям, в частности к утяжелителям из карбонатных пород.

На рис. 30 приведена технологическая схема Щелковской дробильно-обогащительной фабрики. Эта технология является типичной для большинства действующих обогащительных фабрик в стране. Она предусматривает отделение доломита от песчано-глинистых пород.

Для удаления из доломитов крупновкрапленных примесей применяется ручной отбор пустой породы. Он используется только при крупности материала более 50 мм. Основным недостатком такого отбора — низкая эффективность ручного труда.

На рис. 31 представлена технологическая схема производства доломитовой муки ПО "Доломит", а на рис. 32 приведена существующая схема цепи аппаратов этого производства. Добыча доломита ведется карьерным способом. В карьере производятся вскрышные работы до глубины 36 м. Имеются два уступа добычи доломитового сырья. Рыхлавание доломита производится с помощью взрывчатki применяются буровые станки СБШ-200 и СБШ-250. На вскрышных работах и добыче доломитового сырья работают шагающие экскаваторы ЭШ-5/45 и ЭШ-10/70, экскаваторы с прямой лопатой ЭКГ-4/6, и ЭКГ-44.

Для доставки доломитового сырья в цеха переработки, которые находятся в 5 км от карьера, предусмотрен автомобильный парк, состоящий из 44 "БелАЗов".

Сырье крупностью 0—900 мм ссыпается автосамосвалами 1 (см. рис. 32) в приемный бункер 2. Одна часть сырья из бункера 2 пластинчатым питателем 3 подается в щековую дробилку 4 типа ЩКД-7-900/1200, которая снабжена смазочным устройством 5, где дробится до крупности 0—300 мм, а другая — на ленточный конвейер 6. Сырье различной крупности (0—900 и 0—300 мм) по ленточному конвейеру поступает в течку

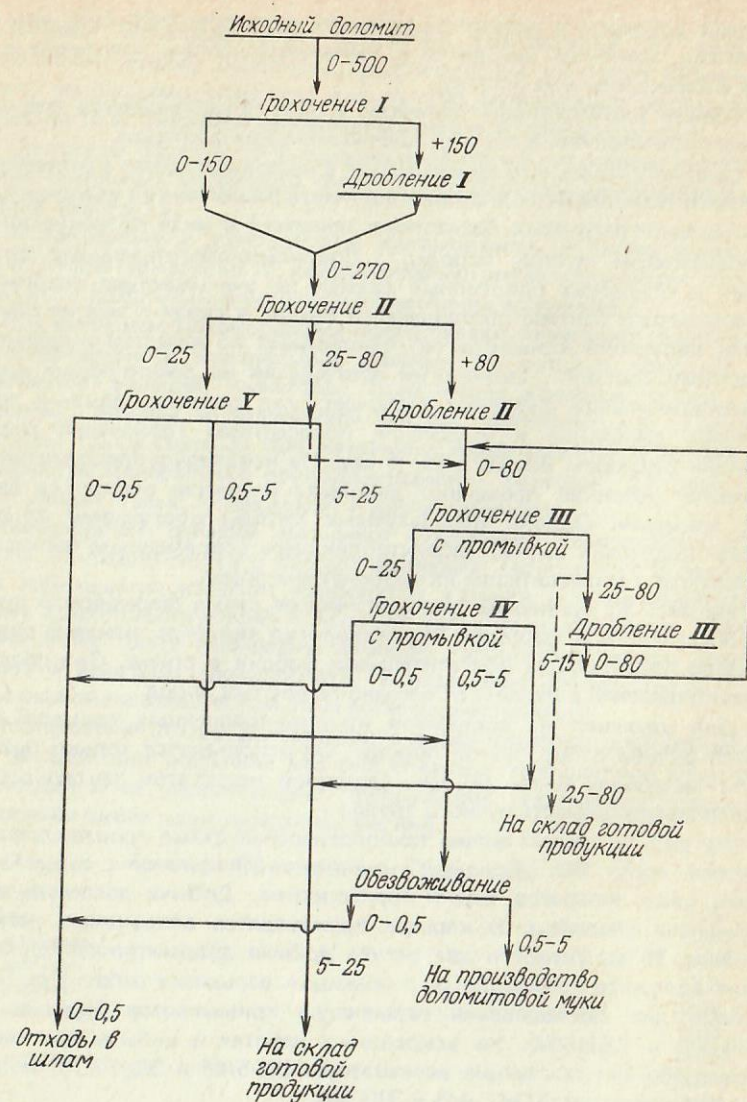


Рис. 30. Технологическая схема Щелковской дробильно-обогащительной фабрики для производства доломита

9 мельницы самоизмельчения "Аэрофол" 10, где в камере смешения газов 7 сырье высушивается при помощи циклонной топки 8. Сухой продукт из точки попадает в мельницу самоизмельчения "Аэрофол", где и измельчается. После этого он поступает в вертикальный сепаратор 11, где происходит его классификация. Неизмельченный продукт (щепень) идет на слив, а готовый измельченный продукт через прямоточные

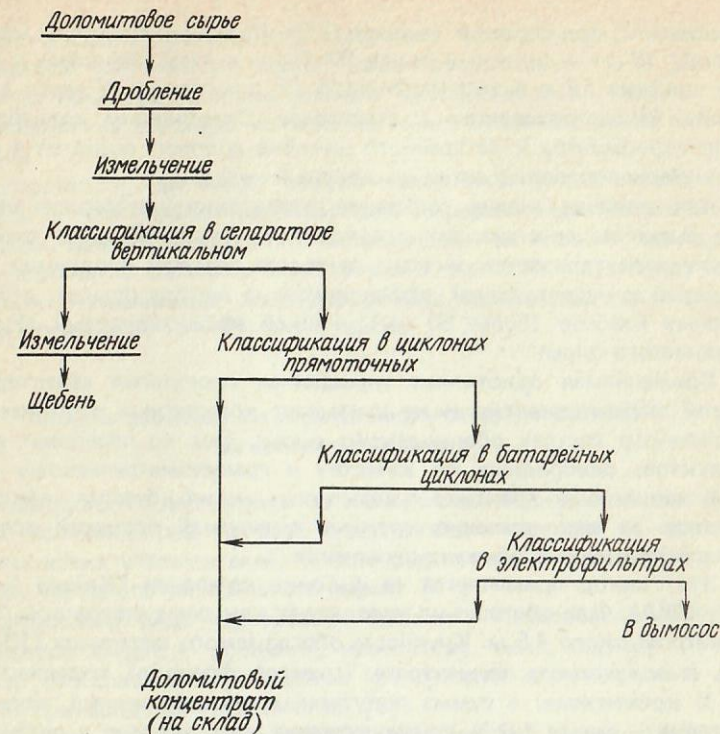


Рис. 31. Технологическая схема производства доломитовой муки витебского ПО "Доломит"

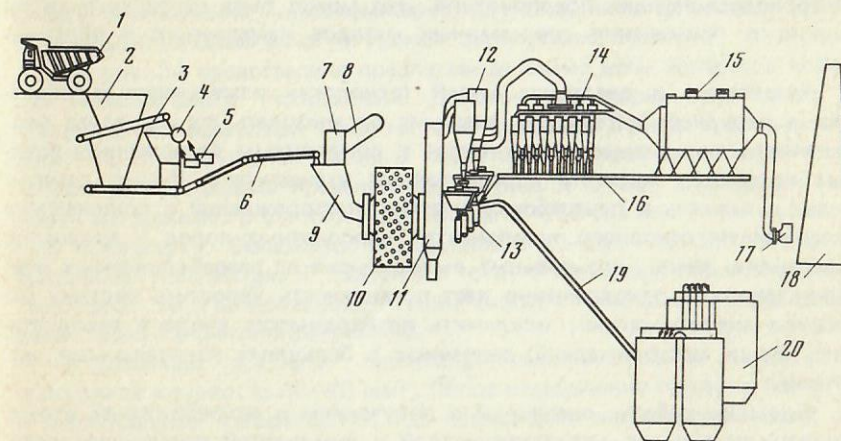


Рис. 32. Схема цепи аппаратов витебского ПО "Доломит"

циклоны 12 при помощи насосов ПКН 13 по воздушному материалопроводу 19 — на силосный склад 20. Пыль и газы, очищаясь в батарейном циклоне 14 и в электрофилт্রে 15, домососом 17 через дымовую трубку 18 выбрасываются в атмосферу. Скребок-конвейером 16 из электрофилтра и батарейного циклона доломит подается в воздушный материалопровод и затем на силосный склад.

Как показал анализ состояния подготовки материалов из нерудного сырья на действующих предприятиях, существующую технологию можно характеризовать низким выходом готовой продукции; трудоемкостью и недостаточной эффективностью метода ручного отбора для крупных классов (более 50 мм); низкой эффективностью обогащения неглинистого сырья.

Применяемая однотипная упрощенная технология характеризуется низкой эффективностью и не учитывает конкретных особенностей вещественного состава обогащаемого сырья. Она не позволяет получать продуктов, однородных по качеству и гранулометрическому составу.

В зарубежной практике с целью повышения качества нерудных материалов за счет удаления крупных включений примесей используют метод обогащения в тяжелых суспензиях.

Этот метод применяется на фабрике компании "Кайзер Алюминум" (США). Для обогащения используют конусные сепараторы "Вемко" диаметром около 4,5 м. Крупность обогащаемого материала 110–10 мм. Так, в получаемом концентрате (тяжелая фракция) содержится 0,5–0,9 % кремнезема, а сумма полутонных окислов железа, алюминия и марганца — менее 1,0 % при содержании этих окислов в питании соответственно 1,35 и 1,5 %.

Для обеспечения нефтяной, газовой, горнорудной промышленности утяжелителями из комплекса неглинистых карбонатных пород повышенного качества предлагается улучшить технологию его подготовки на горнодобывающих предприятиях. Это может быть достигнуто путем широкого применения современных методов измельчения и обогащения.

Разработка и внедрение новой технологии измельчения и обогащения нерудных материалов позволят организовать производство обогащенного сырья высокого качества с пониженным содержанием вредных примесей; заменить дорогостоящие утяжелители (барит, гематит и др.); вовлечь в переработку участки месторождений с пониженным содержанием основного компонента (карбонатных пород — доломита, известняка, мела), что повысит выход сырья на разрабатываемых месторождениях и одновременно даст возможность упростить систему отработки месторождений; исключить необходимость ввода в эксплуатацию новых месторождений, связанных с большими капитальными затратами.

Большие работы, связанные с получением и модификацией утяжеляющих материалов металлургической и химической промышленности, проведены научно-исследовательскими институтами ВНИИКРнефть, КазНИИнефть и др. Экспериментальными и опытно-промышленными

работами показана возможность получения утяжеляющих материалов из комплекса неглинистых пород. Обосновано также, что в процессе бурения с помощью дополнительного диспергирования можно получить утяжеленные растворы из этих же пород непосредственно в стволе скважины.

Следовательно, частичная замена железистых утяжелителей более дешевыми и доступными неглинистыми породами дает большой экономический эффект. Однако это не означает, что неглинистые породы могут повсеместно заменить барит, гематит, магнетит и др. Ввиду их ограниченной утяжеляющей способности они применимы для средних областей утяжеления ($\rho = 1,6 \div 1,7 \text{ г/см}^3$).

Выбор и обоснование схем для получения утяжелителей из неглинистых пород

Производство утяжелителей из неглинистых пород возможно в заводских условиях (т.е. на базе существующих заводов по производству железистых утяжелителей) и непосредственно на карьерах (по производству нерудного минерального сырья) [11].

Обследование ряда карьеров по добыче и переработке нерудного минерального сырья — доломита, известняка, мела, мергеля — показало, что Щелковское и Витебское предприятия могут служить базовыми для производства утяжелителей [6].

Исходя из минерального состава неглинистого сырья, требований к качеству концентратов и принимая во внимание экспериментальные и лабораторные исследования, можно использовать схему получения доломитового концентрата, которая представлена на рис. 33.

Эта технологическая схема включает: одностадийное дробление, сушку, измельчение, классификацию, двухстадийную флотацию (флотацию кальцита и силикатов), сгущение, фильтрацию, сушку.

На рис. 34 представлена предлагаемая схема цепи аппаратов получения доломитового утяжелителя. Доломитовое сырье крупностью 0–900 мм автосамосвалами 1 ссыпается в приемный бункер 2, откуда часть сырья пластинчатым питателем 3 подается в щековую дробилку 4, где происходит дробление продукта до крупности 0–300 мм, другая часть сырья из приемного бункера крупностью 0–900 мм поступает на ленточный конвейер 6. Смешанное по крупности (0–200 и 0–300 мм) сырье ленточным конвейером 6 подается в течку 9 мельницы самоизмельчения "Аэрофол" 10, где происходит сушка сырья с помощью камеры смешивания газов 7 и циклонной топki 8.

В мельнице "Аэрофол" происходит самоизмельчение сырья до необходимой крупности (0–40 мм). После измельчения продукт поступает в вертикальный сепаратор 11, где происходит его классификация. Неизмельченный продукт, т.е. доломитовое сырье, имеющее крупные включения посторонних примесей (щебень), идет на слив, а измельченный продукт через прамоточные циклоны 12 при помощи насосов ПКН 13

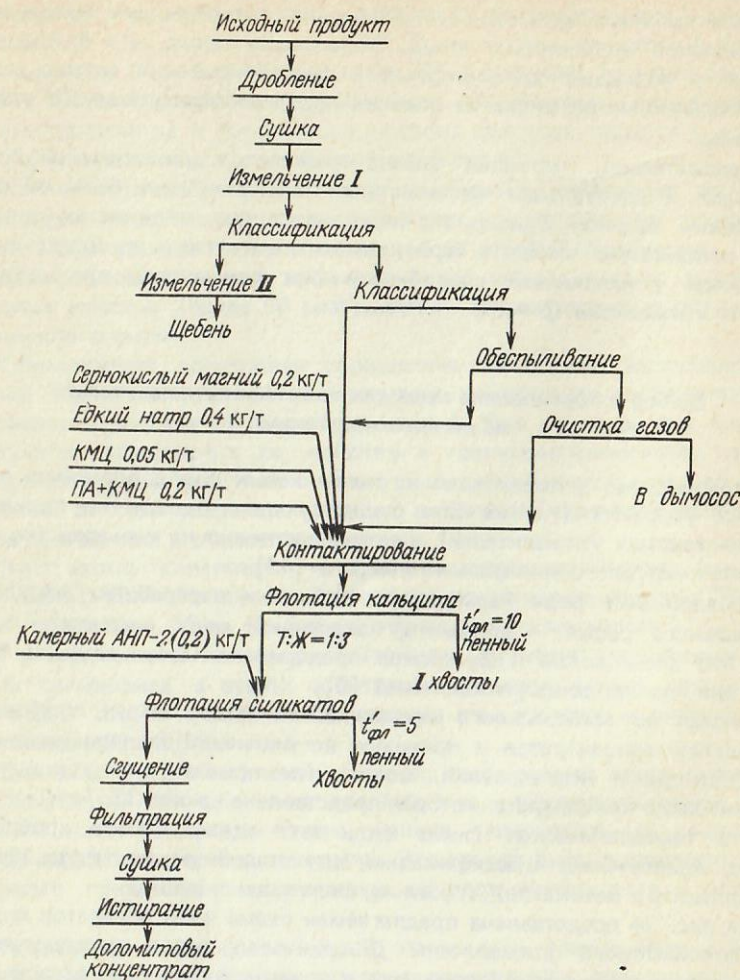


Рис. 33. Технологическая схема получения доломитового концентрата

поступает в контактный чан 19, куда с водой подаются реагенты для последующей флотации сырья.

Из контактного чана продукт поступает во флотомашину 20, где происходит флотация кальцита. Из первой флотомшины сырье подается во вторую флотомашину 21, где происходит флотация силикатов. Из флотомшины 21 чистый продукт поступает в машину для сгущения 22, затем в фильтровальную машину 23, в барабанную сушилку 24, попадает на дезинтегратор сухого измельчения 25, в загрузочный элеватор 26 и на силосный склад 27. Из мельницы самоизмельчения газы и пыль поступают в батарейный циклон 14 для обеспыливания и в электрофильтр

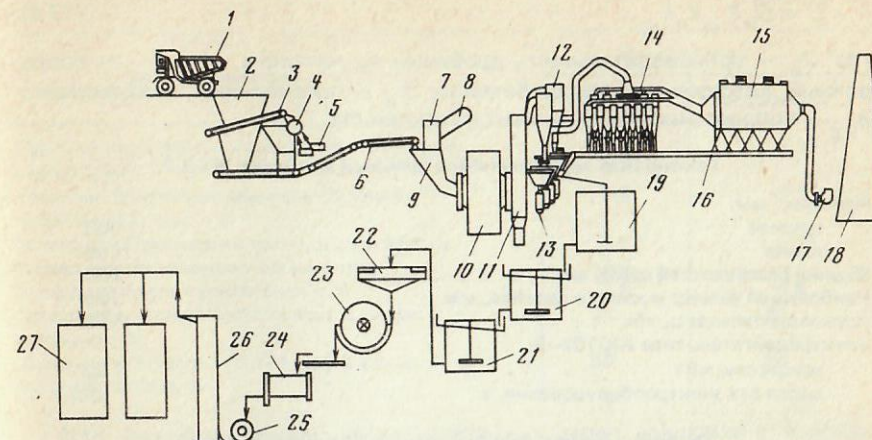


Рис. 34. Предлагаемая технологическая схема цепи аппаратов получения доломитового утяжелителя

15 для очистки газов. Оставшийся продукт попадает на скребковый конвейер 16. Очищенный газ дымососом 17 через дымовую трубу 18 выбрасывается в атмосферу.

Расчет производительности карьера и обоснование выбора оборудования для получения утяжелителей

Обоснование и выбор оборудования ведем из расчета производительности карьера 5 млн. т. Режим работы карьера, его цехов — непрерывный. С учетом этого производительность карьера определяем из выражения

$$Q_c = Q_r / \eta, \quad (7.3)$$

где Q_c — суточная производительность карьера, т/сут; Q_r — годовая производительность карьера, т/год; n — режимный показатель ($n = 365$); η — коэффициент использования оборудования ($\eta = 0,95$).

Выбор дробилок для измельчения

Выбор типа и размера дробилок для крупного и среднего дробления зависит от физических свойств сырья, требуемой производительности дробилки и крупности дробильного продукта. Физико-механические свойства сырья (твердость, вязкость, наличие глины, влажность, крупность) имеют важное значение.

Если исходить из крупности доломитового сырья (900—0 мм), то этим требованиям удовлетворяет щековая дробилка ЩКД-7 размером 900 x 1200 мм. Ее производительность (т/ч) определяется по формуле

$$Q = Q_k k_{др} k_n k_{кр}, \quad (7.4)$$

где Q_k — производительность дробилки по каталогу, т/ч; $k_{др}$ — поправочный коэффициент на дробимость; k_n — поправочный коэффициент; $k_{кр}$ — поправочный коэффициент на крупность.

Техническая характеристика щековой дробилки ЩКД-7

Размеры, мм:	
ширина	900
длина	1200
Ширина разгрузочной щели, мм	130
Наибольший размер кусков в питании, мм	700
Производительность, т/ч	110
Электродвигатель типа АК-103-8:	
мощность, кВт	100
масса без электрооборудования, т	70,78

Выбор и расчет оборудования для измельчения

Одним из существенных изменений в технике переработки минерального сырья за последние годы является широкое промышленное применение бесшарового измельчения, получившего название самоизмельчение.

Самоизмельчением называют способ дробления и измельчения, при котором куски самого измельченного материала действуют как измельчающие тела.

Применение бесшарового измельчения на многих предприятиях оказалось экономически рентабельным потому, что экономится электроэнергия, выше класс измельчения, устраняется расход на шары, потребность в которых весьма значительна, и т.д.

Процесс самоизмельчения полностью устраняет необходимость среднего и мелкого дробления. В данном случае рекомендуется мельница "Аэрофол", которая в карьерных условиях позволяет полностью измельчить сырье.

Как видно из табл. 31, бесшаровое измельчение по своему классу в сливе имеет лучшие данные, чем шаровое, экономится энергия, что чрезвычайно важно.

В мельницах сухого самоизмельчения материал, покидая круговые траектории, пересекается потоком воздуха, проходящим через полые цапфы. Частицы материала определенной крупности извлекаются потоком воздуха из зоны свободного падения и удаляются из мельницы, что является первичной классификацией измельчаемого материала. Измельченный материал выделяют в специальных сепараторах и циклонах.

Одной из основных особенностей мельниц самоизмельчения является постоянное (быстрее, чем у мельниц с металлическими измельчающими телами) обновление измельчающей среды, что требует специальных мер по обеспечению динамического равновесия как между измельчающей средой и измельченным материалом, так и между количеством входящего в цикл самоизмельчения и выходящего из него материала.

Таблица 31

Показатели	Измельчение	
	шаровое	бесшаровое
Удельная производительность по исходному сырью, т/м ³ · ч	5,1	5,18
Удельная производительность по классу (+0,074 мм), т/м ³ · ч	2,8	2,5
Расход электроэнергии на 1 т сырья, кВт · ч	2,02	1,51
Расход шаров размером 50 мм, кг/т	0,4	—
Расход крупных кусков сырья, %	1,5	1,5
Содержание класса (+0,074 мм) в сливе мельницы, %	21	41
Содержание класса (+0,074 мм) в сливе классификатора, %	50	60

Как показали опыты, число раскрытых зерен доломита в классах +0,074 мм при шаровом измельчении незначительно, в то время как при самоизмельчении в классах +0,074 мм оно достигает 60–70 %. Анализ показывает, что при всех разновидностях самоизмельчения (первичном мокром и сухом, струйном) характер раскрытия минеральных зерен более благоприятен для последующего обогащения, чем при шаровом измельчении.

При самоизмельчении выход минералов в интервале крупности от 1 до +0,074 мм больше, чем при шаровом измельчении, что свидетельствует о меньшем ошламовании минералов в процессе самоизмельчения. Внедрение процессов самоизмельчения позволяет оценить эффективность некоторых современных направлений их развития.

Рассматривая технико-экономическую целесообразность внедрения самоизмельчения взамен шарового, следует заметить, что, несмотря на снижение производительности мельниц, эффективность подобной замены обеспечивается исключением или значительным сокращением расходов шаров, электроэнергии, а в ряде случаев уменьшением расхода реагентов и улучшением показателей последующего обогащения.

Учитывая преимущества самоизмельчения над шаровым и принимая во внимание расчетные данные, выбираем мельницу сухого самоизмельчения "Аэрофол" типа MMC-5700 x 1850A.

Техническая характеристика мельницы типа MMC-5700 x 1850A

Внутренний диаметр барабана без футеровки, мм	5700
Внутренняя длина барабана без футеровки, мм	1850
Номинальный рабочий объем, м ³	44,5
Частота вращения барабана, об/мин	11,13
Электродвигатель типа АК-315-41-8Б:	
мощность, кВт	850/420
частота вращения, об/мин	750/375
напряжение, В	6000
Допускаемая масса шаровой загрузки при увеличении объема барабана не более 5 %, т	185
Рекомендуемый размер загружаемых кусков, м	400

Выбор и расчет схемы обогащения

Технологические схемы флотации на действующих предприятиях по производству нерудного минерального сырья сравнительно просты и характеризуются небольшим числом операций.

Для проведения исследований была отобрана проба доломитового сырья. Опыты по флотации были проведены в лабораторной флотационной машине (табл. 32). Предварительными опытами было установлено, что необходимая тонкость помола материала составляет 90 % класса —0,074 мм.

Исследованная проба являлась некондиционной по содержанию кремнезема. Процесс флотации силикатов проходит с достаточной эффективностью при дробной подаче катионного реагента АНП-2 и его расходе 0,4—0,5 кг/т.

Были проведены исследования по установлению очередности удаления примесей. Полученные данные (табл. 32) свидетельствуют о том, что в первую очередь необходимо удалять кальцит, затем силикаты. Установлено также, что удаление каждой из примесей достигается в одну стадию (рис. 35).

Одновременно были проведены опыты по подбору оптимального расхода сернокислого магния КМЦ. Применение одного сернокислого магния не позволяет получить удовлетворительных результатов по содержанию окисей магния и кальция. Использование КМЦ без сернокислого магния также не дает достаточного эффекта при флотации. Исследованиями было установлено, что сочетание сернокислого магния и КМЦ позволяет получить качественные концентраты по содержанию вышеуказанных окисей.

На основании проведенных исследований определяем режим работы: измельчение сырья — 90 % класса —0,074 мм; расход реагентов для флотации: сернокислого магния — 0,2 кг/т, едкого натра — 0,4 кг/т. В цикле кальцитовой флотации КМЦ добавляется 0,05 кг/т и собирателя талового мыла — 0,3 кг/т (время флотации 10 мин); в цикле силикатной флотации — катионного реагента АНП-2, по 0,2 кг/т (время флотации 5 мин).

Исходя из режима работы, определяем необходимое число камер

$$n = \frac{Vt}{1440 V_k k} \quad (7.5)$$

где t — продолжительность флотации в рассматриваемой операции, мин;
 V_k — полный объем камеры, м³; k — отношение объема продукта в камере при работе флотационной машины к полному объему камеры ($k = 0,7—0,8$); V — суточный объем флотируемого продукта:

$$V = Q/\gamma, \quad (7.6)$$

где Q — суточная производительность карьера; γ — плотность сырья.

Таблица 32

Измельчение до крупности —0,074 мм, %	Продукт измельчения	Выход, %	Содержание кремнезема, %	Извлечение кремнезема, %
63,2	Кальцитовый	24,4	3,8	28,2
	Силикатный	12,5	8,70	42,0
	Камерный	63,1	0,91	29,8
	Исходная руда	100,0	1,83	100,0
74,3	Кальцитовый	32,82	3,62	36,44
	Силикатный	5,88	69,02	41,3
	Камерный	61,3	0,65	22,25
	Исходная руда	100,0	1,98	100,0
89,90	Кальцитовый	30,03	1,84	29,1
	Силикатный	13,32	10,80	64,3
	Камерный	56,65	0,32	6,6
	Исходная руда	100,0	2,07	100,0
94,9	Кальцитовый	34,5	2,08	33,9
	Силикатный	15,5	4,93	52,01
	Камерный	50,0	0,58	14,09
	Исходная руда	100,0	1,96	100,0

По результатам расчета была выбрана пневматическая монокамера типа МПМ-45, разработанная на базе чана.

Техническая характеристика пневматической монокамеры типа МПМ-45

Производительность, м ³ /ч	600
Объем камеры, м ³ :	
полный	40
рабочий	39
Число камер	1
Блок импеллера электродвигателя типа АО2-82-8:	
мощность, кВт	30
частота вращения, об/мин	750
число ремней клиноременной передачи, шт	4
диаметр азратора	1000—11000
частота вращения азратора, об/мин	180
Диаметр чана, мм	3500
Габариты камеры, мм:	
длина	44500
ширина	4460
высота	5500
Масса, кг	9000

Расчет контактного чана

Контактные чаны установлены для перемешивания пульпы с реагентами. Расчет контактного чана производится по формуле

$$n = \frac{Vt}{1440 V_k k} \quad (7.7)$$

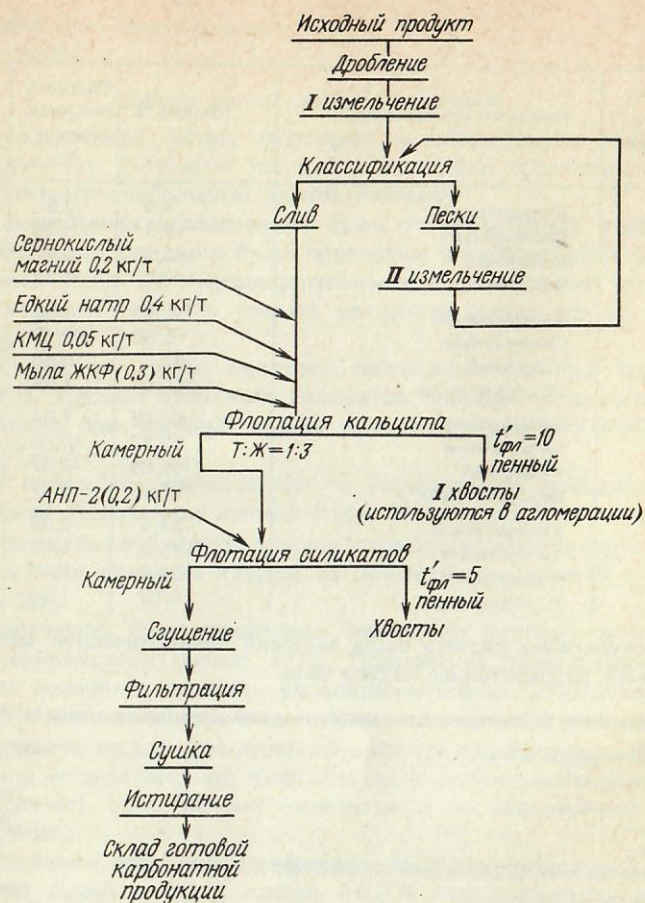


Рис. 35. Технологическая схема обогащения доломита методом флотации

где n — требуемое для операции число чанов; V — суточный объем контактируемой пульпы, $\text{м}^3/\text{сут}$; t — требуемая продолжительность контакта пульпы с реагентом, мин; $V_{\text{ч}}$ — полный объем чана, м^3 ; k — коэффициент ($k = 0,8-0,85$).

По результатам расчета был выбран контактный чан КЧ-4.

Техническая характеристика контактного чана типа КЧ-4

Диаметр чана, мм	4000
Высота чана, мм	4000
Объем чана, м^3	45
Диаметр пропеллера, мм	900
Частота вращения пропеллера, об/мин	140
Мощность электродвигателя, кВт	10
Масса чана с электродвигателем, т	4,42

Выбор и расчет оборудования для сгущения и фильтрации

Обезвоживание тонкоизмельченных материалов и шламов производится в два приема, иногда в один. Для первого приема приняты цилиндрические сгустители, для второго — вакуум-фильтры.

Объем слива флотационной машины по расчетным данным равен 614 т/ч , твердого продукта, или

$$V = 614 : 2,85 = 215,4 \text{ м}^3. \quad (7.8)$$

Но так как $T : Ж = 1 : 3$, то общий объем слива флотационной машины $V = 215,4 \cdot 3 + 215,4 = 861,7 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Необходимую площадь сечения $F (\text{м}^2)$ определяем по формуле

$$F = U/v, \quad (7.9)$$

где v — скорость слива, м/ч .

По расчетным данным устанавливаем сгуститель с периферическим приводом и площадью сгущения 700 м^2 .

Техническая характеристика одноярусного сгустителя с периферическим приводом

Диаметр чана, м	30,0
Глубина чана в центре, м	3,6
Площадь сгущения, м^2	700
Частота вращения граблин, об/мин	0,062
Мощность электродвигателя, кВт	4,5
Масса сгустителя (без чана), т	29,5

Выбор типа вакуум-фильтра определяется в основном характеристикой крупности твердой фазы, ее плотностью, требуемой производительностью и условиями на влажность.

На фильтрацию поступает 614 т/ч концентрата. Из практических данных по фильтрации доломита принимаем удельную производительность фильтра $q = 1,3 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Площадь фильтрации $S (\text{м}^2)$ рассчитываем по формуле

$$S = Q/q, \quad (7.10)$$

где Q — количество материала, поступающего на фильтрацию, т/ч .

Техническая характеристика вакуум-фильтра дискового типа ДУ-102-2,5

Площадь фильтрования, м^2	102
Диаметр дисков, м	2,5
Число дисков	12
Число распределительных головок	2
Частота вращения дисков, об/мин	0,10-0,25

Выбор и расчет оборудования для сушки исходного сырья и готового продукта

Для сушки продуктов обогащения применяют барабанные сушилки прямого действия. Эти сушилки отличаются большой производитель-

ностью, высоким тепловым коэффициентом полезного действия, малым потреблением энергии, сравнительно низкими эксплуатационными расходами и надежностью в работе. Для определения размера и числа сушилок первоначально подсчитывают их суммарный объем (м^3):

$$V_{\text{общ}} = Q(R_1 - R_2)/E, \quad (7.11)$$

где Q — производительность сушильного отделения по массе твердой фазы ($Q = 614 \text{ т/ч}$); R_1 и R_2 — весовые отношения Ж : Т соответственно в поступающем и выходящем из сушилки материале ($R_1 = 0,11$, $R_2 = 0,015$); E — удельная производительность сушилки ($E = 60 \text{ кг/}(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$).

После подсчета суммарного объема сушилок определяем их потребное количество. Нашим данным соответствуют барабанные сушилки размером $3,5 \times 2,7 \text{ м}$.

Техническая характеристика барабанной сушилки СМ-14Т

Угол наклона барабана, град	3
Частота вращения барабана, об/мин	2–6
Мощность электродвигателя, кВт	200
Размеры барабана, м:	
диаметр	3,5
длина	2,7

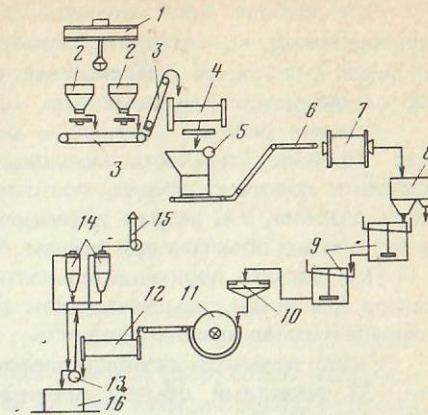
Рассмотренные технологические схемы и оборудование для получения утяжелителей на основе карбонатных пород, в частности, доломита типичны при получении утяжелителей из других неглинистых пород — мела, известняка и др.

Выбор технологической схемы и оборудования для получения утяжелителей из неглинистых пород рассмотрим на примере ильского завода "Утяжелитель" — специализированного предприятия по выпуску глинопорошка (по сортам), барита сухого и барита модифицированного (рис. 36).

Технологический процесс получения таких утяжелителей осуществляется следующим образом. Поступающее карбонатное сырье железнодорожным или автомобильным транспортом после взвешивания на весах и разгрузки электромостовым грейферным краном 1 попадает на площадку открытого склада. Из склада тем же краном оно подается в расходные бункера 2, откуда поступает на ленточные конвейеры 3 и сушильный барабан 4. Сушка сырья осуществляется по принципу прямотока материала и сушильного агента. Сушильным агентом является смесь воздуха и продуктов сгорания природного газа. Карбонатное сырье после сушки попадает в конусную дробилку 5 и по ленточному транспортеру 6 поступает на шаровую мельницу 7, а затем в барабанный грохот 8. После барабанного грохота измельченное карбонатное сырье попадает на флотационную машину 9. Влажное сырье после флотации (кальцита и силиката) поступает на сгуститель 10, а затем уже на вакуум-фильтр 11. После вакуум-фильтра оно вторично попадает на сушильный барабан 12, затем на дезинтегратор сухого измельчения 13. Дымосос 15 подает продукт на систему батарейных циклонов 14 и далее на силосный склад готовой продукции 16.

Рис. 36. Технологическая схема получения утяжелителей из неглинистых пород применительно к заводу "Утяжелитель":

1 — электромостовой кран; 2 — бункер расходный; 3 — конвейер ленточный; 4 — сушилка; 5 — дробилка конусная; 6 — ленточный транспортер; 7 — мельница шаровая; 8 — грохот; 9 — машина флотационная; 10 — сгуститель цилиндрический; 11 — вакуум-фильтр; 12 — барабан сушильный; 13 — дезинтегратор сухого измельчения; 14 — циклон батарейный; 15 — дымосос; 16 — силосный склад



Обоснование и расчеты выпуска новых утяжелителей из неглинистых пород в заводских условиях для того же объема готовой продукции (50 тыс.т/год), показали, что для сохранения объема производства требуется некоторая реконструкция завода, которая не повлечет за собой существенных отклонений как от технологии, так и от монтажной схемы оборудования.

Реконструкция должна состоять в следующем. Для дробления и измельчения устанавливаются две дробилки и шаровая мельница. Предусматривается предварительное дробление кускового сырья на дробилке марки МС-438 производительностью $20\text{--}30 \text{ м}^3/\text{ч}$. Окончательное дробление сырья производится на дробилке марки СМ-12, двухвалковой, с гладкими рифлеными валками производительностью $25 \text{ м}^3/\text{ч}$. Сырье измельчают шаровой мельницей МШР-27-27. В соответствии с выбранной схемой предусматривается на существующей крановой эстакаде монтаж второго грейферного мостового крана грузоподъемностью 5 т. При обогащении сырья для двух флотационных машин необходимо установить цилиндрический сгуститель, вакуум-фильтр и дезинтегратор для сухого измельчения после сушки.

Таким образом, каждый из двух вариантов получения карбонатных утяжелителей может быть видоизменен в зависимости от качества и наличия сырья. Однако следует отметить, что небольшие изменения, которые вносятся в технологическую схему на основании опытных и промышленных данных, не являются существенной реконструкцией.

Практика бурения показала, что можно получить утяжеленные буровые растворы ($\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$) непосредственно в стволе скважины, используя механизмы для дополнительного измельчения.

В качестве примера рассмотрим шаровые мельницы, отличающиеся простотой конструкции и надежностью в работе. Сопряжение мельниц с классификационными устройствами позволяет получать продукт заданной дисперсности с наименьшими затратами. Износ корпуса невелик, а замена мелющих тел возможна без остановки мельниц.

При выборе типа мельницы руководствовались главным образом требованиями к крупности продукта измельчения. Мельницы с центральной разгрузкой устанавливаются только в том случае, когда необходимо тонкое измельчение.

Условия работы мельницы могут изменяться в широких пределах. Производительность мельницы по теоретическим формулам определить довольно трудно, поэтому она рассчитывается на основе метода подобия, т.е. исходя из практических данных работы мельниц на действующих объектах при режиме, близком к оптимальному.

При расчете производительности надо учитывать влияние типоразмеров мельницы, измельчаемости материала, крупности исходного материала и измельченного продукта.

Расчет мельницы осуществляется по породе, т.е. по расчетному классу. За расчетный обычно принимают класс $-0,074$ мм (на сите в 79 отв./см³). По содержанию этого класса можно судить о размере максимального зерна в продукте измельчения. За размер максимального зерна принимают размер отверстия сита, через которое проходит 95 % продукта измельчения.

Предварительно определяют удельную производительность мельницы q , работающей на буровой q_1 , по вновь образуемому расчетному классу: $q_1 = q k_{\text{и}} \sim k_{\text{т}} k_{\text{Д}} k_{\text{к}}$.

Чтобы от удельной производительности q_1 работающей мельницы перейти к производительности q проектируемой, необходимо ввести ряд поправочных коэффициентов, которые учитывают размеры измельченной породы $k_{\text{и}}$, тип мельницы $k_{\text{т}}$, размеры $k_{\text{Д}}$, крупность исходного материала и измельченного продукта.

Коэффициент $k_{\text{и}}$ определяется экспериментальным путем как отношение производительности мельницы по вновь образованному расчетному классу при измельчении исследуемой породы к производительности той же мельницы и по тому же классу при измельчении принятой для сравнения породы. В обоих случаях крупность исходного материала, содержание расчетного класса в измельченном продукте и все условия измельчения должны быть одинаковыми.

Коэффициент $k_{\text{т}}$ при переходе от мельницы с центральной разгрузкой к мельнице с разгрузкой через решетку принимается равным 1,15, а при обратном переходе — $k_{\text{т}} = 0,87$.

Коэффициент $k_{\text{Д}}$ определяется следующим отношением:

$$k_{\text{Д}} = (D_2/D_1)^{0,5}, \quad (7.12)$$

где D_2 и D_1 — внутренние диаметры барабана соответственно проектируемой и работающей мельницы.

Коэффициент $k_{\text{к}}$ определяется отношением относительной производительности работающей мельницы к ее производительности при дисперсности, принятой на действующем объекте.

Относительная удельная производительность m по вновь образованному расчетному классу и при измельчении одной и той же породы опре-

деляется отношением удельной производительности q при заданных крупностях исходного материала и измельченного продукта к производительности работающей мельницы при эталонных значениях указанных крупностей q_3 , т.е.

$$m = q/q_3. \quad (7.13)$$

Кбээффициент $k_{\text{к}}$ вычисляется по формуле

$$k_{\text{к}} = m_2/m_1, \quad (7.14)$$

где

$$m_1 = q_1/q_3 \text{ и } m_2 = q'_1/q_3, \quad (7.15)$$

где q_1 — абсолютная удельная производительность работающей мельницы по расчетному классу при измельчении на действующем объекте породы при установленных крупностях исходного материала и измельченного продукта на 1 м^3 , т/ч; q'_1 — то же, при проектируемых крупностях на 1 м^3 , т/ч; q_3 — то же, при эталонных крупностях на 1 м^3 , т/ч.

Определяем производительность мельницы с барабаном $D \times L = 3200 \times 3100$ мм с центральной разгрузкой. Крупность исходного материала находится в пределах от 10 до 0 мм. Содержание расчетного класса шаровой мельницы $-0,0174$ мм в исходном материале $\alpha_2 = 30$ %, в измельченном продукте $\beta_2 = 52,2$ %. Коэффициент измельчаемости $k_{\text{и}}$ определяется с помощью прибора "Микрон-3".

Принятая за эталон порода измельчается в мельнице с центральной разгрузкой с барабаном $DL = 2100 \times 3000$ мм. Крупность исходного материала — в пределах от 20 до 0 мм. Содержание расчетного класса в исходном материале $\alpha_1 = 6$ %, в измельченном продукте $\beta_1 = 62$ %. Производительность мельницы по выбуренной породе $Q = 15$ т/ч.

Далее находим значения величин, входящих в расчетную формулу, для определения удельной производительности мельницы

$$q_2 = q_1 k_{\text{и}} k_{\text{т}} (D_2/D_1)^{0,5} k_{\text{Д}}, \quad (7.16)$$

где q_2 — удельная производительность по вновь образованному расчетному классу проектируемой мельницы; q_1 — удельная производительность по вновь образованному расчетному классу работающей мельницы; $k_{\text{и}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий различие в измельчаемости породы; $k_{\text{т}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий различие в типе мельниц; $k_{\text{Д}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий различие в метрах мельниц.

Количество вновь образованного расчетного класса работающей мельницы Q_1 определяем по формуле

$$Q_1 = Q (\beta_1 - \alpha_1), \quad (7.17)$$

где Q — производительность работающей мельницы, т/ч ($Q = 15$ т/ч); β_1 — содержание расчетного класса в конечном измельченном продукте ($\beta_1 = 0,62$ %); α_1 — содержание расчетного класса в исходном материале ($\alpha_1 = 0,06$ %).

При этом все расчеты ведем, исходя из внутреннего объема барабана и его длины. Тогда удельную производительность по расчетному классу определяем из выражения

$$q_1 = Q_1 (\beta_1 - \alpha_1) / V_1, \quad (7.18)$$

где V_1 — внутренний объем барабана мельницы.

Зная удельную производительность по расчетному классу работающей мельницы, после введения поправочных коэффициентов получаем удельную производительность q_2 по вновь образованному расчетному классу проектируемой мельницы.

Относительные удельные производительности m_2 и m_1 определяем для крупности исходного материала — 10 + 0 мм при содержании расчетного класса в продукте измельчения $\beta = 48\%$, удельная производительность $m = 1,13$, а при $\beta = 60\%$, $m = 1,05$. Содержание расчетного класса шаровой мельницы в измельченном продукте $\beta_2 = 52,2\%$. В справочных данных нет такого класса, тогда берем два ближайших: одно больше 60 %, другое меньше 48 %. Для каждого значения определяем удельную производительность соответственно при $m = 1,13$ и $m = 1,05$. Затем интерполяцией находим значение m_2 .

Те же расчеты проводим для крупности исходного материала уже работающей мельницы в пределах от 20 до +0 мм при $\beta = 60\%$, $m = 0,92$ и $\beta = 72\%$, $m = 0,88$.

Отсюда коэффициент крупности k_K определяем отношением относительных производительностей. При ориентировочных подсчетах с точностью, достаточной для практических целей, исходим из допущения, что зависимость производительности мельницы от крупности исходного материала и измельченного продукта для сравниваемых пород остается одинаковой, а учитывается только влияние измельченности:

$$k_K = m_2 / m_1,$$

где

$$m_2 = q'_1 / q_3 \quad \text{и} \quad m_1 = q_1 / q_3, \quad (7.19)$$

где q_1 , q'_1 , q_3 — соответственно абсолютная удельная производительность работающей мельницы по расчетному классу измельчения выбуренной породы при установленных крупностях исходного материала и измельченного продукта, проектируемых крупностях, эталонных крупностях на 1 м^3 , т/ч.

Подставляя найденные значения m_1 и m_2 в расчетную формулу, получаем значение k_K .

Поправку на диаметр мельницы k_D рассчитываем по формуле

$$k_D = (D_2 / D_1)^{0,5}, \quad (7.20)$$

где D_2 — диаметр проектируемой мельницы; D_1 — диаметр работающей мельницы.

Удельную производительность проектируемой мельницы определяем из выражения

$$q_2 = q_1 k_K k_i k_D.$$

Внутренний объем проектируемой мельницы будет:

$$V_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} L_2,$$

где L_2 — длина барабана мельницы.

Затем определяем производительность проектируемой мельницы по формуле

$$Q_2 = \frac{q_2 V_2}{\beta_2 - \alpha_2}, \quad (7.21)$$

где β_2 , α_2 — содержание расчетного класса в измельченном и исходном продукте, доли единицы.

Таким образом, полученная производительность шаровой мельницы удовлетворяет техническим требованиям и проблема направленного регулирования с целью получения буровых растворов повышенной плотности непосредственно в стволе скважины будет решена. При этом следует иметь в виду, что выделить механизм для дополнительного диспергирования только твердой фазы (шлама) будет нерентабельно, поэтому и предполагается дополнительное диспергирование всего объема циркулирующей жидкости.

Техническая характеристика шаровой мельницы МШЦ-3200 × 3100

Размеры барабана:	
диаметр, мм	3200
длина, м	3100
Рабочий объем, м ³	22,4
Частота вращения барабана, об/мин	19,8
Приводной электродвигатель ДСП 213/29—24	
Мощность, кВт	600
Масса, т:	
шаров	47
вращающейся части (с шарами)	125
мельницы без двигателя и шаров	89,2

Из сказанного выше следует, что при изучении проблемы, связанной с улучшением производства утяжелителей, возникает необходимость улучшить способ и подготовку сырья путем применения современных методов обогащения.

Способ флотации карбонатного сырья, содержащего кальций, является новым в практике обогащения. Вот почему наибольший интерес представляют вопросы флотационного обогащения распространенных в воде известковых доломитов и других карбонатных пород, где основная примесь присутствует в виде кальцита, а также силикатных и других минералов.

Следует иметь в виду, что вопросы флотации найдут применение

и при получении буровых растворов высокой плотности непосредственно в стволе.

В заключение необходимо добавить, что рассмотренные варианты выбора обоснования и технологических схем и оборудования могут быть изменены с учетом специфики тех или иных условий.

ГЛАВА VIII

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ ИЗ НЕГЛИНИСТЫХ ПОРОД ДЛЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Комплексная программа по охране окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов — важнейшая задача социального и экономического развития нашей страны. Ее цель — использование дальнейших достижений науки и техники прежде всего для исследования природных ресурсов и контроля за состоянием окружающей среды и источниками ее загрязнения. Создание непрерывно действующей системы постоянного контроля за состоянием атмосферы, рек и озер, Мирового океана, сельскохозяйственных угодий и лесных массивов позволит своевременно планировать и осуществлять наиболее эффективные меры по защите природы.

Практические мероприятия, намеченные на ближайшее десятилетие, охватывают все отрасли хозяйственной деятельности. Например, при разработке и добыче полезных ископаемых необходимо использовать самые прогрессивные системы разработки месторождений, в частности комплексной переработки минеральных богатств природы, т.е. такие процессы, при которых использовались бы все компоненты природного сырья. Таким образом, разработка принципиально новых схем производства, которые обеспечивали бы резкое уменьшение отходов производства, их максимальную утилизацию, а также увеличение доли оборотного и повторного использования вод промышленными предприятиями, — задача первостепенной важности.

При бурении скважин используется большое количество бурового раствора. Например, при бурении скважин глубиной 3000 м расходуется до 900 м³ раствора. После крепления и тампонажных работ остается большое количество раствора, который откачивается в отдельные амбары, находящиеся на значительном расстоянии от скважины. Кроме того, для организации работ при проходке скважин выполняются большие подготовительные работы, связанные со строительством и сооружением временных зданий и других объектов. Например, при бурении скважин на глубину 5000 м отвод земельной территории, необходимой для размещения временных зданий производственного и бытового назначения по строительному плану, составляет в среднем около 2,0 га.

Предлагается использовать отработанные буровые растворы для затворения цементных растворов при тампонажных работах. Проведенные исследовательские работы показали, что для затворения 1 м³ тампонажного раствора расходуется до 0,830 м³ бурового раствора. При затворении цемента на буровом растворе получается тампонажный камень с достаточной прочностью, водопроницаемостью, устойчивостью против агрессивных подземных вод. Метод использования отработанного раствора находит широкое применение там, где это позволяют технологические условия проходки скважин.

В качестве примера в табл. 33 приводятся расход бурового раствора при затворении 1 м³ тампонажного раствора и прочностные свойства тампонажного камня.

Как видно из табл. 33, буровой раствор может выступать в качестве затворителя тампонажного раствора, не ухудшая его качества. Эти растворы были апробированы при создании и регулировании состава и свойств буровых растворов при бурении шахтных стволов [12].

На утяжелителях из комплекса неглинистых пород и на буровых растворах, приготовленных на их основе, следует остановиться особо. Дисперсная фаза таких растворов в основном карбонатная, состоящая из доломита, известняка, мела. Эти вещества являются специальными элементами при известковании почв, что нельзя сказать о железистых утяжелителях и барите, воздействие которых отрицательно сказывается на плодородии почв.

Поэтому при использовании буровых растворов, утяжеленных неглинистыми породами, создается благоприятная предпосылка сохранения плодородия почв, частичного исключения рекультивационных работ и т.д., но это вопросы будущего, они должны дать положительный эффект.

Известно, что для стабилизации и регулирования технологических свойств бурового раствора применяются ПАВ и активные добавки (УЩР, ПУЩР, ССБ, жидкое стекло, кальцинированная сода и др.). Некоторые из перечисленных ПАВ и активных добавок — флотационные реагенты (коагуляторы, пептизаторы, пенообразователи и др.), которые могут быть использованы и на обогатительных фабриках для обогащения угля, руды и других металлов и минералов, необходимых народному хозяйству. Например, буровые растворы, обработанные УЩР, могут использоваться в процессе обогащения как активаторы и регуляторы pH среды.

Сульфит-спиртовая барда (ССБ), являясь стабилизатором буровых растворов, может применяться как флотореагент — пенообразователь. Жидкое стекло — активная добавка — используется при регулировании свойств буровых растворов в сочетании с ССБ, КМЦ и другими ПАВ как структурообразователь; во флотации оно отнесено к группе так называемых депрессоров (подавителей) и т.д. Таким образом, перечень ПАВ, которые могут использоваться при флотационных процессах, можно значительно расширить.

В технологическом цикле получения буровых растворов повышен-

Состав раствора, мас. ч.				Добавки CaCl ₂ , %	Расход материалов на 1 м ³ тампонажного расхода			
сульфатостойкий портланд-цемент М-400	суглинок	вода	буровой раствор (по объему)		цемент, т	суглинок, м ³	буровой раствор, м ³	вода, м ³
1	1	—	1,5	2	0,560	—	0,830	—
1	2	1,5	—	2	0,380	0,420	—	0,570

ной плотности непосредственно в стволе скважины на основе выбуренных пород предусматриваются флотационные процессы для получения исходной чистой твердой фазы. Предусматривается избирательное регулирование состава и свойств буровых растворов для полного соответствия их физико-химических свойств проходным породам.

В связи с этим ставится вопрос о замкнутом технологическом цикле, когда в комплексе оборудования для приготовления и очистки дополнительным диспергированием предусматриваются флотационные машины для выделения соответствующих минералов, т.е. необходимой твердой фазы заданных физико-механических свойств.

Эти вопросы рассматривались и было акцентировано внимание на необходимость такого решения. Тем более, что это связано с дополнительным использованием ПАВ и активных добавок, применяемых для химической обработки буровых растворов.

Большое народнохозяйственное значение для охраны окружающей среды и сохранения природных ресурсов имеет экономное и повторное использование пресной воды.

Для приготовления бурового раствора как искусственным, так и естественным путем расходуется большое количество воды, достигающее сотен тысяч кубических метров на одну скважину. Стоимость 1 м³ воды составляет 0,68 коп. на 1 м³ бурового раствора. Поэтому бережное и экономное расходование воды является весьма актуальной задачей.

Предусматривается повторное использование воды, которая в качестве исходного компонента буровых растворов скапливается в больших количествах в сточных амбарах, отстойниках. С этой целью предлагается и уже частично апробированное периодическое так называемое "орошение" с применением специальных довольно простых устройств и добавкой 0,01 % водного раствора полиакриламидного реагента.

Полиакриламидные препараты хорошо зарекомендовали себя в технике очистки сточных и питьевых вод. В данном случае применялся

Таблица 33

Состав раствора, мас.ч.					Добавки CaCl ₂ , %	Растекаемость, см	Плотность, г/см ³	Выход камня, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности при сжатии (МПа) через	
хлористый кальций, кг	сульфатостойкий портланд-цемент М-400	суглинок	вода	буровой раствор (по объему)					начало	конец	7 сут	28 сут
12,5	1	—	—	1,5	2	22	1,50	98	3—30	25—00	2,5	5,5
7,6	1	2	1,5	—	2	22	1,70	98	2—00	24—00	3,5	6,0

технический полиакриламид, представляющий собой сополимер амида и акриловой кислоты. Он представляет собой прозрачную или коричневую желеобразную тягучую массу, хорошо растворимую в воде. Обычное применение его от 0,01 до 1 % и более к объему загрязнения (в мг/л). Добавка препарата в незначительной дозировке к указанным объемам позволяет повторно использовать воду для технических нужд, включая приготовление бурового раствора и затворение тампонажного цемента.

Мероприятия по охране окружающей среды связаны с рекультивацией земель и сельскохозяйственных угодий. Для утилизации оставшегося бурового или буферного раствора, а также шлаковых отходов используются старые, вышедшие из эксплуатации штольни шахт, вентиляционные стволы и скважины так называемого ликвидированного тампонажа. Последние служат надежным и наиболее целесообразным вариантом для закачки растворов.

В тех случаях, когда по техническим или технологическим причинам буровой раствор все же остается неутрализованным, ведутся исследовательские работы по нейтрализации основного компонента — химических реагентов. Первые опытные работы, связанные с нейтрализацией поверхностно-активных веществ и активных добавок, содержащих повышенное количество, например, щелочей, показали, что в качестве нейтрализаторов могут применяться (в небольших количествах) органические кислоты (типа щавелевой и др.).

Некоторые поверхностно-активные вещества, такие, как УЩР или ТЩР, содержат гуматы натрия, которые оказывают положительное воздействие на рекультивацию земель.

Рассмотренные вопросы по охране окружающей среды, связанные с использованием буровых утяжеленных растворов, являются лишь частью той проблемы, которую необходимо связать с мероприятиями, направленными на сохранение потерь материальных и сырьевых ресурсов.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УТЯЖЕЛИТЕЛЕЙ ИЗ НЕГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Статистический анализ по ряду предприятий нефтяной, газовой и горнорудной промышленности показал, что основной объем бурения осуществляется с применением буровых растворов плотностью 1,5–1,7 г/см³. При этом использование дорогостоящих железистых утяжелителей, представляющих собой важнейшее сырье для химической и металлургической промышленности, крайне нерационально. Для такого утяжеления могут с успехом использоваться более дешевые и доступные материалы из комплекса неглинистых пород (доломит, известняк, мел и др.).

Рассмотрим экономическую целесообразность их применения, сравнивая с железистыми и свинцово-цинковыми утяжелителями. Экономическая эффективность неглинистых утяжелителей может быть рассмотрена по следующим направлениям: применительно к заводским, карьерным условиям добычи нерудного минерального сырья и непосредственного получения утяжеленных буровых растворов в стволе скважины за счет выбуренных неглинистых пород.

Базой сравнения экономической целесообразности выпуска утяжелителей из неглинистых материалов выбран ильский завод "Утяжелитель". В настоящее время этот завод выпускает порошкообразный и модифицированный баритовый утяжелитель. Сырьем для получения утяжелителей служит флотационный концентрат Салаирской обогатительной фабрики [15], который после соответствующей технологической обработки отпускается потребителям. С учетом транспортных расходов стоимость сырья составляет 84,6 руб/т.

Согласно фактическим данным годовая производительность завода по баритовому утяжелителю составляет 40 тыс. т. Учитывая меньшую утяжеляющую способность предлагаемых утяжелителей, расчет ведем, исходя из производительности 50 тыс. т.

Ниже приводится сравнительный технико-экономический анализ себестоимости баритового утяжелителя и утяжелителей из неглинистых (карбонатных) пород. При этом учитывается новая технологическая схема для получения утяжелителей из неглинистых пород.

В табл. 34 приводится калькуляция себестоимости баритового утяжелителя на ильском заводе "Утяжелитель".

Численность производственно-промышленного персонала его квалификационный состав представлены в табл. 35.

Как следует из табл. 35, сменная заработная плата составляет 33,96 руб. (при работе в три смены – 101,8 руб.), годовая заработная плата – 37 288 руб., а с учетом 20 % надбавки – 44 745,6 руб.

Для получения утяжелителей из неглинистого (карбонатного) сырья согласно разработанной схеме необходимо провести следующие мероприятия:

Таблица 34

Статьи затрат	Стоимость единицы продукции, руб.	Стоимость всего объема выпуска, тыс. руб.
Сырье и материалы	74,49	3389,3
Вспомогательные материалы	0,05	2,28
Топливо на технологические цели	0,76	34,6
Энергия на технологические цели	0,69	31,4
Основная заработная плата всего производственно-промышленного персонала	0,71	37,3
Дополнительная заработная плата всего производственно-промышленного персонала	0,14	7,46
Отчисления на социальное страхование	0,07	3,76
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	2,13	96,9
Общезаводские расходы	3,11	141,5
Итоговая заводская себестоимость	82,15	3744,5
Внепроизводственные расходы	2,54	115,6
Себестоимость продукции	84,69	3860,1

Таблица 35

Профессия	Количество	Разряд	Тарифная ставка, руб.	Занятость, %
Кочегар технологических печей	1	4	5,89	100
Питательщик-элеваторщик	1	2	4,92	100
Крановщик	1	4	5,89	100
Реагентщик	1	3	5,322	100
Слесарь-ремонтник (дежурный)	0,2	4	1,13	20
Электрик	1	4	5,89	100
Питательщик-элеваторщик	1	2	4,92	100

в складе сырья установить дробилку и дополнительный бункер вместимостью 8 м³ с тарельчатым питателем, а также смонтировать грейферный кран;

в сушильном отделении установить дополнительный сушильный барабан с загрузочным бункером и тарельчатым питателем;

в размолочном отделении установить: три шаровые мельницы с бункерами и тарельчатыми питателями, распределительный бункер вместимостью 15 м³, циклон с сепаратором, вытяжной вентилятор и фильтр для очистки. Для транспортировки утяжелителя в силосы смонтировать дополнительно шнеки и ковшовый элеватор Т-52;

в складе готовой продукции установить два компрессора КЭС-5, упаковочную машину, а также лифт грузоподъемностью 500 кг для обслуживания силосов;

на основании мероприятий, предусмотренных технологической схемой для производства новых утяжелителей, в табл. 36 приведен перечень дополнительного оборудования.

Таблица 36

Оборудование	Количество	Сметная стоимость, тыс.руб.	
		единицы оборудования	общая
Сушильный барабан СМ-147 с редуктором и электродвигателем	1	56 090	56 090
Дробилка валковая зубчатая СМ-438 с редуктором и электродвигателем	1	1705,90	1706
Бункер сырья объемом 8 м ³	2	1945	3890
Бункер распределительный объемом 15 м ³	2	1945	1945
Питатель тарельчатый с электродвигателем	5	827	4135
Грейферный кран	1	19 545	19 545
Циклон "Девидсон"	2	103	206
То же	3	103	309
Вентилятор ЦП7-40-8 с двигателем АО2-71-4	1	488	488
Шнек в комплекте с редуктором и электродвигателем	6	2555	15 330
Элеватор ковшовый Т-52	1	500	500
Электродвигатель к элеватору	1	65	65
Бункер к мельнице	3	1945	5885
Центробежный вентилятор ВВД-8 с электродвигателем АО2-62-6	3	300	900
Сепаратор	3	648	1944
Шаровая мельница	3	52 130	159 390
Всасывающий фильтр ФВК-90	1	2435	2435
Вентилятор к фильтру ВВД-8	1	300	300
Транспортер наклонный ленточный (L = 12 м)	1	1463	1463
Лифт грузовой (Q = 0,5 т)	1	2810	2810
Дробилка валковая с электродвигателем	1	2435	2435
Компрессорная станция в комплекте	2	1600	3200
Итого			286 866

В качестве нормативных источников при составлении расчетов использовались каталоги ЕР и ПОР.

Монтаж оборудования согласно нормативам составляет 20 % объема работ или 57 373 тыс. руб. Наценка техснаба — 8,5 %, что составит 24 384 тыс. руб., а вся стоимость оборудования — 368 623 тыс. руб.

Основные фонды завода составляют 1618 тыс. руб. После реконструкции с учетом перехода завода на выпуск регламентированных утяжелителей из неглинистых материалов основные фонды будут несколько выше и составят: $368\,623 + 1618 = 370\,246$ тыс. руб. Произойдет также и повышение численности производственно-промышленного персонала (табл. 37, 38).

Из представленных материалов следует, что сменная заработная плата увеличится и составит 78,4 руб. При работе завода в три смены она

Таблица 37

Категория работников	Численность	Фонд заработной платы, тыс.руб.
Производственный персонал	44	103,3
ИТР	13	26,52
Служащие	8	12,5
МОП	1	0,96
Вспомогательный персонал	8	16,55
Несписочный фонд	—	1,1
Всего	74	160,93

Таблица 38

Профессия	Численность	Разряд	Тарифная ставка, руб.	Занятость, %
Машинист сырьевых мельниц	1	5	6,63	100
Кочегар технологический печей	1	4	5,89	100
Питательщик-элеваторщик	4	2	19,68	100
Крановщик мостовых грейферных кранов	2	4	11,78	100
Компрессорщик	1	3	5,33	100
Дробильщик	1	3	5,33	100
Электрик (дежурный)	1	4	5,89	100
Слесарь-ремонтник (дежурный)	0,8	4	4,71	80
Питательщик-элеваторщик	1	2	4,92	100
Подменный рабочий	1	4	4,71	100
Рабочий сырьевых мельниц	0,9	1	3,53	90

возрастет до 236,2 руб., годовая заработная плата — 86 083 руб., а с учетом 20 % надбавки — 103 300 руб.

В эксплуатационные затраты входят: стоимость сырья, топлива, электроэнергии, заработная плата (основная и дополнительная), отчисления на социальное страхование, амортизация основных фондов, а также расходы на содержание и эксплуатацию оборудования. Каждая из статей затрат может быть рассчитана отдельно.

Однако целесообразно пользоваться фактическими данными по себестоимости (особенно сырья), что и сделано автором.

Анализ данных по ряду заводов Министерства промышленных и строительных материалов, производящих меловое, известняковое и доломитовое сырье, показал, что стоимость его различна и колеблется от 3 до 7 руб./т. В этой связи в качестве аналога можно привести себестоимость известнякового и мелового сырья Ульяновского силикатного завода, которая составляет 7 руб./т.

Учитывая, что сырье доставляется 20–25 %-ной влажности, его объем увеличивается до 60 тыс. т. Соответственно возрастает и его стоимость: $60\,000 \cdot 7,0 = 420\,000$ руб. Транспортные расходы начисляются по аналогии со стоимостью баритовых утяжелителей и составляют 20 %,

Таблица 39

Потребители электроэнергии	Количество электродвигателей, шт.	Установленная мощность, кВт	Коэффициент спроса	Годовое потребление электроэнергии, кВт
Сушильный барабан	1	28	0,70	171696
Дробилка валковая	1	26	0,9	205452
Компрессор	4	160	0,6	842880
Тарельчатый питатель	6	18	0,5	79020
Транспортер ленточный	6	28,5	0,7	175161
Шнек	8	26,5	0,7	163484
Упаковочная машина	3	20,4	0,25	44778
Лифт грузовой	1	5	0,6	26340
Элеватор	2	5,6	0,7	34418
Вентилятор	8	80	0,8	561920
Кран	2	53	0,2	93068
Шаровая мельница	3	375	0,7	2304750

Примечание. Годовая продолжительность работы оборудования 8780 ч.

Таблица 40

Статьи затрат	Стоимость, тыс. руб.
Амортизация оборудования и транспортных средств	41,4
Заработная плата основная	14,2
Заработная плата дополнительная	1,3
Отчисления на социальное страхование	1,1
Стоимость горючего по видам, всего	1,2
В том числе:	
дизельное топливо	0,3
бензин А-72	0,2
бензин А-76	—
масло машинное	0,4
масло промышленное	0,1
прочие масла	0,2
Стоимость запасных частей	3,7
Стоимость вспомогательных материалов	6,4
Износ малоценного и быстроизнашивающегося инструмента	1,7
Прочие	0,8
Итого:	71,8

или 84 000 руб. Отсюда общая стоимость сырья для производства утяжелителей из неглинистых (карбонатных) материалов составит: 420 000 + 84 000 = 504 000 руб.

Годовая потребность в топливе согласно установленным нормам на сушильный барабан составляет 34,6 тыс. руб. Расходы, связанные с электроэнергией, приведены в табл. 39.

Итого силовая нагрузка будет равна 4 702 967 кВт. Электроосвещение (данные завода "Утяжелитель") — 83 718 кВт. Учитывая это, вся электроэнергия составит 4787 тыс. кВт.

Таблица 41

Внепроизводственные расходы	Стоимость, тыс. руб.
Управления	25,0
Торгово-сбытовые	45,0
Тара (крафт-мешки)	126,25
Итого	196,25

Таблица 42

Статьи затрат	Стоимость единицы продукции, руб.	Стоимость всего выпуска, тыс. руб.
Сырье и материалы	8,4	504,0
Топливо — газ на технологические цели	0,57	34,6
Электроэнергия на технологические цели	2,86	172,3
Заработная плата основная ППР и дополнительная	2,68	160,93
Отчисления на социальное страхование	0,22	13,52
Амортизация основных фондов	0,31	19,1
Содержание и эксплуатация оборудования	1,2	71,8
Итого	16,24	976,25

Таким образом, если исходить из платы 36 руб. за 1000 кВт, стоимость электроэнергии составит: $36 \cdot 4787,0 = 172\,332$ руб.

Отчисления на социальное страхование согласно положению составляют 8,4 % от фонда заработной платы, что выражается в сумме 13,518 руб.; отчисления на амортизацию основных фондов составляют 1 % от их стоимости (для нашего случая при общей стоимости основных фондов 1986,6 тыс. руб., они составляют 19,866 руб.).

В табл. 40 приведены стоимость на содержание и эксплуатацию оборудования.

Непроизводственные расходы, исходя из объема выпуска нового утяжелителя 50 тыс. т, приведены в табл. 41.

Таким образом, данные сводной табл. 42 позволяют рассматривать себестоимость утяжелителей из неглинистых (карбонатных) материалов и из баритов в сопоставимых заводских условиях.

С учетом непроизводственных расходов полная себестоимость продукции составит 1172 тыс. руб.

Экономический эффект выразится как разница между эксплуатационными затратами на производство сравниваемых утяжелителей, исходя из объема их выпуска. Полная стоимость баритового утяжелителя A_1 будет

$$A_1 = a_1 Q_{б.ут.}$$

где $A_1 = 84,69 \cdot 40\,000 = 3\,387\,600$ руб. $\approx 3\,387,6$ тыс. руб.; a_1 — стоимость 1 т сырья; $Q_{б.ут.}$ — годовой объем выпускаемых баритовых утяжелителей.

Себестоимость утяжелителя из неглинистых (карбонатных) пород A_2 составит

$$A_2 = a_2 Q_{\text{к.ут}},$$

где a_2 — стоимость 1 т сырья (карбонатных утяжелителей); $Q_{\text{к.ут}}$ — годовой объем выпускаемых карбонатных утяжелителей. $A_2 = 19,5 \cdot 50\,000 = 975\,000$ руб. = 975 тыс. руб.

Годовой экономический эффект от применения карбонатных утяжелителей составит: $\mathcal{E}_r = A_1 - A_2$, или $\mathcal{E}_r = 3387,6 - 975,0 = 2412,6$ тыс. руб.

Рассматривая область применения утяжелителей на базе неглинистых (карбонатных) пород, их экономическую целесообразность и утяжеляющую способность применительно к бурению скважин, можно сделать вывод, что расход их в сравнении с баритовыми утяжелителями несколько выше.

Исходя из этого рассчитаем потребное количество сравниваемых утяжелителей на 1 м³ бурового раствора при плотности бурового раствора от 1,2 до 1,6 г/см³. Если учесть, что при бурении скважин средняя область утяжеления растворов составляет 1,6–1,7 г/см³, то необходимое количество утяжелителя $q_{\text{ут}}$ определяем из выражения

$$q_{\text{ут}} = \frac{\rho_{\text{ут}} (\rho_2 - \rho_1) (1 - n)}{\rho_{\text{ут}} - \rho_2 (1 + n) (n \rho_{\text{ут}})},$$

где $\rho_{\text{ут}}$ — плотность утяжелителя; ρ_1 — плотность исходного бурового раствора; ρ_2 — плотность утяжеленного бурового раствора; n — влажность утяжелителя (для нашего случая $n = 2\%$).

Расчет проводился для скважин Покровского месторождения объединения "Оренбургнефть" при объеме бурения 150 тыс. м. Количество утяжелителя определялось, исходя из средней глубины скважин $L = 4450$ м при средней плотности раствора 1,6 г/см³ и плотности утяжелителей: баритового 4,3 г/см³, карбонатного 2,85 г/см³. Тогда необходимое количество утяжелителя на 1 м³ бурового раствора составит

баритовые

$$q_{\text{б.ут}} = \frac{\rho_{\text{б.ут}} (\rho_2 - \rho_1) (1 - n)}{\rho_{\text{б.ут}} - \rho_2 (1 - n) + (n \rho_{\text{б.ут}})} = \frac{4,3 (1,6 - 1,2) (1 - 0,02)}{4,3 - 1,6 (1 - 0,02) + (0,02 \cdot 4,3)} = 0,61 \text{ т};$$

карбонатного

$$q_{\text{к.ут}} = \frac{\rho_{\text{к.ут}} (\rho_2 - \rho_1) (1 - n)}{\rho_{\text{к.ут}} - \rho_2 (1 - n) + (n \rho_{\text{к.ут}})} = \frac{2,8 (1,6 - 1,2) \cdot (1 - 0,02)}{2,8 - 1,6 (1 - 0,02) + (0,02 \cdot 2,8)} = 0,96 \text{ т}.$$

Годовое потребление баритового утяжелителя, исходя из объема бурения 150 тыс. м, составит

$$Q_{\text{б.ут}} = \frac{V}{H} g_{\text{б.ут}} V_p,$$

где $g_{\text{б.ут}}$ — количество баритового утяжелителя на 1 м³ раствора; V — объем бурения по объединению; H — глубина скважины; V_p — объем раствора на скважину.

Общий объем бурового раствора V_p с учетом запаса, потребного для бурения скважины, определяется по формуле

$$V_p = V_{\text{ч}} + V_{\text{ж}} + \alpha V_{\text{скв}},$$

или

$$V_p = 30 + 6 + 2 \cdot 651 = 1340 \text{ м}^3,$$

где $V_{\text{ч}}$ — объем приемных чанов буровых насосов (10–40 м³); $V_{\text{ж}}$ — объем желобной системы (4–7 м³); $V_{\text{скв}}$ — объем скважины при бурении под промежуточную колонну 146 мм; α — коэффициент, учитывающий запас бурового раствора на буровой ($\alpha = 2$).

Тогда

$$Q_{\text{б.ут}} = \frac{150000}{4450} \cdot 1340 \cdot 0,61 = 27552,8 \text{ т}.$$

Годовое потребление карбонатного утяжелителя $Q_{\text{к.ут}}$ рассчитываем также исходя из объема бурения по формуле

$$Q_{\text{к.ут}} = \frac{100000}{4450} \cdot 1340 \cdot 0,96 = 43361,7 \text{ т}.$$

Экономический эффект от применения карбонатных утяжелителей определится

$$\mathcal{E}_r = A_1 - A_2, \text{ где } A_1 = Q_{\text{б.ут}} a_1; A_2 = Q_{\text{к.ут}} a_2,$$

Подставляем численные значения:

$$A_1 = 27552,8 \cdot 84,69 = 2333446,6 \text{ руб.};$$

$$A_2 = 43361,7 \cdot 17,7 = 767502,0 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = 2333446,6 - 767502,0 = 1565944,6 \text{ руб.}$$

Последующий этап определения экономической целесообразности производства утяжелителей из неглинистых (карбонатных) пород для карьерных условий разработки нерудного минерального сырья базируется на примере витебского ПО "Доломит". Это предприятие специализируется на выпуске доломитовой муки сухим способом.

На подобных карьерах по переработке известняка, доломита, мела целесообразно организовывать производство таких утяжелителей несколькими методами: сухим, мокрым, а также обогащением. Из перечисленных наиболее капиталоемким является метод обогащения. По-

этому в основу сравнительного варианта положим получение предлагаемых утяжелителей методом обогащения и отмучиванием.

Для осуществления выпуска утяжелителей на основе карбонатных пород этим методом необходимо провести ряд дополнительных мероприятий технологического и технического характера.

1. Установить две флотационные машины типа ФПМ-40 и контактный чан КЧ-4.

2. Установить фильтровальные машины.

3. Смонтировать сгуститель и барабанные сушилки.

4. Провести монтаж трубопроводов между флотационными машинами и ленточным транспортером.

5. Установить дополнительные ковшовые элеваторы типа Т-52.

В табл. 43 приводятся необходимое количество дополнительного оборудования и его стоимость.

Как видно из представленных данных, дополнительные затраты составляют 449,9 тыс. руб. Если учесть монтажные работы (20 % от стоимости оборудования), наценку на техническое снабжение и транспорт (8,5 %), а также наценку на комплектацию оборудования (0,7 %), то стоимость будет составлять 581 319,9 руб.

Действующие фонды ПО "Доломит" составляют 10251146 руб. С учетом реконструкции согласно технологической схеме на обогащение увеличится стоимость действующих фондов, что составит 10832,4 тыс. руб.

При переходе на изготовление утяжелителя из доломитового сырья производственно-промышленный персонал составит 43 чел. (табл. 44).

Заработная плата одной смены равна 79,26 руб.

С переходом на усложненную технологию произойдет увеличение численности ИТР, служащих, младшего и вспомогательного обслуживающего персонала. В табл. 45 приводятся численность и фонд заработной платы этой категории работающих.

Итого основная и дополнительная зарплата ППР составит 141 982 руб.

Схема эксплуатационных затрат на производство утяжелителей из неглинистых (карбонатных) пород аналогична схеме затрат на производство доломитовой муки (сырье и материалы, топливо, электроэнергия, заработная плата основная и дополнительная, отчисления на социальное страхование, амортизация основных фондов, расходы по содержанию и эксплуатации оборудования, внепроизводственные расходы и т.д.).

Расход топлива на один сушильный барабан составляет $73 \text{ м}^3/\text{ч}$, а годовой расход топлива на четыре сушильных барабана — $2564,9 \text{ тыс. м}^3$.

Исходя из стоимости 14 руб. за 1000 м^3 , общая стоимость топлива составит 35,9 тыс.руб.

Отчисления на социальное страхование определяются в 8,4 %, что составит от фондов заработной платы 11926,5 руб.

В табл. 46 представлены затраты, связанные с потреблением электроэнергии. При стоимости 36 руб. за 1000 кВт общая стоимость электроэнергии составит: $36 \cdot 6988,552 = 251226 \text{ руб.}$ Амортизационные отчисления на основные фонды составляют 10 % от их стоимости (581319,2 руб.), т.е. 58131,9 руб.

Таблица 43

Оборудование	Количество, шт.	Сметная стоимость, руб.	
		единицы оборудования	общая
Контактный чан КЧ-4	1	3380	3380
Флотационная пневмомеханическая монокамера ФПМ-40	2	3390	6780
Фильтровальная машина ДУ102-2,5	5	18 000	90 000
Сгуститель цилиндрический площадью поверхности 700 м^2	1	15 650	15 650
Сушилка барабанная размером $3,5 \times 27$	4	82 900	331 600
Ковшовый элеватор Т-52	2	500	1000
Ленточный транспортер длиной 12 м	1	1463	1463
Электродвигатель к элеватору	1	65	65
Всего			449938

Таблица 44

Профессия	Число работающих		Разряд	Тарифная ставка, руб.
	в смену	в сутки		
Флотатор	2	6	4	5,38
Растворщик	1	3	3	4,82
Грузчик	1	3	3	4,82
Слесарь по ремонту оборудования	2	4	4	5,50
Машинист конвейера	1	3	2	4,57
Аппаратчик	1	3	3	4,82
Машинист насосов	1	3	4	5,38
Фильтровальщик	1	3	3	4,82
Сушильщик	1	3	3	4,81
Слесарь КИПиА	1	3	5	6,17
То же	1	3	4	5,76
Электрослесарь	1	3	4	5,76
Слесарь (дежурный)	1	3	4	5,76

Таблица 45

Категория работников	Численность	Фонд заработной платы, тыс.руб.
ИТР	12	25,74
Служащие	2	3,0
МОП	3	2,6
Вспомогательный персонал	3	5,04
Всего		36,38

Таблица 46

Оборудование	Количество электродвигателей	Установленная мощность, кВт	Коэффициент спроса	Годовое потребление электроэнергии, тыс. кВт
Сушильный барабан	4	200	0,7	4916 800
Вакуум-фильтр	5	7	0,6	174 380
Контактный чан	1	10	0,7	61 460
Сгуститель цилиндрический	1	4,5	0,7	27 656
Флотомашин	2	30	0,7	368 760
Ковшовый элеватор (с электродвигателем)	2	5,6	0,7	688 352
Ленточный транспортер	4	28,5	0,7	700 644
Электроосвещение				40 500

Всего 6988 552

Таблица 47

Непроизводственные расходы	Стоимость, тыс. руб.
Управление	40,0
Торгово-сбытовые	55,0
Тара (крафт-мешки)	126,25
Всего	221,25

Таблица 48

Статьи затрат	Общая стоимость продукции, тыс. руб.	Стоимость единицы продукции, руб.
Сырье и материалы	29040,0	5,8
Топливо на технологические цели	35,9	0,007
Электроэнергия на технологические цели	251,2	0,05
Заработная плата основная ППР и дополнительная	140,00	0,03
Отчисления на социальное страхование	11,9	0,002
Амортизация основных фондов	58,1	0,011
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	581,3	0,12
Всего	30120,4	6,02

Непроизводственные расходы на объем выпускаемой продукции 5 млн. т составят 221,25 тыс. руб. (табл. 47).

Если исходить из того, что стоимость объема выпускаемой продукции 5 млн. т равна $4,8 \cdot 5\,000\,000 = 24\,000\,000$ руб., а с учетом транспортных расходов, которые составляют 21 %, стоимость значительно возрастет и будет равна $24\,000\,000 + 5\,040\,000 = 29\,040\,000$ руб.

В табл. 48 приводится стоимость предлагаемого утяжелителя на

основе доломита, с учетом дополнительных капитальных вложений на объем выпускаемой продукции 5 млн. т.

Внепроизводственные расходы на 1 т доломитового утяжелителя составят 0,04 руб., а полная себестоимость продукции — 6,06 руб.

Таким образом, стоимость 1 т утяжелителя из доломитового сырья составит: $4,85 + 6,06 = 11$ руб., в то время как стоимость баритового утяжелителя 84,69 руб/т.

Однако утяжеляющая способность барита несколько выше, чем утяжелителей из неглинистых пород, о чем говорилось при рассмотрении первого варианта. Отсюда экономический эффект может быть подсчитан как разница между эксплуатационными затратами на производство барита и затратами на производство утяжелителя из дополнительного сырья, одинакового по утяжеляющей способности. Тогда себестоимость баритового утяжелителя на 1 м^3 бурового раствора A_1 составит: $A_1 = a_1 g_{б.ут}$; $A_1 = 84,69 \cdot 0,61 = 51,7$ руб., где a_1 — стоимость 1 т сырья; $g_{б.ут}$ — расход утяжелителя баритового на 1 м^3 бурового раствора. Себестоимость доломитового утяжелителя на 1 м^3 бурового раствора A_2 составит:

$$A_2 = a_2 g_{д.ут}$$

$A_2 = 11,0 \cdot 0,96 = 10,56$ руб., где a_2 — стоимость 1 т доломитового утяжелителя; $g_{д.ут}$ — расход доломитового утяжелителя на 1 м^3 бурового раствора (согласно фактическим данным).

Таким образом, из представленных расчетных данных следует, что доломитовые утяжелители обходятся значительно дешевле баритовых. Большой экономический и практический интерес представляет проблема получения буровых растворов значительной плотности непосредственно в стволе скважины.

Как уже отмечалось, с помощью широко распространенных поверхностно-активных веществ и активных добавок (ССБ, КМЦ, УЩР, жидкого стекла, полиакриламидных препаратов и др.) можно получать буровые растворы на основе выбуренных пород повышенной плотности с хорошими реологическими и структурно-механическими свойствами.

Растворы подобного рода были получены при проходке скважин и шахтных стволов на предприятиях горнорудной промышленности (Львовско-Волынский, Карагандинский, Донбасский угольные бассейны), а также при бурении нефтяных и газовых скважин на месторождениях Средней Азии, в Харьковской, Полтавской, Куйбышевской и Львовской областях. Однако для получения буровых растворов повышенной плотности из комплекса неглинистых отложений, как показали опытно-промышленные работы, необходимо применять дополнительное диспергирование с помощью специальных механизмов мокрого помола (вибрационные, шаровые мельницы, типа СМ-434, ШМЦ-3200-3100) и др.

Исходя из этих соображений, для скважин Покровского месторождения ПО "Оренбургнефть" рассчитан экономический эффект от использования утяжелителя из комплекса неглинистых отложений, получаемых

Таблица 49

Обсадная колонна	Диаметр колонны, мм	Глубина спуска, м	Диаметр долота, мм
Кондуктор	426	6—310	490
Эксплуатационная	324	310—2590	346
Первая промежуточная	245	2590—3900	295
Вторая промежуточная	146	4450	216

непосредственно в стволе скважины с помощью дополнительного диспергирования их твердой фазы.

Получение буровых растворов повышенной плотности непосредственно в стволе скважины исключает применение железистых утяжелителей. Глинопорошок в этом случае применяется как структурообразующая добавка в количестве 3% к объему раствора.

Количество бурового раствора, необходимого для бурения скважин, определялось при следующих условиях: средняя глубина бурения скважин — 4450 м; плотность утяжеленного бурового раствора, полученного непосредственно в стволе скважины дополнительным диспергированием, 1,6 г/см³; плотность выбуренных неглинистых пород 2,85 г/см³.

В табл. 49 представлена конструкция скважин данного месторождения.

Объем скважин $V_{\text{скв}}$ как цилиндрической выработки определялся по формуле

$$V_{\text{скв}} = \frac{\pi D_1^2 h_1}{4} + \frac{\pi D_2^2 h_2}{4} + \frac{\pi D_3^2 h_3}{4} + \frac{\pi D_4^2 h_4}{4},$$

где D_1, D_2, D_3, D_4 — диаметры долот; h_1, h_2, h_3, h_4 — интервалы бурения долотами соответствующего диаметра.

Затем определялся возможный объем бурового раствора за счет выбуренной породы по формуле

$$V_{\text{б.р}} = Q \frac{\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{п}} (\rho_{\text{б.р}} - \rho_{\text{в}})},$$

Объем бурового раствора, необходимый для проходки скважины, определялся из выражения

$$V_{\text{б.р}} = V_{\text{п.е}} + V_{\text{ж}} + \alpha V_{\text{скв}},$$

где $V_{\text{п.е}}$ — объем приемных емкостей ($V_{\text{п.е}} = 30 \text{ м}^3$); $V_{\text{ж}}$ — объем желобной системы ($V_{\text{ж}} = 6 \text{ м}^3$); α — коэффициент, учитывающий наличие запаса раствора на буровой ($\alpha = 1,5$); $V_{\text{скв}}$ — объем скважины; Q — масса выбуренной породы плотностью 2,85 г/см³.

Дальнейшие расчеты по определению количества глинопорошка, утяжелителя, их стоимости на объем бурового раствора 1390 м³ вели по методике, описанной выше.

Следует заметить, что в сравнительном варианте количественный

расчет бентонитового глинопорошка проводился для всего объема скважины, а баритового утяжелителя — с 2000 м до проектной глубины. Цена 1 т бентонитового глинистого порошка составляла 36 руб., баритового утяжелителя 102 руб/т.

Расчеты показали, что годовой экономический эффект на объем бурения 150 тыс. м за счет замены баритового утяжелителя и части бентонита естественным утяжелением (до 1,6 г/см³) за счет выбуренных неглинистых пород составляет 11301,6 тыс. руб.

Таким образом, рассмотренный экономический эффект касается только прямых затрат, связанных непосредственно с заменой железистых утяжелителей выбуренным неглинистым сырьем, без учета улучшенных технико-экономических показателей проходки скважин.

В целом предлагаемые утяжелители позволяют существенным образом сократить долю капитальных вложений при бурении нефтяных и газовых скважин, ликвидировать установившийся дефицит утяжелителей в стране, частично высвободить сырье для металлургической и химической промышленности, сократить сроки и трудоемкость освоения скважин, снизить стоимость буровых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П.* Физико-механические свойства горных пород и их влияние на эффективность бурения. М., Недра, 1975.
2. *Григорьев О.Н.* Электрокинетические явления. Л., Химия, 1973.
3. *Долгих В.И.* Рационально и экономно использовать ресурсы народного хозяйства. — Политическое самообразование, 1982, № 11, с. 10—19.
4. *Исследование глин и новые рецептуры глинистых растворов*/В.Д. Городнов, И.М. Тесленко, В.А. Тимохин и др. М., Недра, 1975.
5. *Кожевников Е.К., Кропанев С.И., Барановский Н.И.* Обогащение доломитом. — Огнеупоры, 1973, № 3, с. 29—31.
6. *Крезуб А.П., Рябоконь С.А.* Утяжелитель сидеритовый. — НТС Бурение, 1981, № 1, с. 16—18.
7. *Мамаджанов У.Д., Мусаев К.Н., Юсупов Ф.Ю.* Буровые растворы, применяемые при проходке скважин в Узбекистане. М., изд. ВНИИГазпром, 1975.
8. *Рейндер П.А.* Физико-химическая механика дисперсных систем. М., Наука, 1966.
9. *Рахимов Л.Е., Ольгин А.Е., Номикосов Ю.П.* Новая технология приготовления диспергированных буровых растворов. Ташкент, Фан, 1982.
10. *Рябоконь С.А.* Утяжелители для буровых растворов и технология их применения. М., Недра, 1981.
11. *Семенко Н.Ф.* Регулирование свойств буровых растворов из неглинистых пород. М., Недра, 1971.
12. *Семенко Н.Ф., Демидова В.И.* Создание и регулирование свойств буровых растворов при бурении шахтных стволов и скважин. М., Недра, 1984.
13. *Семенко Н.Ф., Казберов А.А.* Утяжелители из неглинистых пород для бурения скважин. М., изд. ВИЭМС, 1984.
14. *Турчинова Л.Н.* О технологии переработки известкового сырья в производстве огнеупорных магнезиальных порошков. — В кн.: Проблемы повышения качества переработки минерального сырья на обогатительных фабриках и пути их повышения. — Днепропетровск, Проминь, 1979, с. 194—195.
15. *Утяжеление буровых и тампонажных растворов*/И.Н. Резниченко, А.И. Булатов, С.А. Рябоконь и др. М., Недра, 1978.
16. *Шадрин Л.Н.* Технология и организация крепления скважин. М., Недра, 1975.
17. *Шептала Н.Е.* Руководство по физико-химическому анализу глинистых растворов, глин, утяжелителей и реагентов. М., Недра, 1974.
18. *Ятров С.Н.* Естественные промывочные растворы в бурении (Растворы на основе выбуренных пород). М., Гостоптехиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Проблема создания сырьевой базы утяжелителей для буровых растворов. Рациональное использование природных ресурсов при производстве утяжелителей для буровых растворов.	5
Сырьевая база для производства утяжелителей из комплекса неглинистых пород	7
Классификация и применение утяжелителей	15
Теоретические и практические предпосылки к созданию утяжеленных растворов непосредственно в стволе скважины.	16
Глава II. Анализ работ по созданию и разработке неглинистых утяжеляющих материалов	18
Роль и значение утяжелителей в процессе бурения	18
Краткий обзор научно-исследовательских работ по созданию утяжелителей на базе неглинистых пород	19
Пути дальнейшего совершенствования утяжеляющих материалов из неглинистых пород. Регулирование их свойств	22
Глава III. Основные свойства утяжелителей на базе неглинистых пород.	24
Обменная емкость	24
Структурные и текстурные свойства утяжеляющих минералов и форма их частиц	26
Набухание.	32
Дисперсность.	33
Гидратация.	36
Утяжеляющая способность исходных материалов	37
Влияние формы и размера частиц утяжелителей из неглинистых пород на процессы структурообразования.	38
Регламентированное содержание (технические условия) фракционного состава дисперсных частиц утяжеляющих материалов.	42
Глава IV. Дисперсная фаза и дисперсионная среда утяжеленных буровых растворов	44
Виды и свойства дисперсной фазы.	44
Виды и свойства дисперсионной среды утяжеляющих материалов	47
Особенности взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды и влияние на стабилизацию утяжеленных систем	49
Глава V. Поверхностно-активные вещества и активные добавки для стабилизации утяжеленных растворов	59
Роль поверхностно-активных веществ в стабилизации утяжеленных растворов из неглинистых пород.	59
Совместное действие поверхностно-активных веществ и активных добавок на стабилизацию утяжеляющих систем	74
Глава VI. Экспериментальные и опытно-промышленные работы при создании утяжелителей из неглинистых пород	75
Экспериментальные исследования	75
Опытно-промышленные исследования	81

Глава VII. Схемы и оборудование, применяемые при получении утяжелителей на базе неглинистых пород	89
Применяемые утяжелители типа барита и гематита	89
Выбор и обоснование схем для получения утяжелителей из неглинистых пород	99
Расчет производительности карьера и обоснование выбора оборудования для получения утяжелителей	101
Глава VIII. Охрана окружающей среды при использовании утяжелителей из неглинистых пород для буровых растворов	114
Глава IX. Экономическая целесообразность применения утяжелителей из неглинистых пород	118
Список литературы	132

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Николай Филиппович Семенко

УТЯЖЕЛИТЕЛИ НА БАЗЕ НЕГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН

Редактор издательства *М.В. Анфиногенова*
Обложка художника *В.У. Полякова*
Художественный редактор *В.В. Шутько*
Технический редактор *Н.С. Анашкина*
Корректор *К.С. Торопцева*
Оператор *Л.Н. Жучкова*

ИБ № 6077

Подписано в печать 14.07.86.	Т — 16150.	Формат 60 x 90 1/16.
Бумага офсетная № 1.	Набор выполнен на наборно-пишущей машине.	
Гарнитура "Универс".	Печать офсетная.	Усл. печ. л. 8,5.
Усл.кр.-отт. 8,75.	Уч.-изд. л. 9,93.	Тираж 2300 экз.
Заказ 4 /492—4.	Цена 55 коп.	

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра"
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Тульская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
300600, г. Тула, проспект Ленина, 109.

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ

В издательстве "Недра"

готовятся к печати и выйдут в свет в 1987 г. новые книги

ИСАЧЕНКО В.Х. Инклинометрия скважин. 15 л. 75 к.

Описаны технические средства контроля пространственного положения ствола скважин, методическое и математическое обеспечение. Рассмотрено применение ЭВМ для оперативной обработки данных, в том числе и непосредственно на скважине. Приведены системы контроля со встроенными ЭВМ. Изложены вопросы разработки и эксплуатации приборов и систем контроля пространственного положения ствола наклонных скважин.

Для инженерно-технических работников буровых предприятий и инклинометрических партий промыслово-геофизических контор — разработчиков инклинометрических приборов и систем.

(План 1987, № 301).

КРЕПЛЕНИЕ высокотемпературных скважин в коррозионноактивных средах/Кравцов В.М., Кузнецов Ю.С., Мавлютов М.Р. и др. 18 л. 1 р. 20 к.

Рассмотрены особенности крепления скважин, имеющих высокие забойные температуры и содержащих агрессивные флюиды. Большое внимание уделено обеспечению долговечности тампонажных материалов при действии на них высоких температур и агрессивных сред. Приведена классификация агрессивных сред. Изложены особенности процессов коррозии в них различных тампонажных материалов. Описаны новые тампонажные материалы на основе отходов содового производства. Даны рекомендации по повышению долговечности крепи скважины.

Для инженерно-технических работников буровых предприятий нефтяной и газовой промышленности.

(План 1988, № 302).

Интересующие Вас книги можно приобрести или заказать в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства "Недра", адреса которых приведены в аннотированном плане выпуска, а также через отделы "Книга — почтой" магазинов:

№ 115 — 117334, Москва, Ленинский проспект, 40. Дом научно-технической книги;

№ 17 — 199178, Ленинград, В.О., Средний проспект, 61.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "НЕДРА"