МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЙ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНАХ

Ворошиловград — 1973

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

УТВЕРЖДАЮ:
Начальник геологического управления МУП СССР
Г. ЛУГОВОЙ.
1973 г.

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОГЛОЩЕНИЙ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В СКВАЖИНАХ

Ворошиловград — 1973

Составители: кандидаты технических наук ИВАЧЕВ Л. М., КИПКО Э. Я., ПОЛОЗОВ Ю. А., САЛАМАТОВ М. А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

1. Сущность метода нагнетания тампонажной смеси и общая организация работ . . 6
2. Характеристика тампонажных смесей на глинистой основе
   а) состав тампонажных смесей на глинистой основе . . . 10
   б) методика определения свойств тампонажных смесей на глинистой основе 12
   в) свойства тампонажных смесей на глинистой основе . 14
   г) выбор тампонажной смеси 25
3. Получение исходных данных для проектирования изоляционных работ в скважине
   а) методика проведения исследований проницаемых горизонтов в скважинах 27
   б) методика расчета параметров трещиноватости проницаемого горизонта 29
4. Проектирование работ по изоляции поглощающих горизонтов в скважинах
   а) методика расчета изоляционной завесы вокруг ствола скважины в интервале проницаемого горизонта 31
   б) методика расчета параметров нагнетания тампонажной смеси 35
   в) пример расчета изоляционной завесы вокруг ствола скважины 42
5. Технология производства изоляционных работ
   а) технологические схемы закачки тампонажных смесей в скважины 45
   б) технология проведения закачек тампонажных смесей под давлением 47
6. Технические средства для производства изоляционных работ
   а) технические средства для приготовления и закачки тампонажной смеси 53
   б) технические средства для перекрытия ствола скважины . 56
7. Техника безопасности при проведении изоляционных работ методом нагнетания 61

ВВЕДЕНИЕ

Освоение глубоких горизонтов при добыче каменного угля связано с бурением большого количества глубоких разведочных и технических скважин. Значительная часть этих скважин проходится в условиях интенсивных поглощений промывочной жидкости, обусловленных трещиноватостью горных пород. Поэтому одним из основных видов осложнений, тормозящих темпы роста технико-экономических показателей бурения скважин на угольных месторождениях колонковым способом, являются поглощения промывочной жидкости.

Проблема борьбы с поглощениями промывочной жидкости при бурении является актуальной для многих районов Союза, где ведутся буровые работы. Многообразие причинности проблемы чрезвычайно осложняет ее положительное решение. Вот почему вопросами, связанными с предупреждением и ликвидацией поглощений промывочной жидкости при бурении, занимаются во многих производственных и научно-исследовательских организациях, а также в вузах страны. В результате общих усилий научно-исследовательских и производственных организаций разработаны самые различные средства борьбы с поглощениями промывочной жидкости. Но ни одно из них не является универсальным.

В Донбассантрацитовском управлении шахтной геологии, разведочного и технического бурения МУП УССР совместно с сотрудниками кафедр технологии и техники разведки Свердловского горного института и Донецкого политехнического института разработан и внедрен в производство метод ликвидации поглощений промывочной жидкости при бурении, связанных с трещиноватыми горными породами, путем нагнетания под давлением тампонажных смесей на глинистой основе.

Опыт производства изоляционных работ при бурении разведочных и технических скважин в Донбассантрацитовском управлении показал высокую надежность и эффективность метода нагнетания под давлением нетвердеющих тампонажных смесей с высокими структурно-механическими свойствами. Такие смеси приготовляют-

ся на базе глинистых растворов с добавлением в качестве структурообразователей тампонажного цемента и жидкого стекла.

В отличие от цементных растворов и БСС тампонажная смесь на глинистой основе перекрывает каналы ухода промывочной жидкости не вследствие твердения, а за счет высоких структурно-механических свойств.

По сравнению с цементными растворами и БСС тампонажные смеси на глинистой основе имеют значительно меньшую стоимость, приготовляются из широко распространенных недефицитных материалов, удовлетворительно перекачиваются поршневыми насосами без ограничения времени прокачивания, успешно могут быть использованы для изоляции зон поглощения промывочной жидкости в скважинах, буримых как с водой, так и с глинистым раствором. При этом предварительное удаление глинистой корочки со стенок скважины или обработка ее буферными жидкостями не требуется.

С целью повышения эффективности и надежности изоляционных работ разработана методика расчета необходимых размеров изоляционных завес и технологических параметров нагнетания тампонажной смеси для ее формирования на основании данных гидродинамических исследований в скважинах.

Методика производства гидродинамических исследований в скважинах и обработка результатов измерений подробно изложена в «Инструкции по исследованию проницаемых горизонтов в скважинах расходомером ДАУ-3М», утвержденной МУП СССР 1 ноября 1971 г. Разработанная методика проектирования и производства изоляционных работ позволяет успешно и с минимальными затратами средств и времени ликвидировать поглощения промывочной жидкости в проницаемых горизонтах, представленных трещиноватыми горными породами. Экономическая эффективность метода нагнетания тампонажных смесей на глинистой основе по сравнению с методами ликвидации поглощений БСС и цементными растворами составляет сотни тысяч рублей.

Технические средства, рекомендуемые для производства изоляционных работ в скважинах методом нагнетания тампонажных смесей под давлением, выпускаются серийно заводами или центральными механическими мастерскими. Так, расходомеры типа ДАУ-3М выпускаются механическими мастерскими Донбассантрацитовского управления и ЦРММ треста шахтной геологии МУП УССР, пакерующие устройства для скважин диаметром 93 и 76 мм типа ДАУ-1 — опытным заводом шахтного машиностроения (ОЗМШ) в г. Щекино.

1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА НАГНЕТАНИЯ ТАМПОНАЖНОЙ СМЕСИ И ОБЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

Характер взаимодействия жидкостей в системе «скважина — проницаемый горизонт» обусловлен величиной и направлением

избыточного давления на стенки скважины в зоне поглощения, строением проницаемого горизонта и физико-механическими свойствами жидкости.

В случае превышения гидростатического давления в интервале проницаемого горизонта над пластовым, жидкость в проницаемом горизонте будет двигаться от ствола и тем интенсивнее, чем больше абсолютная величина перепада давления на стенках скважины. Однако при наличии в интервале проницаемого горизонта глинистого раствора, обладающего структурно-механическими свойствами и способностью отфильтровывать воду, каналы ухода жидкости из скважины перекрываются. Механизм перекрытия каналов зависит от строения проницаемого горизонта. Так, стенки скважины из пористых горных пород благодаря фильтрации воды из глинистого раствора покрываются глинистой коркой, которая препятствует движению жидкости из скважины в проницаемый горизонт. В проницаемом горизонте, представленном монолитными трещиноватыми горными породами, образования глинистой корки не происходит. Здесь перекрытие каналов движения жидкости — трещин происходит за счет структурно-механических свойств, благодаря которым заполнивший трещины глинистый раствор образует гель. Однако вследствие относительно низкой прочности структуры глинистых растворов, полное перекрытие примыкающих к стволу скважины трещин возможно лишь при небольших величинах избыточного давления и малых раскрытиях трещин.

С целью устранения ухода промывочной жидкости из скважины по трещинам с большим раскрытием и при значительном избыточном давлении возможно примыкающие к стволу скважины трещины заполнять специальными составами с высокими структурно-механическими свойствами — тампонажными смесями. Операции по заполнению примыкающих к стволу скважины трещин тампонажными смесями с целью формирования изоляционной завесы выполняются методом нагнетания. Схема формирования изоляционной завесы в поглощающем горизонте методом нагнетания тампонажной смеси представлена на рис. 1.

Тампонажная смесь нагнетается в скважину. При условии превышения давления тампонажной смеси над пластовым давлением она из ствола скважины проникает в поглощающий горизонт, заполняя все каналы, по которым при бурении уходила промывочная жидкость. В результате вокруг ствола скважины формируется изоляционная перемычка, формы и размеры которой обуславливаются мощностью, условиями залегания и параметрами трещиноватости проницаемого горизонта, а также режимом закачки тампонажной смеси.

После окончания нагнетания смеси в проницаемый горизонт избыточное давление на стенки скважины в течение некоторого промежутка времени сохраняется. В статическом состоянии тампонажная смесь благодаря своим структурно-механическим свойствам образует структурированную систему с высокой пластической проч-

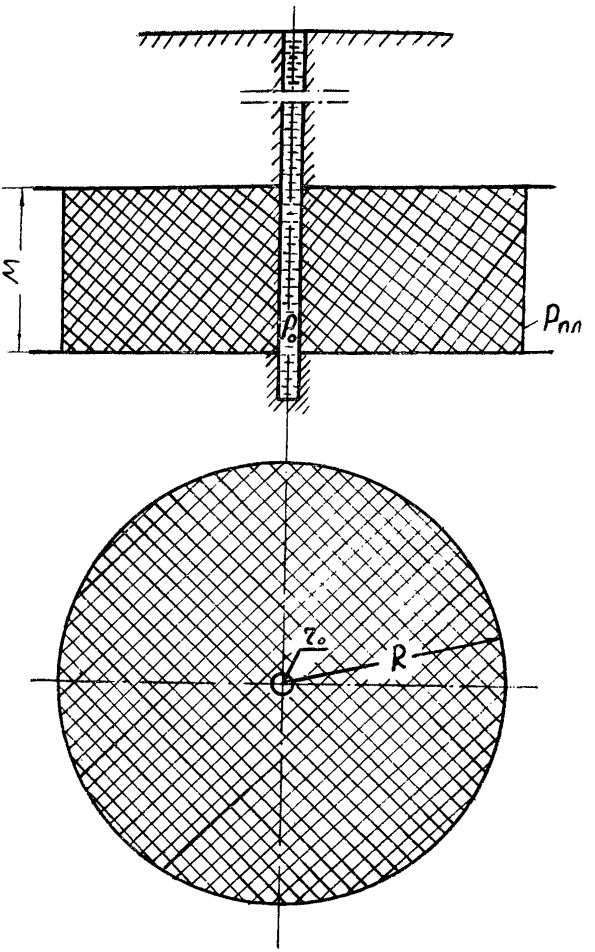


Рис. 1. Схема формирования изоляционной завесы

ностью, которая закупоривает все каналы ухода жидкости. Кальматационные явления, сопутствующие процессу нагнетания тампонажной смеси, также способствуют перекрытию каналов движения жидкости. После окончания тампонажных работ и возобновления процесса бурения промывочная жидкость не будет уходить из ствола скважины в поглощающий горизонт, если избыточное давление не разрушит изоляционную перемычку.

Прочность изоляционной перемычки зависит от ее размеров и структурно-механических свойств тампонажной смеси. Поэтому для формирования устойчивой изоляционной перемычки с минимальными размерами необходимо применять тампонажные смеси с максимально высокими значениями пластической прочности.

Метод нагнетания тампонажной смеси для ликвидации поглощений промывочной жидкости рекомендуется применять при бурении разведочных, технических и других скважин, в которых поглощения связаны с трещиноватыми горными породами.

Работы по изоляции проницаемых горизонтов с целью ликвидации поглощений промывочной жидкости при бурении скважин необходимо производить с предварительным детальным исследованием проницаемых горизонтов для установления их объективных характеристик. Получаемые при исследовании данные о проницаемых горизонтах позволяют выбрать рациональную схему производства работ, состав и необходимое количество тампонажной смеси, а также рассчитать режим ее нагнетания. В результате изоляционные работы выполняются качественно, при оптимальных технических и технологических параметрах и с минимальными затратами материалов. При этом большое влияние на результаты закачки тампонажной смеси оказывает общая организация и взаимодействие всех служб, участвующих в подготовке и проведении изоляционных работ.

Рекомендуется следующая организационная схема производства изоляционных работ с целью ликвидации поглощений промывочной жидкости. Эта схема включает три взаимных этапа.

На первом этапе осуществляются гидродинамические исследования в скважине, пересекшей проницаемый горизонт, целью которых является получение исходных данных для проектирования изоляционных работ. Эти работы рекомендуется проводить после пересечения скважиной всего поглощающего горизонта силами геофизической службы.

На втором этапе производится проектирование изоляционных работ с учетом конкретных условий бурения данной скважины. При проектировании выбирается рациональная схема нагнетания и необходимый состав тампонажной смеси, определяются размеры изоляционной перемычки и потребное количество тампонажной смеси, рассчитываются технологические параметры режима нагнетания смеси. Проектирование должно выполняться высококвалифицированными работниками в области технологии бурения.

Третий заключительный этап включает все работы, непосредственно связанные с приготовлением и закачкой тампонажной смеси. Собственно изоляционные работы проводятся специальной тампонажной бригадой совместно с буровой бригадой.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТАМПОНАЖНЫХ СМЕСЕЙ НА ГЛИНИСТОЙ ОСНОВЕ

а) Состав тампонажных смесей на глинистой основе

Тампонажные смеси с высокими структурно-механическими свойствами наиболее просто и экономично возможно получить на базе глинистого раствора, обладающего тиксотропными свойствами. Базовый раствор для приготовления тампонажной смеси должен иметь следующие значения основных параметров:

$$\gamma = 1{,}18—1{,}23 \text{ г/см}^3$$
$$T = 60—90 \text{ сек по СПВ-5}$$
$$B = 25 \text{ см}^3 \text{ за 30 мин.}$$
$$\Theta = 100—150 \text{ мГ/см}^2$$

Для получения тампонажной смеси с необходимыми структурно-механическими параметрами в глинистый раствор добавляются в соответствующих количествах следующие структурообразователи: тампонажный цемент марки 500; силикат натрия (жидкое стекло) с модулем порядка 3. При отсутствии необходимых условий для применения жидкого стекла тампонажная смесь готовится путем добавления в глинистый раствор тампонажного цемента и древесных опилок.

В зависимости от состава тампонажные смеси на глинистой основе можно подразделить на две разновидности:

а) тампонажные смеси с наполнителем, состоящие из глинистого раствора, тампонажного цемента и древесных опилок;

б) тампонажные смеси без наполнителя, состоящие из глинистого раствора, тампонажного цемента и жидкого стекла.

Исследованиями установлено, что наиболее эффективным структурообразователем тампонажных смесей на базе глинистого раствора является тампонажный цемент. Добавление в тампонажную смесь древесных опилок и жидкого стекла позволяет значительно ускорить процессы ее структурообразования и увеличить конечную прочность смеси.

При определении величины добавки в глинистый раствор цемента, жидкого стекла и наполнителя, для получения тампонажной смеси необходимого качества, следует исходить из следующих соображений. С одной стороны, смесь должна обладать высокими структурно-механическими и закупоривающими свойствами, которые увеличиваются при повышении концентрации добавляемых компонентов. С другой стороны, смесь должна удовлетворительно

прокачиваться буровым насосом. Так как свойства смеси и необходимые добавки существенным образом зависят от качества глины, используемой для приготовления исходных глинистых растворов, в каждой организации эти концентрации должны определяться опытным путем.

Общие закономерности поведения тампонажной смеси в процессе структурообразования под воздействием вводимых в глинистый раствор добавок для наглядности возможно характеризовать идеализированной кривой, приведенной на рис. 2. Кривая имеет три характерных участка, по времени соответствующие основным технологическим операциям при закачке тампонажной смеси в проницаемый горизонт.

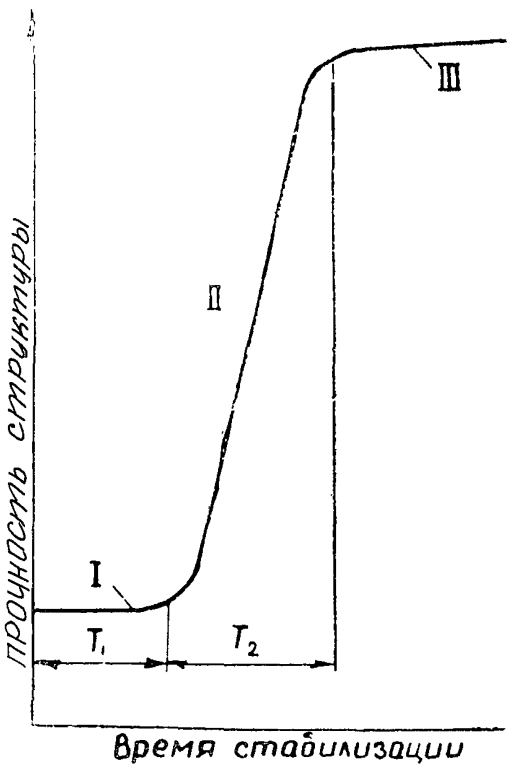


Рис. 2. Общие закономерности изменения структурно-механических свойств тампонажной смеси на глинистой основе во времени

Начальный участок *1*, протекающий в продолжении времени T_1 характеризуется медленным ростом прочности структуры смеси. Абсолютная прочность структуры на данном участке удовлетворяет условиям прокачиваемости смеси, а время течения соответствует

продолжительности проведения закачки от момента добавки цемента и перемешивания до окончания продавливания тампонажной смеси через манифольд и бурильные трубы в поглощающий горизонт.

Участок кривой *2*, соответствующий времени T_2, характеризуется интенсивным ростом прочности структуры смеси. Продолжительность интенсивности роста прочности структуры смеси определяет время выдержки скважины под давлением для обеспечения условия равновесия на контуре изоляционной перемычки. За это время смесь приобретает прочность, близкую к максимальной.

Участок *3* отражает завершающий этап стабилизации смеси, характеризующийся незначительным повышением прочности структуры.

Максимальная величина статического напряжения сдвига на участке *3* определяет прочность созданной изоляционной перемычки, т. е. качество тампонажных работ.

Проведенные исследования и опыт производства изоляционных работ показали, что смеси на основе глинистого раствора, обладающего высокими структурно-механическими свойствами, с добавкой тампонажного цемента, наполнителя в виде древесных опилок и жидкого стекла полностью отвечают указанным требованиям.

б) Методика определения свойств тампонажных смесей на глинистой основе

Свойства тампонажных смесей в значительной степени зависят от качественных параметров и от количественного соотношения составляющих их компонентов. Поэтому для разработки рационального состава смеси с заданными структурно-механическими свойствами и с целью контроля качества приготовляемых смесей для конкретных условий производства изоляционных работ необходимо производить определение комплекса контролирующих параметров.

Свойства тампонажных смесей на глинистой основе рекомендуется контролировать посредством следующих основных параметров.

1. Удельный вес — γ, *г/см*^{3},
2. Растекаемость, *см*,
3. Водоотдача — В, *см*^{3} за 30 *мин.*,
4. Статическое напряжение сдвига — Θ, *мГ/см*^{2},
5. Пластическая прочность структуры по методу Ребиндера — P_m, *Г/см*^{2}.

При детальных исследованиях свойств тампонажных смесей необходимо дополнительно определять структурную вязкость — η и динамическое напряжение сдвига — τ_0.

Определение перечисленных основных параметров производится с помощью стандартных приборов; часть этих приборов входит в комплект переносной лаборатории глинистых растворов ЛГР-2. Удельный вес определяется с помощью ареометра АГ-2, растекае-

мость — по конусу АзНИИ, водоотдача — на приборе ВМ-6, статическое напряжение сдвига — на приборе СНС-2, пластическая прочность — путем вдавливания конуса на переоборудованном приборе «Игла Вика».

Для определения статического напряжения сдвига смесей на приборе СНС-2, обладающих высокими структурно-механическими свойствами, необходимо использовать специальные нити из стальной проволоки диаметром 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; и 1,4 *мм*. Тарирование нитей производится по методике, приведенной в паспорте каждого прибора СНС-2. Измерения статического напряжения сдвига производятся по существующей методике.

Пластическая прочность структуры измеряется путем вдавливания конуса по методу академика П. А. Ребиндера, усовершенствованному применительно к практике изучения цементных растворов Н. С. Винарским. Измерения проводятся на переоборудованном приборе «Игла Вика» с использованием наконечников на игле в виде конусов с углом при вершине 90° и 60°. Конусные наконечники изготовляются из легкого материала — сплавов алюминия или оргстекла.

Методика определения пластической прочности смеси на приборе «Игла Вика» состоит в следующем.

Приготовленная тампонажная смесь заливается в стальное кольцо диаметром 100—200 мм и высотой 40 мм, установленное на стеклянной пластине. Поверхность смеси тщательно выравнивается. После этого кольцо устанавливается на прибор «Игла Вика» и острие конуса подводится к поверхности тампонажной смеси. Для установления прочности смеси стопор иглы отпускается и конус погружается в смесь под действием веса подвижной системы прибора.

По величине погружения конуса рассчитывается пластическая прочность структуры смеси по формуле.

$$P_m = K_\alpha \frac{F}{h^2}, \qquad (1)$$

где P_m — пластическая прочность структуры, *г/см*^{2};
F — вес погружаемой системы, *г*;
h — глубина погружения конуса в тампонажную смесь, *см*;
K_α — коэффициент, зависящий от угла конуса.

Коэффициент K_α может быть определен по формуле

$$K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \qquad (2)$$

где α — угол при вершине конуса.

Основное влияние на структурно-механические свойства смесей, как уже отмечалось, оказывает цемент. Поэтому при определении рационального состава смеси вначале определяется необходимая добавка цемента. Для этого, начиная с исходных концен-

траций, содержание цемента в глинистом растворе постепенно увеличивается и каждый раз определяется растекаемость полученной смеси сразу после ее приготовления.

После того, как будет получена растекаемость порядка 13–14 *см,* необходимо определить оптимальную добавку жидкого стекла или древесных опилок.

Основными параметрами, характеризующими структурно-механические свойства тампонажных смесей, являются статическое напряжение сдвига Θ и пластическая прочность P_m структуры.

При определении структурно-механических свойств смеси важно изучить характер их изменения во времени. Для получения такой зависимости производятся измерения статического напряжения сдвига и пластической прочности через 1, 10, 30, 60, 120 и 240 *мин.* При этом для каждого измерения приготовляется новая порция смеси. Это требование обусловлено тем, что при повторном перемешивании смеси ее структурно-механические свойства существенно изменяются. Для смеси хорошего качества статическое напряжение сдвига и пластическая прочность должны устойчиво возрастать.

Методика определения остальных параметров не отличается от общепринятой. Следует только не допускать разрыва времени между полным приготовлением исследуемой смеси и измерением ее параметров больше чем 1 *мин.*

в) Свойства тампонажных смесей на глинистой основе

Оптимальные составы тампонажных смесей на глинистой основе, разработанные в Донбассантрацитовском управлении на основе глин Дружковского карьера УССР для изоляции зон поглощения при бурении скважин в трещиноватых горных породах и их свойства в зависимости от качества исходного глинистого раствора приведены в табл. 1.

Как показали проведенные исследования и опыт работы, качество исходного глинистого раствора существенно влияет на свойства тампонажной смеси. Особенно большое значение имеет удельный вес и структурно-механические свойства исходного раствора. Поэтому для каждого типа используемых глин необходимо уточнять оптимальный состав смесей.

Однако общие закономерности изменения свойств тампонажных смесей на глинистой основе сохраняются. Эти общие закономерности приведены ниже для тампонажных смесей, приготовленных на основе глин Дружковского карьера УССР.

На рис. 3 приведены в качестве примера данные о влиянии удельного веса исходного глинистого раствора на свойства тампонажной смеси без наполнителя с добавками 100 г/л цемента и 10 г/л жидкого стекла. Видно, что повышение удельного веса глинистого раствора с 1,18 *г/см*^{3} до 1,20 *г/см*^{3} увеличивает пластическую прочность структуры смеси через 4 часа стабилизации в 2,5 раза.

Таблица № 1

Состав смеси / Свойства смеси	Удельный вес, г/см³	Θ, мг/см²		P_m, г/см²		$\frac{\text{н}\cdot\text{сек}}{\text{м}^2}$	τ_0 н/м²
		1 мин.	240 мин.	1 мин.	240 мин.		
I. С наполнителем							
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 50 *кг/м³* + опилки — 50 *кг/м³*	1,20	1570	8000	2,4	18,5	$40\cdot10^{-3}$	72
Глинистый раствор $\gamma=1{,}20$ *г/см³* + цемент — 50 *кг/м³* + опилки — 50 *кг/м³*	1,22	1750	8600	2,7	20,5	$57\cdot10^{-3}$	128
Глинистый раствор $\gamma=1{,}23$ *г/см³* + цемент — 50 *кг/м³* + опилки — 50 *кг/м³*	1,25	2250	9200	3,6	28,3	$72\cdot10^{-3}$	136
II. Без наполнителя							
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 100 *кг/м³* + жидкое стекло — 10 *кг/м³*	1,28	4100	31000	4,7	116,0	$24\cdot10^{-3}$	88
Глинистый раствор $\gamma=1{,}20$ *г/см³* + цемент — 100 *кг/м³* + жидкое стекло — 10 *кг/м³*	1,30	4350	35000	5,7	132,0	$42\cdot10^{-3}$	140
Глинистый раствор $\gamma=1{,}23$ *г/см³* + цемент — 100 *кг/м³* + жидкое стекло — 10 *кг/м³*	1,33	4870	41000	8,4	262,0	$51\cdot10^{-3}$	192

Тампонажные смеси с наполнителем, приготовленные на основе глинистого раствора с добавкой тампонажного цемента и наполнителя, изменяют свои свойства в зависимости от количества добавки цемента и наполнителя. Закономерности изменения структурно-механических свойств тампонажных смесей на основе глинистого раствора с параметрами: $\gamma=1{,}22$ *г/см³*; $T=90$ *сек*; $\Theta_1=160$ *мг/см²*; $B=25$ *см³* и растекаемостью по конусу АзНИИ —

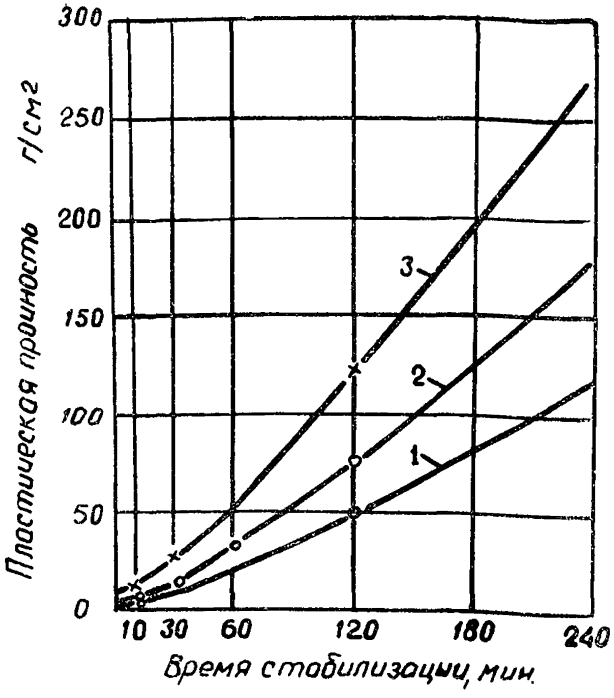


Рис. 3. Влияние удельного веса исходного глинистого раствора на свойства тампонажной смеси:
1 — $\gamma = 1{,}18$ *г/см*³, *2* — $\gamma = 1{,}20$ *г/см*³, *3* — $\gamma = 1{,}23$ *г/см*³

18 *см* видны из рис. 4, где отражены изменения статического напряжения сдвига смеси в зависимости от концентрации древесных опилок. На приведенном графике кривая 1 получена для исходного раствора без добавления цемента, кривые 2, 3, 4, 5 и 6 — соответственно с добавкой 10, 20, 30, 40 и 50 *г/л* цемента.

Из приведенных данных видно, что с ростом концентрации наполнителя в растворе с цементом статическое напряжение сдвига смеси растет. Введение наполнителя в исходный глинистый раствор, не содержащий цемента, практически не приводит к изменению Θ_1.

Влияние добавок цемента на свойства тампонажных смесей с наполнителем наглядно характеризуется закономерностями роста статического напряжения сдвига (рис. 5) и пластической прочности структуры (рис. 6) смеси от времени стабилизации. На приведенных графиках кривые 1, 2, 3, 4, 5 даны соответственно для содержаний 10, 30, 50, 70, 90 *г/л* раствора цемента. Как видно из приведенных данных, интенсивность роста прочностных параметров возрастает с увеличением концентрации цемента в тампонажной смеси. Однако практика показала, что прочность смеси с напол-

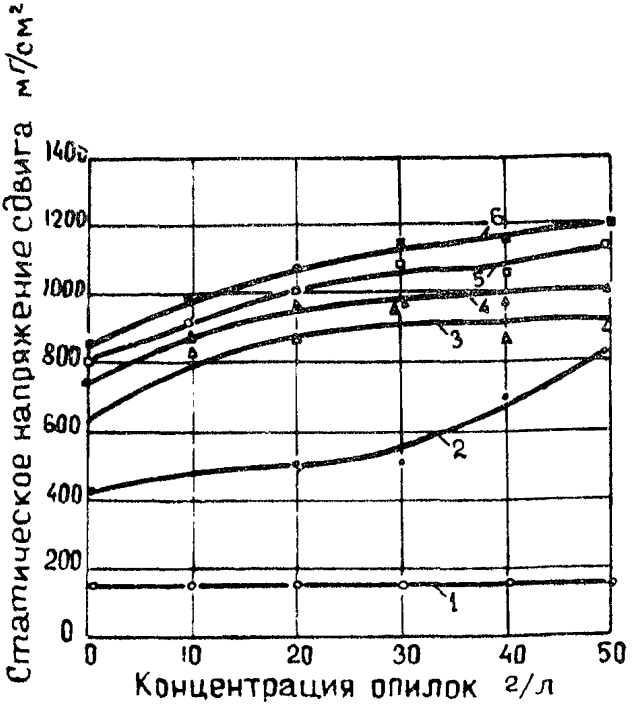


Рис. 4. Зависимость статического напряжения сдвига тампонажной смеси от концентрации древесных опилок

нителем при содержании цемента более 50 *г/л* возрастает до таких величин, при которых ее перекачивание поршневым насосом становится невозможным. Это обстоятельство ограничивает добавки цемента в тампонажные смеси с наполнителем до 50 *кг/м*³.

На рис. 7 приведен график зависимости водоотдачи от содержания цемента в тампонажной смеси. Из рисунка видно, что водоотдача смеси растет при увеличении содержания цемента до 50—60 *г/л,* а при содержаниях цемента более 60 *г/л* водоотдача начинает существенно снижаться. Таким образом, величина максимальной водоотдачи соответствует наибольшей возможной концентрации цемента, *обусловленной* прокачиваемостью тампонажной смеси.

Влияние температуры на свойства смеси с содержанием 50 *г/л* цемента приведено на рис. 8. Из приведенных данных на рис. 8 видно, что температура существенно влияет на интенсивность роста статического напряжения сдвига, а также на конечную прочность структуры смеси. При повышении температуры интенсивность роста P_m и Θ во времени увеличивается. Следовательно, при проведении тампонажных работ необходимо учитывать температуру в интервале поглощающего горизонта.

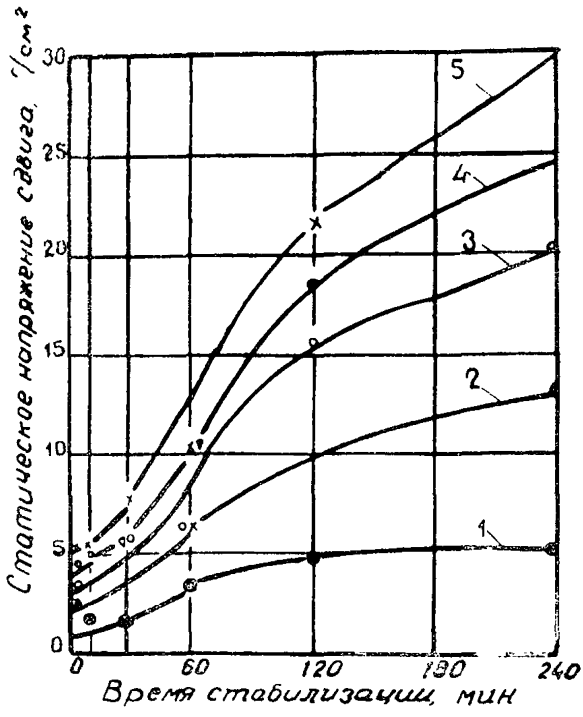


Рис. 5. Влияние добавки цемента на статическое напряжение сдвига тампонажной смеси с наполнителем.
Концентрация цемента:
1 — 10 *г/л*; *2* — 30 *г/л*; *3* — 50 *г/л*; *4* — 70 *г/л*; *5* — 90 *г/л*

Тампонажные смеси без наполнителя с добавкой жидкого стекла обладают более высокими структурно-механическими свойствами, как это видно из табл. 1. Тем не менее перекачивание их поршневым насосом не вызывает затруднений, так как жидкое стекло подается в смесь в процессе закачки.

Влияние добавок силиката натрия (жидкого стекла) на свойства тампонажной смеси, приготовленной на основе глинистого раствора с удельным весом 1,18 *г/см*^{3} с добавкой 100 *г/л* цемента, показано в табл. 2 и на рис. 9 и 10. На представленных рисунках кривые 2, 3 и 4 даны для содержания соответственно 2,5 и 10 *г/л* жидкого стекла. Кривая *1* — для тампонажной смеси до обработки ее жидким стеклом.

Из приведенных данных видно, что жидкое стекло даже в небольших концентрациях (0,5—1,0%) резко увеличивает прочностные характеристики смеси. Так, при добавке жидкого стекла в количестве 1% пластическая прочность через 1 минуту равна 5,6 *г/см*^{2}, а уже через 4 часа времени стабилизации достигает 91,2 *г/см*^{2}. Однако следует отметить, что увеличение добавок жидкого стекла до 3% и более приводит к увеличению интенсивности

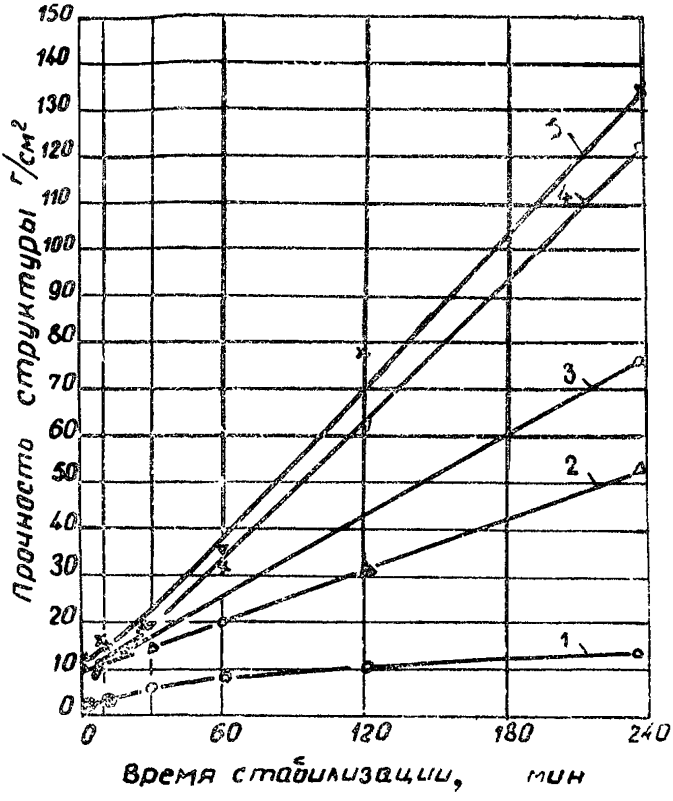


Рис. 6. Влияние добавки цемента на пластическую прочность тампонажной смеси с наполнителем.
Концентрация цемента:
1 — 10 *г/л*; *2* — 30 *г/л*; *3* — 50 *г/л*; *4* — 70 *г/л*; *5* — 90 *г/л*

роста прочности смеси в начальный период структурообразования, в то время как конечная прочность смеси увеличивается незначительно. Так, добавка жидкого стекла в количестве 3% по сравнению с добавкой 2% приводит к увеличению статического напряжения сдвига и пластической прочности структуры смеси в начальный период времени стабилизации (через 1 и 10 минут) соответственно в 3 и в 5 раз, а конечная прочность структуры смеси увеличивается только в 1,1—1,15 раза. Следовательно, большие концентрации жидкого стекла в смеси нерациональны, так как они не дают значительного увеличения конечной прочности структуры, но ухудшают прокачиваемость.

Для установления возможности улучшения прокачиваемости смеси с сохранением ее конечной прочности и статического напряжения сдвига проверено действие на смесь наиболее распространенных реагентов-разжижителей: ССБ, КМЦ, УЩР, Na_3PO_4.

Установлено, что все исследованные реагенты, за исключением ССБ, оказывают несущественное разжижающее действие лишь в

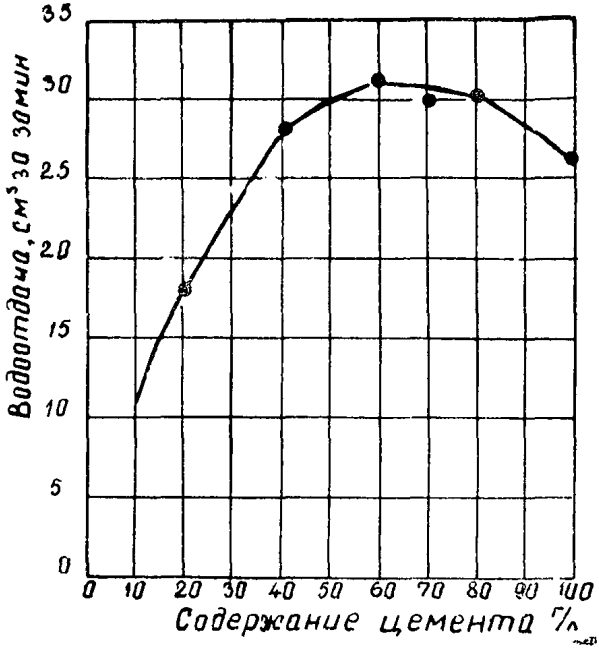


Рис. 7. Влияние концентрации цемента на водоотдачу тампонажной смеси на глинистой основе

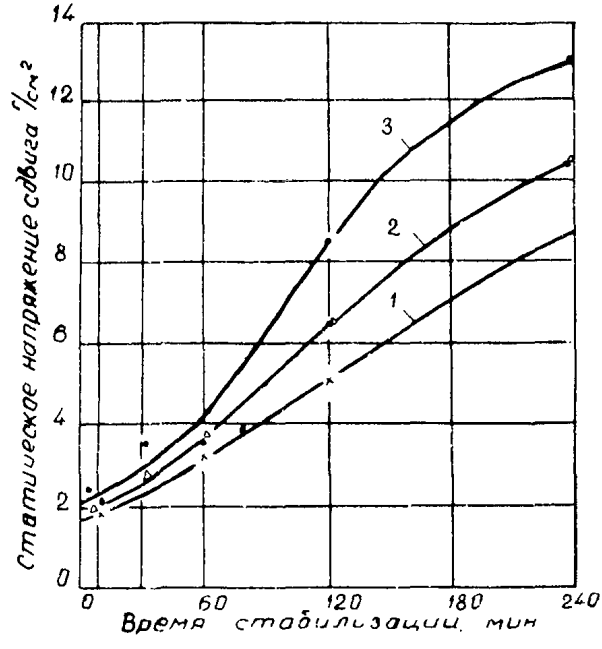


Рис. 8. Влияние температуры на процесс структурообразования тампонажной смеси

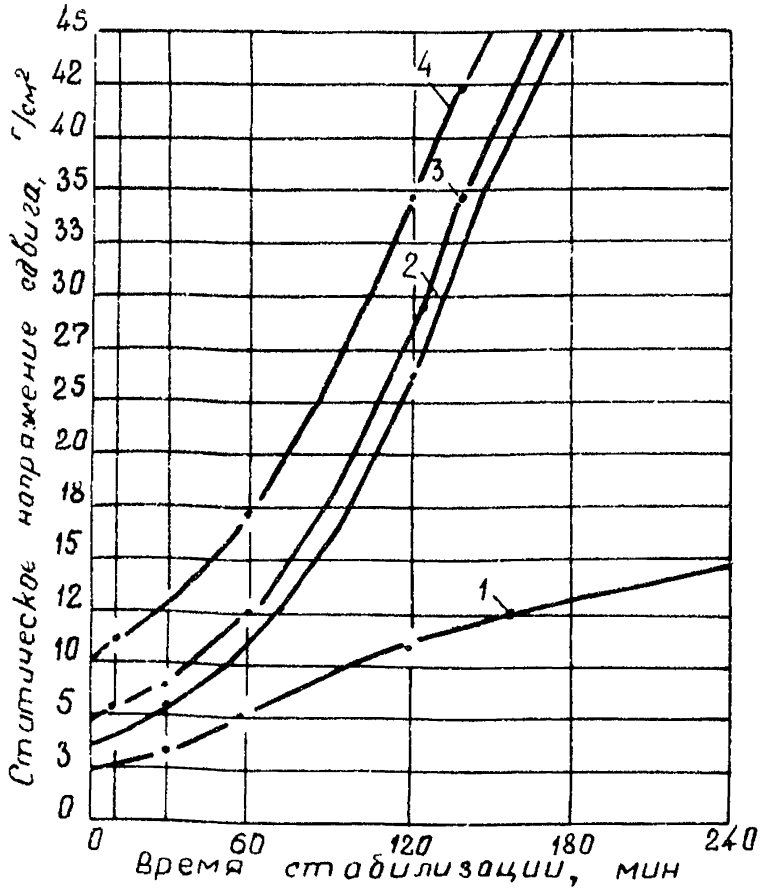


Рис. 9. Влияние концентрации жидкого стекла на изменения статического напряжения сдвига тампонажной смеси во времени
Концентрация Na_2OnSiO_2 — *1* — 0; *2* — 2 *г/л*; *3* — 5 *г/л*; *4* — 10 *г/л*

небольших концентрациях (менее 5 *г/л*), приводят в то же время к уменьшению конечных Θ и P_m смеси. ССБ разжижает смесь тем лучше, чем выше концентрация, но при этом настолько уменьшает конечные статическое напряжение сдвига и прочность стабилизировавшейся структуры, что ее применение теряет смысл.

Существенное влияние на структурно-механические свойства тампонажных смесей оказывает время перемешивания смеси при ее приготовлении. Характер изменения структурно-механических свойств от продолжительности приготовления тампонажной смеси с наполнителем (глинистый раствор с вязкостью 50 *сек* с добавкой тампонажного цемента 50 *г/л* и древесных опилок 50 *г/л*) виден на рис. 11 и 12, где представлены зависимость изменения Θ и P_m от времени перемешивания. На рисунках кривые 1, 2, 3, 4, 5 даны для времени стабилизации структуры 1, 10, 30, 60, 120 *мин.* соответственно. Резкое падение структурно-механических свойств там-

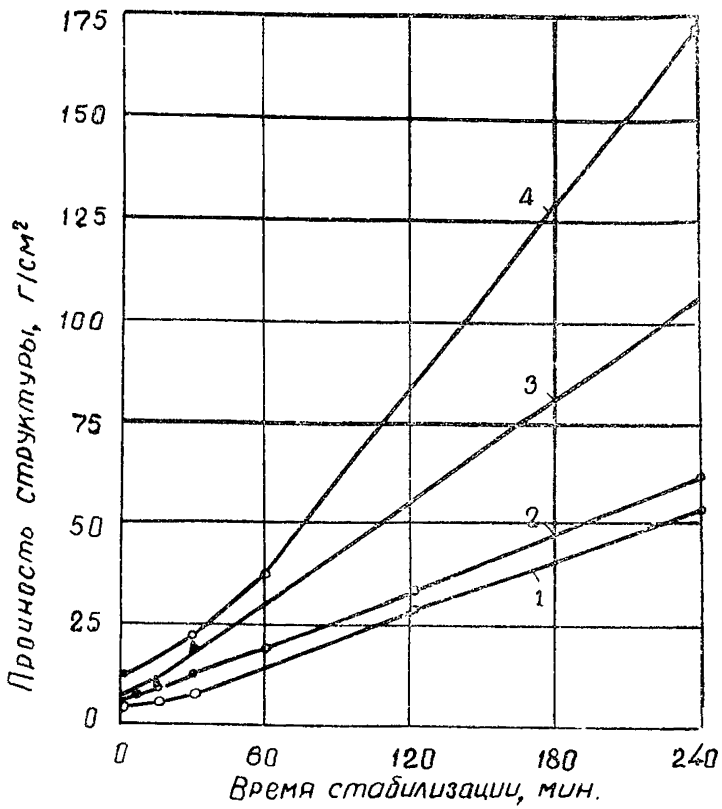


Рис. 10. Влияние концентрации жидкого стекла на изменение пластической прочности структуры тампонажной смеси во времени
Концентрация Na_2OnSiO_2 — *1* — 0; *2* — 2 *г/л*; *3* — 5 *г/л*; *4* — 10 *г/л*

понажных смесей наблюдается при времени перемешивания до 30 *мин.* Затем Θ незначительно повышается, а P_m остается на одном уровне при увеличении времени перемешивания с 30 до 180 *мин.*

Из рис. 11 и 12 видно, что увеличение времени перемешивания тампонажной смеси с наполнителем до 10 *мин.* снижает Θ и P_m и тем больше, чем больше время перемешивания. Однако увеличение времени перемешивания в пределах 10 *мин,* снижая начальную прочность структуры смеси, не отражается существенно на конечной прочности смеси (кривая 4). Дальнейшее увеличение времени перемешивания, особенно свыше 30 *мин.* (кривые *1* и *2*), приводит к незначительному снижению конечной прочности структуры смеси.

Несколько иначе ведет себя при перемешивании смесь без наполнителя, содержащая цемент и жидкое стекло. На рис. 13 представлены зависимости изменения пластической прочности струк-

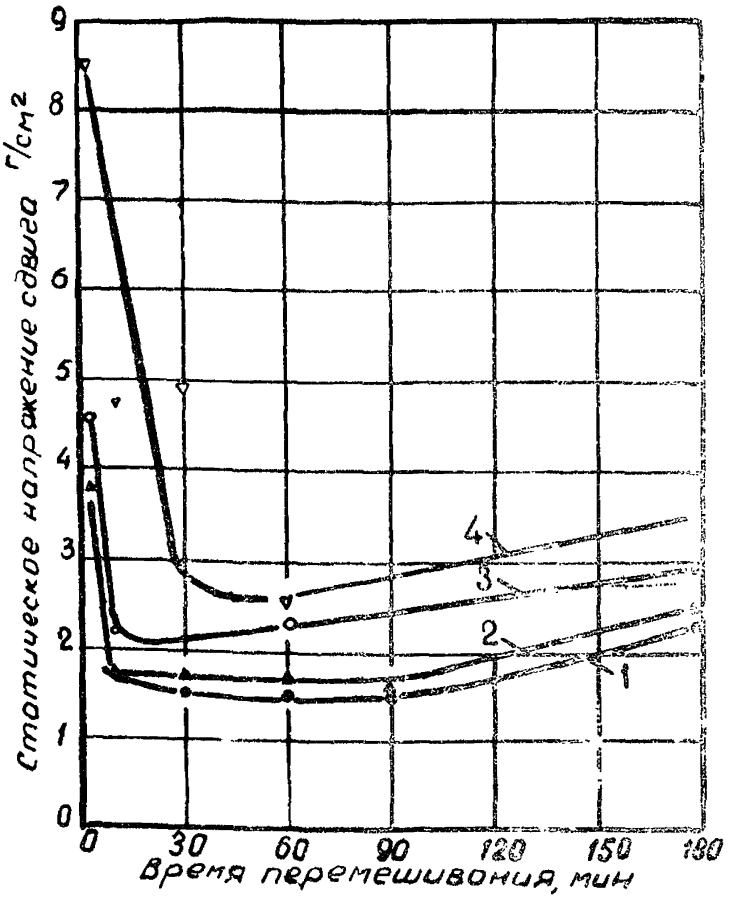


Рис. 11. Зависимость статического напряжения сдвига от времени перемешивания тампонажной смеси.
Время стабилизации: *1* — 1 *мин.*; *2* — 10 *мин.*; *3* — 30 *мин.*; *4* — 60 *мин.*

гуры от времени перемешивания смеси, приготовленной на базе глинистого раствора с γ=1,20 *г/см*^{3} с добавкой цемента 100 *г/л* и жидкого стекла 10 *г/л*. Кривые *1, 2, 3, 4, 5, 6* даны для времени стабилизации соответственно 1, 10, 30, 60, 120, 240 *мин.*

Анализ кривых показывает, что увеличение времени перемешивания до 10 *мин.* приводит к снижению P_m, однако дальнейшее увеличение времени перемешивания с 10 до 30 *мин.* ведет к повышению интенсивности роста прочности структуры и тем эффективнее, чем больше время стабилизации смеси. Увеличение времени перемешивания свыше 30 *мин.* снижает незначительно начальное значение пластической прочности и очень сильно — его конечное значение.

Таблица 2

ВЛИЯНИЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНОЙ СМЕСИ НА ГЛИНИСТОЙ ОСНОВЕ

Состав смеси	Статическое напряжение сдвига, мг/см²					Пластическая прочность по методу Ребиндера, г/см²					
	Θ_1	Θ_{10}	Θ_{60}	Θ_{120}	Θ_{240}	P_{m_1}	$P_{m_{10}}$	$P_{m_{30}}$	$P_{m_{60}}$	$P_{m_{120}}$	$P_{m_{240}}$
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 100 *г/л*	1640	2100	2950	4800	11500	1,61	1,80	2,59	8,1	11,7	20,5
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 100 *г/л* + жидкое стекло — 5 *г/л*	2060	2600	5050	10000	30400	4,17	8,40	13,75	18,55	52,5	77,3
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 100 *г/л* + жидкое стекло — 10 *г/л*	4100	5200	8550	21000	31000	5,6	8,4	18,5	34,5	72,8	91,2
Глинистый раствор $\gamma=1{,}18$ *г/см³* + цемент — 100 *г/л* + жидкое стекло — 30 *г/л*	11400	15000	24000	—	—	32,4	40,6	48,9	63,2	82,0	98,4

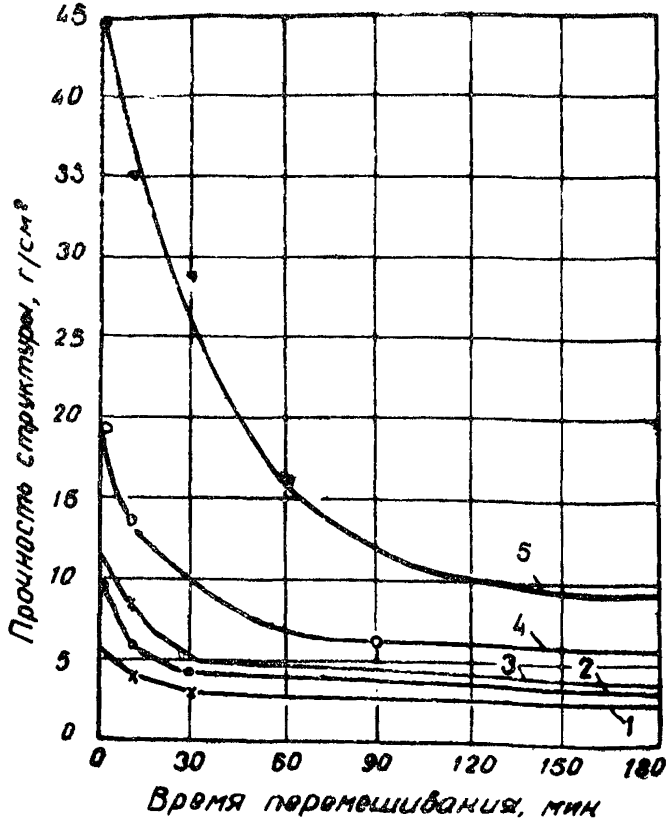


Рис. 12. Влияние времени перемешивания на пластическую прочность структуры тампонажной смеси с наполнителем.
Время стабилизации: *1* — 1 *мин.*; *2* — 10 *мин.*; *3* — 30 *мин.*; *4* — 60 *мин.*; *5* — 120 *мин.*;

Отмеченные закономерности позволяют сделать вывод, что первый этап упрочения смеси без наполнителя имеет продолжительность порядка 30 *мин.*

г) Выбор тампонажной смеси

Выбор состава тампонажных смесей для изоляции проницаемых горизонтов, представленных трещиноватыми горными породами, обуславливается их гидродинамическими характеристиками. В первую очередь при выборе смеси необходимо учитывать величину раскрытия трещин и максимально возможный перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт». Особое внимание при этом необходимо уделять также наличию и интенсивности движения подземных вод по проницаемому горизонту.

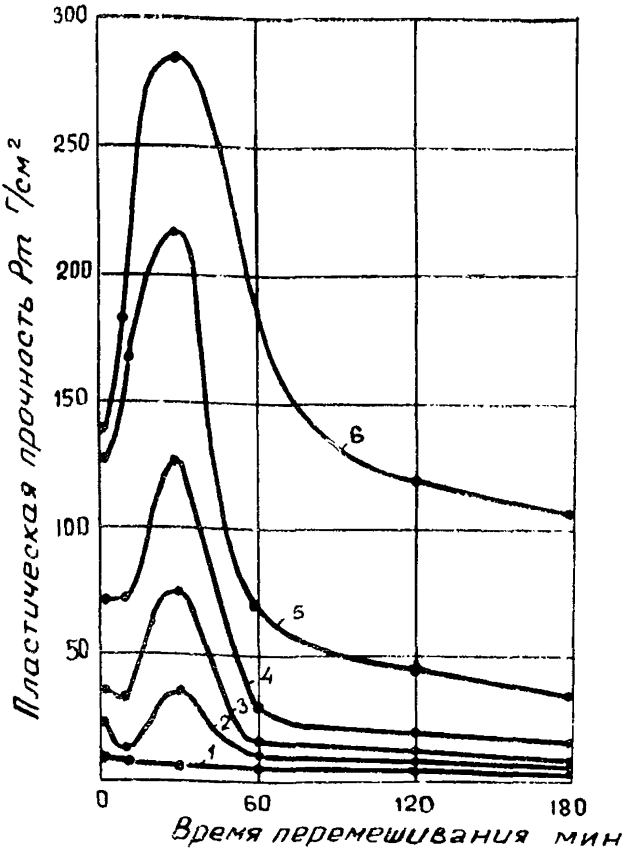


Рис. 13. Влияние времени перемешивания на пластическую прочность структуры тампонажной смеси без наполнителя.
Время стабилизации: *1* — 1 *мин.*; *2* — 10 *мин.*; *3* — 30 *мин.*; *4* — 60 *мин.*; *5* — 120 *мин.*; *6* — 240 *мин.*

На основании производственных наблюдений и экспериментальных исследований процесса нагнетания тампонажных смесей, выполненных на специальной модели искусственной трещины, установлено, что при раскрытии трещин менее 2,8—3,5 *мм* могут быть рекомендованы кальматация приствольной трещиноватой зоны тампонажные смеси с наполнителем при их нагнетании в скважину с образованием в устьях трещин плотного тампона из частиц глины, цемента и наполнителя. В результате проницаемая зона надежно изолируется от ствола скважины. При этом расход тампонажной смеси для ликвидации поглощения промывочной жидкости и затраты времени на производство работ минимальные.

Однако практика показала, что при больших перепадах давления на сформированную изоляционную перемычку, а также частых и продолжительных колебаниях давления в скважине в резуль-

тате проведения спускоподъемных операций, прочность образовавшегося при кальматации трещин тампона уменьшается. Это может привести к возобновлению поглощения. В таких условиях изоляционные работы целесообразно осуществлять с применением тампонажных смесей без наполнителя, что позволяет сформировать вокруг ствола скважины в проницаемом горизонте изоляционную перемычку достаточно больших размеров и прочности.

Для ликвидации поглощения промывочной жидкости в проницаемых горизонтах, имеющих крупные трещины, также рекомендуются тампонажные смеси без наполнителя. Для перекрытия особенно крупных трещин могут быть использованы тампонажные смеси на основе глинистого раствора с добавками 100—125 *кг/м*^{3} тампонажного цемента и 5—10 *кг/м*^{3} жидкого стекла.

При этом следует учитывать тот факт, что повышенное содержание жидкого стекла не приводит к значительному росту конечной прочности структуры смеси, а только резко увеличивает интенсивность процессов структурообразования в начальный период. Использовать тампонажные смеси на основе глинистого раствора с высоким содержанием жидкого стекла, до 30 *кг/м*^{3}, целесообразно лишь при наличии интенсивного движения воды в проницаемом горизонте, когда необходим особенно быстрый рост прочности структуры смеси для предупреждения ее размыва и выноса потоком подземных вод.

3. ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ В СКВАЖИНЕ

а) Методика проведения исследований проницаемых горизонтов в скважинах

Разработка рациональной технологии изоляционных работ возможна при наличии данных о месте положения, размерах и свойствах проницаемых горизонтов, пересеченных скважиной. Практика показала, что наиболее эффективным и простым методом исследования проницаемых горизонтов в скважинах является расходометрия, позволяющая осуществлять гидродинамические исследования и получить наиболее полную информацию о проницаемых горизонтах. С помощью расходометрии имеется возможность определять мощность и глубину залегания, пластовое давление и приемистость проницаемых горизонтов. Эти данные достаточны для вычисления скважности, коэффициента проницаемости и величины раскрытия трещин водоносного горизонта.

Перечисленные параметры достаточно полно характеризуют проницаемый горизонт и позволяют выбрать способ его изоляции, а также определить рациональный режим нагнетания тампонажных смесей и рассчитать расход тампонажных материалов.

Необходимым условием проведения расходометрии является наличие установившегося режима движения жидкости по стволу скважины. Движение жидкости может быть связано с естественными перетоками между водопроницаемыми горизонтами или создано искусственно путем налива или откачки. При наличии естественных перетоков в скважине расходометрией возможно определить глубины и мощности водопроницаемых горизонтов, интенсивность и направление перетоков между ними. Для установления качественных параметров проницаемых горизонтов необходимо искусственное возбуждение скважины нагнетанием жидкости буровым насосом с постоянной производительностью.

Порядок проведения гидродинамических исследований в скважине следующий. Перед проведением расходометрии с целью определения фактического диаметра скважины производится кавернометрия участка, подлежащего изучению. Масштабы записи кавернометрии выбираются в зависимости от требуемой степени достоверности исследования.

После выполнения кавернометрии производится расходометрия. Для этого в скважину на трехжильном каротажном кабеле с помощью стандартного геофизического оборудования опускается расходомер и производится исследование проницаемых горизонтов. При этом осуществляется замер статического уровня жидкости, который фиксируется срабатыванием электромеханического счетчика при контакте крыльчатки с уровнем жидкости в скважине. Затем в скважину буровым насосом с постоянной производительностью нагнетается промывочная жидкость. После установления постоянного динамического уровня в скважине, свидетельствующего о наличии установившегося режима, выполняется собственно расходометрия.

Порядок выполнения расходометрии при естественном динамическом состоянии скважины и при наливе жидкости через устье скважины подробно изложен в «Инструкции по исследованию проницаемых горизонтов в скважинах расходомером ДАУ-3М».

Если исследование скважины при наливе жидкости через устье не позволяет выявить слабопроницаемые горизонты, не проявляющиеся при максимально возможном гидростатическом давлении, требуется проведение расходометрии с избыточным давлением. Так, например, в практике бурения скважин нередко встречаются случаи, когда поглощающие горизонты начинают функционировать только при вращении бурового снаряда; при остановке — поглощение прекращается и циркуляция восстанавливается. Для обнаружения и исследования таких поглощающих горизонтов требуется создание избыточного давления на устье скважины. Методика исследований скважин с избыточным давлением на устье существенно не отличается от методики изучения проницаемых горизонтов со свободным наливом жидкости.

На основании расходограмм, получаемых при гидродинамических исследованиях скважин расходомером, определяется мощ-

ность и глубина залегания проницаемых горизонтов, пластовое давление и приемистость каждого из них.

б) Методика расчета параметров трещиноватости проницаемого горизонта

Методика расчета параметров трещиноватости проницаемых горизонтов, пересеченных скважиной — скважности, коэффициента проницаемости и раскрытия трещин по данным расходометрии и кавернометрии сводится к следующему.

Известно, что удельное водопоглощение (приемистость) является основной независимой переменной, в функции которой находятся все элементы проницаемого горизонта. Различными исследователями предложены аналитические выражения для определения параметров трещиноватости проницаемых горизонтов по данным удельного водопоглощения скважины. Анализ известных формул показал, что скважность трещиноватой горной породы наиболее целесообразно определять по следующей формуле, предложенной Ф. И. Котяховым:

$$m_1 = \frac{1}{577{,}9}\sqrt[3]{\frac{K'\mu b \lg R_к \cdot R_c}{M}}, \qquad (3)$$

где m_1 — трещинная пористость (скважность), доли единиц;

K' — удельная приемистость проницаемого горизонта, *м³/сутки·ат;*

b — объемный коэффициент;

μ — динамическая вязкость; *спз;*

$R_к$ — радиус влияния, *м;*

M — мощность проницаемого горизонта, *м;*

R_c — радиус скважины, *м.*

При определениях коэффициента проницаемости трещиноватых горных пород необходимо учитывать общие закономерности распространения трещин района работ. В зависимости от характера распространения трещин, проницаемые горизонты могут иметь изотропную трещиноватость или анизотропную трещиноватость. Трещиноватые изотропные горные породы имеют одинаковую проницаемость во всех направлениях и характеризуются одним коэффициентом проницаемости. Трещиноватые анизотропные горные породы имеют различную проницаемость и поэтому каждая система трещин должна характеризоваться своим коэффициентом проницаемости.

Так, например, по данным описаний элементов залегания и характеристик трещин в горных выработках шахт антрацитовых районов Донбасса установлено, что тектоническая трещиноватость района представлена преимущественно двумя системами трещин.

При плоскорадиальном течении жидкости и наличии двух си-

стем трещин коэффициент проницаемости с достаточной степенью точности находится по следующей формуле:

$$K_{пр} = \sqrt{K_{11} \cdot K_{22}} \cong \frac{\mu Q \ln R_к / R_с}{2\pi M (P_с - P_к)}, \quad (4)$$

где K_{11} и K_{22} — коэффициенты проницаемости двух основных систем трещин, $м^2$;

μ — динамическая вязкость, $\frac{н \cdot сек}{м^2}$;

Q — расход жидкости, $м^3/сек$;

$(P_с - P_к)$ — перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт», $н/м^2$;

$R_с$, $R_к$ — радиус скважины и радиус влияния.

На основании скважности и коэффициента проницаемости поглощающего горизонта имеется возможность рассчитать раскрытие трещин по формуле, предложенной И. И. Вахромеевым

$$\delta = 4{,}83 \sqrt{\frac{K_{пр}}{m_т^{2,1}}}, \quad (5)$$

где δ — раскрытие трещин, $м$;

$K_{пр}$ — коэффициент проницаемости, $м^2$;

$m_т$ — скважность, доли единиц.

Для анизотропной трещиноватой среды, имеющей две системы трещин, проницаемость которых характеризуется коэффициентами проницаемости K_{11} и K_{22}, возможно рассчитать раскрытие трещин каждой системы при известной величине коэффициента трещинной анизотропии ε, который выражается в следующем виде:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}} \quad (6)$$

При известных величинах среднего значения коэффициента проницаемости $K_{пр}$ и коэффициента трещинной анизотропии ε путем совместного решения системы уравнений (4) и (6) определяются значения K_{11} и K_{22}

$$\begin{cases} K_{пр} = \sqrt{K_{11} \cdot K_{22}} \\ \varepsilon = \sqrt{\dfrac{K_{11}}{K_{22}}} \end{cases}$$

Затем, используя значения K_{11} и K_{22}, рассчитывается раскрытие трещин δ_{11} и δ_{22} каждой системы по формуле И. И. Вахромеева (5).

Определенные трудности представляет установление соотношения проницаемостей основных систем трещиноватости разведочного участка, так называемого коэффициента трещинной анизотро-

пии ε. При наличии в районе участка действующих горных работ в первом приближении ε определяется на основании данных описаний трещиноватости в горных выработках или по керну разведочных скважин. Коэффициент может быть определен также по данным ранее проводившихся гидродинамических исследований водоносных горизонтов в непосредственной близости от района работ. Если возможна постановка специальных гидродинамических исследований с использованием одной нагнетательной скважины и нескольких наблюдательных, то по гидроизогипсам напоров водоносных горизонтов вокруг возмущающей скважины устанавливается соотношение проницаемостей основных систем трещиноватости.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОТ ПО ИЗОЛЯЦИИ ПОГЛОЩАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ В СКВАЖИНАХ

а) Методика расчета изоляционной завесы вокруг ствола скважины в интервале проницаемого горизонта

Физическая сущность процесса изоляции трещиноватых поглощающих горизонтов методом нагнетания тампонажной смеси под давлением заключается в следующем. Тампонажная смесь по колонне бурильных труб закачивается в скважину к проницаемой зоне. При условии превышения давления тампонажной смеси в интервале проницаемого горизонта над пластовым давлением смесь будет проникать в него и заполнять трещины. В результате вокруг ствола скважины формируется изоляционная завеса, форма и размеры которой обуславливаются параметрами трещиноватости проницаемого горизонта.

Прочность и устойчивость сформированной изоляционной завесы обуславливается ее размерами, структурно - механическими свойствами тампонажной смеси, а также величинами раскрытия трещин и максимальными перепадами давления в системе «скважина-пласт». Форма изоляционной завесы зависит от характера распространения трещин в проницаемом горизонте. Равномерная трещиноватость является изотропной средой и, поэтому, изоляционная завеса вокруг ствола скважины будет иметь форму цилиндра. Неравномерное развитие трещиноватости в различных направлениях будет обуславливать формирование изоляционной завесы более сложной конфигурации.

В общем виде радиус распространения тампонажной смеси в изотропной трещиноватой среде, соответствующий необходимой прочности изоляционной завесы, определяется из условия устойчивости формируемой вязко - пластичной системы в трещинах проницаемого горизонта.

Расчетная формула для определения минимально необходимого размера изоляционной завесы в изотропной трещиноватой среде имеет вид

$$R=\frac{\alpha\delta(P_c-P_к)}{2P_т}, \qquad (7)$$

где R — радиус изоляционной завесы, *м;*

δ — раскрытие трещин, *м;*

$P_т$ — пластическая прочность тампонажной смеси, *кг/см²;*

$(P_c-P_к)$ — максимальный перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт», *кг/см²;*

α — коэффициент запаса прочности изоляционной завесы.

Таким образом, для выбранной тампонажной смеси с пластической прочностью $P_т$ необходимый радиус распространения смеси и, следовательно, размеры изоляционной завесы вокруг ствола скважины определяются раскрытием трещин проницаемого горизонта и перепадом давления на стенки скважины в интервале этого горизонта. Величина раскрытия трещин определяется по изложенной выше методике с использованием формулы (5). Величина перепада давления принимается максимально возможной для данной скважины с учетом гидродинамического давления, возникающего при спуско-подъемных операциях.

Абсолютная величина давления жидкости на стенки скважины при спуске или подъеме бурового снаряда определяется суммой гидростатического и гидродинамического давлений

$$P_c = P_{ст} + P_{дин}, \qquad (8)$$

где $P_{ст}$ — гидростатическое давление столба жидкости в скважине, *кг/см²;*

$P_{дин}$ — гидродинамическое давление, *кг/см².*

Ввиду специфики разведочного колонкового бурения определение величин гидродинамических давлений аналитическим путем затруднено. Проще и с большей степенью достоверности определяются гидродинамические давления при спуско-подъемных операциях экспериментальным путем с помощью глубинных манометров.

Результаты измерений гидродинамических давлений глубинным поршневым манометром МГП-3М, возникающих в процессе спускоподъемных операций, при колонковом бурении скважин приведены в форме графических зависимостей на рис. 14 и 15. Приведенные графики могут быть использованы при расчетах изоляционных завес для определения необходимого радиуса инъекции тампонажной смеси.

На рис. 14 показано влияние скорости спуска снаряда на величину изменения гидродинамического давления для разных зазоров между колонковой трубой и стенками скважины.

На рис. 15 показано влияние зазора между колонковой трубой и стенками скважины на величину гидродинамического давления.

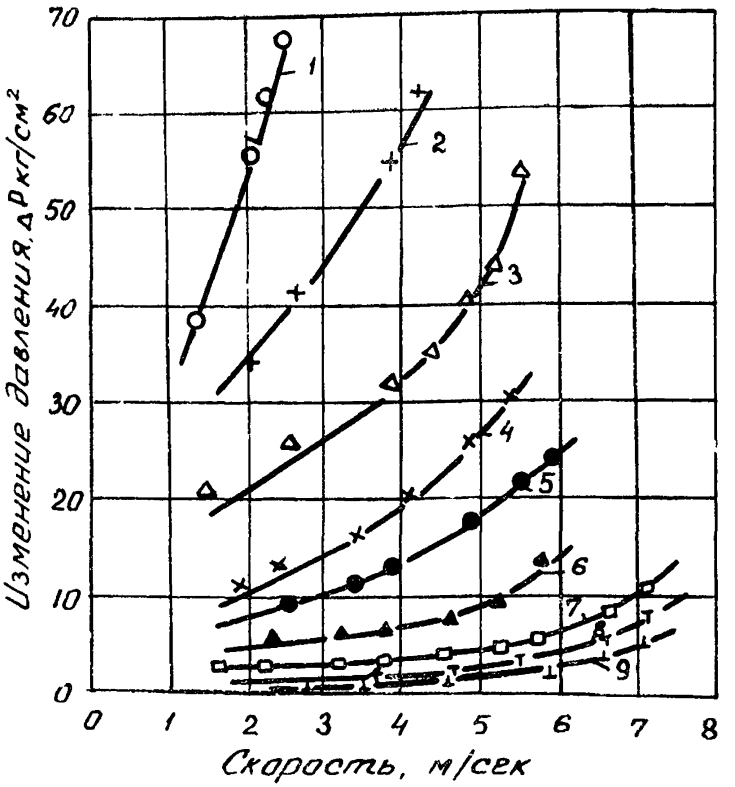


Рис. 14. Влияние скорости спуска на величину гидродинамического давления.
Зазоры между колонковой трубой и стенками скважины:
1 — 4 *мм*; *2* — 5 *мм*; *3* — 6 *мм*; *4* — 7 *мм*; *5* — 8 *мм*;
6 — 9 *мм*; *7* — 10 *мм*; *8* — 11 *мм*; *9* — 12 *мм*.

Для снижения гидродинамических давлений и, следовательно, для предупреждения возможных осложнений, следует ограничить скорость спуска снаряда в местах малой разработки ствола скважины и в интервале 100—150 метров от изолированной зоны поглощения.

Расчет необходимого количества тампонажной смеси для формирования изоляционной завесы вокруг ствола скважины с расчетным радиусом R производится с учетом скважности горных пород проницаемого горизонта и его мощности. Для изотропной проницаемой среды необходимый объем тампонажной смеси определяется из уравнения

$$V = \pi R^2 M m_т, \qquad (9)$$

где V— объем тампонажной смеси, $м^3$;
R— радиус изоляционной завесы, *м*;
M— мощность проницаемого горизонта, *м*;
$m_т$— скважность, доли единиц.

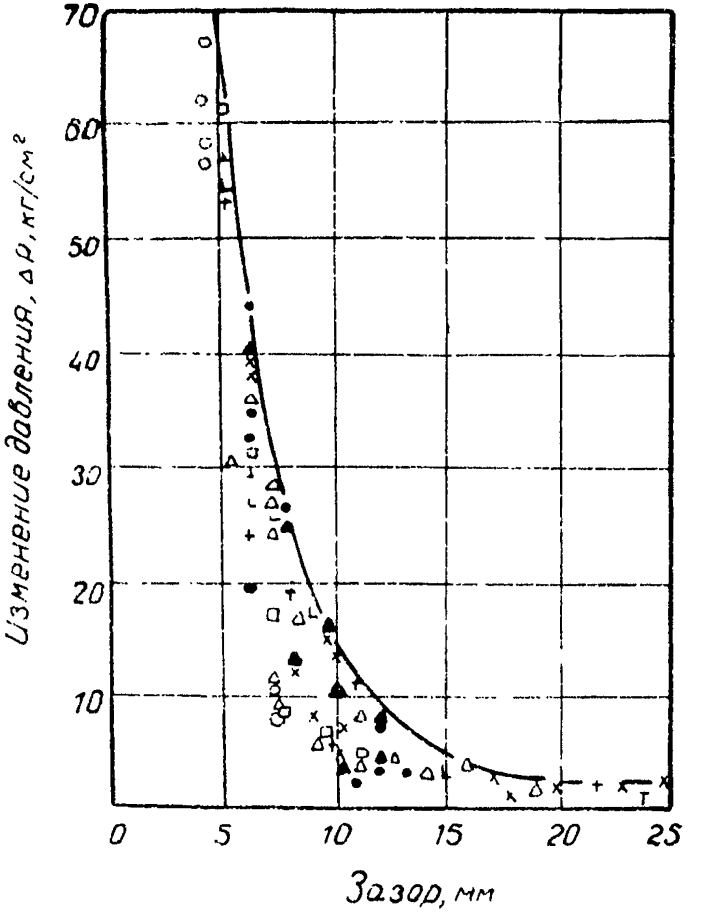


Рис. 15. Влияние зазора между колонковой трубой и стенками скважины на величину гидродинамического давления.
Скорости спуска: *1* — 7,2 *м/сек.*; *2* — 5,8 *м/сек.*; *3* — 4,5 *м/сек.*; *4* — 4,2 *м/сек.*; *5* — 3,7 *м/сек.*; *6* — 3,3 *м/сек.*; *7* — 3,0 *м/сек.*; *8* — 2,7 *м/сек.*;

При нагнетании тампонажной смеси из одиночной скважины в анизотропную трещиноватую среду, имеющую две взаимноперпендикулярных и различных по проницаемости системы трещин, фор-

ма изоляционной завесы в зависимости от размеров проницаемой зоны может представлять собой в первом приближении эллиптический цилиндр (рис. 16).

При определении количества закачиваемой тампонажной смеси для формирования изоляционной завесы, имеющей форму эллиптического цилиндра, сначала рассчитываются R_{11} и R_{22} в соответствии с K_{11} и K_{22} по формулам:

$$R_{11}=\frac{\alpha\delta_{11}(P_c-P_к)}{2P_m}, \qquad (10)$$

$$R_{22}=\frac{\alpha\delta_{22}(P_c-P_к)}{2P_m}, \qquad (11)$$

где R_{11}; R_{22} — полуоси эллиптического цилиндра, *м*;

δ_{11}; δ_{22} — среднее раскрытие трещин, *м*;

$(P_c-P_к)$ — перепад давления в системе «скважина — пласт», *кГ/см²*;

P_m — пластическая прочность тампонажной смеси, *кГ/см²*;

α — коэффициент запаса прочности.

Для анизотропной трещиноватой среды необходимый объем тампонажной смеси определяется из формулы

$$V=\pi R_{11}\cdot R_{22}\cdot M\cdot m_т, \qquad (12)$$

где V — объем тампонажной смеси для формирования изоляционной завесы, *м³*;

R_{11}; R_{22} — полуоси эллиптического цилиндра, *м;*

M — мощность проницаемого горизонта, *м;*

$m_т$ — скважность, доли единиц.

б) Методика расчета параметров нагнетания тампонажной смеси

Технологический режим закачки тампонажной смеси характеризуется двумя параметрами: производительностью насоса и давления нагнетания. Обычно производительность насоса задается, исходя из свойств закачиваемой тампонажной смеси и характеристики используемого оборудования, а ожидаемое давление насоса при заданной производительности рассчитывается.

Развиваемое насосом давление при заданном постоянном расходе тампонажной смеси затрачивается на преодоление гидравлических сопротивлений в процессе ее движения и пластового давления проницаемого горизонта. Поэтому необходимое давление насоса может быть определено по формуле

$$P_н=\triangle P_м+\triangle P_т+\triangle P_c+\triangle P_{пл}+P_к-P_г, \qquad (14)$$

где $P_н$ — давление насоса;

$\triangle P_м$ — потери давления в манифольдной линии;

$\triangle P_т$ — потери давления в колонне бурильных труб;

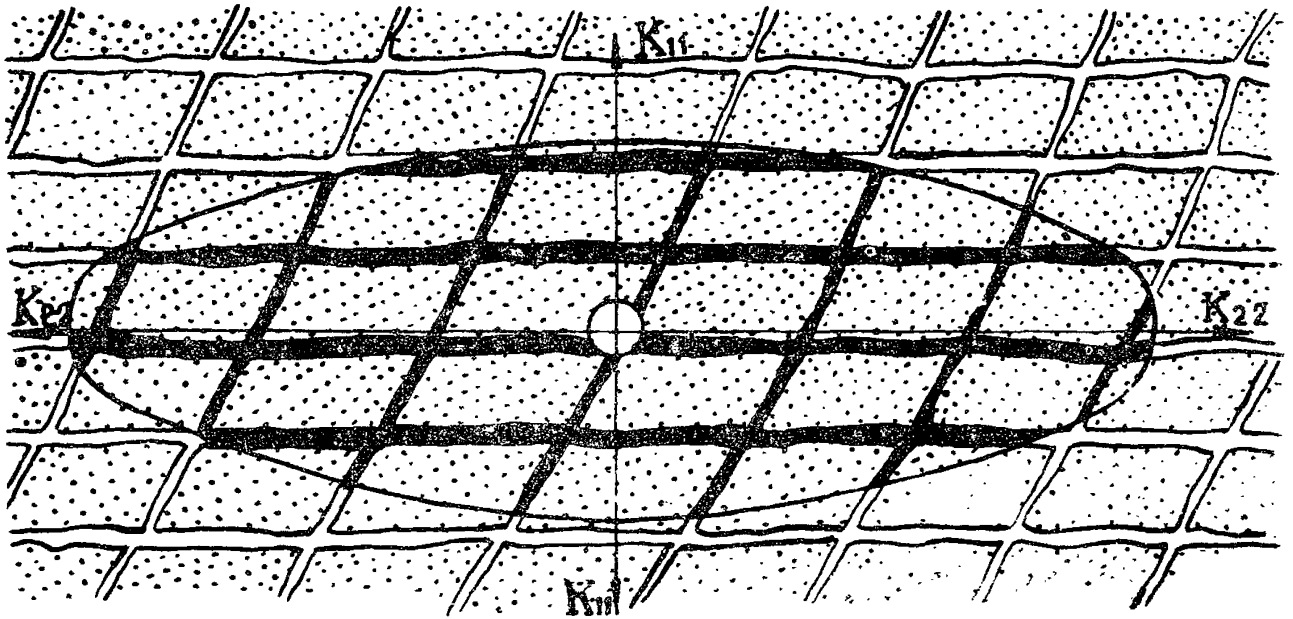


Рис. 16. Схема изоляционной завесы в анизотропной трещиноватой среде при формировании из ствола скважины

$\triangle P_c$— потери давления при движении тампонажной смеси в скважине к зоне поглощения;

$\triangle P_{пл}$— потери давления при движении смеси в трещинах поглощающего горизонта;

$P_к$— давление на контуре распространения тампонажной смеси (пластовое давление);

$P_г$— гидростатическое давление столба тампонажной смеси.

Потери давления в нагнетательной линии, колонне бурильных труб и скважине могут быть определены опытным путем или рассчитаны по известным формулам гидравлики. В случае применения при закачке пакерующего устройства, устанавливаемого несколько выше кровли поглощающего горизонта в плотных породах, потерями давления в стволе скважины можно пренебречь. При расчете потерь давления для условий движения тампонажной смеси с наполнителем в трубах могут быть встречены затруднения. Поэтому на рис. 17 приведены экспериментальные данные о потерях давления при течении тампонажных смесей с различными скоростями в зависимости от длины колонны бурильных труб, которые могут быть использованы в практических расчетах.

Потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений при движении тампонажной смеси в трещиноватой среде поглощающего горизонта, соответствующие расчетному радиусу распространения, могут быть определены из уравнения Н. В. Тябина

$$\triangle P_{пл} = \frac{3\,Q\eta \ln R_к / R_c}{4\pi h^3} + \frac{3\tau_o\,(R_к - R_c)}{2h}, \qquad (15)$$

где $\triangle P_{пл}$— потери давления при движении смеси в трещинах проницаемого горизонта;

Q— расход тампонажной смеси;

η— структурная вязкость смеси;

τ_o— динамическое напряжение сдвига смеси;

$2h$— раскрытие трещин;

R_c— радиус скважины;

$R_к$— радиус контура распространения смеси.

Проведенные исследования показали, что при нагнетании тампонажных смесей с высокими структурно-механическими свойствами в трещины потери давления будут в основном обусловлены их пластическими свойствами, поэтому для практических расчетов рекомендуется использовать только вторую часть формулы (15), учитывающую пластические напряжения в системе.

Давление на контуре распространения тампонажной смеси обусловливается пластовым давлением, которое определяется в процессе гидродинамических исследований скважины.

Гидростатическое давление столба тампонажной смеси рассчитывается по известной формуле с учетом глубины залегания про-

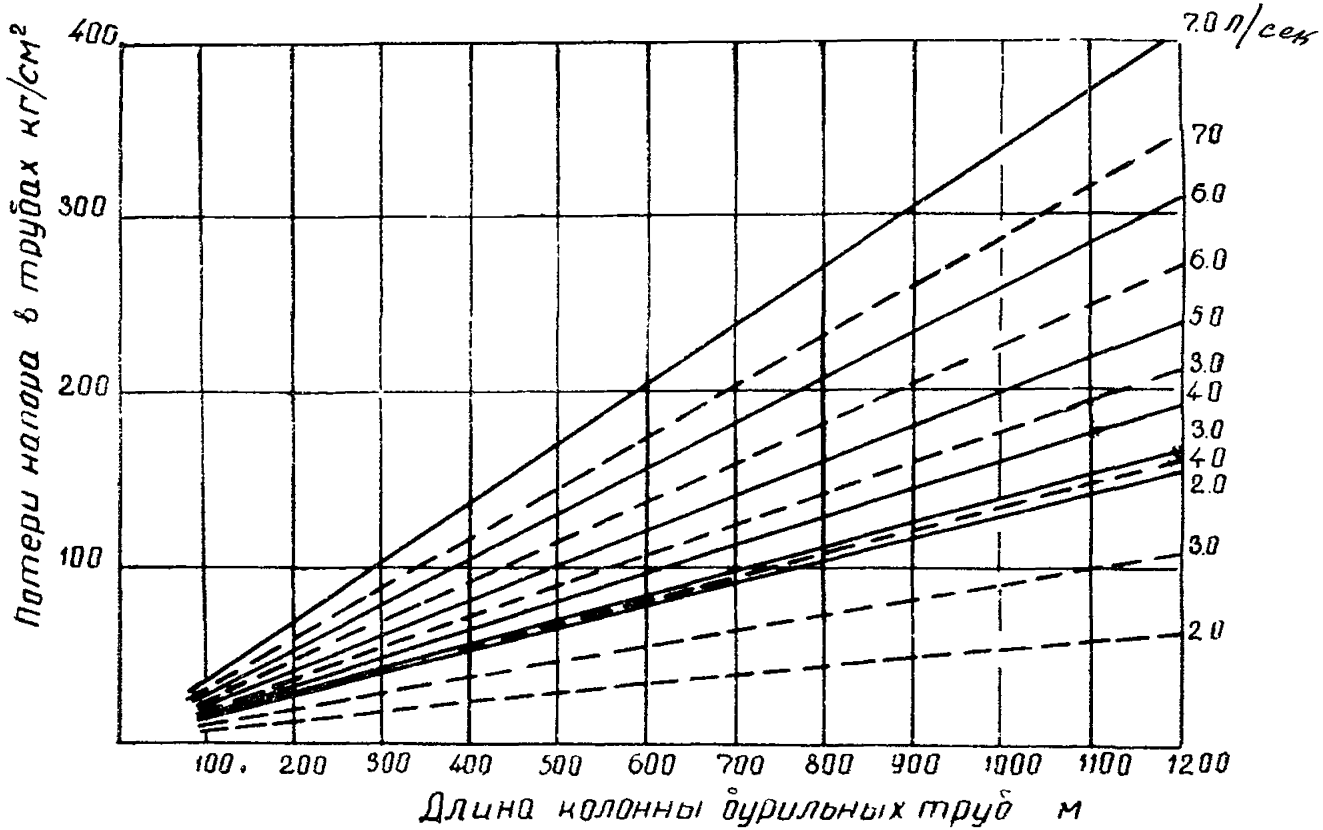


Рис. 17. Потери давления в колонне бурильных труб диаметром 50 *мм* при движении тампонажной смеси:

_____ без наполнителя; ___ ___ ___ с наполнителем

ницаемого горизонта и удельного веса нагнетаемой тампонажной смеси.

При закачке тампонажной смеси в зависимости от производительности насоса нагнетание может происходить или в режиме безнапорного неустановившегося движения, или в режиме напорного установившегося движения.

При безнапорном движении тампонажная смесь распространяется в поглощающем горизонте неравномерно, что ведет к дополнительному ее расходу. Во всех случаях необходимо стремиться по возможности сократить время безнапорного движения и, поэтому производить нагнетание в основном при напорном движении. С этой целью возможно: увеличить производительность нагнетания, увеличить вязкость смеси, уменьшить мощность тампонируемого участка ствола скважины.

На основании опыта производства изоляционных работ способом нагнетания тампонажной смеси рекомендуется следующий рациональный режим закачки: производительность нагнетания порядка 4 *л/сек;* при завершении нагнетания производительность в два-три раза меньше.

Для наглядности и удобства использования, вышеизложенная методика расчета всех параметров изоляции проницаемых горизонтов в одиночных скважинах сведена в табл. 3.

Таблица 3

МЕТОДИКА

расчета параметров изоляции трещиноватых поглощающих горизонтов в скважинах

Этапы расчета	Расчетные формулы
I. Параметры трещиноватости поглощающего горизонта	
1. Скважность (трещинная пустотность) — $m_т$	$m_т = \frac{1}{577{,}9}\sqrt[3]{\frac{K^1 \mu b \lg R_к/R_c}{M}}$
2. Проницаемость системы трещин K_{11} и K_{22}	$\begin{cases} K_{пр} = \sqrt{K_{11} \cdot K_{22}} \cong \frac{Q\mu \ln \frac{R_к}{R_c}}{2\pi M \Delta P} \\ \varepsilon = \sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}} \end{cases}$
3. Среднее раскрытие трещин δ	$\delta = 4{,}83\sqrt{\frac{K_{пр}}{m_т^{2,1}}}$

Этапы расчета	Расчетные формулы
II. Параметры изоляционной перемычки	
1. Необходимые размеры изоляционной перемычки R_{11} и R_{22}	$R=\frac{\alpha\delta(P_c-P_к)}{2P_m}$
2. Объем тампонажной смеси для формирования изоляционной перемычки	$V=\pi R^2 M\cdot m_т$ $V=\pi R_{11}\cdot R_{22}\cdot M\cdot m_т$
III. Режим нагнетания тампонажной смеси	
1. Расход нагнетания — Q	задается
2. Давление нагнетания — $P_н$	$P_н=\Delta P_м+\Delta P_т+\Delta P_с+\Delta P_{пл}+P_к-P_г$

Приведенные в табл. 3 формулы имеют следующие обозначения:

K^1 — удельная приемистость поглощающего горизонта;
μ — динамическая вязкость;
b — объемный коэффициент;
$R_к$; R_c — радиус влияния и радиус скважины;
M — мощность проницаемого горизонта;
$K_{пр}$ — коэффициент проницаемости;
K_{11}; K_{22} — проницаемость систем трещин;
Q — расход жидкости;
ΔP — перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт»;
ε — коэффициент трещинной анизотропии;
P_m — пластическая прочность тампонажной смеси;
α — коэффициент запаса прочности;
$\Delta P_м$ — потери давления в манифольдной линии;
$\Delta P_т$ — потери давления в колонне бурильных труб;
$\Delta P_{пл}$ — потери давления в поглощающем горизонте;
$P_к$ — пластовое давление;
$P_г$ — гидростатическое давление столба тампонажной смеси.

Для упрощения и ускорения расчета небходимого количества тампонажной смеси для изоляции трещиноватых поглощающих горизонтов на основании характеристик, определенных расходометрией, разработана специальная номограмма. Общий вид номограммы и ключ для ее использования представлены на рис. 18.

Для определения необходимого количества тампонажной смеси по номограмме необходимо знать расход жидкости при расходометрии Q, мощность проницаемого горизонта M, глубину залегания проницаемого горизонта, положение статического и динамического уровней жидкости в скважине.

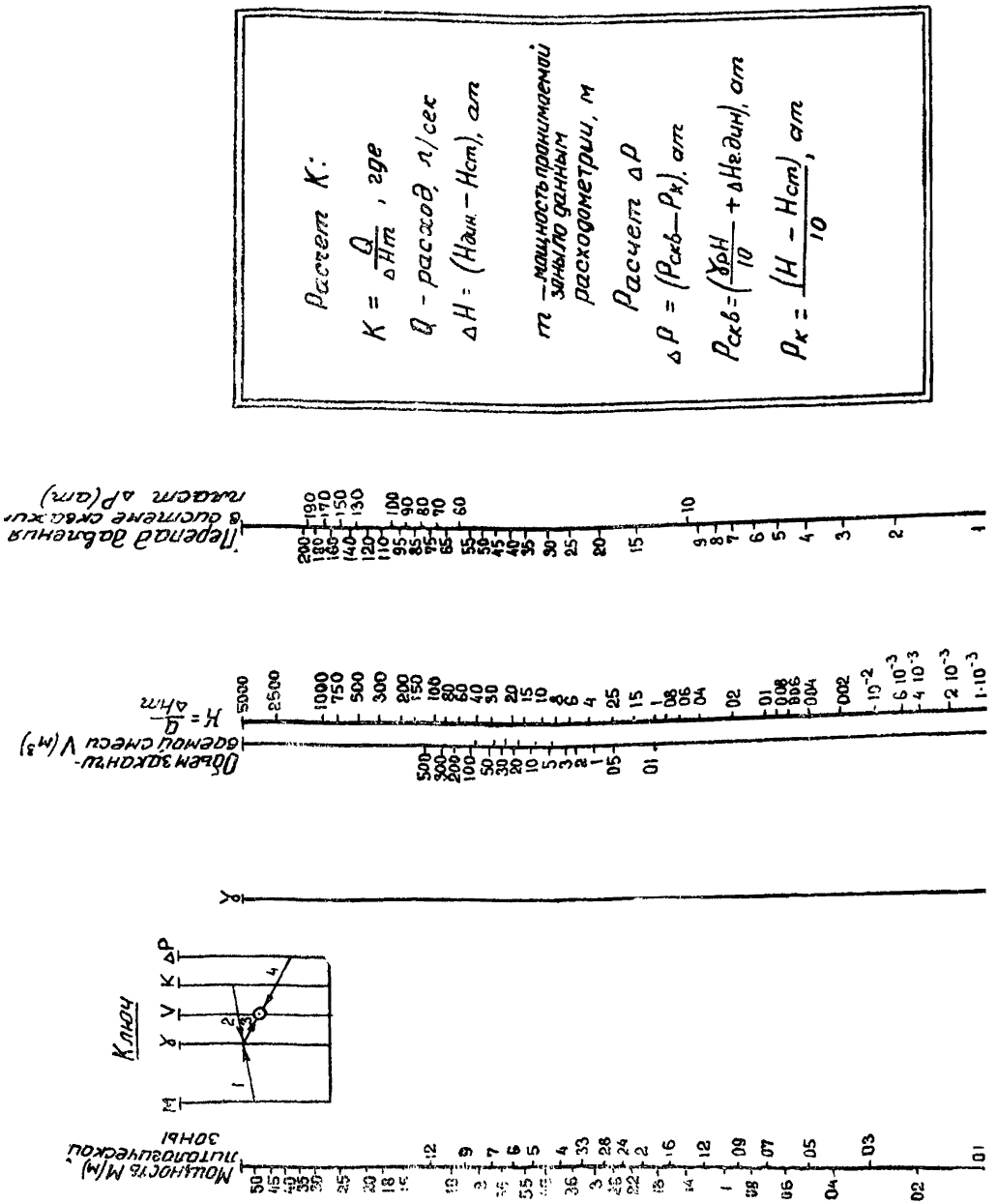


Рис. 18. Номограмма для расчета необходимого объема тампонажной смеси

На основании указанных данных по приведенным на номограмме формулам рассчитывается коэффициент К и перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт».

Пользуясь величинами К, ΔР и М, определяется по номограмме необходимый объем смеси V. Для этого фиксируется на шкале К его рассчитанное значение, на шкале М величина мощности, а на шкале ΔР — рассчитанная величина перепада давления. При соединении зафиксированных значений К и М прямой пересекается немая шкала γ.

Соединяя точку пересечения на шкале γ с зафиксированным значением ΔР прямой линией, находится пересечение со шкалой V, показывающее необходимый объем тампонажной смеси.

в) Пример расчета изоляционной завесы вокруг ствола скважины

Для обоснования возможности эффективного применения рекомендуемой методики, приводятся характерные примеры расчета изоляционных завес, применительно к изоляционным работам с целью ликвидации поглощений промывочной жидкости при бурении разведочных скважин в условиях Донбассантрацитовского управления МУП УССР.

Скважина № 3043. По данным исследований скважины расходомером ДАУ-3М, результаты которых приведены на рис. 19, выявлена зона ухода жидкости в интервале 252,0—252,8 *м*. Проницаемый горизонт представлен песчаником, имеющим мощность 11,8 м. Расходометрия проводилась при нагнетании воды с избыточным давлением на устье скважины 5,0 *кГ/см*^{2}, при этом интенсивность ухода жидкости составила 0,50 *л/сек*.

1. Расчет параметров трещиноватости проницаемого горизонта.

1) Скважность определяется по формуле (3) при следующих значениях составляющих компонентов.

$K^1 = \frac{Q}{\Delta P}$ — удельная приемистость проницаемого горизонта, *м*^{3}*/сутки·ат;*

Q — интенсивность ухода жидкости по данным расходометрии 43,2 *м*^{3}*/сутки*;

ΔР — перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт», 13,2 *кГ/см*^{2};

μ — динамическая вязкость для воды, при t=20°С равна 1 спз;

b — объемный коэффициент, согласно справочным руководствам гидрогеологов принят равным 1,0;

$R_к$ — радиус влияния, согласно справочным руководствам принят равным 175 *м;*

$R_с$ — радиус скважины, по данным кавернометрии 0,039 *м;*

М — мощность проницаемой зоны в скважине, по данным расходометрии М=0,8 *м*.

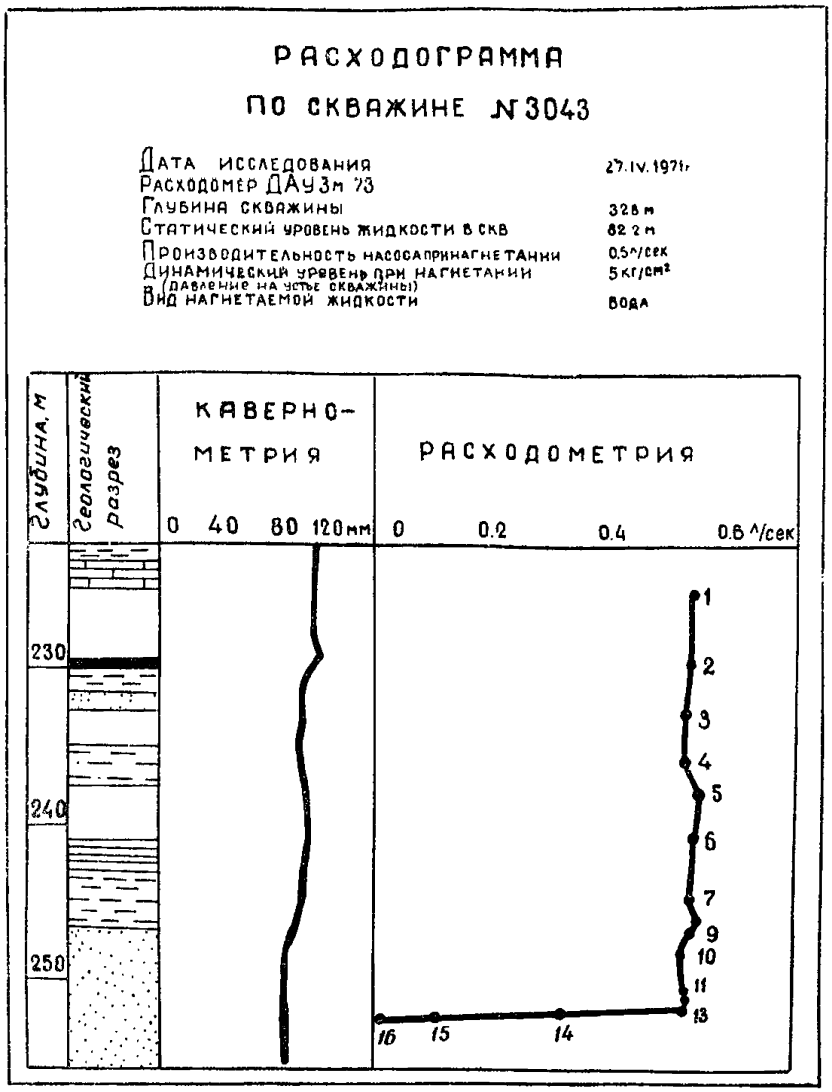


Рис. 19. Расходограмма по скважине № 3043

Из приведенных условий скважность рассчитывается из условия.

$$m_т = \frac{1}{577{,}9}\sqrt[3]{\frac{43{,}2\cdot 1{,}0\cdot 1{,}0\cdot \lg 175/0{,}039}{13{,}2\cdot 0{,}8}} = 0{,}42\cdot 10^{-2}$$

2) Проницаемость основных систем трещин определяется по формуле (4) при следующих значениях составляющих компонентов

Q— интенсивность ухода жидкости по данным расходометрии, $0{,}50\times 10^{-3}$ $м^3/сек$;

μ— динамическая вязкость для воды, при t=20°C, раняется $1\cdot 10^{-3}$ $\frac{н\cdot сек}{м^2}$;

$R_к$— радиус влияния, принимается равным 175 *м;*
$R_с$— радиус скважины, по данным кавернометрии 0,039 *м;*
M— мощность проницаемой зоны, по данным расходометрии равна 0,8 *м*;
ΔP— перепад давления в системе «скважина — проницаемый горизонт» при исследованиях равен

$13{,}2\times10^5 \ \frac{н}{м^2}$;

Для приведенных условий коэффициент проницаемости рассчитывается по условию

$$K_{пр}=\frac{0{,}50\cdot10^{-3}\cdot1{,}0\cdot10^{-3}\cdot\ln 175/0.039}{2\cdot3{,}14\cdot0{,}8\cdot13.2\cdot10^5}=0{,}63\cdot10^{-12}\ м^2$$

Приняв для характеристики трещинной проницаемости $\varepsilon=0{,}3$ и решая совместно следующие уравнения

$$\sqrt{K_{11}\cdot K_{22}}=0{,}63\cdot10^{-12}$$

$$\sqrt{\frac{K_{11}}{K_{22}}}=0{,}3,$$

найдем коэффициент проницаемости каждой системы трещин:

$$K_{22}=2{,}10\cdot10^{-12}\ м^2 \quad \text{и} \quad K_{11}=0{,}19\cdot10^{-12}\ м^2$$

3) Раскрытие трещин определяется по формуле (5), исходя из проницаемости каждой системы трещин

$$\delta_{22}=4{,}83\sqrt{\frac{2{,}10\cdot10^{-12}}{(0{,}42\cdot10^{-2})^{2{,}1}}}=1{,}60\cdot10^{-3}\ м$$

$$\delta_{11}=4{,}83\sqrt{\frac{0{,}19\cdot10^{-12}}{(0{,}42\cdot10^{-2})^{2{,}1}}}=0{,}50\cdot10^{-3}\ м$$

II. Расчет необходимых размеров изоляционной завесы вокруг ствола скважины в интервале проницаемого горизонта и объема тампонажной смеси для ее формирования:

1) Размеры изоляционной завесы определяются исходя из прочности тампонажной смеси и максимальных перепадов давления по формулам (10) и (11).

Для создания изоляционной завесы вокруг ствола скважины используется глиноцементная тампонажная смесь без наполнителя, приготовляемая на глинистом растворе с γ—1,18 *г/см*^{3} путем добавления 100 *кг/м*^{3} цемента и 5 *кг/м*^{3} жидкого стекла. Такая тампонажная смесь, согласно табл. 2, через 2 часа времени стабилизации имеет $P_m=52{,}5$ *г/см*^{2}.

Максимальное давление на изоляционную завесу со стороны стенок скважины слагается из гидростатического давления столба жидкости в скважине с $\gamma=1{,}15$ *г/см*^{3}.

$$P_{ст} = \frac{\gamma H}{10} = \frac{1{,}15 \cdot 258{,}2}{10} = 29{,}7 \ кг/см^2$$

и гидродинамического давления, которое, согласно графику на рис. 15 при диаметре скважины 78 мм, равняется 58,0 $кГ/см^2$. Таким образом,

$$P_c = 29{,}7 + 58{,}0 = 87{,}7 \ кг/см^2$$

Пластовое давление, согласно отметке статического уровня жидкости в скважине, $P_к = 17{,}6 \ кГ/см^2$.

В результате размеры изоляционной завесы вокруг ствола скважины будут характеризоваться согласно формулам (10) и (11) величинами:

$$R_{22} = \frac{2 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-3} (87{,}7 - 17{,}6)}{5{,}25 \cdot 10^{-3}} = 4{,}5 \ м$$

$$R_{11} = \frac{2 \cdot 0{,}50 \cdot 10^{-3} (87{,}7 - 17{,}6)}{5{,}25 \cdot 10^{-3}} = 1{,}40 \ м$$

2) Объем тампонажной смеси для формирования изоляционной завесы определяется по формуле (12).

$$V = 3{,}14 \cdot 4{,}5 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}42 \cdot 10^{-2} \cdot 11{,}8 \cong 1{,}0 \ м^3$$

Следовательно, для формирования изоляционной завесы необходимо 1,0 $м^3$ тампонажной смеси.

5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

а) Технологические схемы закачки тампонажной смеси в скважины

Закачка тампонажной смеси в скважину для нагнетания в поглощающий горизонт в зависимости от глубины залегания поглощающих горизонтов, их характеристики и количества, а также наличия оборудования может быть произведена по одной из следующих четырех технологических схем (рис. 20).

Первая технологическая схема — закачка тампонажной смеси по стволу скважины с загерметизированным устьем. Рекомендуется для закачки смеси в скважины, вскрывшие поглощающий горизонт на небольшой глубине (до 150—200 *м*).

Вторая технологическая схема — закачка тампонажной смеси в скважину с загерметизированным устьем по колонне бурильных труб. При закачке тампонажной смеси в скважину по этой схеме загрязнение ствола и потери смеси будут несколько меньше, чем при закачке по первой схеме. Однако при наличии в скважине нескольких проницаемых горизонтов, залегающих выше горизонта, подлежащего изоляции, будет происходить не только заполнение ствола

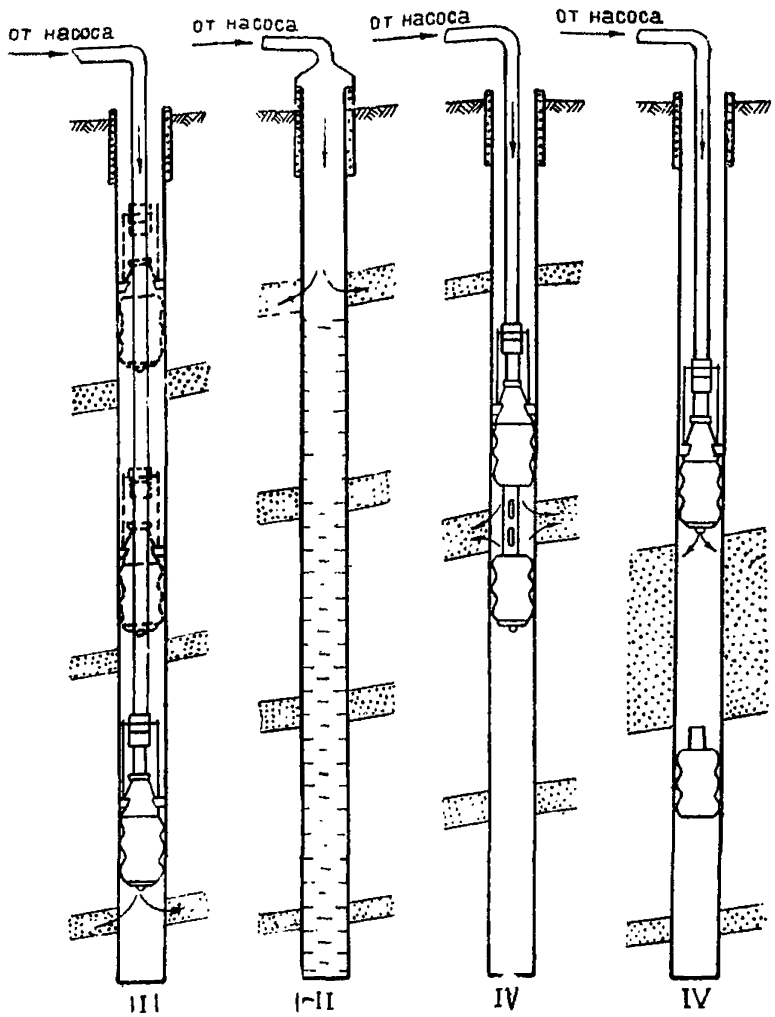


Рис. 20. Технологические схемы закачки тампонажной смеси в проницаемый горизонт под давлением

скважины смесью, но и нагнетание смеси в эти горизонты. В этом случае потери тампонажной смеси будут весьма значительны.

Вторая технологическая схема рекомендуется для изоляции зон поглощения, залегающих на больших глубинах в скважинах, не пересекающих ранее значительные проницаемые горизонты.

Третья технологическая схема — закачка тампонажной смеси в скважину с открытым устьем по колонне бурильных труб при перекрытом выше кровли поглощающего горизонта стволе скважины с целью изоляции зоны поглощения, находящейся в нижней части скважины.

Закачка тампонажной смеси по третьей схеме позволяет нагнетать смесь только в подлежащий изоляции проницаемый горизонт. При этом обеспечивается минимальное заполнение ствола скважины тампонажной смесью.

Третья технологическая схема может быть использована при наличии технических средств для временного перекрытия ствола скважины во всех случаях изоляции поглощающих горизонтов находящихся в нижней части скважины и, в первую очередь, для изоляции поглощающих горизонтов в глубоких скважинах. По сравнению с предыдущими, третья технологическая схема закачки позволяет значительно повысить эффективность изоляционных работ.

Четвертая технологическая схема — закачка тампонажной смеси через колонну бурильных труб в полностью изолированный в скважине проницаемый горизонт. Изоляция поглощающего промывочную жидкость интервала ствола скважины производится путем установки в его почве и кровле съемных пакерующих устройств.

Четвертая технологическая схема позволяет осуществлять нагнетание тампонажной смеси под давлением только в один проницаемый горизонт, который может быть расположен в любой части скважины. По сравнению с предыдущим эта схема закачки позволяет производить изоляционные работы наиболее эффективно, являясь наиболее совершенной, универсальной и экономичной. Однако технические средства для обеспечения двухсторонней изоляции проницаемого горизонта в скважине значительно сложнее в эксплуатации, чем техническими средствами для перекрытия ствола скважины только в его кровле. Поэтому наибольшее распространение в практике ведения изоляционных работ по борьбе с поглощениями промывочной жидкости получила третья технологическая схема.

б) Технология проведения закачек тампонажных смесей под давлением

Для проведения расходометрии и производства изоляционных работ методом нагнетания необходимо уже в период забурки скважины обеспечить возможность закачки в скважину жидкостей под давлением. Для этого устье скважины оборудуется кондуктором, имеющим на верхнем конце исправную резьбу. Затрубное пространство кондуктора надежно цементируется.

При вскрытии скважиной поглощающего горизонта изоляционные работы рекомендуется производить, как правило, после полного его пересечения и проведения гидродинамических исследований.

Для обеспечения надежной изоляции поглощающего горизонта с минимальными затратами средств и времени комплекс работ, связанных с изоляцией зоны поглощения в скважине, выполняется в следующей последовательности:

1. Монтаж оборудования для нагнетания смеси и приготовление тампонажной смеси.

2. Закачка тампонажной смеси по одной из описанных выше технологических схем.

3. Выдержка загерметизированного ствола скважины в течение времени, необходимого для полного снятия остаточного давления.

4. Проверка качества изоляционных работ путем опрессовки скважины.

5. Демонтаж оборудования, использовавшегося для нагнетания тампонажной смеси.

6. Выдержка открытого ствола скважины в статическом состоянии в течение 1—2 час. с целью упрочения структуры тампонажной смеси и увеличения устойчивости изоляционной завесы.

7. Очистка ствола скважины от тампонажной смеси с помощью бурового насоса.

При применении первой технологической схемы нагнетания характер и последовательность выполнения работ следующие.

На прилегающей к буровой вышке территории устанавливается нагнетательный агрегат. К резьбовой части кондуктора подсоединяется переходник, который, в свою очередь, соединяется с нагнетательным трубопроводом насоса цементировочного агрегата. В случаях невозможности использования переходника, применяется приустьевой пакер, позволяющий перекрывать кольцевое пространство между кондуктором и нагнетательным патрубком за счет сжатия упругих манжет. Затем приготовляется тампонажная смесь и производится ее нагнетание в скважину в заданном количестве. Герметизация устья скважины позволяет прокачивать тампонажную смесь с необходимым давлением по стволу скважины к зоне поглощения и нагнетать ее в трещины зоны. После окончания изоляционных работ ствол скважины очищается от заполняющей его смеси.

При закачке смеси по второй технологической схеме в скважину опускается колонна бурильных труб с таким расчетом, чтобы ее нижний конец находился на уровне кровли поглощающего горизонта или несколько выше. На верхний конец колонны навинчивается тройной переходник, который затем соединяется при помощи резьбы с кондуктором. В результате устье скважины герметизируется. После этого к тройному переходнику подсоединяется нагнетательная линия насоса и осуществляется закачка тампонажной смеси в скважину. Вместо тройного переходника может быть использован также приустьевой пакер. В этом случае к нижней части приустьевого пакера присоединяется нагнетательная колонна бурильных труб, а к верхней — нагнетательная линия насоса. При такой схеме изоляции тампонажная смесь непосредственно из колонны бурильных труб поступает в интервал поглощающего горизонта и под давлением нагнетается в каналы поглощения. После окончания формирования изоляционной перемычки ствол скважины также очищается от тампонажной смеси.

При закачке смеси по третьей технологической схеме в скважину на колонне бурильных труб с помощью бурового станка опускается пакерующее устройство, которое устанавливается на 3—5 *м* выше кровли поглощающего горизонта, изолируя нижнюю часть ствола скважины. После установки пакера на верхний конец опущенной в скважину колонны бурильных труб устанавливается переходник, с помощью которого к колонне подсоединяется нагнетательная линия

насоса цементировочного агрегата, и осуществляется нагнетание. После окончания работ по формированию изоляционной перемычки, пакер освобождается и поднимается из скважины. Нижняя часть скважины очищается от тампонажной смеси.

Для закачки смеси по четвертой технологической схеме с помощью колонны бурильных труб опускаются и устанавливаются пакерующие устройства, затем к верхнему концу колонны бурильных труб подсоединяется нагнетательная линия насоса цементировочного агрегата и осуществляется закачка под давлением. После закачки пакерующие устройства извлекаются с помощью той же колонны бурильных труб и бурение скважины продолжается.

Проведение работ, непосредственно связанное с приготовлением и закачкой тампонажной смеси по описанной технологии, рекомендуется осуществлять с применением следующего комплекса технических средств.

Для приготовления и периодической закачки тампонажных смесей необходим только цементировочный агрегат ЦА-320М, при непрерывной закачке тампонажных смесей применяется ЦА-320М и смеситель СМН-20. Для подачи жидкого стекла в нагнетаемую тампонажную смесь используется инъектор. Для перекрытия устья ствола скважины применяются двойной или тройной переходник, для изоляции нижней части скважины — механическое пакерующее устройство ДАУ-1, для двухсторонней изоляции проницаемого горизонта — двойной механический пакер.

Контроль процесса нагнетания производится путем регистрации давления в нагнетательной линии с помощью манометров и регистрации количества закачанной тампонажной смеси. Наиболее удобно контроль за процессом нагнетания осуществлять с помощью станции контроля цеметирования СКЦ-2М, обеспечивающей в процессе закачки непрерывную автоматическую регистрацию следующих основных технологических параметров нагнетания:

а) мгновенного расхода тампонажной смеси;

б) давления нагнетания на устье скважины;

в) плотности закачиваемой тампонажной смеси;

г) объема закачиваемой тампонажной смеси.

Кроме того, станция СКЦ-2М дает возможность с помощью блока-интегратора фиксировать конец закачки расчетного количества тампонажной смеси для изоляции данного поглощающего горизонта и выдавать сигнал об окончании нагнетания.

Установка, обвязка и подключение используемого в процессе закачки тампонажной смеси оборудования производится по одной из схем, представленных на рис. 21 и на рис. 22.

Как видно из приведенных рисунков, применяемые схемы расположения оборудования позволяют осуществлять или периодическую, или непрерывную закачку тампонажной смеси. В первом случае смесь приготовляется порциями в различных емкостях и каждая порция закачивается в скважину. Во втором случае приготовление

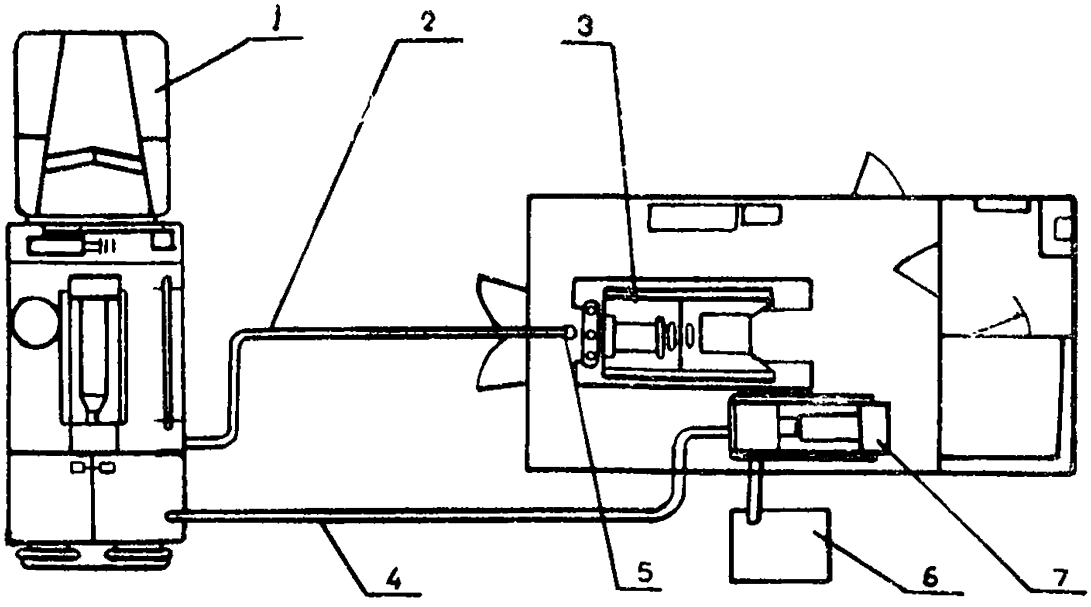


Рис. 21. Схема расположения оборудования при порционной закачке тампонажной смеси:
1 — цементировочный агрегат; *2* — нагнетательная линия цементировочного агрегата; *3* — буровой станок; *4* — нагнетательный шланг бурового насоса; *5* — устье скважины; *6* — зумпф с глинистым раствором; *7* — буровой насос

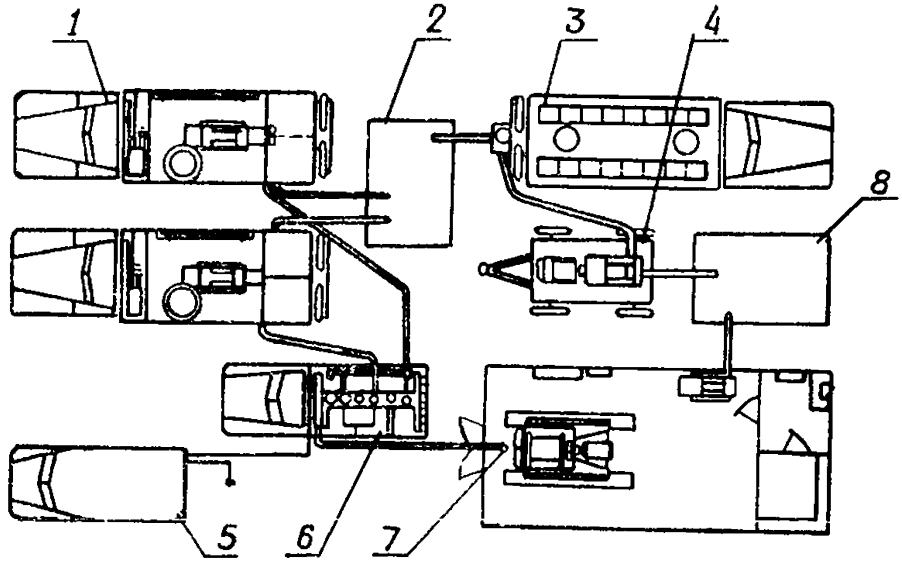


Рис. 22. Схема расположения оборудования при непрерывной закачке тампонажной смеси:
1 — цементировочные агрегаты, *2* — емкость для тампонажной смеси, *3* — смесительная машина, *4* — насосная установка, *5* — станция контроля параметров нагнетания, *6* — агрегат с датчиками станции контроля нагнетания, *7* — устье скважины, *8* — зумпф с глинистым раствором

смеси осуществляется с помощью смесителя СМН-20 при одновременной непрерывной закачке ее в скважину.

Порционная закачка смеси более проста, и, поэтому при незначительных объемах закачиваемой смеси наиболее рациональна, особенно при бурении разведочных скважин. Причем порционный способ может быть применен для приготовления смесей и с наполнителем, и без наполнителя.

Тампонажная смесь с наполнителем приготовляется в мерных баках агрегата ЦА-320М путем перемешивания древесных опилок и тампонажного цемента с глинистым раствором. Приготовленная порция тампонажной смеси закачивается в скважину насосом цементировочного агрегата.

Тампонажная смесь без наполнителя обладает очень высокими структурно-механическими свойствами благодаря повышенному содержанию цемента и дополнительному введению жидкого стекла. Поэтому приготовление тампонажной смеси без наполнителя по изложенной выше технологии не производится, так как насос не в состоянии перекачивать тампонажные смеси, обработанные жидким стеклом в процессе их приготовления.

Приготовление и закачку тампонажных смесей без наполнителей рекомендуется производить по специально разработанной технологии, основанной на введении жидкого стекла в смесь глинистого раствора и цемента в процессе закачки с помощью специального устройства — инъектора. Это устройство позволяет вводить необходимое количество жидкого стекла в коллектор работающего насоса.

При порционной закачке тампонажная смесь без наполнителя приготовляется следующим образом. В мерные емкости ЦА-320М или в специальную емкость объемом 1,5—2 $м^3$ заливается глинистый раствор и затем засыпается необходимое количество тампонажного цемента. Перемешивание цемента с глинистым раствором осуществляется струей глинистого раствора, создаваемой насосом цементировочного агрегата 9Т через сливной шланг. После интенсивного перемешивания глинистого раствора с цементом в емкости, осуществляется закачка смеси в скважину. Для этого переключается трехходовой кран насоса и смесь направляется в нагнетательную магистраль. Одновременно в тампонажную смесь вводится жидкое стекло, как это показано на рис. 23. Жидкое стекло перемешивается со смесью при совместном движении через гидравлическую систему насоса и колонну бурильных труб и только к моменту внедрения смеси в проницаемый горизонт начинает оказывать сильное структуро-образующее действие.

Непрерывная закачка тампонажной смеси, осуществляемая в соответствии с представленной на рис. 22 схемой, позволяет значительно улучшить условия формирования изоляционной перемычки и сократить затраты времени на производство изоляционных работ. Однако для осуществления непрерывной закачки смеси требуется дополнительное оборудование для непрерывного смешивания гли-

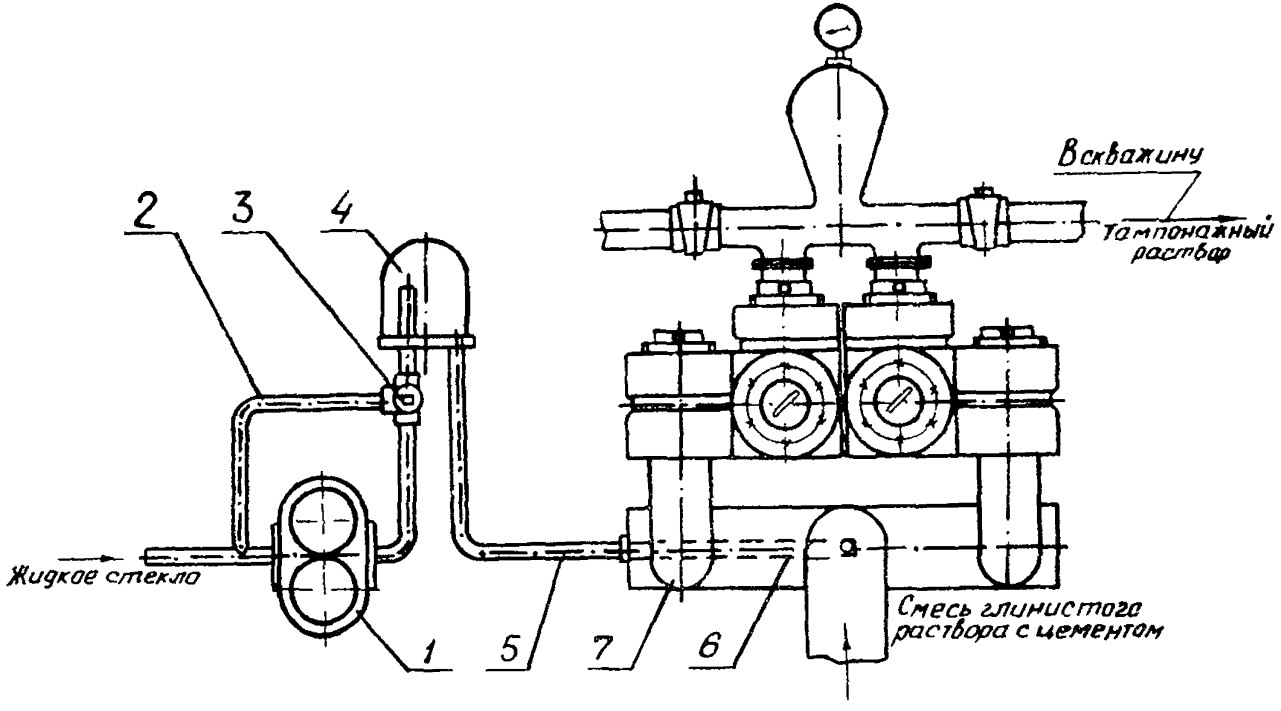


Рис. 23. Схема введения жидкого стекла в тампонажную смесь при закачке:
1 — шестеренчатый насос; *2* — отводной патрубок; *3* — трехходовой кран; *4* — стеклянный колпачок; *5* — нагнетательный патрубок; *6* — перфорированная насадка; *7* — коллектор нагнетательного насоса

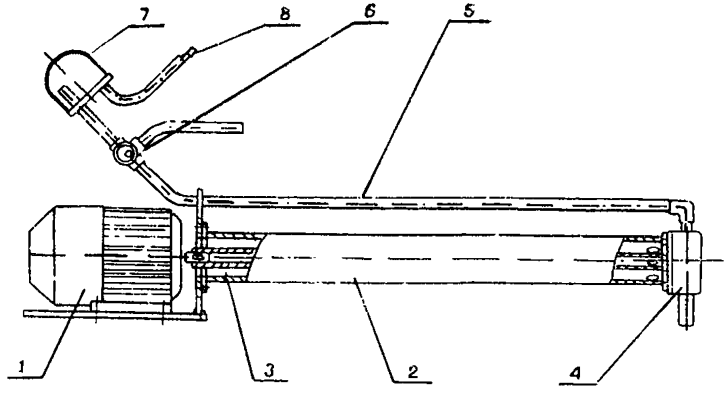


Рис. 24. Устройство для введения жидкого стекла в тампонажную смесь при закачке:
1 — электродвигатель; *2* — соединительная труба; *3* — трубчатый вал; *4* — шестеренчатый насос; *6* — трехходовой кран; *7* — стеклянный колпачок; *8* — штуцер для соединения с нагнетательным шлангом.

нистого раствора с цементом, что усложняет организацию работы. Поэтому непрерывная закачка тампонажной смеси может быть рекомендована для ликвидации катастрофических поглощений, требующих затрат большого количества тампонажных материалов.

При непрерывной закачке тампонажной смеси может быть применена следующая технологическая схема. Глинистый раствор подается в смесительную машину СМН-20 с помощью насоса 9ГР. В результате осуществляется непрерывное приготовление смеси глинистого раствора с цементом, которая сливается в специально установленную емкость. Одновременно, приготовленная смесь нагнетается в скважину насосом 9Т цементировочного агрегата ЦА-320М. При этом осуществляется введение жидкого стекла во всасывающий коллектор насоса 9Т с помощью специального устройства. Таким образом, производится непрерывная закачка заданного количества тампонажной смеси.

6. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ

а) Технические средства для приготовления и закачки тампонажной смеси

Для приготовления и закачки тампонажной смеси в скважину под давлением в основном используется серийно выпускаемое оборудование: цементировочный агрегат ЦА-320М и смесительная машина СМН-20. При закачке тампонажной смеси без наполнителя дополнительно используется специальное устройство для по-

дачи жидкого стекла в коллектор нагнетательного насоса — инъектор (рис. 24).

Цементировочные агрегаты по своим техническим возможностям наиболее полно удовлетворяют условиям производства изоляционных работ в геологоразведочных скважинах методом нагнетания тампонажной смеси под давлением. Опыт работы показал, что тампонажные смеси на глинистой основе целесообразно закачивать с помощью цементировочного агрегата ЦА-320М.

Цементировочный агрегат ЦА-320М смонтирован на шасси автомобиля КРАЗ-219 с двигателем ЯАЗ-М206А. На раме шасси автомобиля смонтировано следующее оборудование: поршневой насос 9Т, трехплунжерный насос 1В, двигатель ГАЗ-51 для привода насоса 1В, замерный бак, трубы и шарниры гибкого металлического шланга.

Техническая характеристика агрегата ЦА-320М

Поршневой насос 9Т:	
величина хода поршня, *мм*	250
диаметр хода втулок, *мм*	90, 100, 115, 127
диаметры сменных втулок, *мм*	100
диаметр нагнетательной трубы, *мм*	50
Водяной насос 1В:	
максимальная производительность, *л/сек.*	13
скорость вращения коленчатого вала, *об./мин.*	140
величина хода плунжера, *мм*	170
диаметр плунжера, *мм*	125
количество плунжеров	3
максимальное давление, *кГ/см²*	15
диаметр всасывающей трубы, *мм*	100
диаметр нагнетательной трубы, *мм*	50
объем замерного бака, *м³*	6,4
вес агрегата (с автомобилем), *кг*	17085

Режим работы насоса 9Т приведен в табл. 4.

Цементо-смесительные машины могут быть успешно использованы для приготовления тампонажной смеси, если вместо воды в смесительное устройство нагнетать глинистый раствор. Цементо-смесительная машина СМН-20 смонтирована на шасси автомашины КРАЗ-219; состоит из бункера емкостью 20 *т*, оборудованного механизмами для подачи цемента и смесительного устройства. Производительность машины 0,8—1,6 *м³/мин.*

Устройство для введения жидкого стекла в тампонажную смесь (рис. 24) изготовляется на базе шестеренчатого насоса типа НШ необходимой производительности. При производстве изоляционных работ могут быть использованы инъекторы с погружным насосом и с насосом, смонтированным вместе с двигателем на общей раме. Инъектор с погружным насосом работает более устойчиво и, поэтому, использование его предпочтительнее.

Таблица 4

РЕЖИМ РАБОТЫ НАСОСА 9Т

	Число оборотов в мин.	Включен. скорость	Число двойных ходов насоса в *мин.*	Диаметр втулок, *мм*							
				90		100		115		127	
				производит. *м³/мин.*	давление *кГ/см²*	производит. *м³/мин.*	давление *кГ/см²*	производит. *м³/мин*	давление *кГ/см²*	производит. *м³/мин.*	давление *кГ/см²*
На максимальную производительность	2000	2	28	0,143	390	0,182	305	0,247	225	0,306	182
	2000	3	54	0,276	202	0,350	159	0,475	117	0,590	95
	2000	4	97	0,495	113	0,627	88	0,855	65	1,060	52
	2000	5	125	0,640	87	0,811	69	1,100	50	1,370	40
На максимальное давление	1880	2	27	0,138	400*	0,175	320*	0,238	230*	0,296	185*
	1500	3	41	0,210	231	0,266	182	0,362	134	0,447	109
	1500	5	94	0,480	102	0,610	80	0,830	59	1,030	47
	1500	4	73	0,372	130	0,472	103	0,644	75	0,800	61

* При этих давлениях допустима кратковременная работа.

При закачке смеси инъектор погружается нижней частью в бочку с жидким стеклом. Штуцер нагнетательного патрубка с помощью шланга высокого давления соединяется со штуцером, вмонтированным в коллектор насоса. Схема соединения инъектора с насосом представлена на рис. 23.

Привод шестеренчатого насоса *4* осуществляется от электродвигателя *1* с помощью трубчатого вала *3*. При работе шестеренчатого насоса жидкое стекло нагнетается по нагнетательному патрубку *5* с постоянной производительностью, обусловленной технической характеристикой шестеренчатого насоса при определенной скорости вращения двигателя. Регулирование подачи жидкого стекла в тампонажную смесь, в соответствии с технологией ее приготовления, осуществляется с помощью трехходового крана *6*. Меняя положение крана, устанавливается необходимое соотношение между подаваемым количеством жидкого стекла в тампонажную смесь и возвращаемым количеством обратно в емкость через сливной патрубок. Стеклянный коллектор *7* установлен для наблюдения за режимом движения подаваемого жидкого стекла в тампонажную смесь.

б) Технические средства для перекрытия ствола скважины

Для нагнетания тампонажной смеси в проницаемый горизонт необходимо обеспечить избыточное давление на стенки ствола скважины. При закачках тампонажной смеси избыточное давление обеспечивается путем перекрытия ствола скважины выше проницаемого горизонта с помощью съемных пакерующих устройств на период производства изоляционных работ.

При проведении закачек по первой и второй технологическим схемам используются переходники, устанавливаемые на устье скважины с помощью резьбовых соединений или съемные приустьевые пакерующие устройства, устанавливаемые в верхней части кондуктора. Принцип действия съемных приустьевых пакерующих устройств основан на сжатии упругих элементов в кольцевом зазоре между нагнетательной трубой и внутренней поверхностью кондуктора за счет винтовых систем, приводимых в действие на поверхности.

При проведении закачек по третьей технологической схеме ствол скважины перекрывается на любой заданной глубине с помощью съемных механических пакерующих устройств типа ДАУ-1. Разработан нормальный ряд механических пакеров ДАУ-1 для скважин диаметром 112, 92, 76 и 59 *мм*. Принцип действия всех механических пакеров типа ДАУ-1 одинаков, поэтому на рис. 25 приводится для примера одинарное пакерующее устройство для скважин диаметром 76 и 92 *мм*.

Пакерующее устройство состоит из упругой резиновой манжеты *4*, монтируемой на отрезке бурильной трубы *18*, конуса *8*, трех фиксирующих плашек *6*, соединенных между собой тягами *12* с под-

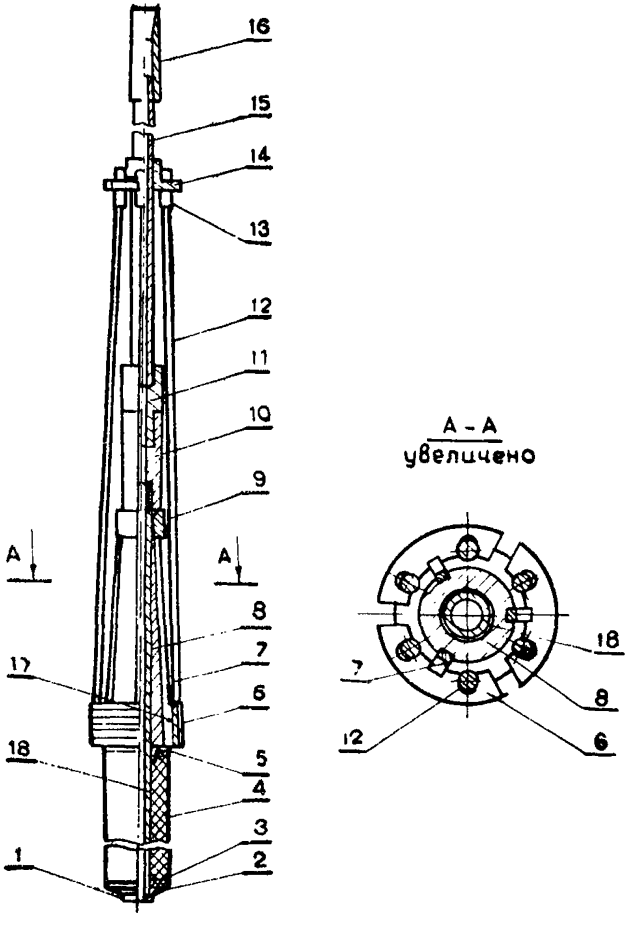


Рис. 25. Одинарное пакерующее устройство ДАУ-1:
1 — шайба упорная; *2, 5* — шайба фигурная; *3* — пробка; *4* — резиновая манжета; *6* — плашки; *7* — планки направляющие; *8* — конус; *9* — накидная гайка; *10* — муфта переходника; *11* — ниппель переходника; *12* — тяги плашек; *13* — боковые тяги; *14* — кольцо; *15* — патрубок; *16* — переходник; *17* — винты; *18* — тяга пакера.

вижным фланцем *14* и отсоединительного переходника, состоящего из двух соединенных левой резьбой частей *10* и *11*. Плашки перемещаются на конусе по направляющим планкам *7*, имеющим сечение в форме «ласточкиного хвоста» и прикрепленным винтами *17*. В крайнем нижнем положении плашки упираются в шайбу *1*, в верхнем — в накидную гайку *9*. Пакерующее устройство соединено с колонной бурильных труб переходником *16*.

Принцип установки пакерующего устройства в скважине показан на рис. 26. Устройство опускается в скважину с помощью

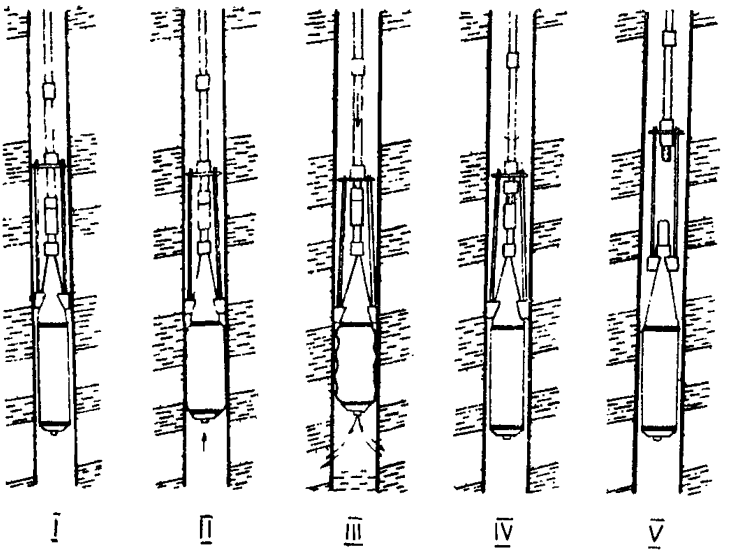


Рис. 26. Схема действия пакерующего устройства ДАУ-1.

колонны бурильных труб на нужную глубину (3—5 *м* выше кровли поглощающего горизонта). При спуске пакера плашки приподнимаются на конусе, не препятствуя движению устройства вниз (положение I).

После остановки пакера при помощи гидравлики станка производится подъем колонны бурильных труб вверх; при этом конус устройства перемещается также вверх и вдавливает плашки в стенки скважины, надежно фиксируя устройство на заданной глубине. При дальнейшем натяге инструмента, за счет перемещения внутри конуса тяги *18* и соединенных с ней упорной шайбы *1* нижней фигурной шайбы *2* и пробки *3*, начинает сжиматься упругий манжет пакера, перекрывая ствол скважины (положение II).

При окончании изоляционных работ вращением снаряда влево отвинчивают верхнюю часть отсоединителя (положение IV). За счет собственного веса конус *8* с резиновой манжетой падает вниз, освобождая плашки. Если этого не происходит, по конусу наносится легкий удар колонной бурильных труб. Подъем пакера на поверхность производится в положении, когда верхняя часть отсоединителя упирается в кольцо *14*, т. е. плашки находятся в крайнем верхнем положении (положение V).

Максимальный натяг при фиксации пакера составляет 3—4 *Т* (без учета веса бурильных труб).

К каждому пакеру прилагаются: комплект сменных плашек и набор резиновых элементов, что позволяет использовать устройство в разведочных скважинах различного диаметра.

Полная временная изоляция проницаемого горизонта на период нагнетания тампонажной смеси по четвертой технологической

схеме может быть осуществлена с помощью двойного механического пакера, представленного на рис. 27.

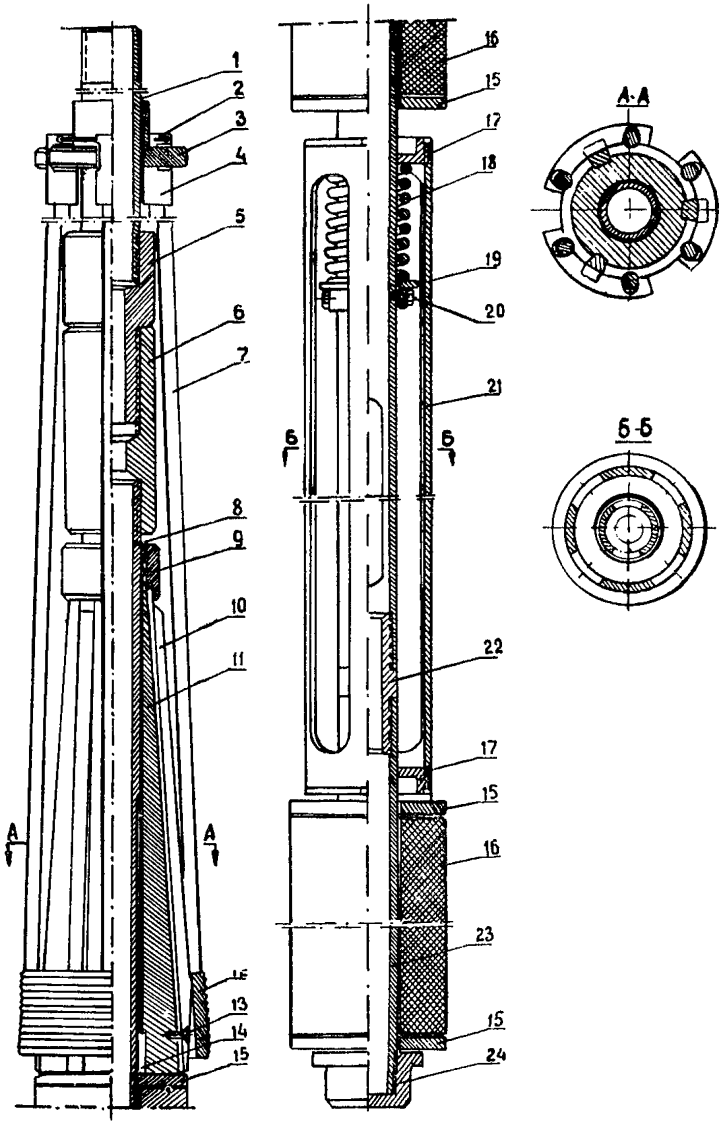


Рис. 27. Двойной механический пакер:
1 — переходник; *2* — фиксирующая проволока; *3* — кольцо; *4* — головка тяги; *5* — ниппель переходника; *6* — муфта переходника; *7* — тяги; *8* — тяги пакера; *9* — муфта; *10* — шпонки направляющие; *11* — конус; *12* — плашки; *13* — винты; *14* — шпонка; *15* — шайба; *16* — резиновая манжета; *17* — фланец; *18* — пружина; *19* — упорное кольцо; *20* — фиксатор; *21* — упорная труба; *22* — ниппель; *23* — патрубок; *24* — упорная пробка.

Двойной механический пакер состоит из двух взаимосвязанных частей: освобождающегося упорного механизма (якоря) и двойного пакерующего устройства.

Освобождающий механизм включает конус II, на котором располагаются три шпонки *10,* в сечении имеющие форму «ласточкиного хвоста», и три упорные плашки *12* с вырезами — также в форме «ласточкиного хвоста». Шпонки *10* жестко крепятся к конусу II с помощью муфты *9* и винтов *13.* Плашки *12* с помощью тяг *7* соединены с подвижным фланцем.

В проходном отверстии конуса II установлена тяга *8,* имеющая шлицевой паз, по которому может перемещаться шпонка *14.* На верхнем конце тяги *8* имеется отсоединительный переходник, состоящий из двух соединенных левой резьбой частей *5* и *6.* В свою очередь, отсоединительный переходник *1,* имеющий на обоих концах правые резьбы, соединен с колонной бурильных труб.

Двойное пакерующее устройство включает верхнюю и нижнюю резиновые манжеты *16,* заключенные между шайбами *15.* Между манжетами *16* установлена упорная труба *21* с окнами, перекрытая на концах фланцами *17.* Нижний конец тяги *8* оборудован распорным пружинным устройством, имеет окна для прохода тампонажной смеси и заканчивается ниппелем *22,* монтажным патрубком *23* и упорной пробкой *24.*

Установка двойного механического пакера в стволе скважины и его освобождение перед извлечением происходят при следующих взаимодействиях составных частей механизма.

Пакер опускается до необходимой глубины на колонне бурильных труб. При спуске пакера плашки свободно перемещаются по поверхности конуса, не препятствуя движению устройства вниз. Фиксация упорного механизма на заданной глубине осуществляется путем подъема колонны бурильных труб при помощи гидравлики бурового снаряда. При этом вместе с колонной будет подниматься конус, раздвигая и вдавливая плашки в стенки скважины. После фиксации упорного механизма при дальнейшем подъеме колонны бурильных труб тяга — труба будет перемещаться относительно конуса и, воздействуя на нижние упорные шайбы, сжимать резиновые манжеты. За счет расширения резиновых манжет под воздействием осевой нагрузки происходит перекрытие ствола скважины одновременно в двух интервалах. Распорное пружинное устройство при этом обеспечивает создание одинаковых сжимающих усилий на резиновые манжеты.

После окончания закачки тампонажной смеси в изолированный резиновыми манжетами интервал ствола скважины пакер поднимается. Для освобождения упорного механизма перед его подъемом необходимо сделать несколько оборотов колонны бурильных труб вправо. В результате отсоединительный переходник, имеющий левую резьбу, разъединится. После этого все детали, соединенные с нижней частью переходника, — тяга, конус, манжеты, упорная труба под действием силы тяжести упадут вниз. Будет происхо-

дить перемещение плашек по поверхности конуса вверх и одновременно к оси механизма. Если этого не происходит, по нижней отсоединившейся части наносится легкий удар колонной бурильных труб.

Подъем пакера производится в положении, когда плашки находятся в крайнем верхнем положении относительно конуса, упираясь в муфту; связь между разъединенными верхней и нижней частями механизма осуществляется с помощью тяг.

Максимально необходимое усилие для сжатия резиновых манжет пакера составляет 3—4 *Т*.

Для установки пакера в скважинах различного диаметра (от 92 мм и более) к каждому механизму прилагается набор плашек, резиновых манжет и упорных шайб соответствующих типоразмеров.

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ МЕТОДОМ НАГНЕТАНИЯ

При проведении работ по изоляции поглощающих горизонтов методом нагнетания тампонажной смеси необходимо выполнять все правила техники безопасности, предусмотренные при приготовлении промывочных растворов и при производстве цементирования скважин «Правилами безопасности при геологоразведочных работах», утвержденными Госгортехнадзором 7 декабря 1971 г.

Основные правила техники безопасности при приготовлении и закачке тампонажной смеси следующие:

1. До начала работ по закачке смеси вся система (насос, трубопровод, герметизатор устья) должна быть опрессована на полуторное рабочее давление.

2. Цементировочный агрегат должен быть снабжен исправным предохранительным клапаном и манометром.

3. Герметизатор устья должен быть оборудован запорным вентилем и манометром.

4. До производства изоляционных работ удобно разместить требуемый для работы инструмент, убрать ненужные предметы, мешающие передвижению людей.

5. Работы по ликвидации поглощений методом нагнетания проводить, по возможности, в дневное время.

6. До начала работ проверить состояние насоса цементировочного агрегата, трубопроводов и герметизирующих устройств (переходник на устье скважины и пакер).

7. При просеивании цемента и древесных опилок рабочие должны пользоваться респираторами и защитными очками.

8. Возле цементировочного агрегата и трубопроводов запрещается находиться лицам, не работающим на агрегате.

9. После спуска бурильных труб на нужную глубину, перед за-

качиванием тампонажной смеси, промыть колонну водой или глинистым раствором и убедиться в том, что она не засорена.

10. В случае засорения напорной системы запрещается отсоединять трубопровод до снятия давления в напорной линии.

11. Запрещается создавать в напорной системе давление, превышающее 10% рабочего давления, принятого при опрессовании.

Инструкция по проектированию и производству изоляционных работ методом нагнетания тампонажных смесей при ликвидации поглощений промывочной жидкости в скважинах

БВ 02076 6.III 1973 г. Формат 60×90¹/₁₆. Печ. л. 4,0. Зак. № 5464. Цена 12 коп.
Тираж 2000.

Типография издательства «Ворошиловградская правда»,
Ворошиловград, ул. Лермонтова, 1б.

gost.e-ecolog.ru