

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению практических работ
по дисциплине «СТРОИТЕЛЬСТВО СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
ПОРОД»
для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализация «Технология бурения нефтяных и газовых скважин»

Ставрополь, 2026

Содержание

Практическое занятие № 1 Способ определения льдистости по керну мерзлой породы	
Практическое занятие № 2 Прибор для определения комплекса теплофизических характеристик материалов	
Практическое занятие № 3 Выбор рецептуры промывочных жидкостей с минимальными теплоотдающими свойствами для бурения мерзлых пород	
Практическое занятие № 4 Оценка радиусов протаивания при различной конструкций пассивной теплоизоляции скважин	
Практическое занятие № 5 Способы предупреждения смятия колонн при наличии замерзающей жидкости в кавернах	
Практическое занятие № 6 Оптимальная технология цементирования скважины в интервале мерзлых пород	

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЬДИСТОСТИ ПО КЕРНУ МЕРЗЛОЙ ПОРОДЫ

Известные способы определения льдистости образцов мерзлых пород сложны для применения в полевых условиях на скважине.

Поэтому Р.И. Медведским совместно с Г.Ф. Суховеем и А.М. Культиковым был разработан прибор для определения льдистости, основанный на свойстве воды уменьшать свой объем при переходе из твердого состояния в жидкое (рис. 1). Одновременно прибор позволяет определить количество воды в образцах в твердом и жидком состояниях.

Способ определения основных физических характеристик состоит в последовательном измерении уровней рабочей жидкости в измерительной трубке сначала под действием веса образца, затем под действием вытесненного образца объема и, наконец, под действием таяния льда в образце и выделения адсорбированного на его поверхности воздуха.

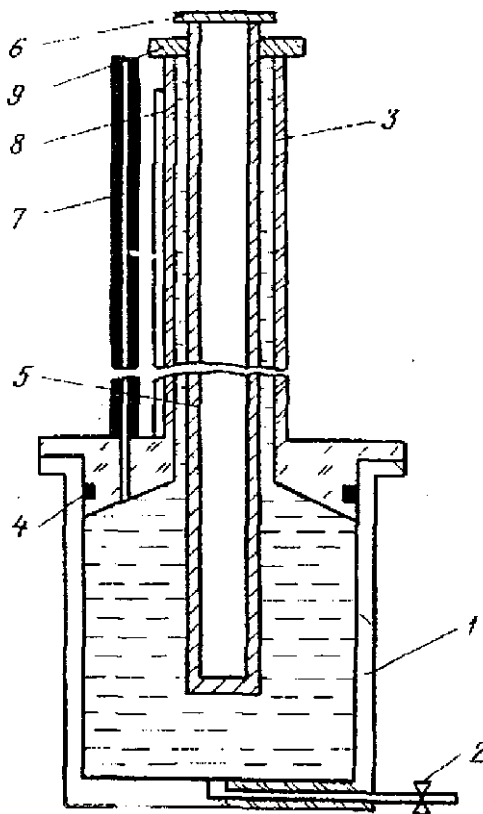


Рис. 1 - Прибор для определения льдистости мерзлой породы.
1 - рабочая камера, 2 - кран; 3 - цилиндр; 4 - кольцевое уплотнение; 5 - поплавок; 6 - крышка,
7 - измерительная трубка; 8 - шкала; 9 - фиксатор - отсекатель

Перед началом работы камеру заполняют рабочей жидкостью с таким расчетом, чтобы при размещении в нем до упора наружного цилиндра при свободном поплавке уровень жидкости не выходил за пределы кольцевого зазора между элементами. С помощью крана устанавливают в измерительной трубке условный нулевой уровень h_0 . Для определения массы образца его помещают на крышку поплавка и фиксируют уровень h_1 в измерительной трубке.

Масса образца определяется по разности уровней $h_1 - h_0$ формулой

$$M = \pi/4(D^2 + d^2)(h_1 - h_2)\rho,$$

где D и d - внутренние диаметры цилиндра и измерительной трубки.

Затем цилиндр извлекается из рабочей камеры и в нее помещается образец мерзлого грунта, снятый с крышки поплавка. После установки цилиндра на прежнее место отмечают уровень h_2 в измерительной трубке. По известным уровням h_2 и h_0 находят объем образца по формуле

$$V = \pi/4(D^2 + d^2)(h_2 - h_0)$$

При таянии образца уровень в измерительной трубке постепенно падает, а с его поверхности выделяется адсорбированный воздух. Чтобы учесть эти обстоятельства - в дальнейшем, сразу же после замера уровня h_2 поплавков вдавливают в рабочую камеру до упора при открытом кране, чтобы вода заполнила все кольцевое пространство между поплавком и цилиндром. Вслед за этим поплавки фиксируются, кран фиксатора-отсекателя закрывается, в измерительной трубке замечается уровень h_2 . После окончания таяния этот уровень снизится и станет равным h_4 , а вверху кольцевого пространства образуется подушка из выделившегося с поверхности образца адсорбированного воздуха. Он выдавливается нагнетанием воздуха через измерительную трубку при открытом кране. После закрытия последнего отмечается уровень h_5 в измерительной трубке.

Разность уровней в измерительной трубке $(h_3 - h_4)$ - обусловлена дефицитом объема воды в твердом и жидком состояниях и объемом выделившегося адсорбированного воздуха при температуре измерения

$$\Delta(h_3 - h_4) = AV_1 + V_2,$$

а разность уровней ($h_j - h_s$) обусловлена объемом вытесненного при последней операции воздуха U_r

Из последних равенств получим

$$<, ' \dots$$

В данном случае AV_L - разность между объемом льда в образце и объемом, образовавшимся из него при таянии воды: $AV_L = F - V_e$

Пусть M_L - масса льда в образце, тогда $DK_L = M_L / \rho_L$, $AV_g = MJ \rho_g$, а следовательно,
 $AV_L \sim P \sim M_L \sim V_L$
 P, P, P

Подразумевая под льдистостью отношение объема льда в образце к его полному объему, получаем

$$t_{j_} \kappa \gg p \ll AK_L - ' ; '$$

$$V \rho - p_g V$$

Таким образом, льдистость определена. Сопоставление этого значения с пористостью образца в уплотненном состоянии дает возможность судить об избыточном льдовыделении.

Зная массу образца в начальном состоянии и после высушивания, можно сделать вывод о количестве воды в нем в жидком и твердом состояниях.

Практическое занятие № 2 ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ

Методы измерений теплофизических свойств, как известно, делятся на стационарные и нестационарные. Исходя из поставленных задач, стационарные методы требуют длительной стабильности физических свойств образцов и мало пригодны для исследований свойств мерзлых грунтов. В свою очередь, нестационарные методы можно разделить на две большие группы в зависимости от того, как осуществляется нагрев: периодически или импульсом. Методы первой группы обладают повышенной точностью и быстродействием, но сложны в исполнении. К тому же их применение затруднено при больших толщинах образцов (5 см и более), поскольку приходится использовать низкочастотные сигналы (с периодом порядка минут), где не может быть реализовано преимущество радиотехнических методов их обработки.

Из многочисленных вариантов импульсных методов наиболее пригодным оказался «Новый простой нестационарный метод измерения тепловых свойств». Его

сущность состоит в том, что к плоскому образцу подводится через контактный нагреватель импульс тепла, а термопара на противоположной поверхности образца регистрирует амплитуду и форму этого импульса, по которым в сравнении с исходным тепловым воздействием можно определить комплекс теплофизических характеристик образца - его температуропроводность, теплоемкость и теплопроводность. Для мерзлых грунтов используется импульс холода, для чего вместо контактного нагревателя применяют контактный холодильник.

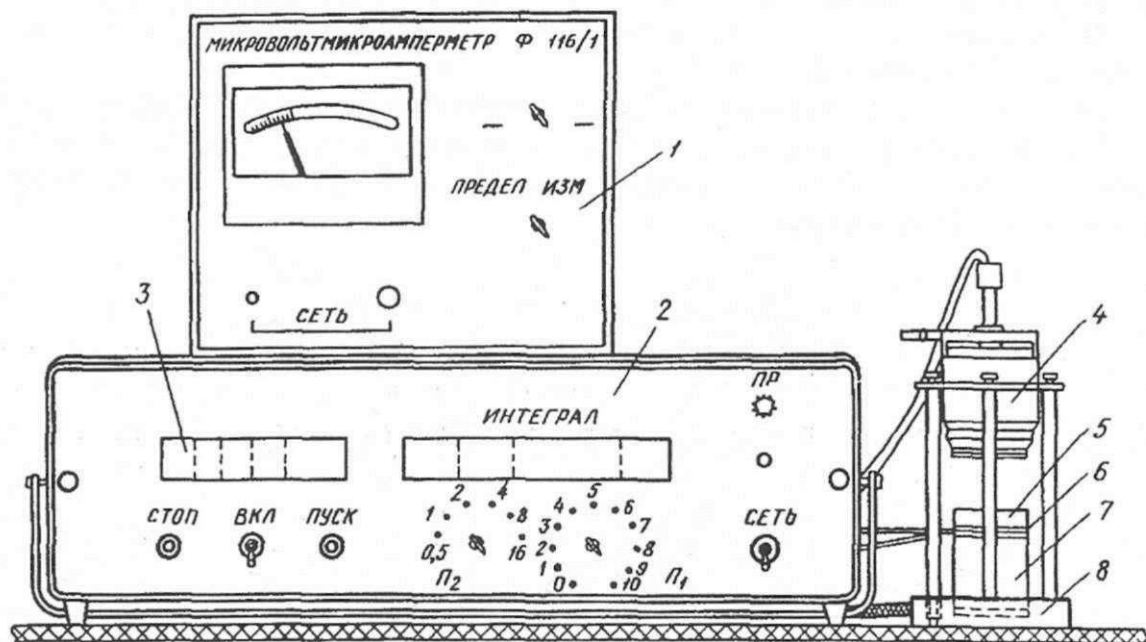


Рис. 2 - Прибор для определения теплофизических свойств грунтов: 1 - блок усиления; 2 - блок управления; 3 - табло индикации равновесных температур; 4 - верхний . контактный узел; 5 - образец; 6 - нижняя распределительная пластина; 7 - нижний контактный узел; 8 - измерительная ячейка

Основной частью прибора является измерительная ячейка, в которую помещается цилиндрический образец с вмонтированными в нее первичными датчиками, выдающими информацию на вторичную аппаратуру для последующей обработки (рис. 2). Измерительная ячейка содержит два контактных узла - нижний, на который ставится образец, и верхний, подвижный, прижимаемый к другому торцу образца под действием собственного веса. Нижний контактный узел состоит из слоя теплоизолятора, на верхнюю часть которого наклеена выравнивающая температуру медная пластина. Верхний контактный узел состоит из плоского теплоизолятора, к которому приклеена медная пластина для выравнивания температурного поля, и

нагреватель, которым служит металлическая фольга с химическим травлением.

Обе медные пластины в нижнем и верхнем контактных узлах снабжены датчиками температуры. При этом один спай термопары вмонтирован в верхний контактный узел,

второй - в нижний, третий спай помещен в термостат с нулевой температурой. Комбинированная термопара предназначена для преобразования в напряжение текущей и равновесной температур в начале и в конце опыта между спаями. Измерительная ячейка помещена в теплоизолированную пенополиуретаном цилиндрическую емкость.

Опыт применения прибора показал, что погрешность определения теплоемкости и теплопроводности зависит от ошибок, допущенных при нахождении параметров теплового импульса и геометрических размеров образца.

Ошибки, допущенные при нахождении геометрических размеров образца, обусловлены погрешностью приборов (микрометра и длинномера), с помощью которых образцу придается правильная форма. Для наших образцов при соблюдении всех необходимых предосторожностей путем шлифовки удалось свести погрешность определения геометрических факторов примерно к 1 %.

Погрешность определения параметров теплового импульса зависит от ошибок его преобразований в электрический сигнал и измерении параметров последнего. Погрешности измерения температуры и преобразования теплового сигнала в электрический не более 0,5 %. Погрешность измерения параметров электрического сигнала определялась путем специальных исследований свойств измерителя при подаче эталонных сигналов и не превысила 2 %.

Таким образом, общая погрешность определения теплоемкости данным прибором составляет 3 %, теплопроводности - 4 %.

Для проверки и аттестации прибора был использован эталонный материал - оргстекло. Полученное значение теплопроводности при комнатной температуре $\lambda = 0,202 \text{ Вт/(м·К)}$ отличается от среднего значения,

рекомендованного Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологии, примерно на 5 - 7 %.

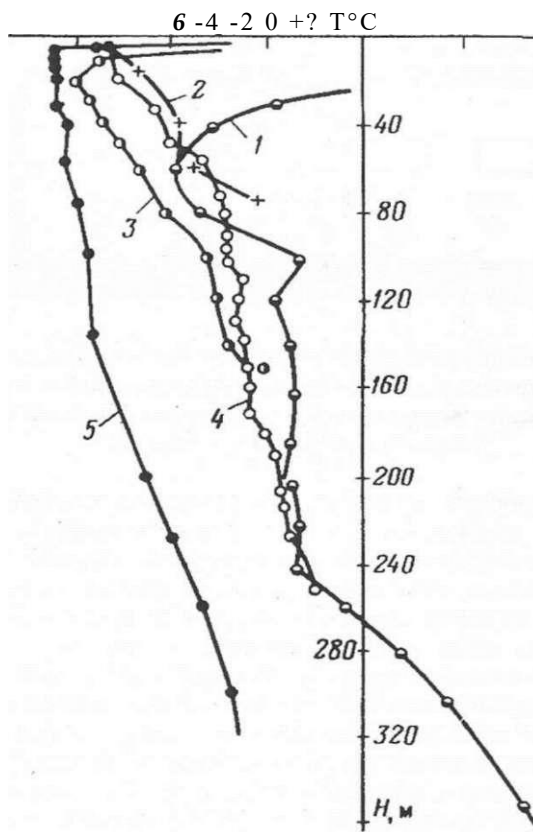


Рис. 3 - Распределение температуры в стволах выстоявшихся скважин на разведочных площадях п-ова Ямал:
1 - Нейтинская (скв. 25); 2 - Харасавейская (скв. 2); 3 - Арктическая (скв. 21); 4 - Южно-Тамбейскан (скв. 2); 5 - Харасавейская (скв. 8)

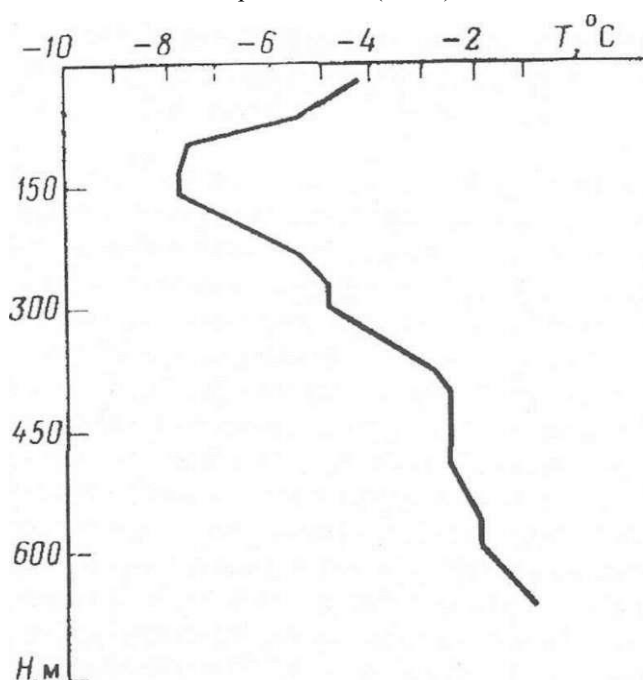


Рис. 4 - Распределение температуры по глубине мерзлой толщи на месторождении Прудно
Практическое занятие № 3

ВЫБОР РЕЦЕПТУРЫ ПРОМЫВОЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ С МИНИМАЛЬНЫМИ ТЕПЛООТДАЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ БУРЕНИЯ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Для бурения мерзлых пород необходимо использовать рецептуры промывочных жидкостей, обладающих низким коэффициентом теплоотдачи. Эти рецептуры можно создать добавкой к глинистому раствору различных реагентов (гипан, КМЦ, полиэтиленоксид и т.п.), не меняющих температуру замерзания. Для целей промывки скважин в мерзлых породах возможно применение растворов на нефтяной основе. Ввиду сложности определения коэффициента теплоотдачи при промывке скважин в интервале мерзлых пород до сих пор нет простого метода оценки эффективности различных добавок. Их эффективность можно оценить по коэффициенту теплоотдачи во внешнем потоке, который достаточно легко определяется по изложенному ниже методу, основанному на измерении потери массы ледяного шара, погруженного в исследуемую жидкость. Хотя теплоотдача во внешнем потоке несколько отличается от теплоотдачи в условиях скважины, их можно сравнить.

Необходимое для применения предлагаемого метода устройство состоит из термостатируемого мерного цилиндра с сообщающейся с ним измерительной трубкой. Измерительная трубка выводится за пределы термостата и заполняется керосином. Исследуемая жидкость заливается в мерный цилиндр с погруженным в него ледяным шаром и термостатируется. Температура промывочной жидкости принимается в диапазоне, используемом при бурении в мерзлых породах. Начальная температура шара принимается равной собственной температуре мерзлых пород в интервале кавернообразования. Потеря массы шара определяется понижением уровня жидкости в измерительной трубке, обусловленным изменением удельного объема льда на 9 % при его превращении в воду.

Лед готовится из дистиллированной воды и замораживается в сферических разъемных формочках из оргстекла. В верхней половине формочки предусматривается отверстие для замораживания фиксирующей проволочки и удаления избыточной воды. Чтобы формочку не разорвало при замораживании воды, в ней оставляется небольшое свободное пространство объемом примерно 3 см при диаметре формочки 4,5 см. При этом получаются шары правильной формы.

Изложенный метод был использован для сравнения эффективности различных жидкостей (воды, 1 %-ного раствора гипана, 1 %-ного раствора полиакриламида, 15%-ной глинистой суспензии, 1 %-ного раствора КМЦ- 500, 1 %-ного раствора КМЦ-1157, 1 %-ного раствора полиэтилен-оксида, газоконденсата), имеющих температуру 2-3 °С; начальная температура шара 0°С, начальный диаметр 45 мм. Обработка результатов эксперимента показала, что безразмерный коэффициент теплового воздействия (h_0)

где

α - температуропроводность жидкости;

l - толщина слоя жидкости до стенки мерного цилиндра;

r - радиус шара;

T_1 - средняя температура жидкости

T_t - температура ледяного шара,

через некоторое время после начала разрушения шара стабилизируется, т.е. с течением времени плавление приобретает линейный характер (рис. 1). Из графика видно, что коэффициент теплового взаимодействия ледяного шара в газоконденсате по сравнению с водой очень низок. Анализ теплофизических свойств этих двух жидкостей показал, что такие параметры газоконденсата, как плотность, вязкость, отношение к замерзанию, должны повышать коэффициент теплоотдачи по

сравнению с водой. Единственный параметр - теплопроводность приблизительно в 6 раз снижает коэффициент теплоотдачи газоконденсата по сравнению с водой. Однако полученные коэффициенты теплового взаимодействия различаются приблизительно в 8 раз. Возможной причиной этого явления могут быть гидрофобные свойства газоконденсата, не допускающие проникновения его в микротрещины поверхности ледяного шара.

Результаты эксперимента дополнительно обнаруживают высокую эффективность промывки скважин в интервале мерзлых пород раствором на углеводородной основе даже при положительной температуре.

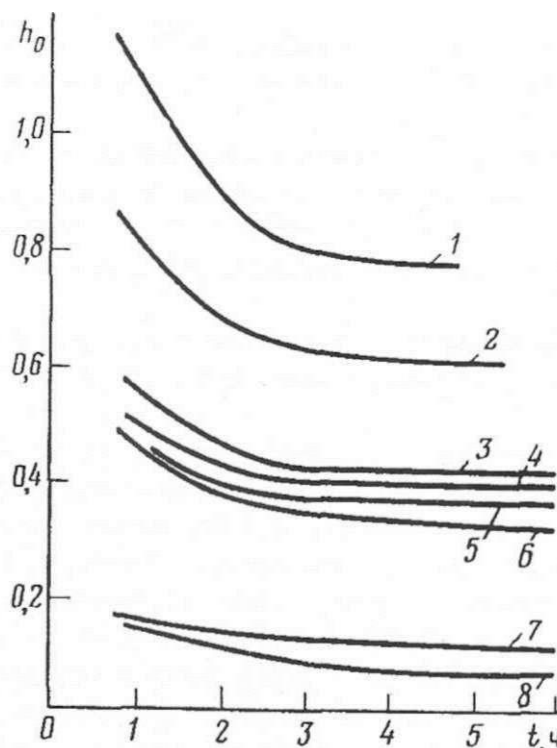


Рис. 1 - Зависимость безразмерного коэффициента теплового воздействия h_0 на ледяной шар, погруженный в термостатируемую жидкость, от времени t :
 1- вода; 2 - 1 %-ный раствор глицерина; 3-1 %-ный раствор полиакриламида; 4- 15%-ная глинистая суспензия; 5- 1 %-ный раствор КМЦ-500; 6 -1 %-ный раствор КМЦ-1157; 7 - 1 %-ный раствор полиэтиленоксида; 8 - газоконденсат

Практическое занятие № 4 ОЦЕНКА РАДИУСОВ ПРОТАИВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПАССИВНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ СКВАЖИН

При наличии в составе мерзлой толщи избыточно-льדיстых прослоев и пластовых залежей льда не исключается возможность создания больших нагрузок на колонну. "При глубине сильнольדיстых образований пород на 200 м и обычных" конструкциях скважин

критический радиус термокарстовых каверн составляет 6-8 м. Отодвинуть протаивание на такое расстояние за пределы срока эксплуатации скважин не всегда удастся без применения дополнительной теплоизоляции. Это относится в первую очередь к случаям, когда температура добываемого флюида достаточно высока, а начальная температура мерзлых пород близка к 0 / °С. На рис. 7 показана зависимость радиусов протаивания от времени эксплуатации скважин Уренгойского месторождения. Конструкция скважин состоит из удлиненного направления 426 мм x 150 м, кондуктора 324 мм x 550 м, промежуточной колонны 210 мм x 1380 м, эксплуатационной колонны 146 мм x 3100 м и подъемной колонны

73 мм х 3100 м. Кольцевое пространство за эксплуатационной колонной заполнено цементом до устья, пространство между подъемной и эксплуатационной колоннами - газом. Значение коэффициента теплопередачи в интервале мерзлых пород для данной конструкции составляет 1,4 Вт/(м²°K).

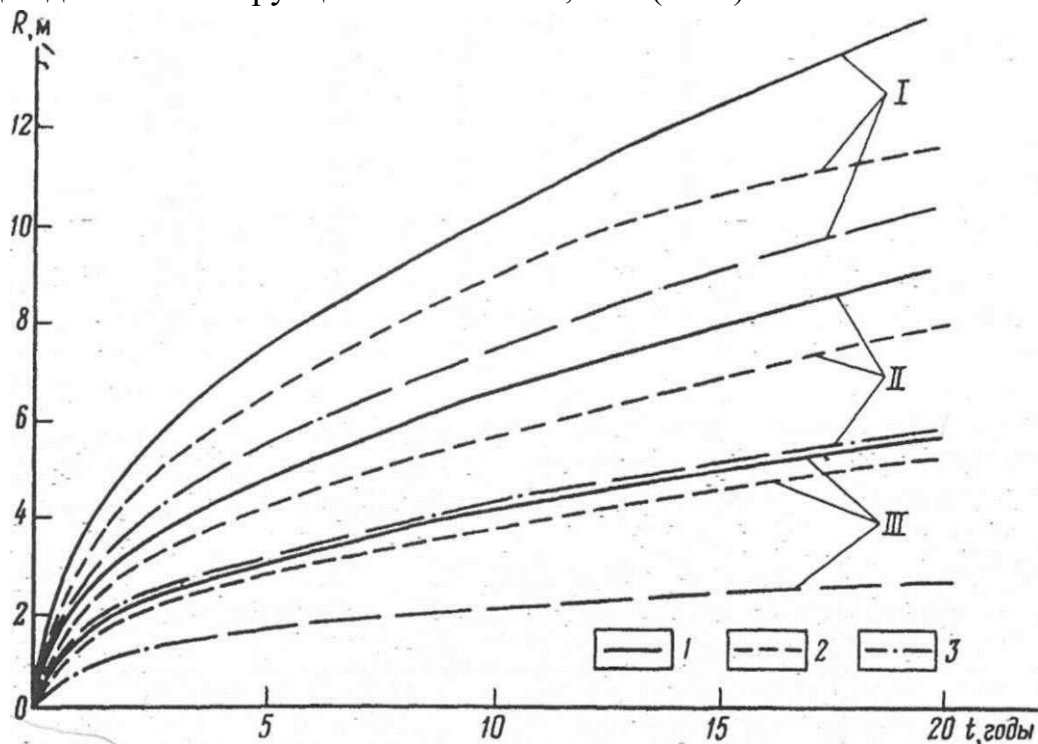


Рис. 7 - Динамика протаивания мерзлых пород вокруг скважины Уренгойского месторождения при различных температурах добываемого флюида (I - III) и мерзлых пород (1-3)

Кривая на рис.....1 2 3 I II III
Температура, °C.....8 -4 -2 80 40 20

. При одинаковой температуре мерзлых пород, равной -2°C , критический радиус (8 м) достигается на двадцатый год эксплуатации скважины при температуре добываемого флюида равной 40°C —и на пятый, если его температура равна 80°C . В последнем случае даже при низкой температуре мерзлых пород (-8°C) критический радиус достигается сравнительно быстро — через 1-0 лет после пуска скважины в эксплуатацию.

Расчеты выполнены на основе решения плоской задачи без учета передачи тепла в осевом и окружном направлениях. -Температура потока жидкости или газа в подъемных- трубах принята постоянной, равной температуре на подошве мерзлых пород. Сделанные предположения несколько увеличивают расчетные радиусы протаивания, что необходимо для обеспечения запаса прочности конструкции. При

сделанных ограничениях прогноз скоростей протаивания приводится к осесимметричной задаче

Стефана с граничным условием третьего рода. Метод решения подобных задач приведен ниже.

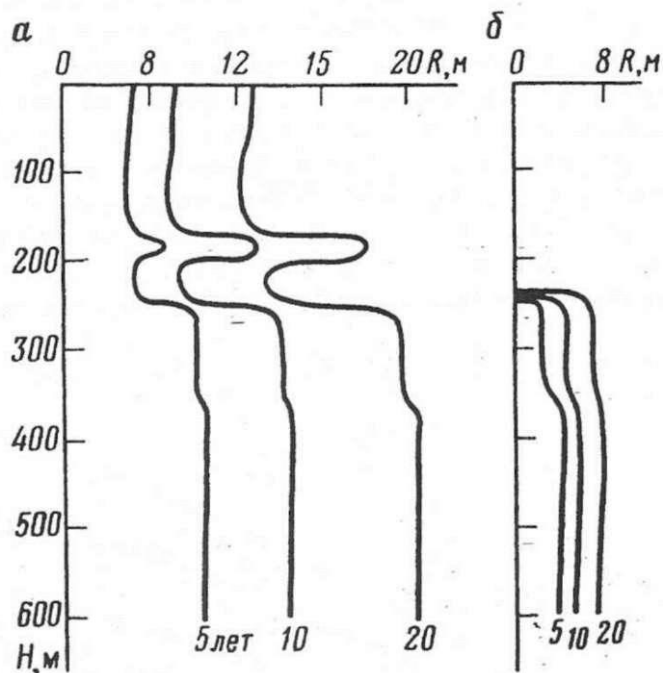


Рис. 8 - Зависимость радиусов протаивания R мерзлых пород на месторождении Прудо вокруг скважин конструкций "Атлантик Ричфилд Корпорейшн" (а) и "Бритиш Петролеум" (б) на различных глубинах H (с учетом времени задержки начала протаивания)

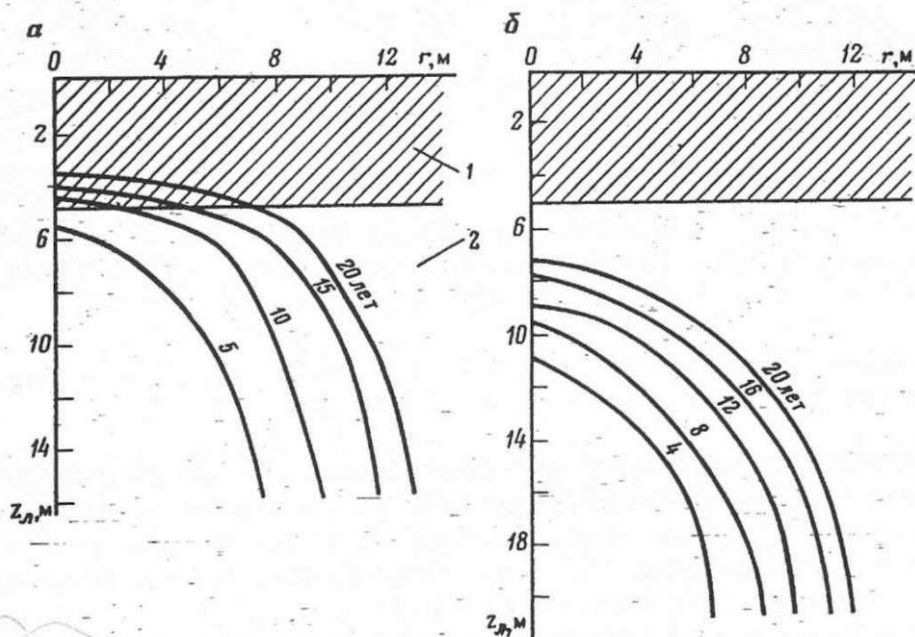


Рис. 9 - Подтягивание фронта фазового перехода к избыточно-льдистому пласту толщиной 10 м за счет вертикальной составляющей потока тепла при различной длине идеально теплоизолированного участка скважины: длиной 10 м (а) и 15 м (б) в обе стороны от срединной плоскости избыточно-льдистого пласта:

r - расстояние от оси скважины; z_n - вертикальное расстояние от срединной плоскости ледяного пропластка; 1 - избыточно-льдистый пласт; 2 - фронт фазового переход

Для оценки влияния качества теплоизоляции на величины радиусов протаивания рассмотрим работу скважин "Бритиш Петролеум" и "Атлантик Ричфилд Корпорейшн" (рис. 10.1). Коэффициент теплопередачи конструкции скв. "Атлантик Ричфилд" равен $0,83 \text{ Вт/(м}^2\text{-К)}$, а конструкции скв. "Бритиш Петролеум" - $0,05 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$. Радиусы протаивания для скважин той и другой конструкции после пяти лет эксплуатации (при температуре флюида 80°C и температурах мерзлых пород выше -4°C) составляют 9 и 4 м соответственно, после десяти лет эксплуатации — 13 и 6 м, а после двадцати — 20 и 8 м. При этом в сопоставимых условиях радиусы протаивания скважин, оборудованных трубами "Термокейз", являются самыми меньшими из возможных.

Из приведенных примеров видно, что пассивная теплоизоляция не всегда в состоянии предотвратить возникновения в породном массиве опасных для целостности конструкции / скважин напряжений. В таких случаях необходимо увеличивать толщину стенок труб или спускать дополнительную обсадную колонну. Применять активную теплозащиту на глубинах порядка 200 м, когда термокарстовые явления представляют реальную угрозу для надежной эксплуатации скважин, нецелесообразно.

Однако иногда пассивная теплоизоляция обеспечивает целостность колонн. В этом случае дополнительные затраты на обустройство скважин снижают, например, путем ограничения длины интервала теплоизоляции, что возможно, когда избыточно-льדיстый прослой заключен среди вмещающих пород, не теряющих прочность при оттаивании.

Для ограничения радиуса протаивания до критического значения достаточно теплоизолировать только часть ствола скважины против пластовой залежи льда и соседних с ней интервалов вмещающих пород.

"Поскольку протаивание пласта льда происходит не только за счет тепла, переданного, ему непосредственно от скважины в радиальном направлении, то также и за счет вертикальных перетоков из вмещающих пород через поверхности напластования, то необходимая длина теплоизолированного интервала определяется на основе двумерной задачи Стефана.

Для того чтобы определить необходимую длину интервала теплоизоляции и одновременно" оценить влияние вертикальных перетоков тепла, были рассчитаны положения фронтов протаивания за Двадцать лет работы скважины при наличии в разрезе пластовой залежи льда мощностью 10 м (рис. 9). Ввиду симметрии показана только половина температурного поля ниже срединной плоскости залежи льда. Для оценки значимости вертикальных, перетоков тепла теплоизоляция была принята идеальной. За пределами теплоизолированного интервала коэффициент теплопередачи равен $3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{-К})$. Температура потока жидкости в скважине принималась равной $+50 \text{ }^\circ\text{C}$, а породы — $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Значения теплофизических параметров породы таковы: скрытая теплота плавления льда в расчете на " единицу объема равна $16\,000 \text{ кДж}/\text{м}^3$ теплоемкость и теплопроводность в мерзлом и талом состоянии — $1892,5 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{-К})$, $1,86 \text{ Вт}/(\text{м-К})$ и $2855 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{-К})$, $1,4 \text{ Вт}/(\text{м-К})$ соответственно.

Несмотря на отсутствие передачи тепла от скважины в радиальном направлении, в интервале теплоизоляции подток тепла снизу (а следовательно, сверху) довольно заметен и достигает ледяного пласта уже через 8 лет. Через 20 лет подошва и, следовательно, кровля протаивают на 7 м в глубину по радиусу и почти на Гм — в вертикальном направлении. При увеличении длины теплоизолированного интервала на 5 м в обе стороны и-остальных прежних условиях фронт протаивания даже спустя 20 лет после начала работы скважины не доходит до просоя льда.

Таким образом, длину теплоизолированного интервала можно подобрать такой, чтобы пренебречь тепловым: влиянием пластов за его пределами. Эта длина зависит от температуры /скважины, интенсивности теплообмена ее с породой и теплофизических характеристик мфеледней. В условиях рассмотренной задачи оптимальная длина теплоизоляции

составляет утроенную мощность избыточно-льдистого пласта.

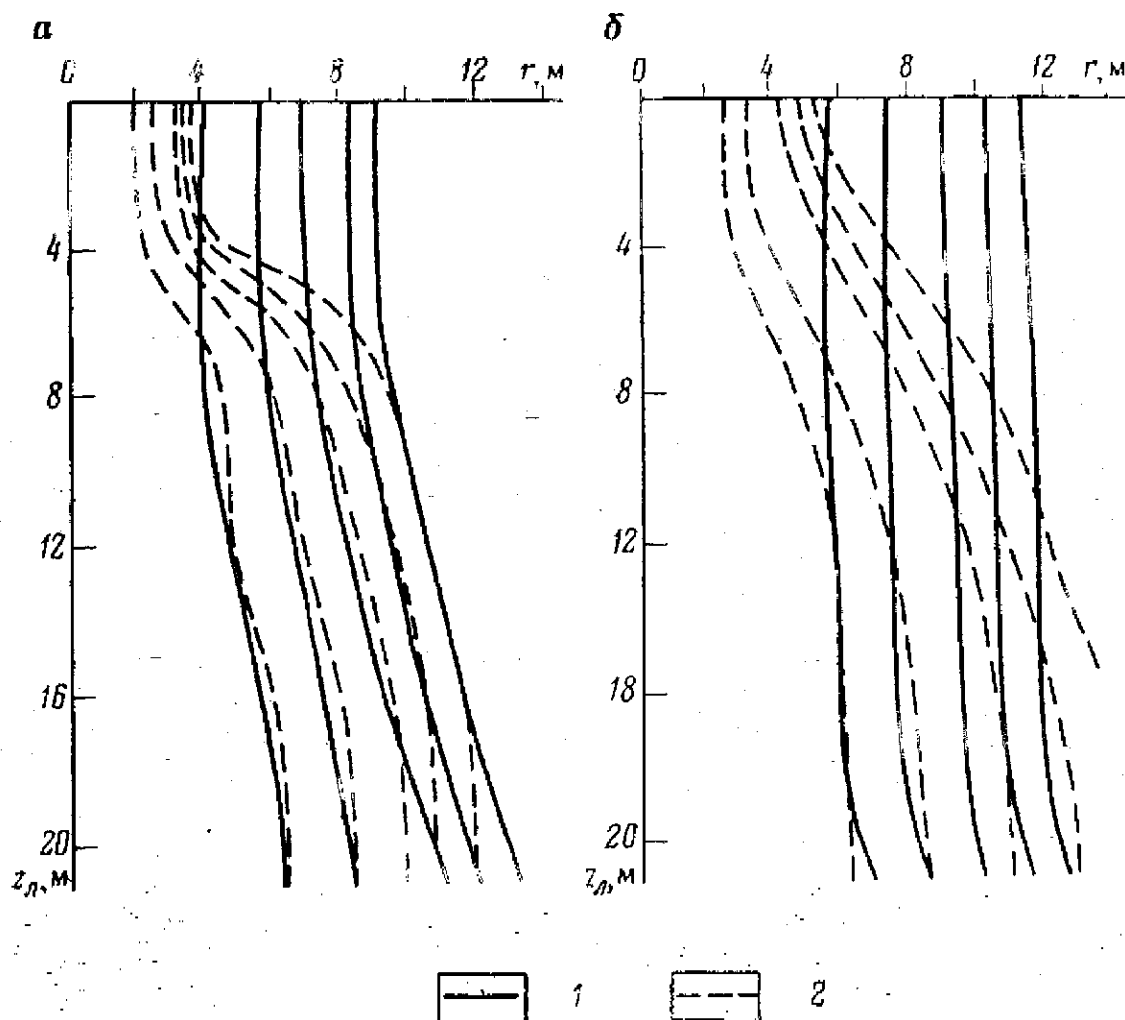


Рис. 10 - Задержка фронта протаивания в пластовой залежи льда толщиной 10 м при симметрично расположенном относительно оси теплоизолированном интервале скважины с коэффициентами теплоотдачи равными $0,18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (а) и $0,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (б):
 r - расстояние от оси скважины; z_d - вертикальное расстояние от срединной плоскости ледяного пропластка; 1 - нулевая изотерма в однородном массиве через каждые 4 года после начала протаивания, 2 - то же, при наличии в массиве пластовой залежи льда

Практическое занятие №5

СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СМЯТИЯ КОЛОНН ПРИ НАЛИЧИИ ЗАМЕРЗАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В КАВЕРНАХ

Очевидным средством предупреждения смятия колонн при замерзании жидкости в кавернах является увеличение прочности колонны за счет толщины стенок и качества стали или применения многоколонных конструкций скважин. Однако этот способ не всегда экономичен, а иногда и невозможен, особенно при низких температурах мерзлых пород, что послужило причиной поиска других решений, сочетающих простоту и эффективность.

Имеющиеся решения, изложенные в основном в авторских свидетельствах России и зарубежных патентах, базируются на двух физических принципах:

снижении температуры замерзания жидкости в заколонном пространстве ниже температуры породы путем подачи в нее антифризов или отведении избытка жидкости из каверн.

Для снижения температуры замерзания заполняющей каверну жидкости можно использовать различные соли, например NaCl, CaCl и т. п. Их можно добавлять к глинистому раствору еще на стадии бурения скважины. Однако при длительном пребывании глинистого раствора в заколонном пространстве концентрация соли постепенно уменьшается при физико-химическом разрушении льда, в результате чего процесс обратного промерзания только оттягивается, но полностью не предотвращается. Поэтому введение этих добавок лучше производить при повышении давления до опасной величины.

Отведение избытка жидкости при ее замерзании в кавернах можно осуществить по каналу, образованному вокруг колонны обогревом на весь период простоя скважины или лучше до завершения замерзания.

Обогрев колонны осуществляется, например, за счет джоулева тепла при пропускании через нее постоянного, электрического тока или же переменного электрического тока высокой частоты. При этом вследствие самоиндукции ток концентрируется на наружной поверхности колонны (скин-эффект), чем повышает эффективность мероприятия.

- Еще более экономичен обогрев пропусканием электрического тока по кабелю, спущенному параллельно колонне. В.Д. Малеванским и др. предложено постепенное перемещение вверх интервала прогрева колонны при последовательном промораживании каверны под ним за счет восстановления естественного поля температур в мерзлой породе. При этом обогревать колонну можно циркуляцией внутри нее жидкости с положительной температурой.

В ряде патентов США на метод отведения избытка жидкости из каверн, возникающего при замерзании с самого его начала, предложено применение ряда перфорированных трубок, равномерно размещенных "по периметру колонны, непосредственно примыкающих к ней или же опущенных в специальные стволы, пробуренные на определенном расстоянии от скважины (рис. 2 а, б, в),

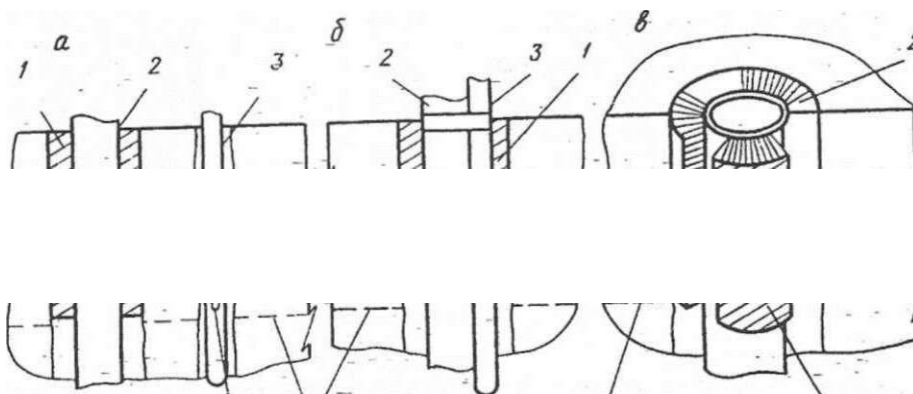


Рис. 2 - Схемы устройств для отвода жидкости из замерзающих каверн: 1 - цемент; 2 - обсадная колонна; 3 - перфорированная трубка; 4 - перфорационные отверстия; 5 - подошва мерзлоты -

Для отведения жидкости предлагается делать специальные каналы в цементном кольце, размещенные по сегментам, или цементный камень пористым, а также засыпать заколонное пространство гравием. Однако при неравномерном замерзании породы вокруг каналов при любом их расположении возможно образование ледяных перемычек, что не позволяет достичь поставленной цели.

Для исключения этого недостатка во ВНИИгазе и ТюменНИИгипрогазе предложено избыток жидкости из каверн отводить в замкнутую полость, образованную кожухом и обсадной колонной труб (рис. 3). Смежные секции кожуха связаны между собой переточными патрубками и частично заполнены антифризом.

В пробуренный через зону мерзлоты ствол скважины 7 спускают обсадную колонну, имеющую верхнюю 3 и нижнюю 4 части, внутри которой размещена промежуточная или эксплуатационная колонна 5 (рис. 3, а). Обсадная-колонна включает двухстенную трубу, состоящую из внешней 6 и внутренней 7 труб, диафрагм 8, расположенных в верхней и нижней частях колонны и образующих вместе воздухозаполненную полость 9, нижняя часть которой заполнена антифризом 10. На поверхности внешней трубы 6 расположены обратные клапаны 11. Наличие муфты 12 в верхнем конце устройства и резьбы "ниппель" 13 в нижнем конце позволяет собирать их в секции при строительстве скважин (рис. 3, б).

Сифонная трубка 14 непосредственно закреплена в полости обсадной трубы, а переточный патрубок 2, соединяющий две смежные полости отдельных секций обсадных труб, монтируется в процессе спуска обсадной колонны в скважину. попавшая из каверны в воздухозаполненную полость обсадной трубы,

перемешивается с антифризом 10j понижающим ее температуру замерзания. При этом воздух, находящийся в полости, сжимается. Распределение избыточной жидкости по всей колонне обсадных труб происходит за счет перетока ее по сифонной трубке 14 и переточного патрубка 15 (рис. 3, в).

Для предупреждения смятия колонн предусматривают образование каналов по всему периметру колонны. Однако в этом нет никакой необходимости. Достаточно создать только один канал. Этого будет достаточно, чтобы по нему был отведен весь избыток жидкости. Важно только на протяжении всего процесса замерзания держать его открытым или же иметь возможность открывать его периодически, по мере достижения давлением какой-либо наперед заданной величины.

Эта идея послужила толчком для создания целой серии различных каналов ообразовател ей.

Один из них представляет гофрированную трубку, заполненную незамерзающей жидкостью, которая опускается" параллельно колонне в интервале кавернообразования.

При возрастании давления усилия, действующие на гофрированную трубку, вызывают ее удлинение, что приводит к разрушению ледяных перемычек и образованию канала для отвода избытка жидкости.

6 б

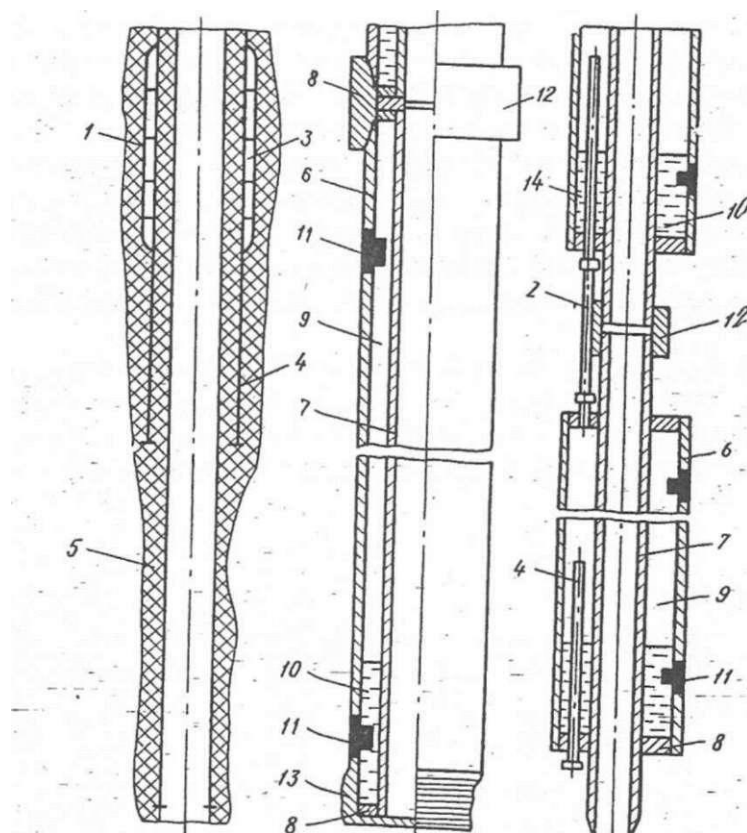


Рис. 3 - Схема размещения труб с кожухом в скважине (а) и конструкция кожуха (б, в) Обсадная колонна

работает следующим образом.

При повышении давления флюида (глинистый раствор, вода) в замкнутой камере в результате обратного промерзания околоствольного пространства избыточная жидкость перепускается через обратный клапан 11 в воздухозаполненную "полость 9. Жидкость,

Практическое занятие № 6

ОПТИМАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИНЫ В ИНТЕРВАЛЕ МЕРЗЛЫХ ПОРОД

Смятие колонн скважин можно предупредить исключением образования объемов свободной воды в межтрубных пространствах.

Один из способов осуществления этого процесса состоит в заполнении межтрубных пространств углеводородной жидкостью и применяется на месторождении Прудо. Заполнение производят с использованием муфт для обратного цементирования, установленных на уровне подошвы мерзлых пород, отверстия которых закрыты скользящим патрубком до тех пор, пока не окажутся чуть ниже цементного кольца. Когда трубы поднимают, отверстия муфт открываются, и глинистый раствор вместе с излишками цементного раствора выдавливают прямой циркуляцией большим количеством воды до осветления последней. После этого в межколонное пространство закачивают незамерзающую жидкость с использованием разделителя для полного вытеснения воды. Весь

процесс промывки межколонного пространства водой и ее последующего замещения держится под строгим контролем специальной системой автоматики.

Этот способ не соответствует Единым техническим правилам ведения работы при бурении скважин, предусматривающим подъем раствора вяжущих веществ до устья за колоннами разведочных (поискового характера) газовых скважин вне зависимости от глубины и нефтяных скважин с проектной глубиной более 3000 м.

Однако в водных растворах вяжущих веществ, заполняющих межтрубные пространства, возможно образование свободных объемов воды в результате гравитационного расслоения. Для предупреждения их образования, нужно, чтобы приготовленный на устье скважины исходный седиментационно-устойчивый тампонажный раствор в процессе закачки не смешивался с глинистым, что обеспечивается применением разделителя.

Если разрез скважины сложен породами, склонными к гидроразрыву, то разделитель может и не выполнять своего назначения. В этих случаях целесообразно совмещать прямой способ цементирования с обратным, используя цементировочные муфты МСЦ. Тогда межтрубное пространство в интервале с отрицательной температурой заполняется тампонажным раствором сверху, что при наличии разделителя обеспечивает практически полное вытеснение остатков глинистого раствора.

При благоприятных геологических условиях можно обойтись без специальных муфт, предусмотрев подъем цементного раствора прямым способом до заранее намеченного интервала пластов, склонных к гидроразрыву. После затвердевания цементного раствора цементирование продолжается обратным способом до полного схождения цементных колец. При этом глинистый раствор закачивается в поглощающий пласт (рис.2).

Технология последовательного совмещения прямого и обратного способов цементирования на поглощение обстоятельно разработана Б.М. Блиновым для широкого спектра геологических условий и получила распространение в Западной Сибири, где поглощающие горизонты с наиболее низкими градиентами давления

разрыва расположены в интервалах разреза ниже 150 м от башмака каждой колонны.

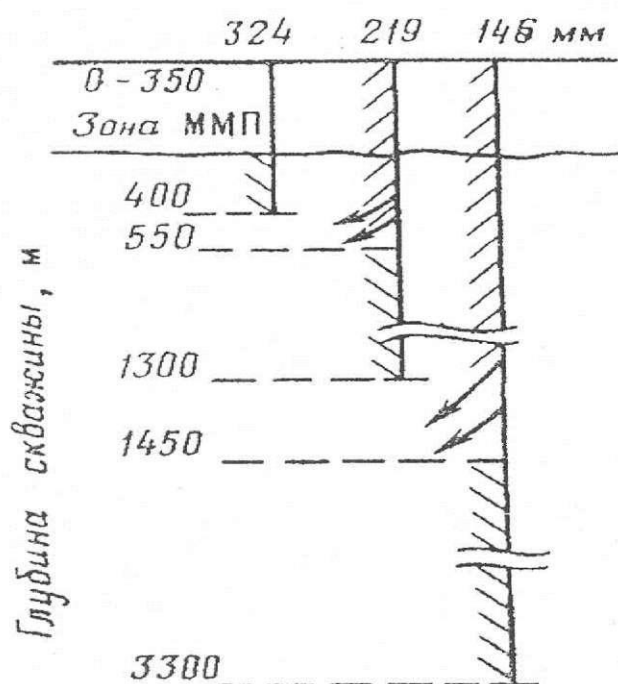


Рис. 2 - Схема цементирования обратным способом

При обратном на поглощение способе цементирования можно использовать разделительные пробки из вязкоупругого или любого другого дисперсного материала (перлита, торфа), поскольку они не затрудняют удаления остатков глинистого раствора в поглощающий пласт. Хорошие результаты получены с применением вязкоупругого разделителя следующего состава: 1,8 тл воды, 300 кг полиакриламида, 24 л смолы СФ-282 и 24 л формалина. Лучшие результаты получаются при использовании перлитовой пробки-разделителя, которая не только исключает образование зоны смещения, но и соскребает со стенок шлам выбуренной породы и глинистую корку. Тем самым перлитовая пробка одновременно выполняет роль разделителя и скребка. В этом отношении она эффективнее вязкоупругого разделителя. Анализы проб, отобранные с устья скважины, показывают, что тампонажная смесь под пробкой не содержит глинистого раствора. Этим дополнительно исключаются условия водоотделения в столбе тампонажной смеси.

Следует отметить, что перлитовая пробка представляет пример практического применения явления дилатансии суспензий.

Опыт применения тампонажных смесей с дисперсными компонентами в неглубоких (до 1000 м) газовых скважинах показал, что глинистый раствор из межтрубных пространств вытесняется ими достаточно эффективно, особенно в сочетании с перлитовой пробкой, в результате чего устраняются условия для смятия колонн при обратном замерзании. Отсюда вытекает, что при обратной закачке раствора с разделителем эффект будет еще выше.

Если для обеспечения полного схождения верхнего цементного кольца с нижним при обратной закачке используется высоковязкий раствор с напряжением сдвига 70-90 Па, то в применении разделительной пробки нет необходимости. В этом случае сам раствор одновременно выполняет функции разделителя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине

Строительство скважин в условиях многолетнемерзлых пород

для студентов специальности 21.05.06 Нефтегазовая техника и технологии
специализация «Технология бурения нефтяных и газовых скважин»

Методические рекомендации предназначены для студентов вуза «Северо-Кавказский федеральный университет»

Цели методических рекомендаций:

1. Методическое сопровождение процесса введения и реализации требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (далее ФГОС ВО), помощь при разработке рабочих учебных программ дисциплин и профессиональных модулей основной образовательной программы (далее ОП).

2. Создание в образовательном учреждении учебно-методического обеспечения образовательного процесса.

Методические рекомендации определяют сущность самостоятельной работы студентов в вузе, её назначение, планирование, формы организации и виды контроля.

Содержание

I. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО	4
II. Назначение и виды самостоятельной работы студентов	5
III.....	

I. Нормативное обеспечение самостоятельной работы в ФГОС ВО

1.1. ФГОС раздел: «Требования к условиям реализации ОП»:

- Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки магистра, к условиям ее реализации и срокам ее освоения определяются настоящим федеральным государственным образовательным стандартом;

- основная образовательная программа подготовки инженера состоит из дисциплин общенаучного и профессионального циклов, состоящих из базовой и вариативной частей и дисциплин по выбору;

- максимальный объем учебной нагрузки студента устанавливается 54 часа в неделю, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) учебной работы.

Во время самостоятельной подготовки обучающиеся должны быть обеспечены доступом к сети Интернет. Реализация основной образовательной программы подготовки магистра должна обеспечиваться доступом каждого студента к библиотечным фондам и базам данных, формируемым по полному перечню дисциплин основной образовательной программы из расчета обеспеченности учебниками и учебными пособиями не менее 0.5 экземпляра на одного студента. Библиотека вуза должна иметь достаточное количество современных учебников и учебных пособий по всем циклам дисциплин и постоянно восполняться научной литературой и периодическими изданиями нефтегазового профиля

Объем времени, отведенный на внеаудиторную самостоятельную работу, находит отражение:

- в рабочем учебном плане - в целом по теоретическому обучению, каждому из циклов дисциплин;
- в рабочих программах учебных дисциплин циклов дисциплин с распределением по разделам или конкретным темам.

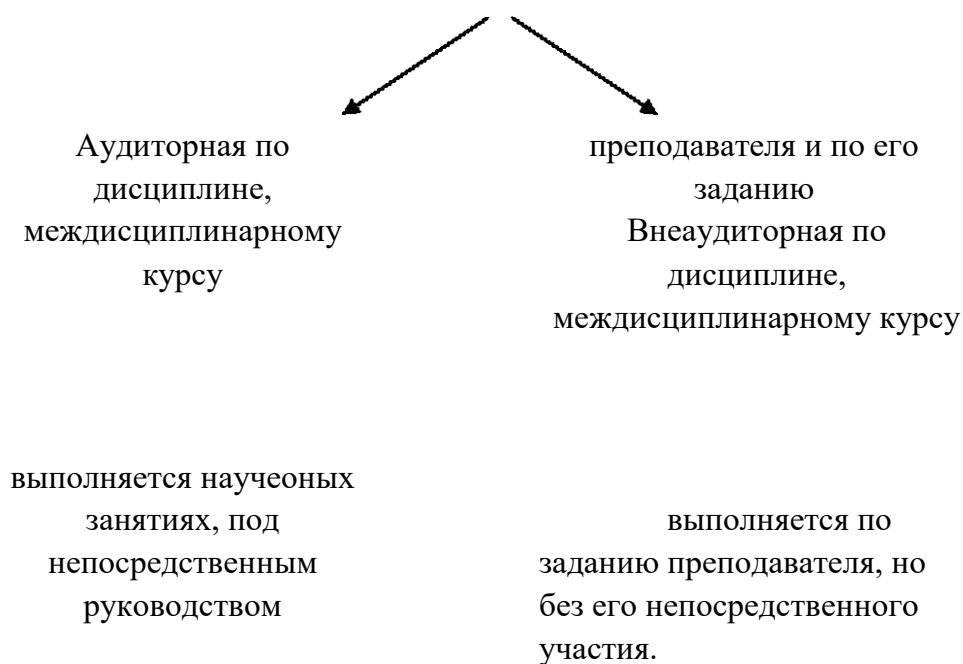
II. Назначение и виды самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности, организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, совершенствованию и самоорганизации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развитию исследовательских умений.

В учебном процессе ОУ выделяются два вида самостоятельной работы:



Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

III. Контроль самостоятельной работы студентов преподавателями.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить);
- дифференциацию контрольно-измерительных материалов.

Формы контроля самостоятельной работы

Просмотр и проверка выполнения самостоятельной работы

преподавателем.

2. Самопроверка, взаимопроверка выполненного задания в группе
3. Обсуждение результатов выполненной работы на занятии.
4. Тестирование.
5. Письменный опрос.
6. Устный опрос.
7. Индивидуальное собеседование.
8. Коллоквиум.
9. Отчет о проделанной работе.
10. Защита рефератов или курсовой работы.
11. Творческий конкурс.
12. Интернет - конференции.

13. Контрольная работа.

Критерии оценки результатов самостоятельной работы

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы

студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- формирование набора из общекультурных и профессиональных компетенций будущего магистра;

- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, изучать ее и применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение четко сформулировать проблему, предложив ее решение, критически оценить решение и его последствия;
- умение показать, проанализировать альтернативные возможности, варианты действий;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

Содержание внеаудиторной самостоятельной деятельности студентов

Методические указания для студентов по выполнению самостоятельной работы:

1. Подготовка к практическим занятиям.
2. Конспектирование литературных источников для дополнения тем лекций.
3. Самостоятельное изучение учебной литературы в соответствии с учебной программой.

Студенты выполняют индивидуальные задания (контрольная работа) по тематике:

1. Повышение продуктивности увеличением диаметра скважины.
2. Эффективность применения скважин увеличенного диаметра.
3. Выбор конструкции забоя скважины увеличенного диаметра.
4. Способы реализации создания скважин увеличенного диаметра.
5. Технология УДС в плотных коллекторах.
6. Технология УДС в рыхлых коллекторах.
7. Повышение продуктивности скважин гидроразрывом пласта.

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Балицкий В.П., Храброва О.Ю. Технологические расчеты при бурении глубоких скважин с использованием электронных таблиц): учебное пособие. - М.: МАКС Пресс, 2008. - 104 с.

2, Калинин А.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин : учебник. - М.: изд. центр «ЛитНефтеГаз». - 2008. - 848 с.

Дополнительная литература:

1. Медведский Р.И. Строительство и эксплуатация скважин на нефть и газ в вечномёрзлых породах. - М.: Недра, 1987, - 230с.

2. Грязнов Г.С. Особенности глубокого бурения скважин в районах вечной мерзлоты. - М.: Недра, 1969.

3. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.В. Бурение скважин в мерзлых породах. - М.: Недра, 1983.