Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т.105

УДК 622.24 (99)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННОЙ В ЛЕДЯНОМ МАССИВЕ

В.М.ПАШКЕВИЧ

Для разработки технологии, отвечающей требованиям проводки глубоких скважин в мощных ледовых толщах и обеспечивающей необходимую степень стабилизации стенок ствола скважины в процессе ее бурения и исследования, необходимо разрешить ряд теоретических и экспериментальных проблем, связанных с исследованием поведения льда в околоствольном пространстве скважины.

Теоретическая постановка задачи устойчивости стенок ствола скважины в ледовой толще рассмотрена в ряде работ [2-4, 6].

В качестве расчетной для прогноза деформации стенок ствола скважины во времени при принятой технологии бурения (глубина и скорость бурения, допустимая скорость сужения ствола, принятая плотность заливочной жидкости и т.п.) и определенном состоянии ледникового массива для экспериментальной проверки принята следующая формула [2]:

$$R_t = R_0 \exp A\left(\frac{\tau}{\alpha}\right)^{\alpha} t,$$

где R_t и R_0 - текущий и начальный радиус скважины; A и α - параметры, зависящие от температуры и структуры льда; τ - напряженность льда; t - время (длительность опыта).

Качественная и количественная оценка формулы была выполнена в Отделе антарктических исследований Проблемной научно-исследовательской лаборатории горной теплофизики ЛГИ в мае - июне 1983 г. на специальном экспериментальном стенде для моделирования приствольной части скважины, отдельные элементы которого описаны ранее [5].

Стенд (рис.1) состоит из нагрузочного цилиндра 11, системы поддержания постоянной напряженности испытуемого блока льда 6 с насосом 1 и соединительным трубопроводом 12, системы измерения и регистрации исследуемых параметров, включающей в себя систему измерения деформации 10, контрольный датчик измерения деформации 7, хромель-копелевую термопару 8, образцовый манометр 5, потенциометр типа КСП-4 2, мост цифровой Р-5016 3 и переключатель ПДШ-15 4.

Термостатирование модельного образца 9 и экспериментальные исследования в широком диапазоне отрицательных температур проводились в холодильной камере, обеспечивающей нижний предел температуры до -15 °С. Заданный тем-

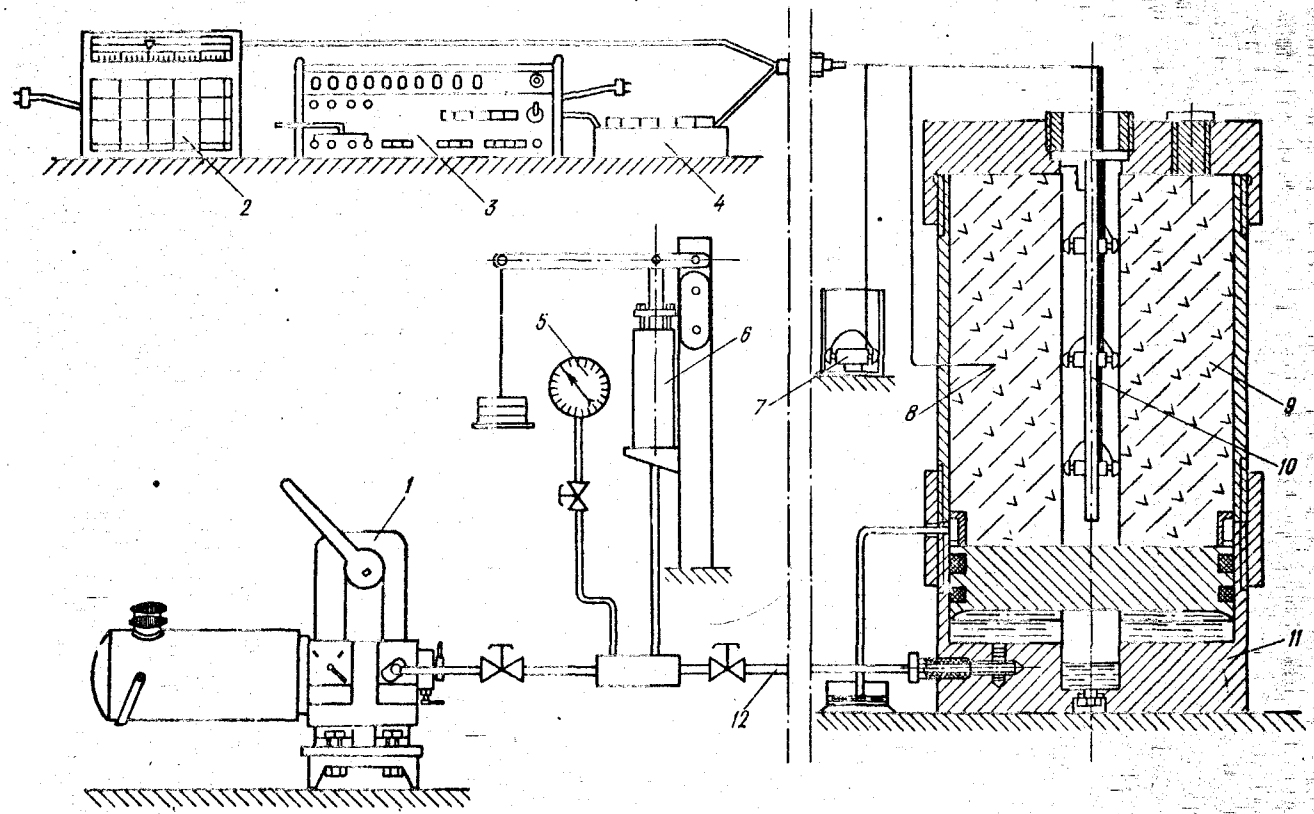


Рис.1. Принципиальная схема экспериментального стенда – модели приствольной части скважины в ледовом массиве

пературный режим автоматически поддерживался с точностью $\pm 0{,}5$ °С. Для удобства монтажа нагрузочного цилиндра и проверки герметичности соединения поршня с корпусом цилиндра последний выполнен разъемным. Корпус цилиндра с верхней его частью (трубой диаметром $D_{вн}$ = 300 мм) соединен муфтой с резьбой.

Создание необходимой напряженности в блоке льда и поддержание ее постоянства в течение экспериментов обеспечивалось специальной гидромеханической системой 6, компенсирующей расход рабочей жидкости в гидравлической системе, связанный с деформацией модели скважины в процессе опыта.

Температура в процессе опыта измерялась с помощью потенциометра, регистрирующего э.д.с. термопары.

В систему измерения деформации входят три датчика, смонтированные на единой плате на расстоянии 150 мм друг от друга, и цифровой мост. Каждый датчик представляет собой одну или две соединенные торцами друг с другом катушки индуктивности. В центральные отверстия катушек с противоположных торцов вставлены упоры, воспринимающие деформацию стенок скважины. Удержание упоров в контакте со стенками скважины обеспечивается проволочными пружинами. Эта система обеспечивает измерение деформации в пределах от 0 до 5 мм при чувствительности 0,01 мм.

Техническая характеристика экспериментального стенда:

Гидравлическая система	
Максимальное давление, МПа	10
Точность измерения давления, МПа	0,05
Гидравлическая жидкость	АМГ-10 (ГОСТ 6794-53)
Нагрузочный цилиндр	
Внутренний диаметр, мм	300
Наружный диаметр, мм	350
Высота, мм	600
Ход поршня, мм	25
Насос плунжерный	БН-1
Максимальное давление, МПа	20
Емкость расходного бака, л	1,0
Измерение температуры	
Диапазон, °С	От -50 до +50
Точность, °С	$\pm 0{,}5$
Измерение деформации	
Диапазон, мм	0-5
Точность, мм	$\pm 0{,}01$
Измерение давления	
Диапазон, МПа	0-10
Точность, МПа	$\pm 0{,}05$

Способ регистрации температуры - автоматическая непрерывная запись на диаграммной ленте, деформации и давления - периодическое снятие параметров в контрольные промежутки времени.

При подготовке стенда к экспериментальным исследованиям были проведены гидравлические испытания на прочность и герметичность узлов и систем, работающих под давлением, проверена работоспособность систем нагружения, измерения деформации и температуры, составлены тарировочные графики на датчики.

Перед намораживанием блока льда в нагрузочном цилиндре внутренние поверхности последнего, торцевые поверхности поршня и крышки, а также образующая были смазаны ЦИАТИМ-201 [5].

При установленной крышке и образующей наибольшего диаметра (d = = 40 мм) в нагрузочный цилиндр поверх поршня порциями по 0,3 л заливалась вода, предварительно охлажденная до 5-0 °С. Каждая порция воды заливалась после полного замерзания предыдущей. Температура окружающего воздуха в камере и деталей стенда при намораживании блока льда поддерживалась в пределах -(5÷10) °С. При формировании блока в него вмораживалась термопара. Один слой формировался в течение 30-40 мин, а весь блок высотой 460 мм был наморожен за 100 заливок.

Затем была сформирована структура льда. Температура блока льда повышалась до -(1÷2) °С и последний выдерживался при данной температуре в течение 24 ч. Затем блок льда подвергался сжатию и выстойке под давлением 5 МПа и при той же температуре в течение 24 ч. После снятия давления блок вновь выдерживался в течение 24 ч при температуре -(1÷2) °С. Перед каждым испытанием блок льда снова выдерживался при задаваемых давлении и температуре в течение 24 ч. Давление поднималось со скоростью 0,5 МПа/ч, температура снижалась со скоростью 0,4 °С/ч. Затем давление в системе сбрасывалось до нуля, образующая извлекалась из блока льда и на ее место (в образованную модель скважины) вставлялась система измерения деформации. Давление вновь повышалось до рабочего значения. Операция по замене образующей системой измерения деформации выполнялась за 2-10 мин.

Идентичность свойств льда в процессе исследований обеспечивалась выполнением всех серий опытов на одном блоке при единой системе подготовки последнего к каждой серии. При переходе к опытам с меньшим диаметром модели скважины в предыдущую модель скважины вставлялись образующая меньшего диаметра, и пространство между ней и стенками предыдущей модели скважины заливалось водой, охлажденной до температуры 0-5 °С. Затем снова формировалась структура льда по описанной методике.

С целью уменьшения ошибки экспериментальных исследований и сокращения времени исследования количество опытов определялось числом переменных факторов [1]. Таким образом, в 5 опытах менялись степень напряженности блока льда τ, его температура θ, начальный диаметр модели скважины d_0, а также длительность процесса деформации:

Опыт	1	2	3	4	5
d_0, мм	40	30	30	20	20
τ, МПа	6,0	3,1	6,2	2,15	4,75
θ, °С	-0,5	-5	-5	-14,4	-14,5

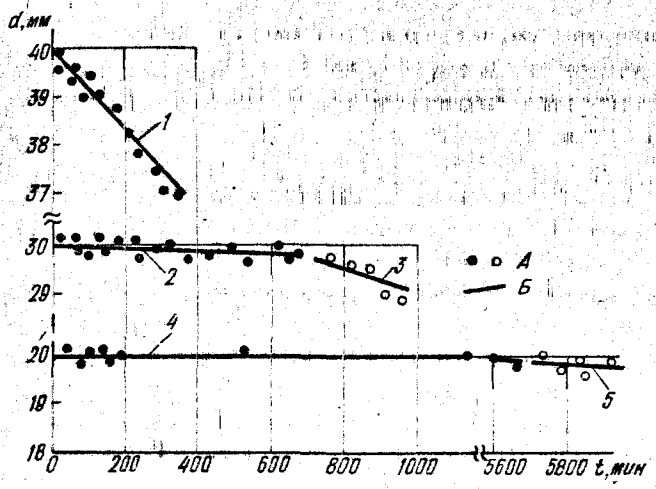


Рис.2. Изменение диаметра модели скважины во времени при различных параметрах ее состояния (опыты 1-5)
А - результаты экспериментальных исследований; Б - расчетная зависимость

Опыты проводились, начиная с сочетания максимальных, потом средних и затем минимальных значений указанных параметров. При стабилизированных значениях степени напряженности и температуры блока льда в процессе опыта через каждые 0,2-1,0 ч измерялось изменение диаметра модели скважины. В качестве критерия предельного состояния модели скважины в опытах принята критическая деформация, при которой все три датчика системы измерения деформации переставали давать фиксированные значения диаметра скважины. При достижении такого состояния опыт считался законченным.

Анализ экспериментальных данных выполнен по результатам обработки показаний среднего датчика и показывает, что характер изменения диаметра модели скважины во времени соответствует стадии установившегося течения (рис.2). На модели с $d_0 = 40$ мм сужение скважины происходит с периодически меняющейся скоростью, что свидетельствует о постепенной перестройке структуры льда в блоке под действием сравнительно высокой нагрузки ($\tau = 6,0$ МПа) при высокой пластичности льда ($\theta = -0,5\ ^{o}C$). В остальных опытах изменение скорости течения во времени практически не отмечено. Крайние датчики своими показаниями дополняют качественную картину деформации модели скважины. В количественном отношении верхний и нижний датчики показали несколько большую скорость деформации, что может быть объяснено снижением коэффициента трения на контакте льда с торцевыми поверхностями крышки и поршня относительно коэффициента трения по плоскостям сдвига в блоке льда за счет введения смазки ЦИАТИМ-201.

Значения изменяющегося во времени диаметра модели скважины, вычисленные по приведенной формуле с учетом рассчитанных из эксперимента коэффициентов A и α [4] (см. таблицу), хорошо согласуются с экспериментальными данными (рис.2): максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных относительно измеренного диаметра составило 1 %. Это дает основание считать предложенную в работе [2] формулу пригодной для инженерных расчетов параметров состояния ствола скважины и необходимой рабочей плотности жидкости.

Значения коэффициента A и показателя α ползучести

Опыт	Лед		t, мин	v_g, мм/сутки	A	α
	θ,°C	τ, МПа				
1	-0,5	6,00	392	14,400	48,092	5,00
2	-5,0	3,10	675	0,288	6,817	4,28
3	-5,0	6,20	310	4,176	6,817	4,28
4	-14,5	2,15	5685	0,023	0,871	2,71
5	-14,5	4,75	180	0,202	0,871	2,71

Примечание. v_g - средняя скорость деформации модели скважины.

К сожалению, из-за сложности проведения эксперимента полученные результаты отражают только начальный период деформации ствола скважины, пробуренной в ледовом массиве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Наука, 1965.

2. Пашкевич В.М. Исследование устойчивости стенок скважины и разработка вопросов технологии глубокого бурения во льдах. - Автореф. канд. дис. Л., изд. ВИТР, 1984.

3. Пашкевич В.М., Чистяков В.К. Исследование устойчивости ствола глубокой скважины в ледовом массиве. - Зап. ЛГИ, 1981, т. 86.

4. Саламатин А.Н., Чистяков В.К., Дмитриев Д.Н. и др. Теоретический анализ и экспериментальное исследование деформации стенок ствола скважины в ледовом массиве. - В кн.: Антарктида, вып. 20. М., Наука, 1981.

5. Чистяков В.К., Пашкевич В.М. Экспериментальный стенд для исследования устойчивости ствола скважины при бурении в ледниковом покрове. - Зап. ЛГИ, 1976, т. 71, вып. 2.

6. Шумский П.А., Ларина Т.Б., Барков Н.И. Сжатие буровых скважин в ледниковом покрове Антарктиды. - Бюлл. САЭ, № 100. Л., Гидрометеоиздат, 1980.