УДК 622.831

Н.С.КОНОНОВА
Факультет освоения подземного пространства,
аспирантка кафедры механики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СТОЛБА ЗАЛИВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ БУРЕНИИ ГЛУБОКИХ СКВАЖИН В ЛЕДОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

При проходке глубоких скважин в толще мощных ледовых отложений значительные затруднения возникают при поддержании открытого ствола скважины в силу проявления специфических вязкопластичных свойств льда. В настоящее время существуют многие способы борьбы с заплыванием полости скважины при бурении во льдах. Наиболее эффективным и надежным является заполнение скважин незамерзающими заливочными жидкостями, так как температура стенок скважины в ледовых отложениях достаточно низкая: например, температура льда на станции Восток (Антарктида) имеет значение до минус 55-57 °С на глубине 20-50 м, а на глубине 3500 м и более – минус 5-10 °С. Заливочные жидкости, как правило, формируются на основе экологически чистых гликолевых смесей и имеют плотность 0,95-0,96 г/см^3.

Успешность проведения скважин в таких условиях зависит от правильного определения необходимой высоты заполнения скважины заливочной жидкостью во избежание появления упругих деформаций и ползучести льда, способствующих заплыванию контура ствола скважины и прекращению спуска бурового снаряда по ранее пробуренной ее части.

С учетом равновесия между боковым напряжением и давлением столба заливочной жидкости, а также максимальной деформации в поперечном направлении была получена зависимость для высоты столба заливочной жидкости.

Методика проверена при бурении глубокой скважины (общая глубина более 3620 м) на станции Восток (Антарктида).

There are some difficulties in proceeding deep weels in the thick ice stratums. They are come across during the process of upholding the open space in a weel because of the visco-plastic properties of such mining stuff. Nowadays there exist loads of methods that allow to avoid the contraction of the open space in some weel while penetrating. The most efficiency and reliable method is to fill the weel with unfreezing liquids, because the temperature of a weel wall in the ice stratums is quite low, for instance the temperature of the ice at the Vostok station (Antarctica) is 55-57 °C below zero at 20-50 m depth, but at 3500 m depth and deeper it is as low as 5-10 °C below zero. Such liquids as a rule are made of environmental friendly glycolic mixtures and their density is 0,95-0,96 g/sm^3.

Successful weel proceeding in such conditions depends on determining the necessary depth as deep as enough to fill weel with unfreezing liquid to avoid the elastic deformations and deformations connected with after flow of the ice, which is the cause of the contraction of the open space in a weel and sticking the penetrating equipment in the weels proceeded earlier.

Taking into consideration the peak deformations in cross direction and the side stress which is in equilibrium with the pressure of loading liquid column there has been worked out the algebraical expression to required depth of this liquid column.

This method has been successfully tested in penetrating of the deep weel, which is at 3620 m total depth, at the Vostok station (Antarctica).

При проходке глубоких скважин в толще мощных ледовых отложений значительные затруднения вызывает поддержание открытого ствола скважины в силу проявления специфических вязкопластичных свойств льда. Зависимость между необратимыми деформациями (течением) и вызвавшими их напряжениями (пластичность, вязкость,

предел текучести, ползучесть и т.п.) определяется реологическими свойствами льда. Благодаря им ледники текут аналогично вязким жидкостям, коэффициент вязкости льда может меняться на несколько порядков, что обусловливает неравномерность конвергенции (заплывания) контура ствола буримой скважины.

Среди многих способов борьбы с заплыванием полости скважины при бурении можно выделить выполнение борозд в стенках скважин [2], параллельных ее оси, а также заполнение скважины заливочной жидкостью определенной плотности на необходимую высоту [1]. Применение этих способов связано с тем, что скважины в мощных ледовых отложениях бурят снарядами на кабеле без традиционной промывки. В этом случае скважина может долгое время оставаться с открытыми стенками, что увеличивает опасность заплывания полости скважины. Нарезание борозд по стенкам скважины трудоемко, требует использования специальных технических средств и неэффективно в силу анизотропии коэффициента вязкости льда.

Более эффективно и надежно заполнение скважины незамерзающими заливочными жидкостями, так как температура стенок скважин в ледовых отложениях достаточно низкая: например, температура льда на станции Восток (Антарктида) достигает минус 55-57 °С на глубине 20-50 м; на глубине 3500 м и более она повышается, но остается отрицательной (минус 5-10 °С). Заливочная жидкость не должна замерзать в указанном диапазоне температур. Такие жидкости формируются на основе экологически чистых гликолевых смесей. Их плотность 0,95-0,96 г/см^3.

Успешное проведение скважин в таких условиях возможно, если известна высота H_0 заполнения скважины заливочной жидкостью, которая позволяет избежать появления как упругой деформации, так и ползучести льда, способствующих заплыванию контура ствола скважины и прекращению спуска бурового снаряда по ранее пробуренной ее части.

Величина горного давления в скважине зависит от толщины ледника в соответствии с известной формулой

$$\sigma_1 = \gamma_л H,$$

где σ_1 – осевое напряжение, МПа; $\gamma_л$ – удельный вес льда, МН/м^3; H – мощность ледника, м.

На проявление реологических свойств (ползучести, в первую очередь) основное влияние оказывает боковое напряжение

$$\sigma_2 = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma_1 = \lambda\sigma_1,$$

где μ – коэффициент Пуассона для льда; λ – коэффициент бокового обжатия.

Упругая деформация (упругая составляющая общей деформации льда в боковом направлении при заплывании ствола скважины)

$$\varepsilon_у = \sigma_2 / E, \qquad (1)$$

где E – модуль упругости льда, МПа.

Деформация ползучести

$$\varepsilon_п = t_з v_п = t_з K \sigma^n, \qquad (2)$$

где $\varepsilon_п$ – деформация ползучести; $v_п = \dot{\varepsilon}$ – скорость ползучести льда; K – коэффициент, зависящий от свойств льда и его температуры; σ – напряжение ползучести; n – показатель степени закона течения; $t_з$ – время, необходимое для заполнения ствола скважины до уровня, препятствующего проходу бурового снаряда.

Таким образом, при принятой схеме нагружения общее расчетное уравнение для максимальной деформации примет вид

$$\varepsilon_{max} = \varepsilon_у + \varepsilon_п \le [\varepsilon], \qquad (3)$$

где $[\varepsilon]$ – допустимая величина деформации контура ствола скважины, при которой возможен свободный спуск бурового снаряда в скважину (рис.1).

В формуле (3) за величину $\varepsilon_п$ целесообразно принять деформацию равномерной (установившейся) ползучести за время $t_з$,

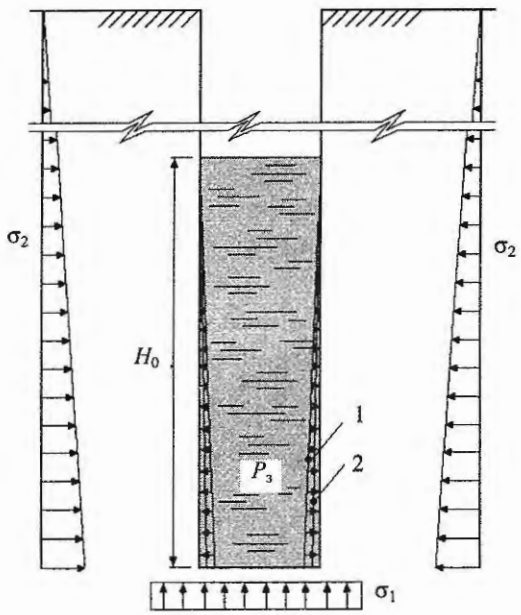


Рис.1. Расчетная схема
1 – эпюра конвергенции ствола без заливки;
2 – линия допустимых значений деформации [ε]

определяемую согласно правой части выражения (2). Тогда, с учетом выражений (1)-(3), будем иметь

$$\frac{\sigma_2 - P_3}{E} + t_3 K \sigma^n \le [\varepsilon], \qquad (4)$$

где P_3 – давление столба заливочной жидкости в скважине, $P_3 = \gamma_3 H_0$; γ_3 – удельный вес заливочной жидкости, МН/м^3.

Введя в выражение (4) значения $\sigma_2 = \frac{\mu \gamma_л H}{1-\mu}$ и $P_3 = \gamma_3 H_0$, окончательно запишем

$$\frac{\mu \gamma_л H}{E(1-\mu)} + t_3 K \sigma^n - \frac{\gamma_3 H_0}{E} \le [\varepsilon]. \qquad (5)$$

Из выражения (5) можно определить высоту столба жидкости, которую необходимо залить в скважину с целью предотвращения от заплывания текущим льдом ее открытого ствола:

$$H_0 = \alpha \frac{E}{\gamma_3}\left[\frac{\mu \gamma_л H}{E(1-\mu)} + t_3 K \sigma^n - [\varepsilon]\right] \qquad (6)$$

или

$$H_0 = \alpha \frac{E}{\gamma_3}\left[\frac{\mu \gamma_л H}{E(1-\mu)} + t_3 V_П - [\varepsilon]\right], \qquad (7)$$

где α – коэффициент, характеризующий ускорение заплывания скважины при росте температуры, уменьшении диаметра скважины и ее отклонения от вертикали: по данным практического бурения, $\alpha = 1{,}4 \div 1{,}6$.

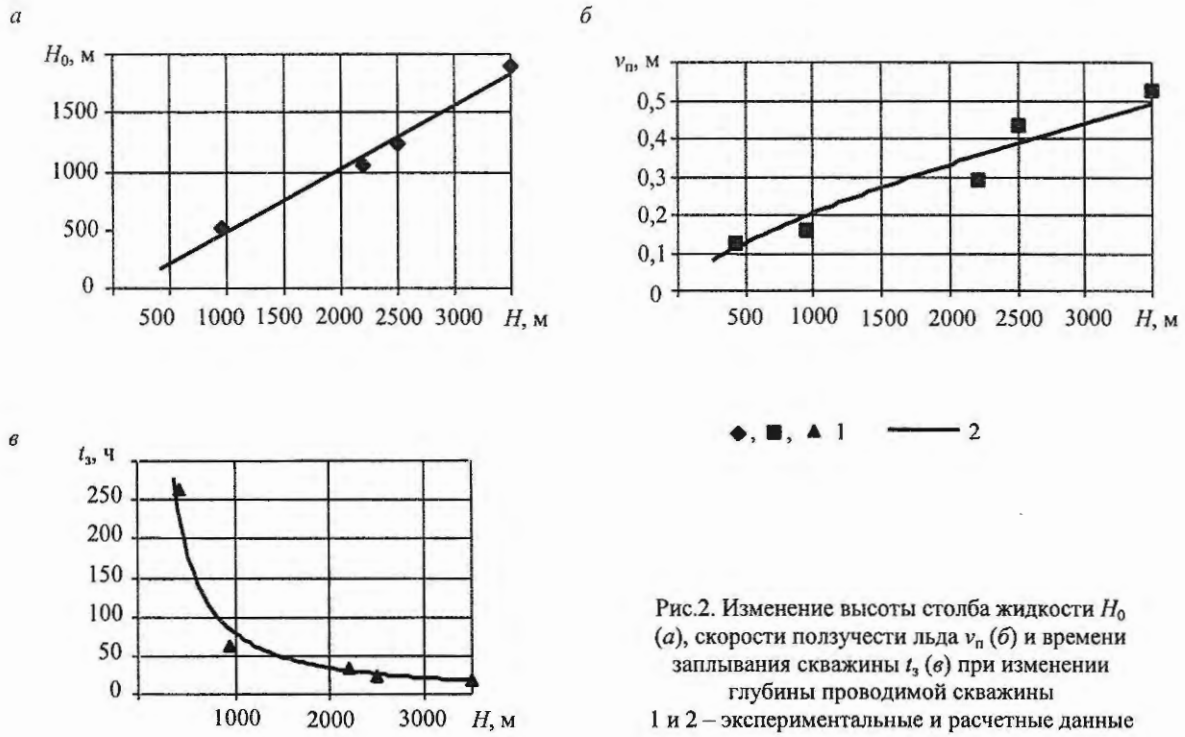


Рис.2. Изменение высоты столба жидкости H_0 (*а*), скорости ползучести льда $v_п$ (*б*) и времени заплывания скважины $t_з$ (*в*) при изменении глубины проводимой скважины
1 и 2 – экспериментальные и расчетные данные

Произведение $K\sigma^n = v_п$ в выражении (6) определяется в соответствии с опытными данными; усредненно $n = 3$.

При наличии экспериментальных данных по $t_з$ и $V_п$ можно пользоваться выражением (7).

По расчетным данным построены графики изменения высоты столба жидкости, скорости ползучести льда и времени заплывания скважины при изменении ее глубины (рис.2). При расчетах использовались следующие константы для льда: $E = 0{,}9 \cdot 10^4$ МПа (при $t_з = -5$ °С и ниже); $\mu = 0{,}36$; $\gamma = 9{,}2 \cdot 10^{-3}$ МН/м^3 [3].

Приведенная методика проверена при бурении глубокой скважины на станции Восток (Антарктида), где при конечной глубине скважины более 3620 м высота столба заливочной жидкости составила 2800 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кудряшов Б.Б.* Теория и практика бурения – протаивания в Антарктиде / Б.Б.Кудряшов, Н.Е.Бобин, Н.И.Слюсарев и др. // Материалы гляциологических исследований. М., 1973. Вып.22. С.71-77.

2. *Терещенко В.П.* Оценка скорости сужения ствола скважин в вязкой среде / В.П.Терещенко, А.М.Шкурко // Методика и техника разведки / ВИТР. СПб, 1994. № 3 (141). С.120-124.

3. *Шумский П.А.* Основы структурного ледоведения. М., 1955.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Л.К.Горшков*