Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1988. Т. 116

УДК 622.24:543.063

ОСЛОЖНЕНИЯ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ ГЛУБОКОЙ СКВАЖИНЫ НА СТАНЦИИ «ВОСТОК»

Э.А.ЗАГРИВНЫЙ, Б.С.МОИСЕЕВ

Детальное изучение материковых ледниковых покровов и ледников на глубину возможно только с помощью бурения скважин с отбором ледового керна.

Тепловой способ бурения скважин в ледниках получил широкое распространение (СССР, Франция), чему способствовали следующие его основные достоинства: 1) малый вес и высокая мобильность бурового комплекса; 2) простота, низкая стоимость бурового снаряда; 3) возможность управления диаметром скважины; 4) низкая трудоемкость обслуживания процесса бурения скважины; 5) относительно низкая энергоемкость бурового комплекса.

В результате выполнения большого объема теоретических и экспериментальных исследований по разработке техники и технологии бурения путем плавления ледовых отложений термобуровыми снарядами на грузонесущем кабеле, проведенных в Ленинградском горном институте [2, 4, 5, 6], выявлен ряд типичных осложнений и аварий, которые могут быть классифицированы следующим образом. Технологические:

а) отсутствие или прекращение отсоса воды с забоя скважины;

б) загрязнение забоя продуктами износа бурового оборудования и инструмента, попадание на забой посторонних предметов;

в) оставление керна на забое, выпадение керна из колонковой трубы при подъеме снаряда и заклинка его в стволе скважины;

г) переполнение водой водосборного отсека снаряда в процессе бурения;

д) подклинка керна в колонковой трубе в процессе бурения;

е) искривление ствола скважины.

Технические:

а) замыкание и перегорание нагревательных элементов коронки и обогрева;

б) замыкание в электромонтажной цепи снаряда;

в) неисправности с электронасосом;

г) внезапное отключение электроэнергии.

Особый интерес представляет рассмотрение вопроса об управлении углом наклона скважины. Необходимость искусственно изменять угол наклона скважины может возникнуть при значительных искривлениях скважины, при «обходах» неизвлекаемых с забоя скважины посторонних предметов и буровых сна-

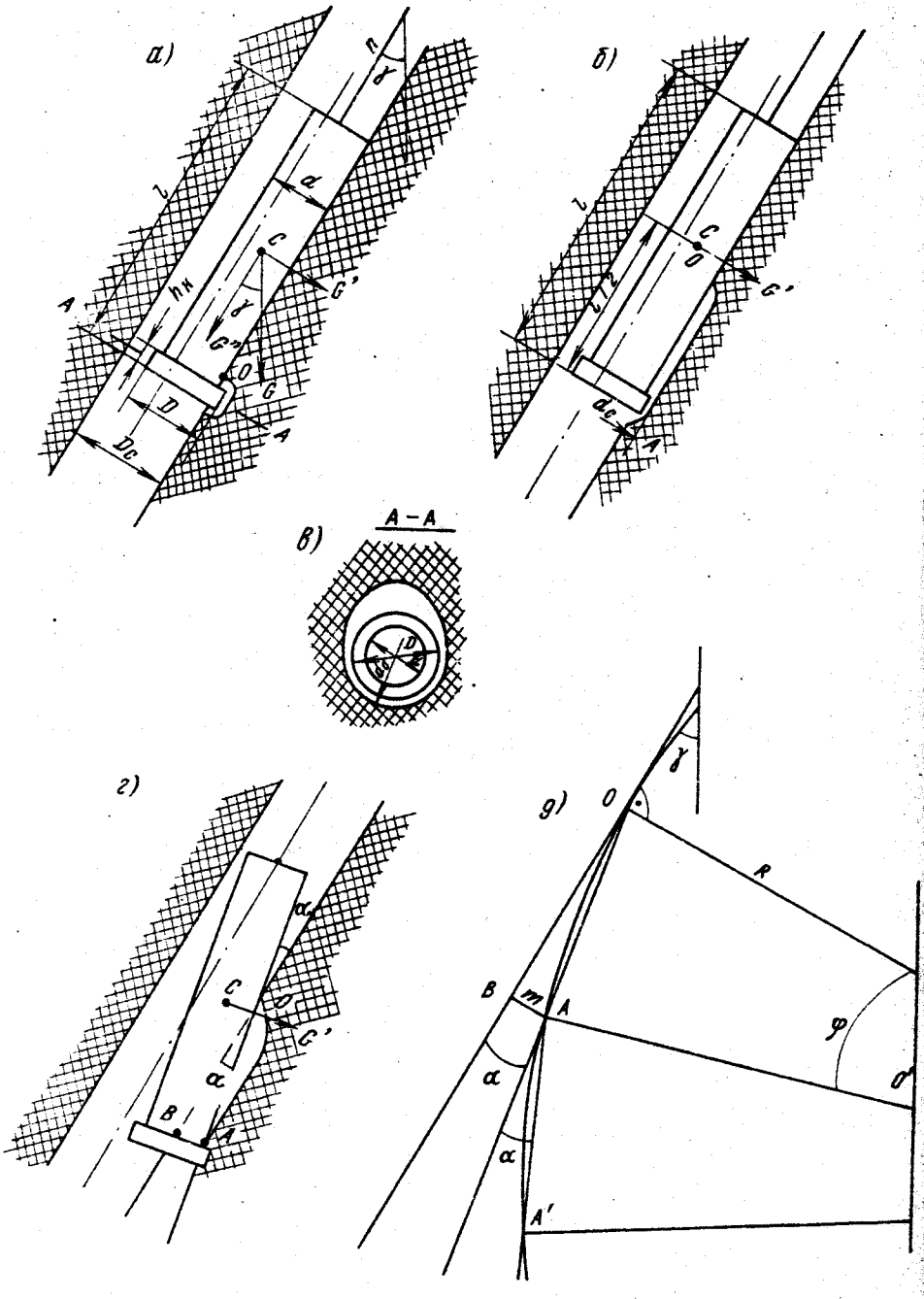


Рис.1. Расчетная модель термобурового снаряда и траектория его движения

рядов. При этом по известным конструктивным параметрам бурового снаряда и скважины необходимо уметь определять управляемую траекторию движения снаряда с целью быстрого и гарантированного «обхода" заданной точки.

Идеализированная модель термобурового снаряда (рис.I) представлена однородным весомым стержнем с центром тяжести в точке C длиной l, с диаметром поперечного сечения d. Стержень подвешен на невесомой нити n. Коронка снаряда имеет развитую цилиндрическую часть высотой $h_к$ и наружный диаметр D, диаметр скважины $D_с$. Ось скважины наклонена к вертикали на угол γ. Следует отметить, что при нормально организованном процессе бурения диаметр скважины на 8-I2 мм больше диаметра снаряда, а угол $\gamma = 3\text{-}6^0$.

Если зафиксировать буровой снаряд на нити n (грузонесущий кабель) и подвести электрическую энергию к коронке, то через время Δt под действием составляющей силы веса G' снаряд займет положение, указанное на рис.I,а. Диаметр проплавления $d_с$ в зоне коронки будет определяться мощностью нагревателя коронки и временем Δt, на которое снаряд был зафиксирован на рассматриваемом интервале скважины. Если по истечении времени Δt снаряд переместить вниз на величину $h_к$, равную высоте коронки, и снова дать выдержку времени, равную Δt, то в зоне коронки получится желоб диаметром $d_с$ и длиной приблизительно $2h_к$. Повторяя операции проплавления желоба в стенке скважины путем дискретной подачи снаряда на величину $h_к$ с выдержкой времени Δt после каждой подачи на интервале OA (рис.I,б), можно получить скважину сечением, показанным на рис.I,в. После прохождения центра тяжести C снаряда точки O под действием составляющей силы веса G' снаряд развернется вокруг точки O на угол α и займет положение, показанное на рис.I,г. Угол α определится из соотношения

$$\frac{(d_с - d)/2}{l/2} = \operatorname{tg}\alpha. \qquad (I)$$

Поскольку угол $\alpha \ll I^0$, можно считать, что $\operatorname{tg}\alpha = \alpha$, тогда

$$(d_с - d)/l = \alpha. \qquad (2)$$

Минимальное значение угол α будет иметь при $D = d_с$, т.е. в случае отсутствия зазора между коронкой и стенкой скважины. Тогда

$$\alpha_{min} = (D - d)/l. \qquad (3)$$

При продолжении разработки скважины и бурении массива с дискретной подачей на величину $h_к$ и фиксированием при этом снаряда на время Δt траектория движения центра тяжести OAA' может быть представлена частью правильного многоугольника (рис.I,д), который может быть описан окружностью радиусом R. Луч OB – ось скважины, от которой отклоняется снаряд. Длина стороны этого многоугольника $OA = l/2$. Число сторон при реальных значениях углов и длин сторон – более I000. Принимая это во внимание,

определим значение радиуса описанной окружности R. Угол $\alpha = l/2$ между касательной OB и хордой OA связан с углом φ соотношением

$$BOA = \frac{1}{2} \cup OmA. \qquad (4)$$

Длина дуги $OmA = S = \varphi R = 2\alpha R$, откуда $R = S/2\alpha$.

Длина дуги $OmA = S$ отличается на бесконечно малую величину от длины стороны многоугольника $OA = AA'$ (ошибка менее 0,1 %). Поэтому можно считать, что $S = OA = l/2$. Тогда с учетом (2)

$$R = \frac{l}{4\alpha} = \frac{l^2}{4(d_c - d)}. \qquad (5)$$

Максимальное значение радиуса описанной окружности получается при $\alpha = \alpha_{min}$:

$$R_{max} = \frac{l}{4\alpha_{min}} = \frac{l^2}{4(D - d)}. \qquad (6)$$

Зная технологию бурения скважины, ось которой совпадает с дугой окружности радиуса R, в соответствии с (5) и (6) определим положение точки O, из которой следует начать бурение с отклонением при условии, что расстояние в горизонтальной плоскости между заданной точкой скважины E и точкой Д отклоняемой скважины не должно быть меньше заданного (рис.2). Надо при заданных значениях отклонения $FD = r$ и радиуса R определить $OF = H$. На рис.2 точка F лежит на оси скважины и ее требуется «обойти», $\cup OmD$ – ось отклоняемой скважины; $FD = r$ – расстояние, которое требуется выдержать при отклонении скважины. Выполним дополнительные построения, проведя хорду OD, $OC \perp OD$ и $ND \parallel KC$. Рассмотрим подобные треугольники OCK, ODN и OCO'. Из подобия следует, что

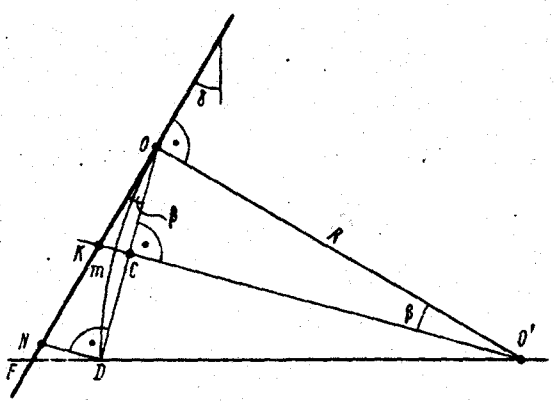


Рис.2. Расчетная схема для определения положения начальной точки отклонения O при заданном отклонении $FD = r$

$$\frac{KC}{OK} = \frac{OC}{OO'} \quad \text{или} \quad \frac{r}{H} = \frac{H'}{R},$$

где $H' = OC$, $H' = H/2\cos\rho$.

При этом, в силу малости угла ρ, считаем, что $\cos\rho = 1$, $OF = ON$, тогда

$$2rR = H^2. \qquad (7)$$

Подставляя в (7) выражение (5), получим

$$H = \sqrt{2rR} = l\sqrt{\frac{r}{2(d_c - d)}}. \qquad (8)$$

Максимальное значение $H = H_{max}$ может быть получено с учетом (6):

$$H_{max} = \sqrt{2rR_{max}} = l\sqrt{\frac{r}{2(D - d)}}. \qquad (9)$$

Экспериментальная проверка изложенных теоретических положений и технологии управляемого искривления скважины проведены на станции «Восток» в 26-й советской антарктической экспедиции при устранении осложнения в скважине 3Г на интервале 1560–1580 м [3]. В результате отказа системы водоудаления на указанном интервале при подъеме снаряда ТБС-112 ВЧ появилась «затяжка», устранить которую не удалось. Поэтому возникла задача «обойти» оставленный в скважине снаряд. Параметры скважины в интервале 1500–1570 м представлены в таблице.

Параметры скважины 3Г до искривления (в числителе) и после искривления (в знаменателе)

Номер интервала	Глубина, м	Диаметр скважины, мм	Угол наклона
1	1500/1500	122/122	$7^\circ00'/7^\circ00'$
2	1520/1520	122/122	6 00/6 20
3	1540/1540	119/119	6 00/6 00
4	1560/1560	121/122	6 00/4 30
5	1570/1580	120/114	-/4 30
6	-/1600	-/133	-/3 45

Искривление скважины выполнялось штатным термобуровым снарядом ТБС-112 ВЧ длиной $l = 7{,}1$, диаметром $d = 108$ мм. Использовалась стальная цилиндрическая коронка высотой $h_к = 60$ мм, наружным диаметром $D = 114$ мм с индукционным нагревом. Потребляемая мощность коронки 4,5–5 кВт.

Задаваясь минимальным расстоянием $FD = r$ (рис.2), $r_{min} = 0{,}25$ м, определим максимальную высоту OF над точкой F, из которой следует начать отклонение, по (9) и R_{max} по (6):

$$H_{max} = 7{,}1\sqrt{\frac{0{,}25}{2(0{,}114 - 0{,}108)}} \approx 32 \text{ м};$$

$$R_{max} = \frac{7{,}12}{4(0{,}114 - 0{,}108)} \approx 2100 \text{ м}.$$

Стендовые испытания стальных коронок показали, что при относительной малой скорости бурения (1,5–2 м/ч) они обеспечивают значительную разработку скважины (124–130 мм). Поэтому при определении высоты H зазор

между коронкой и стенкой скважины принят равным 2 мм, т.е. $d_c = 118$ мм. Тогда по (8)

$$H = 7{,}1\sqrt{\frac{0{,}25}{2(0{,}118 - 0{,}108)}} \approx 25 \text{ м}.$$

Работы по отклонению скважины выполнялись в следующей последовательности:

1. С помощью снаряда ТБС-112 ВЧ в зону забоя доставлен окрашенный керн. За рейс доставлялось около 4 м керна (водосборный бак и кернорвательные ножи были удалены). При этом керн в колонковой трубе удерживался искусственной ледяной пробкой в зоне коронки. При подходе снаряда к забою в коронку подавалась электроэнергия, пробка расплавлялась и при подъеме снаряда керн выпускался на забой. После каждого рейса по доставке керна на забой выполнялся рейс со сменным отержневым нагревателем, с помощью которого доставленный керн плавился на интервале 0,6-0,8 м с целью создания монолитной зоны скважины. Таким образом, искусственный забой был поднят на высоту приблизительно 18 м над верхней частью оставленного в скважине снаряда.

2. После установки стальной коронки и определения места искусственного забоя снаряд был поднят над забоем приблизительно на 8 м в точку 0 – начало искривления скважины (рис.2). Выполняя дискретную подачу снаряда на забой по 50-55 мм и выдерживая его неподвижным после каждой подачи (90-100 с) при мощности коронки около 4,5 кВт был проработан интервал около 8 м над искусственным забоем. Аналогично выполнялось бурение скважины и в массиве. Средняя скорость бурения при отклонении составила 1,9-2,1 м/ч. Параметры скважины в интервале искривления представлены в таблице.

Как видно из таблицы, фактическое искривление скважины получилось выше расчетного ($1^0 30'$ против $0^0 45'$), что объясняется большим против расчетного фактическим значением d_c.

В целом по работе можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная идеализированная модель процесса управления углом наклона скважины правильно отражает явления, реально протекающие в скважине.

2. Полученные выражения (5), (6) позволяют по заданному расстоянию в горизонтальной плоскости между точками исходной и искривляемой скважин и по конструктивным параметрам снаряда определить положение начальной точки искривляемой скважины.

3. Для бурения скважины в интервале искривления следует применять дискретную подачу снаряда на забой с фиксированием снаряда при этом на определенное время. Подача и время выдержки определяются конструкцией и мощностью коронки и должны уточняться экспериментально.

4. При соответствующей подготовке и организации работ время, затрачиваемое на искривление скважин при „обходе" заданной точки, не превышает 3-4 суток.

5. Для успешного отклонения ствола скважины необходимо иметь на буровой набор специальных индукционных коронок [I].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.с. 1263845 СССР, МКЕ 21 С 37/18. Устройство для электротермического бурения скважин во льду с отбором керна / Э.А.Загривный, В.Н.Бахтюков, Б.С.Моисеев и др. (СССР). № 3825729/22-03 (152642); Опубл. 15.06.86, Бюл. № 38.

2. Вартыкян В.Г., Коваленко В.И., Моисеев Б.С. Опыт искривления скважин в условиях Антарктиды // Инф. бюл. САЭ. 1977. № 96. С. 24-25.

3. Загривный Э.А., Моисеев Б.С., Шкурко А.М. Результаты полевых испытаний высокочастотного термобурового комплекса ТБС-112 ВЧ при бурении глубокой скважины в низкотемпературном ледниковом покрове (станция „Восток") // Зап. ЛГИ. 1983. Т. 105. С. 103-107.

4. Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М. Бурение скважин в осложненных условиях. М. : Недра, 1987. 158 с.

5. Осложнения и аварии при глубоком бурении-протаивании, их ликвидация и предупреждение / Фисенко В.Ф., Бобин Н.Е., Степанов Г.К. и др. // Антарктика : Докл. комиссии. М. : Наука, 1974. Вып. 13. С. 161-166.

6. Тепломассоперенос при контактном плавлении / В.К.Чистяков, А.Н.Саламатин, С.А.Фомин и др. Казань : Изд-во Каз.гос.ун-та, 1984. 176 с.