УДК 622.24

Н.И.ВАСИЛЬЕВ, П.Г.ТАЛАЛАЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
Л.М.САВАТЮГИН
Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ СКВАЖИН В ЛЕДНИКАХ

Рассмотрены особенности проектирования технических средств, предназначенных для бурения скважин в ледниках. Полярные и высокогорные районы Земли характеризуются неповторимым сочетанием неблагоприятных для практической деятельности условий, поэтому, кроме общих требований при проектировании технических средств, к ним предъявляются особые требования по массе и габаритам, энергопотреблению и эксплуатационным характеристикам используемых материалов. Приведены конкретные технические решения конструкций буровых помещений, средств проведения спуско-подъемных и вспомогательных операций, а также мероприятий, направленных на снижение материало- и энергоемкости буровых работ на ледниках.

This paper includes the particularities of equipment designing for bore-hole drilling in glaciers. Polar and high-mountainous regions of the Earth are characterizes by the unique conditions, which are particularly disadvantage for the economic and practical activity. That is why besides the general requirements for designing of the drilling equipment the particular specifications lays claims to weight and dimension of the drilling equipment, power consummation and working characteristics of used materials. The paper contains the concrete technical designs of drilling facilities, devices for lowering/hoisting and auxiliary operations as well as actions directed to decreasing of the specific consumption of materials and power of the ice-core drilling equipment.

Снега и льды являются одними из основных составляющих природных оболочек Земли. С ними в значительной степени связаны изменения климата, расчет и прогноз водных ресурсов, колебания уровня Мирового океана, а также возможность освоения труднодоступных, малоисследованных районов Арктики и Антарктики. Ледники занимают площадь около 16 млн км^2 или 11 % площади всей суши [1]. Эти районы Земли характеризуются неповторимым сочетанием неблагоприятных для практической деятельности условий, таких как низкие отрицательные температуры в течение всего года, чрезвычайная отдаленность от обжитых районов, специфические транспортные условия, полное отсутствие инфраструктуры и т.д.

Доставка оборудования к месту проведения буровых работ на ледниках производится авиатранспортом, санно-гусеничными походами, а в ряде случаев гужевым транспортом и пешеходными маршрутами. В этих условиях особое значение приобретает масса и габариты транспортируемого оборудования, которые во многом определяют эффективность буровых работ.

К настоящему времени многими лабораториями и научно-исследовательскими институтами мира разработаны десятки специальных буровых установок, предназначенных для сооружения скважин исключительно во льду [2]. В некоторых случаях за счет упрощения технологии бурения удается полностью исключить ряд компонентов. Так, при ручном бурении неглубоких скважин нет необходимости в использовании промывочной жидкости, источников электроэнергии, механических приводов бурильной колонны и т.д.

Кроме общих требований к конструкции буровых установок, таких как возмож-

ность ее разделения на независимые сборочные единицы, минимальная трудоемкость и удобство сборочных операций, обеспечение возможности компоновки из стандартных и унифицированных частей, к буровому оборудованию для проходки скважин в ледниках предъявляются следующие особые требования:

- масса отдельных узлов и частей оборудования не должна превышать максимальную грузоподъемность транспортных средств;
- габариты оборудования должны соответствовать этим транспортным средствам (например, максимальные габариты груза, помещаемого в грузовой отсек самолета LC-130, составляют 2,13 × 2,64 × 2,44 м);
- оборудование должно быть максимально облегчено;
- энергопотребление оборудования должно быть минимальным;
- расчетный технический ресурс проектируемого оборудования в связи с невозможностью проведения капитального ремонта в полевых условиях должен в несколько раз превышать наработку оборудования до достижения им предельного состояния;
- используемые материалы должны сохранять свои технологические характеристики при крайне низких температурах (до –90 °С для поверхностного оборудования и до –60 °С для забойного оборудования).

Проектирование бурового оборудования, удовлетворяющего перечисленным требованиям, направлено в основном на отказ от традиционных конструкций буровых зданий и платформ, использование для проведения спуско-подъемных операций грузонесущего кабеля, изготовление оборудования из легкосплавных и композитных материалов, внедрение материало- и энергосберегающих технологий.

При традиционном геолого-разведочном или нефтяном бурении основная масса оборудования сосредоточена в металлоконструкциях буровых зданий и платформ. Также велика масса специально сконструированных для бурения глубоких скважин во льду буровых комплексов. Поэтому вполне закономерным при бурении скважин в ледниках явился отказ от таких конструкций путем размещения бурового оборудования или в облегченных укрытиях, или в тоннелях и траншеях, вырытых в поверхностной части ледника.

На ст.Берд (Западная Антарктида) буровое оборудование размещалось в тоннеле, пройденном на расстоянии 12 м от дневной поверхности [8]. Буровое помещение на базе NGRIP (Гренландия) – это траншея размером 23 × 5 × 5 м, перекрытая на уровне дневной поверхности фанерными щитами [4]. Примерно такое же помещение было вырыто и японскими специалистами на ст.Купол Ф в Восточной Антарктиде.

Выполнение спуско-подъемных операций в скважине при помощи грузонесущего кабеля с лебедкой вместо традиционной колонны бурильных труб позволяет также существенно снизить массу используемого бурового оборудования. Масса одного метра стальной бурильной трубы СБТ-50 составляет 6,05 кг/м, легкосплавной бурильной трубы ЛБТН-54 – 4,4 кг/м. Линейная плотность грузонесущего кабеля при бурении скважин средней глубины составляет 0,12-0,75 кг/м, при бурении глубоких скважин – до 1-2 кг/м [2].

С целью дополнительного снижения массы грузонесущего кабеля датские специалисты разработали технологию бурения, в которой предусмотрено использование забойных электрических аккумуляторов как накопителей энергии, необходимой для сравнительно кратковременного бурения за один рейс [4]. Зарядка аккумуляторов производится при выполнении спуско-подъемных операций. Это позволило при выборе грузонесущего кабеля определить необходимое сечение токоподводящих жил, исходя из продолжительности и режима зарядки аккумуляторов в каждом рейсе. Оказалось возможным использовать четырехжильный грузонесущий кабель диаметром 6,45 мм с максимальным разрывным усилием 25 кН и линейной плотностью всего 0,153 кг/м.

Легкосплавные материалы для изготовления бурового оборудования применялись

еще на первых этапах гляциологических исследований. Так, например, буровая вышка высотой 21,3 м при бурении глубокой скважины на ст.Берд (1967-1968 гг.) была целиком изготовлена из алюминиевого проката [8]. В последнее время проектирование бурового и вспомогательного оборудования проводится с учетом использования новых композитных материалов, по прочностным характеристикам не уступающим традиционным конструкционным материалам, но имеющим существенно более низкую плотность.

«Пионерами» использования новых композитных материалов стали инженеры лаборатории PICO (Университет Аляски), которые в начале 1980-х годов разработали комплект оборудования для ручного бурения скважин во льду глубиной до 50 м, изготовленный из фибергласса [7]. Масса двухметровой шнековой колонковой трубы составляет всего 3 кг, а бурильной колонны с наружным диметром 50 мм – 0,75 кг/м.

В практику бурения глубоких скважин во льду прочно вошла технология крепления верхнего интервала (80-120 м) проницаемых снежно-фирновых отложений при помощи колонны обсадных труб, также изготовленных из фибергласса [5]. Использование такой обсадной колонны позволяет не только снизить массу необходимого бурового оборудования, но и предохранить буровой снаряд от повреждений при выполнении спускоподъемных операций в обсадной колонне.

В тесной связи с задачей, направленной на минимизацию массы используемого бурового оборудования, стоит проблема сокращения уровня энергоемкости буровых работ. Потребление энергии при бурении происходит практически на всех этапах сооружения скважины.

Энергоемкость разрушения льда на забое скважины характеризуется удельной энергией разрушения, т.е. энергией разрушения, отнесенной к единице объема или массы разрушенного материала. При тепловом способе бурения удельная энергия разрушения на два порядка выше (590-680 МДж/м^3) удельной энергии, необходимой для механического разрушения (2-5 МДж/м^3). Очевидны преимущества механического способа бурения.

Основные затраты энергии при традиционном вращательном бурении с приводом бурильной колонны на поверхности приходятся на холостое вращение бурильной колонны; электрическая мощность приводных двигателей станков для бурения глубоких скважин достигает 90 кВт и более. В электромеханических снарядах на грузонесущем кабеле приводные двигатели находятся на забое скважины и вращают непосредственно колонковый набор с породоразрушающим инструментом, поэтому их номинальная мощность не превышает 2-3 кВт.

Характерной особенностью бурения снарядами на грузонесущем кабеле является наличие потерь в электропроводящих жилах кабеля. С увеличением глубины бурения и длины используемого кабеля возрастают и электрические потери. Одним из путей решения этой проблемы является использование забойного оборудования, электропитание которого осуществляется по схеме: источник питания на поверхности – повышающий трансформатор – грузонесущий кабель – забойный понижающий трансформатор – электрические потребители бурового снаряда. Такая схема была реализована специалистами Горного института при бурении глубокой скважины 3Г (2202 м) на ст.Восток [3].

Снижение массы и облегчение транспортировки бурового оборудования в труднодоступные районы может достигаться путем использования альтернативных источников энергии. Например, лабораторией PICO (Университет Аляски) вместо традиционного источника электрической энергии – электромашинного генератора – при бурении скважин на леднике Келькая (Перу) на высоте 5700 м над уровнем моря использовались солнечные батареи, состоящие из панелей типа HE60 мощностью 40 Вт [6]. Общая мощность используемых солнечных батарей составила 2 кВт, а масса – 250 кг.

Учет приведенных выше особенностей проектирования бурового оборудования позволяет еще на стадии разработки технического предложения провести сравнительную

оценку различных вариантов возможных технических и технико-экономических решений и выбрать такие, которые соответствуют требованиям, предъявляемым к техническим средствам для проходки скважин в ледниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Долгушин Л.Д.* Ледники / Л.Д.Долгушин, Г.В.Осипова. М.: Мысль, 1989.

2. *Кудряшов Б.Б.* Бурение скважин в снежно-фирновых и ледовых толщах за рубежом / Б.Б.Кудряшов, П.Г.Талалай, В.К.Чистяков; Техника, технология и организация геолого-разведочных работ: Обзор / ВИЭМС. М., 1991.

3. *Кудряшов Б.Б.* Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород / Б.Б.Кудряшов, В.К.Чистяков, В.С.Литвиненко. Л.: Недра, 1991.

4. *Gundestrup N.S.* ISTUK: a deep ice core drill system / N.S.Gundestrup, S.J.Jonsen, N.Reeh // USA CRREL Spec. Rep. 84-34. Hanover, USA CRREL, 1984.

5. *Johnsen S.J.* The new improved version of the ISTUK ice core drill / S.J.Johnsen, N.S.Gundestrup, S.B.Hansen, J.Schwander, H.Rufli // Mem. of National Inst. of Polar Research. 1994. № 49.

6. *Koci B.R.* Ice-core drilling at 5700 m, powered by a solar voltaic array // J. of Glaciol. 1985. Vol.31. № 609.

7. *Koci B.R.* The PICO lightweight coring auger / B.R.Koci, K.C.Kuivinen // J. of Glaciol. 1984. Vol.30. № 105.

8. *Ueda H.T.* Core drilling through the Antarctic ice sheet / H.T.Ueda, D.E.Garfield // USA CRREL Tech. Rep. 231. Hanover, 1969.