

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ ЛЬДА

Канд. техн. наук С. С. ТОРБАН, инж.-механик В. Н. ДАНИЛЬЧЕНКО

Изучение зависимости между мощностью, потребляемой в процессе бурения льда, и величиной подачи бура представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Продолжительность бурения лунки зависит от числа оборотов бура, т. е. от скорости резания и величины подачи бура. Чем больше подача бура, при прочих равных условиях, тем меньше продолжительность бурения лунки.

Под подачей бура S мы подразумеваем расстояние, пройденное буром вдоль оси в миллиметрах на один оборот бура или в одну минуту. Чаще рассматривают величину подачи, отнесенную к одному обороту бура (S мм/об).

Подача бура может осуществляться от руки или от механического привода. Величина подачи зависит при заданной мощности и конструкции буровой установки, от механических свойств льда и геометрии режущего инструмента.

Испытания различных конструкций льдобурильных агрегатов показывают, что величина подачи бура может колебаться в весьма широких пределах — от 0,5 мм/об в агрегате Ферштута и Пащенко до 25 мм/об в агрегате Шляева.

Величина подачи бура неразрывно связана с сечением стружки, снимаемой буром за один оборот,

$$f = \frac{Sd}{2} \text{ мм}^2,$$

где: f — сечение стружки в мм²;
 S — величина подачи бура в мм/об;
 d — диаметр бура.

Чем больше сечение стружки, снимаемой за один оборот бура, тем процесс бурения более производительен.

В льдобурильном агрегате конструкции Ферштута и Пащенко сечение стружки будет

$$f = \frac{Sd}{2} = \frac{0,5 \cdot 350}{2} = 87,5 \text{ мм}^2.$$

При работе с агрегатом конструкции Шляева сечение стружки

$$f = \frac{25 \cdot 350}{2} = 4375 \text{ мм}^2.$$

При сверлении вязких металлов образуется сливная стружка, а при сверлении (бурении) хрупких материалов, в том числе и льда, образуется несливная стружка (стружка надлома). При этом, чем больше величина подачи, тем размер стружки выше. Стружка получается в

виде крошек льда размером с небольшой орех. При малых подачах (агрегаты Ферштута и Пащенко, Пшеничникова и Морозова) стружка получается в виде мелкой снежной пыли.

Исследование зависимости между потребляемой мощностью в процессе бурения и величиной подачи бора (сечением стружки) проводилось на экспериментальной льдобурильной установке ВНИРО с бурами различных систем. Ниже рассмотрим данные, относящиеся к испытаниям двух конструкций буров — буры конструкции кафедры резания металлов МВТУ имени Гаумана и трехперового бура конструкции лаборатории механизации ВНИРО.

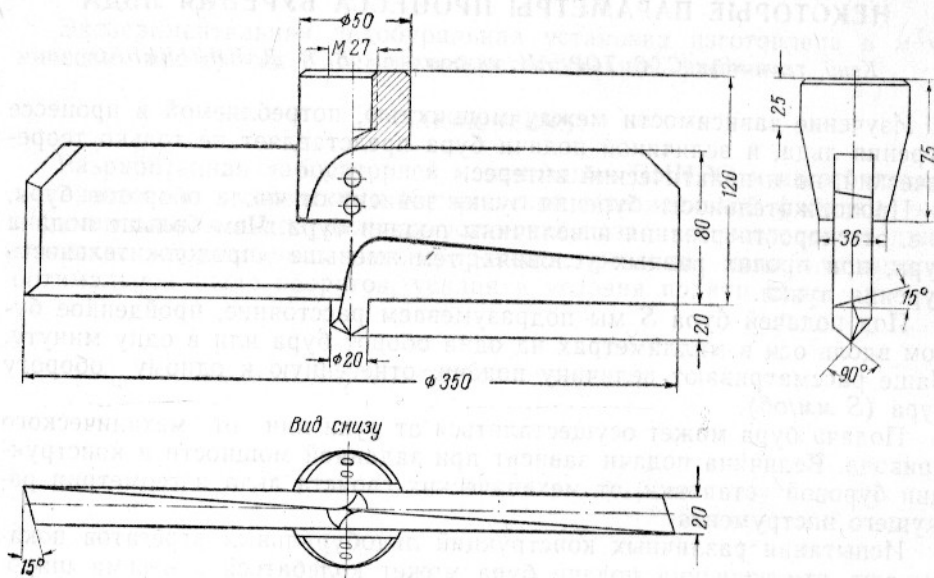


Рис. 1. Бур конструкции МВТУ имени Баумана.

Буры конструкции МВТУ имени Баумана. Экспериментальные буры МВТУ диаметром 250 и 350 мм представляют собой перку с горизонтальной режущей кромкой, направленной к центру бура. Общий вид бура изображен на рис. 1. Бур имеет, кроме главной режущей кромки, боковые и верхние режущие кромки, предусмотренные для улучшения вывода его из лунки при возможных смещениях бура относительно лунки.

В центре бура имеется центрирующее сверло. Диаметр сверла у 250-миллиметрового бура 26 мм, а у 360-миллиметрового — 20 мм. Величина перемычки центра у 250-миллиметрового бура 2 мм, а у 350-миллиметрового — 4 мм.

Геометрия бура следующая:

Главный задний угол	$\rho = 15^\circ$
Угол заострения	$\beta = 75^\circ$
Передний угол	$\alpha = 0^\circ$
Угол резания	$\gamma = 90^\circ$
Торцовый задний угол	$\varphi = 10^\circ$

Трехперовой бур конструкции ВНИРО. Этот бур представляет собой трехлопастную конструкцию со сменными ножами и забурником. Режущие ножи могут быть установлены под разными углами резания. В зависимости от длины ножей диаметр бура может изменяться и быть равным 250, 310 и 390 мм. Общий вид бура изображен на рис. 2.

Бур состоит из фигурного держателя, на котором при помощи конуса и двух гаек укрепляются три ножа. Снизу держателя на резьбе крепится трехлопастный забурник. Бур навинчивается при помощи переходника.

Характеристика трехперового бура

Диаметр бура в мм	250; 310; 390
Число режущих зубьев	13; 16; 16
Число подрезных зубьев	3; 3; 3
Длина режущей кромки одного зуба в мм:	
основного	5; 5; 5
подрезного	8; 8; 8
Суммарная длина режущей кромки без забурника в мм	74; 89; 89
Общая длина режущей кромки в мм	224; 239; 239

Зубья бура расставлены по спирали в шахматном порядке от центра к периферии. Ближайший к центру зуб является самым заглубленным (длинным). Следующий зуб находится на другом пере. Он смещен к периферии относительно предыдущего зуба и имеет несколько меньшее заглубление. На третьем пере следующий (третий) зуб опять смещен к периферии и имеет еще меньшее заглубление, и так далее по спирали последовательно на каждом пере до крайнего периферийного зуба.

Постепенное уменьшение заглубления зубьев при вращении бура создает угол при вершине бура $2\varphi=170^\circ$.

Во время экспериментов все три диаметра бура имели следующие углы резания всех зубьев:

Главный задний угол	$\rho = 15^\circ$
Угол заострения	$\beta = 60^\circ$
Передний угол	$\alpha = 15^\circ$
Угол резания	$\gamma = 75^\circ$

Снизу в центре бура монтируется трехперовой забурник (рис. 3). Максимальный диаметр, описываемый основанием забурника, 90 мм.

Угол основного конуса	$2\varphi_1 = 86^\circ$
Угол при вершине	$2\varphi_2 = 120^\circ$
Углы резания каждого пера забурника:	
главный задний угол	$\rho = 20^\circ$
угол заострения	$\beta = 35^\circ$
передний угол	$\alpha = 35^\circ$

Конус, образуемый забурником, перекрывает первый режущий зуб. Высота забурника 44 мм, что превышает высоту подрезных резцов на 10 мм. На лопастях забурника сделаны вырезы длиной 11 мм и глубиной 6 мм. Вырезы расположены в шахматном порядке и предназначены для уменьшения длины режущей кромки забурника.

Забурник легко может быть заменен на другой, так как крепится резьбовым соединением.

На рис. 4 изображен график изменения мощности, потребляемой в процессе бурения, в зависимости от величины подачи бура S мм/об.

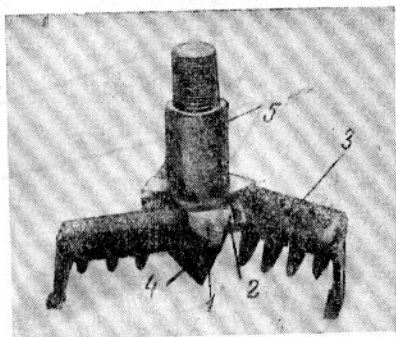


Рис. 2. Общий вид трехперового бура конструкции ВНИРО:

1—фигурный держатель; 2—крепежные гайки; 3—режущие ножи; 4—забурник; 5—переходник для крепления к шпинделю льдобура.

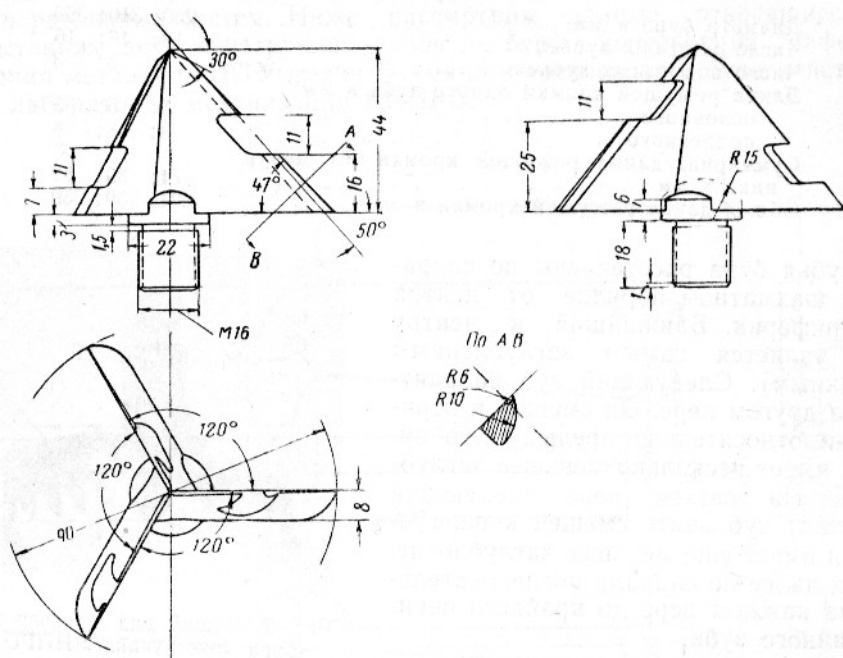


Рис. 3. Забурник трехлопастного бура.

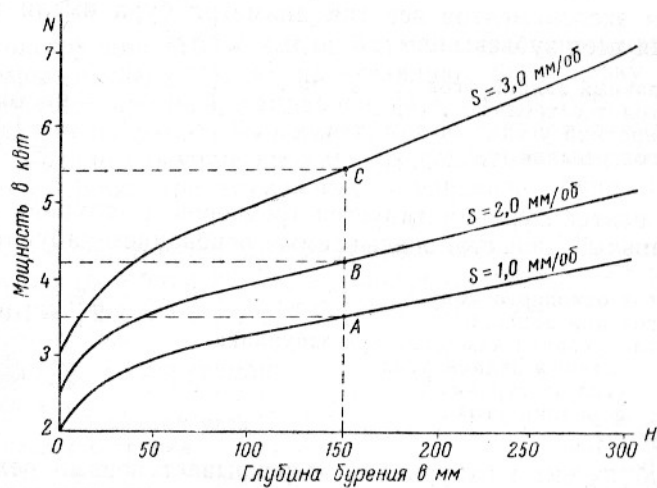


Рис. 4. Графики изменения мощности в зависимости от глубины бурения (H мм) и величины подачи (S мм/об) для бура конструкции МВТУ диаметром 250 мм.

В серии экспериментов с буром конструкции МВТУ диаметром 250 мм было задано буру 286 об/мин. Температура льда была -27° . Подача бура осуществлялась со скоростью 1,0; 2,0 и 3,0 мм/об.

Как видно из рис. 4, потребляемая в процессе бурения мощность увеличивается с увеличением подачи бура, при этом наибольшая потребляемая мощность соответствует наибольшей подаче. Подача 3,0 мм/об достаточно высокая; при числе оборотов бура в минуту, равном 286, бур за 1 мин. заглубляется в лед на 858 мм.

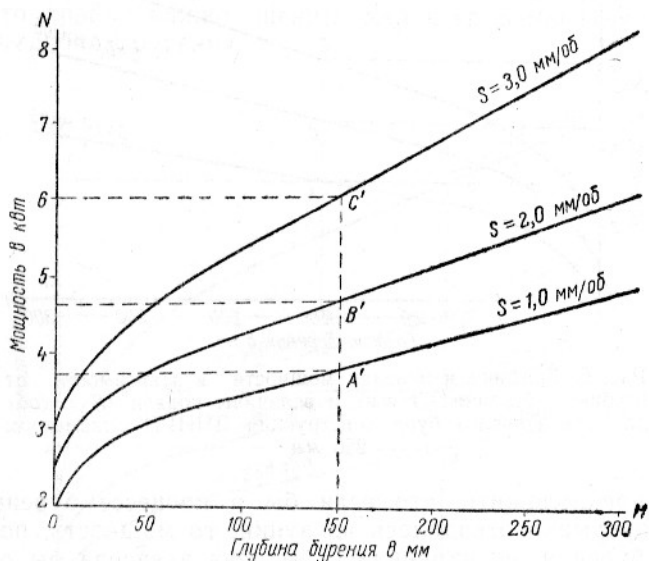


Рис. 5. Графики изменения мощности в зависимости от глубины бурения (H мм) и величины подачи (S мм/об) для бура конструкции МВТУ диаметром 350 мм.

Аналогичен характер графика $N=f(S)$ в серии экспериментов с буром 350 мм (рис. 5). Эта серия экспериментов также проводилась при числе оборотов бура $n=286$ об/мин. и температуре льда -27° .

Хотя характер изменения $N=f(S)$ на рис. 4 и 5 идентичен, тем не менее следует указать, что темп роста мощности в серии экспериментов с буром диаметром 350 мм выше, чем при экспериментах с буром диаметром 250 мм. Действительно, в точках A , B и C (см. рис. 4) мощность равна соответственно 3,5; 4,2 и 5,4 квт. В точках A' , B' и C' , взятых при тех же горизонтах бурения, что и точки A , B и C , расход мощности составил соответственно 3,7; 4,6 и 6 квт. Рост мощности, потребляемой в процессе бурения, обусловлен увеличением диаметра бура.

На рис. 6 изображен график $N=f(S)$, полученный на основании третьей серии экспериментов с трехперовым буром конструкции ВНИРО. Диаметр бура 250 мм, число оборотов бура в минуту 286, температура льда -27° . Сравнивая графики (рис. 6 и 4), полученные в экспериментах с бурами одинакового диаметра, мы видим, что при аналогичном характере изменения потребляемой мощности в процессе бурения фактическая мощность в точках A , B и C для трехперового бура конструкции ВНИРО несколько меньше, чем в точках A , B и C на тех же горизонтах бурения у бура конструкции МВТУ.

Из сравнения указанных серий экспериментов можно сделать некоторые выводы о достоинствах той или иной конструкции бура.

Характер изменения мощности в зависимости от величины подачи идентичен в сериях экспериментов с трехперовыми бурами диаметром 310 и 390 мм, а также и с бурами других конструкций и при других

режимах бурения. Так, на рис. 7 изображены графики изменения мощности в процессе бурения в зависимости от величины подачи при числе оборотов бура в минуту, равном 480.

Не менее важным практическим вопросом процесса бурения льда является вопрос об изменении мощности в процессе бурения в зависимости от глубины бурения.

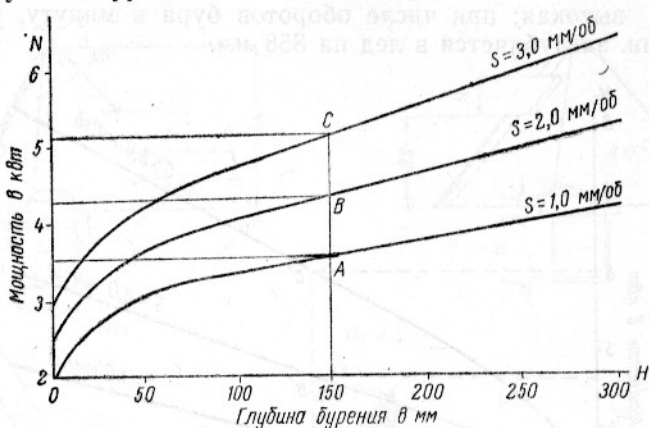


Рис. 6. Графики изменения мощности в зависимости от глубины бурения (H мм) и величины подачи (S мм/об) для трехперового бура конструкции ВНИРО диаметром 250 мм.

Можно предположить, что если бы в процессе бурения ледяная стружка непрерывно отводилась из лунки, то мощность, потребляемая в процессе бурения, не изменилась бы. Она зависела бы от диаметра бура, величины подачи, характеристики бура и льда.

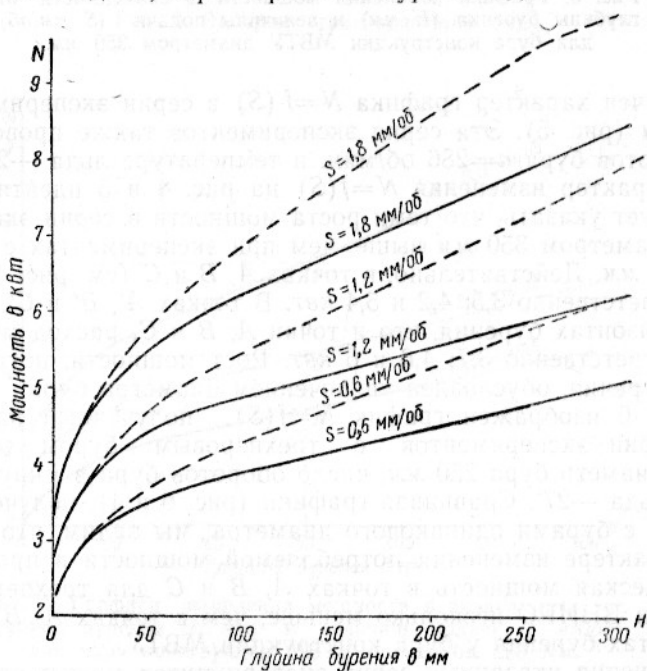


Рис. 7. Графики изменения мощности в зависимости от глубины бурения (H мм) и величины подачи (S мм/об) для бура конструкции МВТУ при $n=480$ об/мин., $t_{\text{л}}=-27^{\circ}$ (пунктирные кривые—для бура диаметром 350 мм, контурные—для бура диаметром 250 мм).

Но поскольку стружка не отводится из лунки, то затрачивается дополнительная мощность на преодоление сопротивления стружки вращению бура. При этом по мере накопления стружка под действием вращающегося бура уплотняется, еще больше препятствуя процессу бурения.

В связи с этим мощность, затрачиваемая в процессе бурения, по мере увеличения глубины непрерывно возрастает.

Поскольку еще не разработаны надежные методы удаления стружки из лунки, то крайне важно оценить характер изменения мощности с изменением глубины бурения.

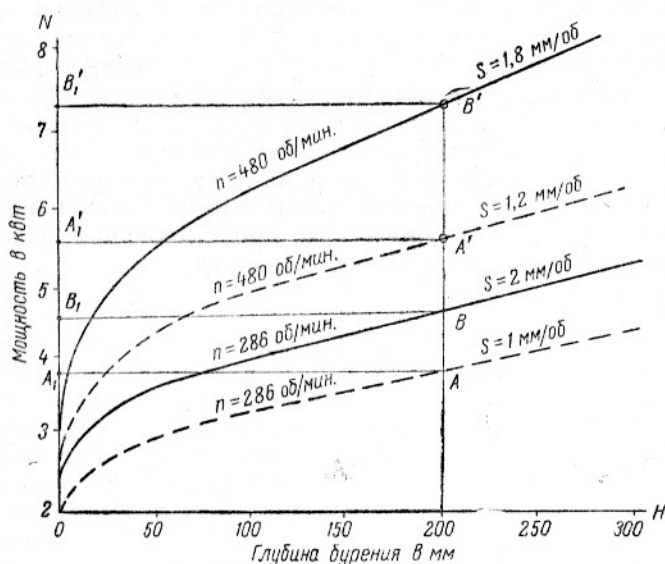


Рис. 8. Графики изменения мощности в зависимости от глубины бурения (H мм) и величины подачи (S мм/об) и числа оборотов бура (n) для бура конструкции MBTU диаметром 250 мм при температуре льда -27° .

Для этой цели воспользуемся графиками, изображенными на рис. 4, 5, 6 и 7. Мы видим, что процесс изменения мощности сначала происходит по кривой линии, а затем наступает прямая пропорциональность между мощностью и глубиной бурения. Причем отмеченная выше закономерность изменения N характерна для всех серий опытов.

Сравнение величин мощности, потребляемой в процессе бурения при весьма близких подачах, равных 1 и 1,2 мм/об, а также 1,8 и 2 мм/об, но при различных числах оборотов бура, показывает, что с увеличением числа оборотов бура с 286 до 480 в минуту при прочих равных условиях темп роста мощности, потребляемой в процессе бурения, резко возрастает (рис. 8). Мощность, затрачиваемая на процесс бурения на горизонте 200 мм при $n=286$ об/мин. и $S=1$ мм/об, составляет $N=3,8$ кВт, а при $n=480$ об/мин. и $S=1,2$ мм/об, $N=5,5$ кВт. Естественно допустить, что не увеличение подачи на 0,2 мм/об обусловило такой большой рост потребляемой мощности, а увеличение числа оборотов бура. Последнее особо убедительно видно из сопоставления мощности точек B и B' , взятых также на горизонте бурения 200 мм.

В точке B при $S=2$ мм/об и $n=286$ об/мин. фактически расходующая мощность равна 4,5 кВт, а в точке B' при $S=1,8$ мм/об (меньше, чем в предыдущем случае на 0,2 мм/об) и $n=480$ об/мин. фактически потребляемая мощность равна около 7,5 кВт,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования работы льдобурильных агрегатов с бурами различных конструкций показали, что потребляемая в процессе бурения мощность увеличивается с увеличением подачи бура.

Основным фактором роста потребляемой мощности является число оборотов бура, так как с ростом числа оборотов резко возрастает скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/мин.}$$

При $n=286$ об/мин. скорость резания на периферии бура была $v=225$ м/мин, а при $n=480$ об/мин. $v=375$ м/мин. Кроме того, с ростом числа оборотов бура резко возрастает сопротивление стружки движению бура, а так как число оборотов бура строго фиксировано передачей, то резко возрастает потребляемая в процессе бурения мощность.

Приведенные результаты исследований не исчерпывают вопроса динамических взаимосвязей процесса резания льда. Эти исследования необходимо продолжить и расширить, чтобы уже в ближайшие годы дать конструкторам надежные данные для проектирования льдобурильных установок и режущих инструментов для льда.
