

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ

В. И. ЗВАРЫГИН

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

Основными факторами, влияющими на производительность бурения, являются:

- а) конструкция коронки (качество, количество, форма и размещение резцов);
- б) технологические режимы бурения;
- в) свойства горных пород.

В целях определения оптимальных конструкций коронок и технологических режимов бурения, установления зависимости между технологическими параметрами были поставлены специальные лабораторные исследования.

### Методика исследований

Для решения поставленной задачи использовался буровой агрегат ЗИВ-75. Осевое давление на коронку осуществлялось с помощью регулятора С. А. Волкова. Грузы для создания осевого давления предварительно взвешивались через систему Волкова на динамометре ДС-0,2. Для фиксации окружного усилия и осевого давления, а также визуального наблюдения за величиной крутящего момента была разработана и собрана экспериментальная установка. Электрическая система лабораторной установки состояла из следующих частей:

1. Стабилизатора типа С-0,75.
2. Двухканальной мостовой схемы на полупроводниковых приборах с понизительным входным трансформатором.
3. Двух фильтров. Фильтры были смонтированы на одном шасси с мостовой схемой.
4. Выпрямителя ВС-24.
5. Двухканального динамометра с индуктивными датчиками.
6. Осциллографа Н-700.

На рис. 1 показана электрическая схема лабораторной установки.

Для фиксирования механической скорости бурения было изготовлено следующее приспособление. К задней части вертикальной коробки станка была закреплена деревянная площадка, на которую кнопками прикалывался лист миллиметровой бумаги. Между контргайкой и штурвалом тормоза гайки подачи крепился кронштейн, в нижней части которого была установлена линейка. По мере углубки снаряда шпindelь вместе с кронштейном опускался вниз, линейка, прижатая к листу миллиметровой бумаги, также опускалась вниз. В процессе бурения на ли-

сте через каждые 5—10 сек. делались отметки карандашом. После проведения серии опытов бумага снималась и анализировалась. По величине промежутка времени бурения и величине проходки между отметками, которая подсчитывалась на миллиметровой бумаге, рассчитывалась механическая скорость бурения.

Эксперименты проводились на кернах различных горных пород, имеющих диаметр 115 мм: песчаник, алевролит, мрамор. Длина образцов составляла 15—30 см. Для исследования технологических режимов использовались стандартные коронки ТП-3 и МР-6 диаметром 46 мм. Для компенсации погрешностей на результаты замеров, вследствие износа резцов коронки, каждой коронкой проводились опыты по одной

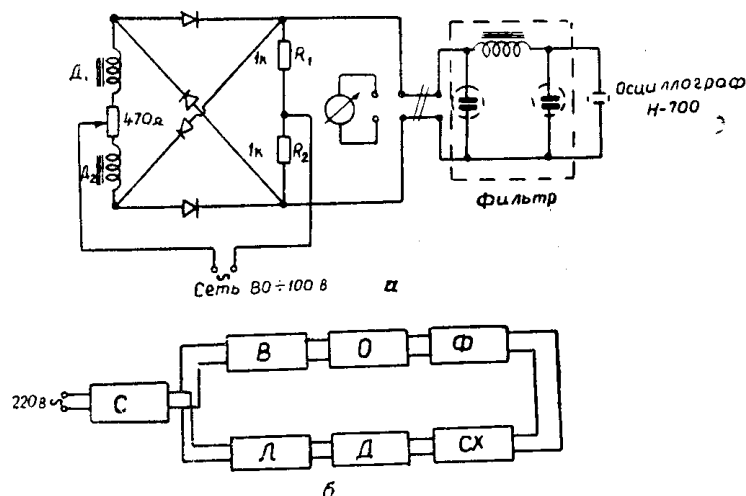


Рис. 1. Электроизмерительная схема лабораторной установки.  
а — принципиальная схема; б — схема подключения приборов.

породе по следующей схеме: сначала бурение проводилось на I скорости, II скорости, III скорости, затем на II, III и I скоростях и в конце на III, I и II скорости, т. е. по всем интервалам бурение проводилось на всех трех скоростях. Результаты замеров суммировались, и определялась средняя величина для каждой скорости. При одних и тех же условиях проводилось по 10 опытов.

### Исследование зависимости окружных усилий от осевого давления

Определение зависимости окружных усилий, действующих в процессе бурения на коронку от величины осевого давления, имеет большое значение для расчета некоторых технических величин: энергоемкости бурения, прочности резцов и бурового снаряда. Увеличение расхода энергии сказывается на стоимости бурения. Кроме того, доставка большого количества энергии на забой ограничивается прочностью буровой колонны. Все это заставляет искать пути снижения энергоемкости бурения при сохранении или даже повышении производительности бурения.

Для выявления влияния осевого давления на окружные усилия были поставлены специальные эксперименты на вышеописанной лабораторной установке. Бурение проводилось при числе оборотов равным 405 в мин, коронками ТП-3 и МР-6 диаметром 46 мм в песчаниках и алевролитах, взятых из Анжерского месторождения. Коронки ТП-3 были армированы восемью тонкими пластинками твердого сплава, коронки МР-6 — двенадцатью резцами формы 1301. Интервал проходки со-

ставлял 20—30 см. По мере притупления резцов последние затачивались на заточном станке.

При одном и том же осевом давлении проводилось по 10 опытов. Осевое давление при опытах равнялось 140, 230, 290 и 350 кг.

Результаты обработки осциллограмм занесены в табл. 1.

Таблица 1

Порода	Величина окружного усилия в кг при осевых давлениях $P_{кг}$			
	140	230	290	350
Песчаник . . . . .	74	116	150	168
Алевролит . . . . .	69	118	144	175

Е. Ф. Эпштейн [1] при бурении твердосплавными коронками руды, гранита и песчаника получил следующие данные (табл. 2).

Таблица 2

Название породы	Осевое давление $P_{кг}$	Окружное усилие $F_{кг}$
Маритовая руда . . .	150	71
	200	103
Гранит . . . . .	150	88
	200	110
Песчаник . . . . .	150	72
	200	93

Из полученных нами экспериментальных данных и опубликованных экспериментальных материалов Е. Ф. Эпштейна вытекают следующие выводы:

- 1) окружные усилия, действующие на коронку в процессе бурения, не зависят от вида породы;
- 2) при бурении горных пород твердосплавными коронками зависимость остается такой же, как и при резании единичным резцом;
- 3) экспериментальные данные еще раз подтверждают теоретические выводы, сделанные нами ранее.

### Исследование зависимости механической скорости бурения от осевого давления

В результате обработки экспериментального материала по бурению песчаников и алевролитов при различном осевом давлении были получены следующие данные (табл. 3).

Таблица 3

Порода	Механическая скорость бурения см/мин при осевом давлении $P_{кг}$			
	140	230	290	350
Песчаник . . . . .	2,75	4,6	6,1	7,9
Алевролит . . . . .	5,7	8,8	12,0	14,8

По табличным данным построен график (рис. 2), анализ которого позволяет сделать следующий вывод: механическая скорость бурения песчаников коронками с острыми резцами при малом осевом давлении до некоторого предела растет менее интенсивно, чем при больших нагрузках. Причем при больших нагрузках (свыше  $P_0$ ) зависимость механической скорости бурения от осевого давления в исследованных пределах имеет линейный характер. Такие же результаты получены Е. Ф. Эпштейном [2], который проводил опыты по глинистым, углистым и песчаным сланцам, песчаникам, известнякам и мрамору, Н. И. Люби-

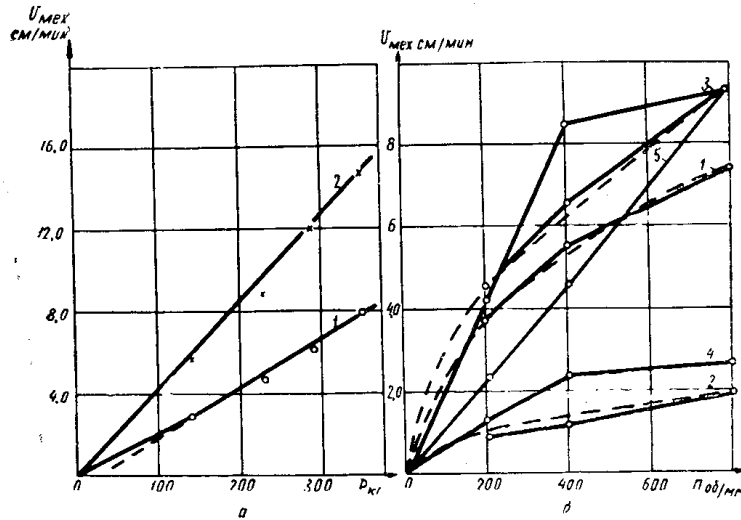


Рис. 2. График зависимости механической скорости бурения:

а) от осевого давления: 1 — для песчаника, 2 — для алевролита; б) от числа оборотов: 1 — для малоабразивного песчаника VI категории, 2 — для малоабразивного песчаника VIII категории, 3 — для абразивного песчаника VI категории, 4 — для абразивного песчаника VIII категории, 5 — для алевролита, 6 — для мрамора.

мовым и В. И. Морозовым [3] при бурении плагиогранита, габбро-норита, кератофира, базальта, габбро, лабрадорита, скарна, мрамора, диабазы и базальта, Ф. И. Кучерявым [4] при бурении гнейса и железной руды, В. М. Трофимовым [5] при бурении песчаников, песчаных и глинистых сланцев и др.

Как показывают исследования, для большинства пород (в том числе песчаников и алевролитов) прямая зависимость механической скорости бурения от осевого давления проходит либо через начало координат, либо очень близко от него и поэтому можно считать, что при бурении острыми резцами механическая скорость бурения для исследуемых нами пород прямо пропорциональна величине осевого давления.

#### Исследование зависимости механической скорости бурения от числа оборотов коронки

Исследование по определению зависимости механической скорости бурения от числа оборотов коронки производилось на песчаниках, алевролитах и мраморе коронками ТП-3 и МР-6 диаметром 46 мм при 203, 405 и 810 оборотах в минуту. Для устранения дополнительного трения за счет матриц коронок ТП-3 задний угол штабиков стачивался. Зависимость механической скорости бурения от числа оборотов для различ-

ных пород имеет различный характер. Даже для одной и той же породы с различными механическими свойствами эта зависимость различна.

В начальный момент бурения (3—5 сек.) для всех испытываемых пород зависимость механической скорости бурения и скорости вращения коронки имеет линейный характер.

При продолжительном времени бурения для малоабразивных песчаников и алевролитов кривая зависимости имеет квадратичную функцию (табл. 4, рис. 2, б)

$$v_{\text{мех}} = k \sqrt{n},$$

$k$  — коэффициент пропорциональности.

На рисунке пунктиром показаны теоретические кривые.

Одной из причин отставания темпа роста механической скорости бурения от числа оборотов коронки является износ резцов. С увеличением скорости вращения коронки износ резцов происходит более интенсивно, в результате чего темп механической скорости бурения снижается.

Таблица 4

Породы	Механическая скорость бурения см/мин при числе оборотов коронки $n$ об/мин		
	203	405	810
Песчаник малоабразивный VI категории . . . . .	3,73	5,55	7,42
Песчаник малоабразивный VIII категории . . . . .	0,88	1,19	1,87
Песчаник абразивный VI категории . . . . .	4,17	8,5	10,3
Песчаник абразивный VIII категории . . . . .	1,25	2,35	2,65
Алевриты . . . . .	4,5	6,55	9,04
Мрамор . . . . .	2,3	4,5	9,03

Явление интенсивного износа с увеличением числа оборотов особенно хорошо прослеживается на сильноабразивных песчаниках. При числе оборотов коронки 810 в минуту призматические резцы коронок МР-6 сильно изнашиваются, а пластинки твердого сплава коронок ТП-3 изнашиваются и даже выкрашиваются по углам. В результате этого темп роста механической скорости резко падает, а в некоторых случаях увеличения механической скорости не происходит, а наблюдается даже ее снижение.

А. Д. Имас [6] при бурении песчаников нашел, что при числе оборотов 300—400 в минуту кривая имеет максимум механической скорости, после которого кривая опускается вниз и при 500 об/мин механическая скорость бурения снижается до  $v_{\text{мех}}$ , соответствующей бурению при 200 об/мин.

При бурении неабразивной породы вследствие существенного снижения износа при различных числах оборотов зависимость должна быть прямолинейной. Для подтверждения этого предположения были поставлены эксперименты по бурению мрамора. Результаты (рис. 2, б) экспериментов действительно показывают прямолинейную зависимость  $v_{\text{мех}} = f(n)$ . Прямолинейная зависимость для мрамора получена и другими исследователями [3].

Интересно отметить, что для исследуемых Н. А. Любимовым и В. И. Морозовым [3] пород зависимости  $v_{\text{мех}} = f(n)$  имеют аналогичный характер. Для пород типа базальта зависимость  $v_{\text{мех}} = f(n)$  аналогична абразивному песчанику, а для эпидото-гранатового скарна аналогична малоабразивному песчанику и алевролиту.

Таким образом, исходя из вышесказанного, можно заключить, что для неабразивных пород (типа мрамора) зависимость механической скорости бурения от числа оборотов носит линейный характер; для пород малоабразивных эта зависимость имеет вид

$$v_{\text{мех}} = k \sqrt{n}$$

и для абразивных пород более сложный характер.

### Исследование зависимости окружного усилия от числа оборотов коронки

Результаты обработки осциллограмм, полученных при бурении песчаников, алевролитов и мрамора (табл. 5), показывают, что для всех испытываемых нами пород окружное усилие с увеличением числа оборотов очень мало отличается.

Таблица 5

Породы	Величина окружного усилия $F$ кг при числе оборотов коронки $n$ об/мин		
	203	405	810
Песчаник . . . . .	72,6	71,8	69,75
Алевролит . . . . .	70	69,4	68,0
Мрамор . . . . .	72	71	70

Несмотря на существенное снижение механической скорости бурения при увеличении числа оборотов коронки (как это видно из вышеприведенных графиков), окружные усилия снижаются очень мало. Такие повышенные значения окружных усилий на разбуривание породы при увеличении скорости вращения коронки некоторые исследователи [4, 6] относят за счет упрочнения породы при повышенной скорости приложения нагрузки.

Исходя из полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод, что окружное усилие, действующее на коронку, практически не зависит от числа оборотов.

### Исследование зависимости глубины внедрения резца от числа оборотов

В процессе резания горной породы резец под действием горизонтальных и осевых усилий будет непрерывно скалывать впереди себя элементы породы различной величины. После очередного крупного скола резец в результате действия осевой нагрузки и малого значения горизонтальной нагрузки будет погружаться на некоторую величину  $\Delta h$ . Если бы процесс резания происходил очень медленно, а горизонтальные (окружные) усилия придавались резцу сколь угодно большими, то, очевидно, резец при достаточных значениях осевого давления, выхода и прочности резца мог бы внедряться в породу до бесконечности, так как после крупного скола создается возможность резцу каждый раз углубляться на некоторую глубину. Однако при бурении резец имеет какую-то

определенную скорость движения, в результате чего резец после его углубления на величину  $h$  далее «не успевает» внедряться в промежутках между сколами, так как передняя грань резца постоянно находится в контакте с породой. Причем чем выше скорость перемещения резца, тем (до определенной скорости перемещения  $n_k$ ) на меньшую глубину будет внедряться резец.

Для выявления влияния числа оборотов коронки на глубину внедрения резцов могут быть использованы результаты, полученные при исследовании зависимости  $v_{\text{мех}} = f(n)$ . В этом случае суммарная глубина внедрения резцов определялась как частное от деления механической скорости бурения на число оборотов коронки

$$h = \frac{v_{\text{мех}}}{n}.$$

Для определения глубины внедрения резцов при малом числе оборотов коронки ( $n=1$  об/мин) вращение шпинделя производилось ключом вручную. Обработанный таким образом материал представлен в табл. 6 и в виде графиков (рис. 3,а).

Таблица 6

Порода	Глубина внедрения резцов $h$ в мм при числе оборотов коронки $n$ об/мин			
	1	203	405	810
Песчаник малоабразивный VI категории . .	0,7	0,18	0,15	0,09
Песчаник абразивный VI категории . . . . .	0,9	0,22	0,21	0,13
Алевриты . . . . .	0,9	0,22	0,16	0,11

Анализируя полученный график, легко заметить следующее:

1. Для исследуемых пород в пределах чисел оборотов коронки от 1 до 203 в мин глубина внедрения резцов резко снижается (приблизительно в 4 раза).

2. При числе оборотов коронки свыше 203 в мин для песчаников и алевритов темп снижения глубины внедрения резко уменьшается. Причем темп снижения для абразивных песчаников меньше, чем для малоабразивных песчаников и алевритов. Очевидно, где-то в пределах чисел оборотов от 1 до 203 в мин и будет существовать та предельная точка, которую ранее мы обозначили через  $n_k$ . При числе оборотов свыше  $n_k$  глубина внедрения должна оставаться постоянной (мрамор), но фактически она за счет износа резцов снижается (песчаники и алевриты).

К сожалению, найти эту точку  $n_k$  для исследуемых пород нам не представлялось возможным вследствие отсутствия необходимого оборудования.

Исследования зависимости механической скорости бурения от числа оборотов при малых скоростях вращения проводил Ф. А. Шамшев, И. М. Млодик [2]. Но эти исследования проводились на породах, отличающихся от исследуемых нами пород по буримости. Считая, что механическая скорость бурения прямо пропорциональна буримости пород, приведем показатели, полученные Ф. А. Шамшевым (для удобства сравнения) к показателям механической скорости, полученным нами для песчаников. Для этого механическую скорость бурения (полученную Е. Ф. Шамшевым) при различных числах оборотов разделим на 1,5 и

по полученным  $v_{\text{мех}}$  определим глубину внедрения резца. Таким же образом приведем глубину внедрения при бурении гнейсов по обработанным Ф. И. Кучерявым [4] материалам. Средние значения глубины внедрения резцов, полученные в результате наших экспериментов и приведенных значений внедрения резцов по материалам Ф. А. Шамшева и Ф. И. Кучерявого, приведены в табл. 7.

Таблица 7

$v_{\text{мех}}$ см/мин	$n_{\text{об, мин}}$	$h_{\text{ср}}$	$h_{\text{пр}}$	Примечание
5,76	45	1,28	0,85	По данным Ф. А. Шамшева $h_{\text{пр}} = \frac{h}{1,5}$
7,94	79	1,00	0,67	
8,60	141	0,61	0,40	
	80	0,045	0,67	По обработанным Ф. И. Кучерявым данным при бурении гнейса коронками с пластинчатыми резцами.
	140	0,032	0,48	
	275	0,015	0,23	
	1	1,0		При бурении абразивных песчаников и алевролитов в начальный момент бурения.
5,1	203	0,25		
10,1	405	0,25		
20,2	810	0,25		

Полученный график (рис. 3,б) позволяет сделать следующие выводы: 1) в пределах чисел оборотов 1—200 в мин глубина внедрения резцов резко снижается, 2) снижение глубины внедрения резцов обратно пропорционально числу оборотов, 3) при увеличении числа оборотов от

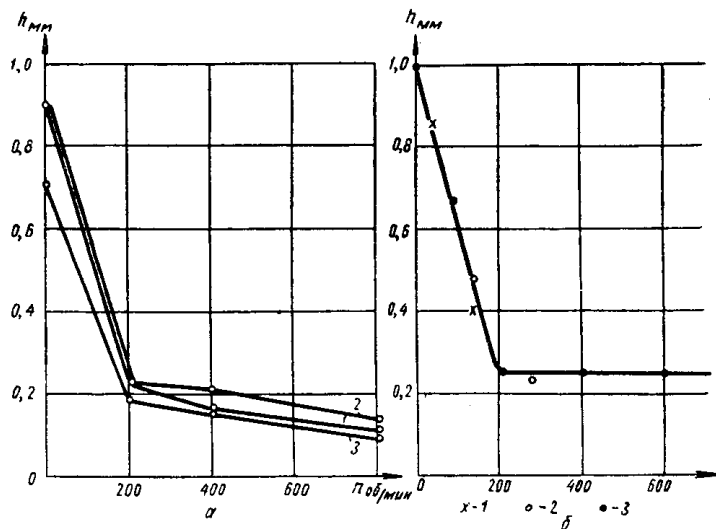


Рис. 3. График зависимости глубины внедрения резцов коронки от числа оборотов:

а) 1 — для малоабразивного песчаника, 2 — для абразивного песчаника, 3 — для алевролита; б) 1 — по материалам Ф. А. Шамшева, 2 — по материалам Ф. И. Кучерявого, 3 — по экспериментальным данным бурения песчаника в начальный момент бурения.

1 до 200 в мин как по песчаникам и алевролитам, так и по гнейсу глубина внедрения резцов снижается в 4 раза.



## Выводы

1. В результате экспериментальных исследований установлено, что окружное усилие, действующее на коронку при бурении различных горных пород, составляет половину величины осевого давления.

2. Окружное усилие для испытываемых пород не зависит от литологического состава породы и скорости вращения коронки.

3. Для испытываемых горных пород механическая скорость бурения может быть принята с небольшой погрешностью, прямо пропорциональной величине осевого давления.

4. Зависимость механической скорости бурения от числа оборотов коронки имеет сложный характер. Для малоабразивных песчаников и алевролитов она может быть выражена функцией  $v_{\text{мех}} = \kappa \sqrt{n}$ .

5. Основной причиной снижения темпа роста механической скорости бурения при увеличении скорости вращения коронки является более интенсивный износ резцов при больших числах оборотов.

6. Глубина внедрения резцов при увеличении числа оборотов коронки от 1 до 200 в мин уменьшается для исследуемых пород примерно в 4 раза. Далее при увеличении скорости вращения коронки темп снижения глубины внедрения резцов резко снижается. Для малоабразивных песчаников и алевролитов при числе оборотов свыше 200 в мин глубина внедрения резцов обратно пропорциональна корню квадратному из числа оборотов коронки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Ф. Эпштейн. Теория бурения-резания горных пород твердыми сплавами. ГОНТИ, 1939.

2. Е. Ф. Эпштейн. Износ твердых сплавов при трении по горным породам при колонковом разведочном бурении. Гостоптехиздат, 1952.

3. Н. И. Любимов, В. И. Морозов. Влияние режимов бурения на скорость проходки скважин твердосплавными коронками. Разведка и охрана недр, № 2, 1956.

4. Ф. И. Кучерявый. О взаимосвязи между скоростью вращения буровой коронки, толщиной снимаемого резцом слоя и энергоемкостью процесса разрушения породы. Разведка и охрана недр, № 8, 1957.

5. В. М. Трофимов. О напряжениях, возникающих под резцами коронок при бурении. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, № 7, 1962.

6. Н. Н. Павлова, Л. А. Шрейнер. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. Недра, 1964.