

ударное разрушение поверхности забоя. Бурение шарошечными долотами, а также дробовое бурение широко применяются в настоящее время при бурении глубоких разведочных скважин. Распространение этих способов для бурения шпуров диаметром 40—45 мм затруднительно ввиду конструктивных трудностей. При ударно-вращательном бурении или ударно-поворотном бурении основное разрушение горной породы осуществляется внедрением в нее лезвия инструмента за счет энергии удара. После каждого удара инструмент поворачивается на некоторый угол, после чего следует новый удар. Вращение инструмента может быть прерывистым и непрерывным. Так как поворот инструмента осуществляется, как правило, при незначительном осевом усилии, то потери на трение во время поворота и износ инструмента, по сравнению с вращательным бурением, небольшие. Это обусловило широкое распространение ударно-вращательного бурения для бурения горных пород средней и высокой крепости, обладающих большой абразивной способностью. Таким образом, основным преимуществом ударно-вращательного способа бурения перед вращательным является относительно меньший износ инструмента при бурении горных пород высокой крепости. Кроме того, внедрение инструмента в горную породу за счет удара не требует создания значительных усилий подачи машины. Это дает возможность осуществления, наряду с мощными машинами для бурения глубоких скважин (станков ударно-канатного бурения), легких и ручных машин (бурильных молотков), для бурения шпуров в горных породах высокой крепости.

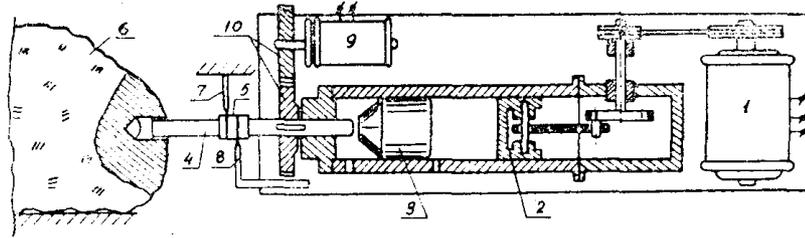
Несмотря на значительное распространение бурильных молотков в практике, в технической литературе нет данных о наиболее целесообразных усилиях подачи бурильных молотков на забой во время бурения о наиболее целесообразных углах поворота бура между ударами и способах вращения бура. Между тем отсутствие данных по этим вопросам создает значительные трудности при улучшении существующих бурильных молотков, при конструировании новых бурильных молотков и подающих устройств. Так, например, укоренилось мнение, что наиболее целесообразным при ударно-вращательном бурении является прерывистый поворот бура. На основании этого конструкторы новых пневматических и электрических бурильных молотков в ряде случаев вынуждены создавать более сложные приспособления для прерывистого поворота бура вместо более простых устройств, позволяющих осуществлять непрерывное вращение бура. В ряде случаев без достаточных оснований предлагается значительно увеличить усилия подачи бурильных молотков на забой, что якобы позволит соединить преимущества вращательного и ударно-вращательного бурения.

В связи с этим значительный интерес представляют результаты исследований, проведенные в последнее время в Томском политехническом институте по заданию Томского электромеханического завода имени В. В. Вахрушева.

Для определения влияния различных факторов на скорость ударно-вращательного бурения шпуров в породах средней и высокой крепости опыты проводились на специальной установке с независимыми узлами для удара, поворота бура и подачи машины на забой.

Экспериментальная установка, фиг. 1, созданная на электропневматическом принципе [4], позволяла изменить число ударов в минуту и энергию удара. Энергия удара изменялась в пределах 0,5—12 кгм. Привод ударного узла осуществлялся от асинхронного электродвигателя—1 через клино-ременную передачу. При движении поршня—2 вправо, между ним и бойком—3 создавалось разрежение воздуха и избыточным давлением боек перемещается вправо; при обратном ходе поршня наступает сжатие воздуха, заключенного между бойком и поршнем; боек меняет направление движения и к концу рабочего хода наносит удар по буру—4, который разрушает горную породу—6. Непрерывный поворот бура осуществлялся от электро

двигателя постоянного тока—9 через зубчатую передачу—10, число оборотов бура, а следовательно, и угол α поворота бура между ударами изменялся за счет изменения напряжения генератора и изменения тока возбуждения двигателя. Область устойчивой работы двигателя позволяла изменять угол поворота бура между ударами от 18 до 180°. Конструкция установки позволяла осуществлять также и прерывистый поворот бура. Изменение усилий подачи станда на забой осуществлялось за счет различного груза, подвешенного через блок к станду.



Фиг. 1

Бурение проводилось по граниту, крепостью по таблице проф. Протодьяконова $f=14-16$. Во время опытов замерялись скорость бурения, энергия и число ударов, число оборотов бура, мощность, затрачиваемая на удары, и вращение бура, также записывались вибрации корпуса ударного узла и продольные колебания бура на бумажной ленте, надетой на барабан 5, жестко связанной с буром 4 карандашами 7 (относительно фундамента) и 8 (соединенным с корпусом молотка).

При проведении экспериментов было установлено, что при одной и той же энергии удара скорость бурения в значительной мере зависит от угла поворота бура между ударами и от усилия подачи машины на забой. Так, например, при бурении гранита с энергией удара на бойке, равной 6 кгм при одном и том же усилии подачи, скорость бурения изменялась на 70% в зависимости от угла поворота бура между ударами.

В предварительных опытах на копре при изучении механизма разрушения [5], было выявлено, что при одной и той же энергии удара минимальная объемная работа разрушения при бурении однодотчатой коронкой достигается в случае, когда ряд ударов производит углубления в поверхности забоя при симметричном выкалывании разрушаемой породы, а следующие удары наносятся по образовавшимся выступам. Такое сочетание ударов может быть достигнуто, если разделить окружность на нечетное число равных углов так, чтобы линии ударов лезвия бура при втором полуобороте лежали бы между уже нанесенными ранее углублениями в породе. Нетрудно показать, что этому условию удовлетворяет соотношение

$$\alpha = \frac{2\pi}{2i-1}, \quad \surd$$

где $i=1, 2, 3, 4, 5$ —целые числа натурального ряда.

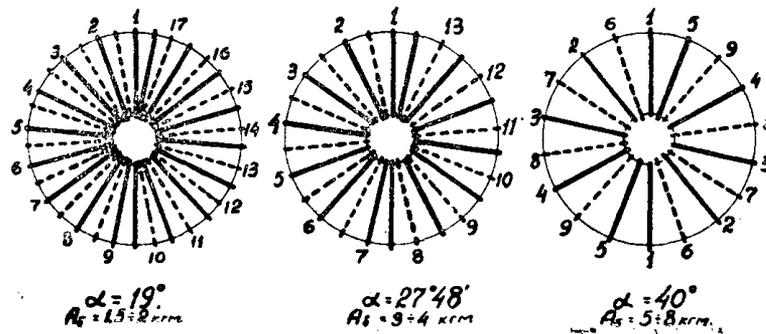
Исходя из двустороннего (симметричного) выкалывания горной породы относительно лезвия бура на основании приведенной формулы нетрудно конкретизировать значения оптимальных углов поворота бура между двумя ударами, что видно из прилагаемой таблицы.

Инж. Алимовым О. Д. в специально проведенных исследованиях [5; 8] при бурении шпуров по разным породам (диабаз, гранит, мрамор) однодотчатой коронкой диаметром 40—45 мм при различной энергии удара экспериментально было установлено, что оптимальными углами поворота бура между ударами бойка являются углы: 40°; 32,7°; 27,8°; 24°; 21,2°; 19° и близкие к ним.

Таблица

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	25	50
α [1]	2π	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{2}{5}\pi$	$\frac{2}{7}\pi$	$\frac{2}{9}\pi$	$\frac{2}{11}\pi$	$\frac{2}{13}\pi$	$\frac{2}{15}\pi$	$\frac{2}{17}\pi$	$\frac{2}{19}\pi$	$\frac{2}{29}\pi$	$\frac{2}{49}\pi$	$\frac{2}{99}\pi$
α°	360	120	72	51,5	40	32,7	27,7	24	21,2	19	12,4	7,3	3,6

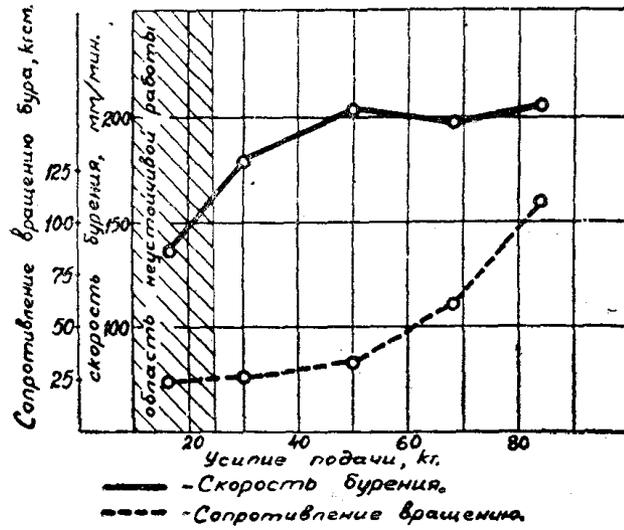
Конкретный выбор оптимального значения угла α поворота бура между двумя ударами определяется назначением машины, т. е. зависит от крепости разрушаемой породы и от энергии удара. Значение оптимального угла поворота бура увеличивается с увеличением энергии удара A_0 и уменьшением крепости породы. В качестве иллюстрации на фиг. 2 показаны оптимальные значения угла α , полученные при бурении по граниту (крепостью $f = 14-16$) с соответствующими значениями энергии удара A_0 .



Фиг. 2

Усиление подачи оказывает существенное влияние как на скорость бурения, так и на устойчивость работы ударного узла бурильной машины, фиг. 3. При небольших усилиях подачи 10—15 кг—ударный узел молотка во время бурения очень сильно отходил от ограничительного буртика бура назад. Вследствие этого нарушалась устойчивая работа ударного узла и бурение становилось невозможным. С увеличением усилия подачи до 40—50 кг скорость бурения достигала максимума—фиг. 3, при этом отход корпуса ударного узла от ограничительного буртика бура сокращается до 2—6 мм, в зависимости от энергии удара, а момент сопротивления вращению бура оставался почти постоянным. Причем, момент сопротивления вращению бура, при бурении с ударами, был во всех случаях в 1,5—2 раза меньше сопротивления простому вращению бура (без ударов) с тем же усилием подачи. Дальнейшее увеличение усилия подачи значительно увеличивало момент сопротивления вращению бура, приводило к значительному износу инструмента и не оказывало заметного влияния на увеличение скорости бурения. Наоборот, в некоторых случаях скорость бурения при этом уменьшалась. При проведении опытов было замечено, что скорость бурения, момент сопротивления вращению бура и износ инструмента при изменении усилия подачи связаны с амплитудой колебания ударного узла бурильной машины и его отход от ограничительного буртика во время бурения.

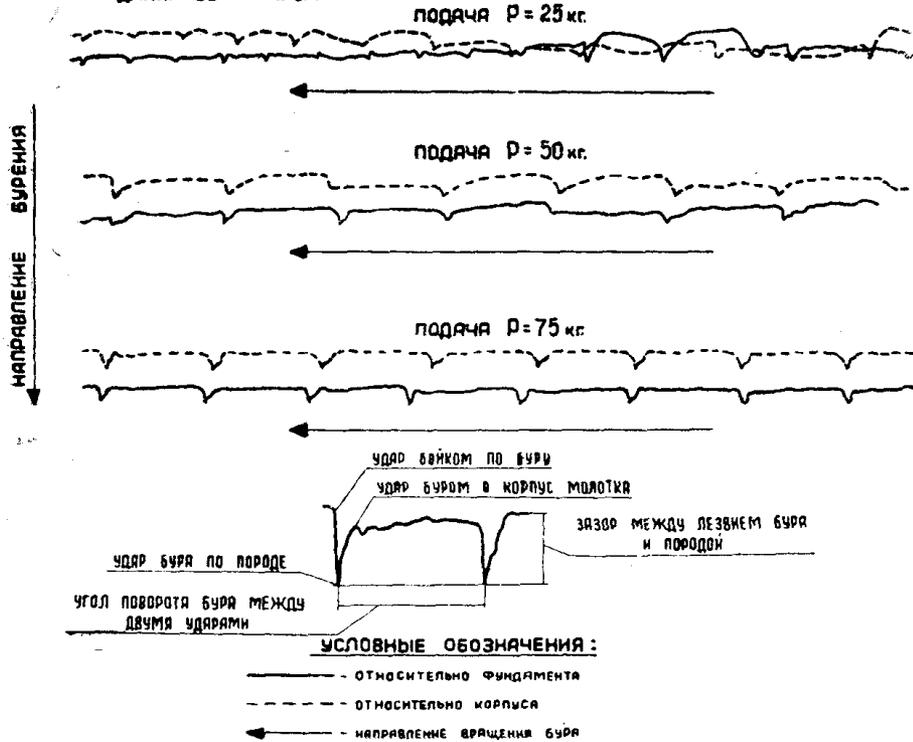
Исследование движения бура и корпуса бурильного молотка, фиг. 4, во время бурения горизонтальных шпуров показало, что в результате взаимодействия всех сил в процессе ударно-вращательного бурения ударный узел



Фиг. 3

ДВИЖЕНИЕ БУРА ПРИ БУРЕНИИ ПО ГРАНИТУ НА СТЕНДЕ.

ВЕС БОЙКА $Q_b = 1,35$ кг. $R = 4,5$ см. $\Pi = 1400$ об/мин.
 ВЕС БУРА $Q = 7,40$ кг. $R_b = 4,0$ см. $\Pi_{бура} = 226$ об/мин. - в установившемся РЕЖИМЕ РАБОТЫ.
 ДЛИНА БУРА = 82 см.



Фиг. 4

вместе со всей подвижной частью машины при наличии упругого элемента в конструкции податчика отходит от ограничительного буртика бура. Поэтому расстояние между корпусом бурильного молотка и забоем шпура во время бурения в большинстве случаев больше длины бура (от лезвия коронки до ограничительного буртика). Средняя величина этого зазора изменяется в зависимости от усилия подачи. Коронка бура в процессе бурения не находится все время прижатой к забою шпура. После каждого удара по забою бур отскакивает от забоя и ударяется ограничительным буртиком о корпус бурильного молотка. Поэтому при бурении горизонтальных шпуров удар бойка по буру обычно происходит, когда лезвие буровой коронки находится на некотором расстоянии от поверхности забоя шпура. При ударе бойка по буру последний движется к забою, ударяет коронкой о забой, разрушает горную породу и вновь отскакивает.

Бурение с оптимальными усилиями подачи, т. е. при которых обеспечивалась максимальная скорость бурения, соответствовало таким случаям, когда перед соударением бойка и бура между лезвием буровой коронки и поверхностью забоя имелся зазор $1 \div 4$ мм, причем величина этого оптимально-необходимого зазора была тем больше, чем больше энергия удара. Ввиду наличия зазора между забоем шпура и лезвием бура в момент поворота последнего сопротивления вращению бура при ударно-вращательном бурении меньше, чем при простом вращательном—без ударов—при том же усилии подачи. Наличием зазора между лезвиями бура и горной породой в момент соударения бойка и бура можно объяснить и тот факт, что в процессе бурения горизонтальных шпуров бурильными молотками не наблюдается отскока бойка от бура после соударения. В этом случае соударение бойка и бура можно рассматривать как соударение двух свободных стержней [6]. Как показали произведенные опыты, при обеспечении оптимально-необходимого отхода корпуса от ограничительного буртика бура при наличии упругого элемента в конструкции податчика вполне возможно осуществление ударно-вращательного бурения с непрерывным вращением бура. При этом интенсивность износа инструмента не превышала интенсивности износа при ударно-вращательном бурении с прерывистым поворотом бура. Средний момент сопротивления вращению бура в шпуре при бурении шпуров диаметром 40—45 мм в диабазе и граните при энергии удара 5—8 кгм и оптимальном усилии подачи не превышал 45—60 кгсм. При увеличении усилия подачи выше оптимального происходит уменьшение зазора между лезвием бура и горной породой до нуля; при этом значительно возрастает момент сопротивления вращению бура и быстрее происходит износ инструмента. В результате при значительных усилиях подачи бурильных молотков на забой теряется основное преимущество ударно-вращательного бурения перед просто вращательным—меньший износ инструмента и меньшее сопротивление вращению бура при бурении горных пород высокой крепости.

Как показали дополнительные опыты [5], проведенные по внедрению коронки бура в горную породу под копром при различной энергии удара, предварительное прижатие бура к горной породе перед ударом по нему бойком не приводит к увеличению разрушаемого объема горной породы при ударно-вращательном бурении, а наоборот, в большинстве случаев увеличивает объемную работу разрушения (работу, затраченную на разрушение бурением 1 см^3 породы). Исходя из этого, можно предполагать, что в случае удара бойка по буру, прижатому к горной породе, непроизводительные потери при соударении больше, чем в случае свободного соударения бойка и бура, а затем бура и горной породы. Это и показано в работе [7].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение подачи при ударно-вращательном бурении не оказывает

непосредственного влияния на процесс внедрения инструмента в горную породу и разрушение последней, а лишь обеспечивает работу бурильного молотка на том или ином режиме с тем или иным к.п.д. преобразования энергии удара.

2. Наиболее целесообразным режимом работы машины при ударно-вращательном бурении шпуров является такой, когда после каждого удара бура по горной породе бур отходит от забоя на $1-4$ мм. При этом обеспечивается устойчивая работа ударного узла машины, наиболее эффективное воздействие инструмента на горную породу при сравнительно небольшом сопротивлении вращению бура.

Такой режим работы бурильного молотка может быть осуществлен определенным усилием подачи при наличии в конструкции податчика упругого элемента, обеспечивающего некоторое продольное перемещение и колебание корпуса машины в процессе бурения.

3. Выбирать усилие подачи бурильного молотка из условия прижатия буровой коронки вплотную к забою шпура на протяжении всего времени бурения нецелесообразно, так как это приводит к значительному увеличению момента трения буровой коронки о забой и не увеличивает скорость бурения. При этом фактически теряется основное преимущество ударно-вращательного бурения по сравнению с просто вращательным бурением горных пород высокой крепости, так как сильно увеличивается износ инструмента.

4. Ударно-вращательное бурение шпуров с непрерывным поворотом бура вполне возможно при скоростях вращения бура от 90 до 230 об/мин и энергии удара до 10 кгм, если усилие подачи обеспечивает оптимально-необходимый отход бурильного молотка от ограничительного буртика бура $H_{ср} = 1-7$ мм.

5. Сделанные выше выводы: а) о зависимости оптимального угла α поворота бура между двумя ударами от крепости породы и от энергии удара и б) о влиянии усилия подачи на скорость ударно-вращательного бурения шпуров распространяются и на пневматические бурильные молотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф е д о р о в В. С. Научные основы режимов бурения. Гос. научно-технич. изд. нефтяной и горной литературы. М. Л. 1951.
2. Э п ш т е й н Е. Ф. Теория бурения-резания горных пород твердыми сплавами. ГОНТИ, 1939.
3. О с т р о у ш к о И. А. Разрушение горных пород при бурении. Госгеолиздат, М., 1952.
4. А л а б у ж е в П. М. Исследование рабочего процесса электропневматического молотка с упругой (воздушной) связью. Томск, Известия ТПИ, т. 61, в. 1, 1947.
5. А л и м о в О. Д. Исследование механизма разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении и исходных параметров бурильных молотков. Автореферат. Томск, 1953.
6. Д и н н и к А. Н. Избранные труды, т. 1, изд. АН СССР, Киев, 1952.
7. А л а б у ж е в П. М., А л и м о в О. Д., Ц у к а н о в А. Г. О к.п.д. при ударно-вращательном бурении. Известия ТПИ, т. 75, 1954.
8. А л и м о в О. Д. Влияние усилия подачи на скорость бурения пневматическими бурильными молотками. Известия ТПИ, т. 75, 1954.