

**ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА МАШИН ДЛЯ БУРЕНИЯ ШПУРОВ**

*О. Д. Алимов*

Качество той или иной бурильной машины можно оценить достаточно полно только с учетом таких ее характеристик, как производительность собственно бурильной машины; трудоемкость и производительность труда рабочих, занятых на обслуживании машины; долговечность и экономичность машины, а также безопасность труда рабочих. Остановимся на возможных оценках некоторых из этих характеристик.

Производительность машины оценивается количеством изделий, которые она изготавливает за определенный промежуток времени, или обратной величиной — продолжительностью изготовления единицы изделия. Машины для бурения шпуров наиболее часто применяются при проведении подготовительных выработок. Производительность таких машин, по нашему мнению, наиболее целесообразно оценивать количеством шпуров пробуренных машиной за 1 час работы или временем, затрачиваемым на обурирование комплекта шпуров или одного шпура. Основанием к этому является то, что бурение шпуров при проведении выработок является одной из нескольких операций, составляющих комплекс проходческих работ. Продолжительность цикла этих работ является решающим фактором в определении совершенства применяемой для этой цели техники и организации работ. Следовательно и отдельные составные части этого цикла — бурение, взрывание, проветривание, погрузку и др. целесообразно оценивать продолжительностью выполнения работ по времени. Кроме этого, операции, связанные с бурением шпуров в забое подготовительной выработки, в настоящее время, как правило, занимают меньшее время, чем время одной рабочей смены, а при применении более совершенных машин будут занимать всего 1,0—2,5 часа. В это время входят и затраты времени на подготовку бурильной машины к работе, установку ее в забое перед бурением, демонтаж и транспортировку в безопасное место после бурения. Проходчик, закончив обурирование забоя, выполняет дру-

гие работы — погрузку, крепление и т. п. Исходя из этих условий, определять производительность машины и рабочего количеством погонных метров шпуров, пробуренных в течение смены, как это предлагает ряд исследователей, по нашему мнению, нецелесообразно.

Забой одного и того же сечения может быть оборудован различным количеством бурильных машин. Так, например, при проведении выработок сечением 9—14 м<sup>2</sup>, где бурятся 25—40 шпуров, применяется от одной до 12—14 бурильных машин. Вследствие этого на долю одной машины приходится от 40 до 2 шпуров. В этих условиях целесообразность применения той или иной машины можно оценить по продолжительности бурения комплекта шпуров, приходящегося на одну машину, или продолжительностью бурения одного шпура. Комплектом шпуров в этом случае мы именуем количество шпуров в проходческом цикле, предназначенных для бурения одной машиной. При определении производительности машин должны учитываться затраты времени на весь цикл работ, включающий собственно процесс бурения, подготовительно-заключительные операции и простои машины, связанные с проведением необходимых вспомогательных операций.

Исходя из изложенного, производительность машины для бурения шпуров подготовительных выработок, выраженная продолжительностью бурения комплекта шпуров, может определяться по формуле

$$T = n_{ш}t_{ш} + T_{п.з}, \quad (1)$$

где  $t_{ш}$  — затраты времени на бурение одного шпура;

$n_{ш}$  — количество шпуров в комплекте;

$T_{п.з}$  — время подготовительно-заключительных операций (доставка машины и установка ее в забое, демонтаж установки и транспортировка машины от забоя после его обуривания).

Если производительность машины оценивается средней продолжительностью бурения одного шпура, то в этом случае целесообразно пользоваться формулой

$$t'_{ш} = \frac{T}{n_{ш}} = t_{ш} + \frac{T_{п.з}}{n_{ш}}. \quad (2)$$

В этом случае средняя продолжительность бурения каждого шпура определяется с учетом затрат времени на подготовительно-заключительные операции.

Производительность бурильной машины, выраженная количеством погонных метров, пробуренных в течение одного часа, может быть определена

$$L = \frac{60l_{ш}}{t'_{ш}} \text{ пог. м/час}, \quad (3)$$

где  $l_{ш}$  — средняя глубина шпура, м.

Рассмотрим составные части уравнений (1) и (2). Число шпуров в комплекте зависит от общего количества шпуров в забое и числа бурильных машин. Количество шпуров в забое зависит от крепости горной породы, качества взрывчатого вещества. Частично оно зависит и от качества бурильных машин, так как при высокой производительности последних бывает целесообразно пробурить больше шпуров и за счет этого получить лучшие отрыв, дробление породы и большее продвижение забоя за один цикл.

Продолжительность подготовительно-заключительных операций зависит от веса бурильных машин, типа установочных и транспортных приспособлений, вида энергии для привода бурильных машин и, естественно, от организации труда. Для современных конструкций бурильных машин и организации работ при их эксплуатации продолжительность подготовительно-заключительных операций при обурировании забоев горных выработок составляет от 20 до 50 мин.

Затраты времени на бурение одного шпура должны быть определены с учетом продолжительности всех операций, непосредственно связанных с процессом бурения каждого шпура

$$t_{\text{ш}} = t_1 + t_2, \quad (4)$$

где  $t_1$  — затраты времени на собственно бурение шпура, которое мы в дальнейшем именуем машинным временем бурения;

$t_2$  — затраты времени на вспомогательные операции при бурении шпура.

Машинное время бурения определяется по формуле

$$t_1 = \frac{l_{\text{ш}}}{v_6}, \quad (5)$$

где  $v_6$  — средняя машинная скорость бурения, *мм/мин*.

Длина шпуров, применяемых в практике проведения выработок, изменяется в сравнительно небольшом диапазоне от 1,5 до 3 м. Гораздо в большем диапазоне изменяется скорость бурения. Современные бурильные машины в зависимости от их мощности, режима работы, геометрии инструмента и крепости горной породы могут обеспечивать скорость бурения шпуров от 40—50 до 3000—4000 *мм/мин*, т. е. она может изменяться в 60—100 раз! В связи с этим скорость бурения является одним из главных показателей качества бурильной машины.

К вспомогательным операциям при бурении каждого шпура следует отнести перемещение машины у забоя, настройку ее для бурения и забуривание, извлечение инструмента из пробуренного шпура, замену бурового инструмента и ряд дополнительных операций, связанных с наблюдением за работой машины и ее обслуживанием. Затраты времени на эти операции

$$t_2 = t_3 + t_4 + t_5 + t_6, \quad (6)$$

где  $t_3$  — время на установку бурильной машины для бурения каждого шпура и начало забуривания; оно зависит от совершенства установочных устройств манипуляторов и приспособлений, облегчающих забуривание;

$t_4$  — время, затрачиваемое на извлечение бурового инструмента из шпура,

$$t_4 = \frac{l_{ш}}{v_{ш}}, \quad (7)$$

где  $v_{ш}$  — маневровая скорость подачи бурового инструмента бурильной машины; в современных конструкциях бурильных машин  $v_{ш}$  составляет от 2000 до 10 000 мм/мин; отсюда с учетом возможной длины шпура  $t_4$  может изменяться в пределах от 0,15 до 1,5 мин.;

$t_5$  — время на смену бурового инструмента зависит от количества штанг, необходимых для бурения одного шпура и износостойкости бурового инструмента; при применении сверл типа ЭБК-2 шпур длиной 2,0 м бурится комплектом из трех штанг; на замену штанг при бурении каждого шпура затрачивается 0,5 до 5 мин.;

$t_6$  — прочие вспомогательные операции, связанные с включением и выключением машины, смазкой ее, подачей воды для промывки шпура и пр.

Таким образом, оценить качество бурильной машины с точки зрения ее производительности можно только с учетом ряда факторов, величина которых зависит как от параметров собственно бурильной машины, так и от вспомогательного оборудования, горнотехнических условий и организации работ в забое.

Подробно выяснить и уточнить все эти факторы при проведении каждого исследования или испытания машины трудно. Поэтому для наиболее характерных работ результаты исследований следует оценивать по укрупненным показателям. Так, при сравнительных испытаниях нескольких бурильных машин, имеющих одинаковые установочные приспособления и предназначенных для работы в одних и тех же горнотехнических условиях, достаточно объективные выводы о преимуществе в производительности той или иной машины можно сделать по затратам времени на бурение одного шпура, найденным по формуле (4).

При исследовании машин, обеспечивающих одинаковую машинную скорость бурения и отличающихся только подающими устройствами (податчиками) и установочными приспособлениями (манипуляторами), лучшая машина может быть выявлена по минимальным затратам времени на вспомогательные работы, вычисленным по формуле (6).

При исследовании режимов бурения основное внимание должно быть обращено на максимально возможное уменьшение машинного времени бурения (5). При этом важно правильно оценивать величину скорости бурения.

Многие исследователи принимают скорость бурения за основной критерий качества бурильной машины и режимов ее работы. Однако скорость бурения зависит не только от параметров и режимов работы бурильной машины, но и от таких факторов, как физико-механические свойства горной породы, способ ее разрушения, форма и площадь забоя шпура, первоначальная геометрия бурового инструмента и изменение ее в процессе бурения, способ удаления буровой мелочи из шпура и др. Поэтому для определения производительности той или иной бурильной машины в определенных горнотехнических условиях необходимо знать величину скорости бурения с учетом и этих факторов. Для этого бурильные машины испытываются в лабораторных или шахтных условиях и полученные значения скоростей бурения заносятся в соответствующие справочники и нормировочники. Изменение скорости бурения при наиболее возможных в практике отклонениях от условий оценивается коэффициентами.

При исследовании режимов бурения и испытании бурильных машин в большинстве случаев опыты проводятся с острозаточенным буровым инструментом. Этот факт всегда подчеркивается исследователями как подтверждение объективности и сопоставимости полученных данных. Действительно скорость бурения любой машиной в значительной степени зависит от геометрии бурового инструмента, которая изменяется при бурении в результате износа. Поэтому правильно, что сопоставимые данные могут быть получены только при сохранении, по возможности, постоянной геометрии бурового инструмента. Наиболее просто это может быть достигнуто при бурении острозаточенными коронками.

Но реальная бурильная машина в процессе эксплуатации работает острым инструментом только в первоначальный момент после его установки. С износом инструмента изменяется и скорость бурения.

Для современных механических способов бурения шпуров — вращательного, ударно-поворотного и вращательно-ударного — изменение скорости бурения от глубины шпуров может быть выражено с достаточной точностью для расчетов производительности машины следующей зависимостью:

$$v = v_{\max} - lk, \quad (8)$$

где  $v_{\max}$  — максимальная скорость бурения, обеспечиваемая на данном режиме острозаточенной коронкой;

$l$  — количество погонных метров пробуренных шпуров;

$k$  — коэффициент, характеризующий интенсивность падения скорости бурения в результате затупления инструмента.

Интенсивность падения скорости бурения различна. Она зависит от физико-механических свойств горных пород, первоначальной геометрии и качества материала бурового инструмента, способа и режимов бурения.

В связи с этим для определения производительности бурильной машины в формулу (5) следует подставлять не максимально возможную скорость бурения острозаточенной коронкой, полученную на том или ином режиме работы машины, а среднюю скорость

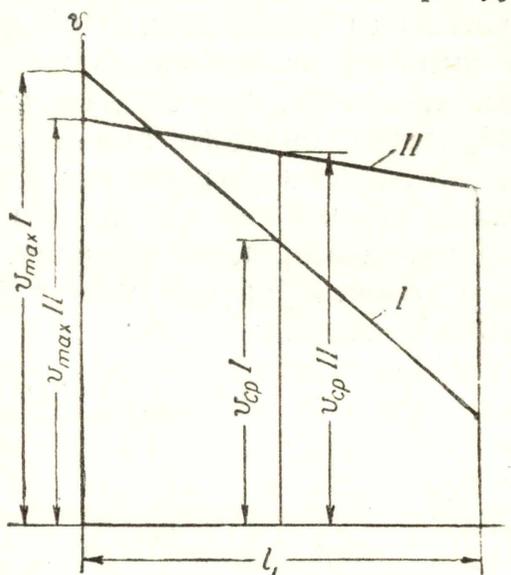
$$v_{\text{ср}} = \frac{v_{\text{max}} + v_{\text{min}}}{2}, \quad (9)$$

где  $v_{\text{min}}$  — скорость бурения на данном режиме при максимально допустимом износе бурового инструмента.

Причем большая величина средней скорости бурения может и не соответствовать тому режиму, при котором скорость бурения острозаточенной коронкой наибольшая. Так, сравнивая I и II зависимости (см. рисунок), можно сделать вывод, что при бурении шпура на глубину  $l_1$  во II случае будет достигнута большая средняя скорость бурения, а следовательно, и большая производительность машины, чем в I случае, где скорость острозаточенной коронкой больше.

Сравнивать качество машин на основании скоростей бурения острозаточенными коронками можно лишь в том случае, если они работают на таких режимах, при которых интенсивности изменения скорости бурения от количества пробуренных погонных метров шпура у них примерно одинаковы.

Таким образом, при проведении исследований бурового инструмента, режимов бурения и бурильных машин, помимо получения данных о скорости бурения острозаточенными коронками, необходимо выявлять зависимости изменения скорости бурения от количества пробуренных погонных метров шпура. Естественно, что это требует проведения большого объема буровых работ. Поэтому большинство экспериментальных исследований целесообразно проводить как лабораторно-производственные, т. е. в лабораторных условиях предварительно оценивать буровой инструмент, режимы и бурильные машины в целом по максимальной скорости бурения наиболее характерных образцов горных пород, а в производственных условиях (на карьерах в шахтах) выявлять изменение скорости бурения от количества шпурометров и на основании этого определять средние скорости бурения для наиболее характерных горнотехнических условий.



Изменение скорости бурения шпуров в результате затупления бурового инструмента.

При лабораторных исследованиях, кроме максимальных скоростей бурения острозаточенными коронками, можно получить также предварительные данные и о средних скоростях бурения. Для этого при исследовании процессов разрушения горных пород, режимов бурения и бурильных машин следует определять скорость бурения как острозаточенными, так и предельно затупленными коронками.

В настоящее время в технической литературе нет определенного мнения, при каком износе буровая коронка является предельно затупленной и должна заменяться острозаточенной. Видимо, это понятие, так же как и стойкость резцов в машиностроении, должно быть обосновано, исходя из экономических соображений. Решение этого вопроса может быть значительно облегчено при наличии достаточных данных об изменении скорости бурения от количества шпурометров. До установления таких зависимостей за предельно допустимый износ инструмента можно принять такой, при котором средняя ширина торцевой площадки затупления каждого лезвия бурового инструмента составляет 2,5—3 мм. Этим критерием в настоящее время и пользуются бурильщики в своей практике при решении вопроса о замене инструмента в процессе бурения.

Скорость бурения может быть выявлена и в более общем виде, а именно:

$$v_6 = \frac{102 \cdot 60N \eta}{sA_{об}} \text{ см/мин,} \quad (10)$$

где  $N$  — мощность, развиваемая приводом бурильной машины при бурении, *квт*;

$s$  — площадь забоя шпура, разрушаемого буровым инструментом, *см<sup>2</sup>*;

$A_{об}$  — объемная работа разрушения горных пород при бурении, *кгм/см<sup>3</sup>*;

$\eta$  — коэффициент полезного действия, оценивающий потери мощности при передаче ее от бурильной машины на разрушение горной породы.

Для наиболее распространенного случая — бурения шпуров сплошным забоем — формула (10) может быть преобразована

$$v_6 = \frac{102 \cdot 60N \eta}{\frac{\pi d^2}{4} A_{об}} = \frac{7800N \eta}{d^2 A_{об}}, \quad (11)$$

где  $d$  — диаметр шпура, *см*.

Члены, входящие в формулы (10) и (11), достаточно хорошо определяют зависимость скорости бурения от основных параметров и режимов работы машины, размера инструмента и крепости горной породы.

Действительно, потенциальная возможность бурильной машины в достижении максимальной скорости бурения определяется мощностью ее привода. Величина мощности привода бурильных машин ограничивается их весом и прочностью бурового инструмента. В настоящее время мощность привода машин для бурения шпуров составляет от 1,0 до 6 квт.

Сопrotивляемость горной породы тому или иному виду разрушения, как показали опыты многих исследователей, достаточно полно может быть оценена величиной объемной работы разрушения. Данные, необходимые для расчета величины объемной работы разрушения, могут быть определены или на основании обработки опытов по исследованию режимов бурения, или специальными исследованиями. Для определения средней скорости бурения в формулу (10) или (11) следует подставлять среднюю величину объемной работы разрушения

$$A_{\text{об. ср}} = \frac{A_{\text{об. min}} + A_{\text{об. max}}}{2}, \quad (12)$$

где  $A_{\text{об. min}}$  — объемная работа разрушения при разрушении горной породы на данном режиме острозаточенной коронкой;

$A_{\text{об. max}}$  — объемная работа разрушения при бурении предельно затупленной коронкой.

В дальнейшем для определения средней объемной работы разрушения различных горных пород и различных способов бурения следует разработать экспресс-методы.

Коэффициент полезного действия передачи энергии от привода на разрушение горной породы должен учитывать потери мощности в различных звеньях машины и бурового инструмента. Как показывают многочисленные исследования, величина этих потерь зависит от конструкции бурильной машины режимов ее работы и бурового инструмента.

Исследования режимов бурения часто проводятся с помощью промышленных образцов бурильных машин. При этом трудно определить сколько энергии расходуется непосредственно на разрушение горной породы и сколько теряется ее в бурильной машине и инструменте. В этих случаях режимы бурения оцениваются объемной работой разрушения, которая определяется как частное от деления энергии, переданной бурильной машиной, на объем разрушения породы. Эта характеристика учитывает как работу разрушения, так и коэффициент передачи энергии. Полученная таким образом величина объемной работы разрушения позволяет достаточно полно оценить качество режимов работы при испытании одной или нескольких однотипных бурильных машин.

Производительность труда рабочих, занятых на обслуживании бурильных машин, можно оценить по количеству погонных

метров шпуров, пробуренных в течение одного часа и отнесенных к одному рабочему.

$$L_p = \frac{\sum n_{ш} l_{ш}}{BT_{\max}}, \quad (13)$$

где  $\sum n_{ш}$  — количество шпуров в забое;  
 $B$  — количество рабочих, занятых на обслуживании бурильных машин в забое;  
 $T_{\max}$  — наибольшая продолжительность бурения комплекта шпуров, приходящегося на одну бурильную машину, найденная из выражения (1).

В формуле (13) косвенно учитывается производительность каждой машины, количество бурильных машин и рабочих, необходимых для их обслуживания.

Необходимое количество рабочих для обслуживания бурильных машин, установленных в забое, можно определить по формуле

$$B_{\min} = \frac{c}{m}, \quad (14)$$

где  $c$  — число машин в забое;

$m$  — максимальное количество машин, которое может обслужить один рабочий без совпадения вспомогательных операций.

Максимально возможная часовая производительность труда бурильщика при обслуживании  $m$  количества машин

$$L_{p. \max} = 60 \frac{l_{ш}}{t_{ш}} m \text{ пог. м/час.} \quad (15)$$

Подставляя в формулу (15) значения  $t_{ш}$  и  $m$ , имеем

$$L_{p. \max} = 60 \frac{l_{ш}}{t_2}.$$

При испытании машин, у которых эксплуатационные затраты времени на подготовительно-заключительные операции одинаковы,  $L_{p. \max}$  может являться основной характеристикой для определения лучшей буровой установки — бурильной машины в комплекте с установочно-подающими приспособлениями.

Такие характеристики бурильных машин, как долговечность, экономичность и безопасность в работе могут быть достаточно полно оценены только на основании исследования конструкций машин и обобщения опыта их эксплуатации в различных горно-технических условиях.

Общая оценка совершенства той или иной машины должна производиться с учетом совокупности указанных выше основных характеристик. Однако следует отметить, что в связи с очень раз-

нообразными целями и условиями ведения как бурильных, так и горных работ в целом оценивать качество той или иной бурильной машины на основе только суммирования положительных и отрицательных факторов не всегда возможно. В ряде случаев окончательный вывод о целесообразности применения бурильной машины в определенных горнотехнических условиях может быть произведен и по одному, но наиболее важному для данных условий, фактору.

Указанные выше зависимости для определения производительности могут быть использованы как для оценки качества уже существующих бурильных машин, так и для обоснования основных параметров вновь создаваемых машин.

---