

УДК 622.233.05:621.3

РАЗРАБОТКА ИДЕАЛИЗИРОВАННОЙ МОДЕЛИ БУРЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Шигин А.О., Гилёв А.В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: office@sfu-kras.ru

Исследуется проблема низкой скорости бурения, отнесенной к ресурсу бурового инструмента без учета вопросов прочности. Исследуются условия максимально возможной производительности бурового станка, оснащенного шарошечным долотом без учета прочностных характеристик. Рассматривается физика механического способа разрушения горной породы при помощи породоразрушающих элементов. Представлена зависимость механической скорости бурения от величины осевого усилия на буровой инструмент. Выделяется три зоны: объемное разрушение; усталостно-объемное разрушение и усталостное разрушение. Представлена также зависимость механической скорости бурения от величины частоты вращения бурового инструмента. Выявляется оптимальная величина частоты вращения, характеризующая соотношение числа поражений забоя зубьями шарошечного долота, скорости и энергии соударения со временем контакта. Приведены выводы и рекомендации по созданию максимально возможной производительности бурового станка, оснащенного шарошечным долотом без учета прочностных характеристик.

Ключевые слова: идеализированная модель бурения горных пород, максимально возможная производительность бурового станка без учета прочностных характеристик

WORKING OUT OF IDEALISED MODEL OF DRILLING OF ROCKS WITH VARIOUS PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES BY ROLLER BIT CHISELS

Shigin A.O., Gilev A.V.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: office@sfu-kras.ru

The problem of low speed of the drilling carried to a resource of the chisel tool without questions of durability is investigated. Conditions of the greatest possible productivity of the chisel machine tool equipped roller bit with a chisel without taking into account durability of characteristics are investigated. The physics of a mechanical way of destruction of rock is considered with the help elements for rock destruction. Dependence of mechanical speed of drilling on size of axial effort to the chisel tool is presented. It is allocated three zones: volume destruction; fatigue-volume destruction and fatigue failure. Dependence of mechanical speed of drilling on size of frequency of rotation of the chisel tool is presented also. The optimum size of frequency of the rotation, characterizing a parity of number of defeats of a face teeth roller bit chisels, speed and energy of impact in due course contact comes to light. Conclusions and recommendations about creation of the greatest possible productivity of the chisel machine tool equipped roller bit with a chisel without taking into account durability of characteristics are resulted.

Keywords: idealized model of drilling of rocks, the greatest possible productivity of the chisel machine tool without durability

В настоящее время существует проблема низкой скорости бурения, отнесенной к ресурсу бурового инструмента. Для анализа этой проблемы на первом этапе необходимо отвлечься от вопросов прочности и уяснить условия максимально возможной производительности бурового станка, оснащенного шарошечным долотом, широко применяемым в горной промышленности.

При механическом способе разрушения горных пород основная доля энергии расходуется на внедрение породоразрушающих элементов вооружения в горную породу. Величина давления, создаваемого породоразрушающим инструментом на забое скважины, определяется не только величиной осевого усилия F , но и значением контактной площади S_k данного долота. При увеличении контактного давления $P_k = F/S_k$ линейно зависящего от осевого усилия, разрушение на забое возможно по трем следующим вариантам [1].

а) Контактное давление больше твердости породы $P_k > H$. В этом случае в горной породе, находящейся под пятном контакта, возникает объемное разрушение. Возникающие частицы шлама в этом случае имеют макси-

мальный размер. Разрушение горной породы, происходящее при выполнении приведенного условия, является наиболее эффективным.

Из условия обеспечения объемного разрушения горной породы величина осевой нагрузки на шарошечное долото рассчитывается по формуле

$$\Phi = \alpha HS_k,$$

где $\alpha = (0,33-1,59)$ – коэффициент, учитывающий реальные условия разрушения горной породы в скважине (величину дифференциального давления, температуру горных пород, состояние забоя и пр.); S_k – контактная площадь данного долота. Величина α определяется по промысловым данным.

б) $P_k < H$. При такой величине контактного давления возникает усталостно-объемное разрушение горной породы. Непременным следствием установления подобного соотношения между величиной контактного давления и твердостью горной породы является возникновение разрушения при неоднократном действии породоразрушающего элемента вооружения долота на одну и ту же точку забоя. Разрушение при этом

связывают с повреждаемостью породы забоя, развитием трещин в горной породе под пятном контакта при каждом ударном цикле напряжения. Вид лунки выкола такой же, какой возникает при объёмном разрушении.

Количество циклов нагружения n , необходимое для разрушения горных пород, зависит от их механических свойств горной породы: с увеличением хрупкости пород величина n меньше.

в) $P_k \ll H$. Это условие определяет поверхностное разрушение горной породы в результате истирающего действия инструмента. Скорость бурения при выполнении этого неравенства незначительна. Размер частиц шлама мал.

Зависимость механической скорости бурения от величины осевого усилия F (контактного давления P_k) при фиксированной скорости вращения имеет вид (рис. 1).

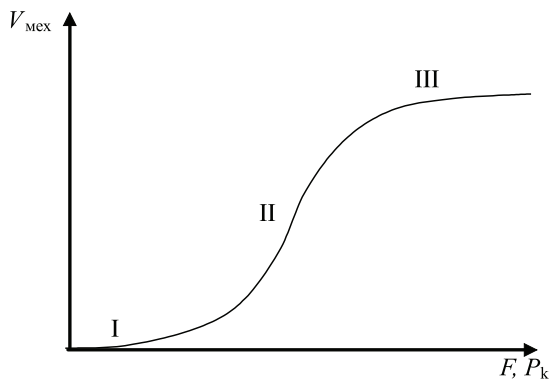


Рис. 1. Зависимость механической скорости бурения от осевой нагрузки (контактного давления) на долото ($n = \text{const}$, $Q = \text{const}$)

На механическую скорость бурения большое влияние оказывает скорость вращения шарошечного долота. Общий вид зависимости $V_m = f(n)$ хорошо известен из работ В.С. Федорова (рис. 2). На кривой выделяются два линейных участка: начальный и конечный. На этих участках V_m изменяется пропорционально n , что свидетельствует о постоянстве проходки за оборот δ .

Основными факторами, определяющими вид кривой $V_m = f(n)$, являются следующие:

- время контакта τ_k зуба шарошечного долота с горной породой,
- число поражений забоя зубьями долота.

С увеличением частоты вращения n возрастает число поражений забоя зубьями шарошечного долота, возрастает скорость и энергия соударения [4]. Это обеспечивает рост механической скорости бурения. Но одновременно с этим увеличение n обеспечивает и снижение времени контакта τ_k , что снижает эффективность разрушения горных пород и, как следствие, механическую скорость. В результате действия указанных

факторов при бурении возникает сложная зависимость $V_m = f(n)$.

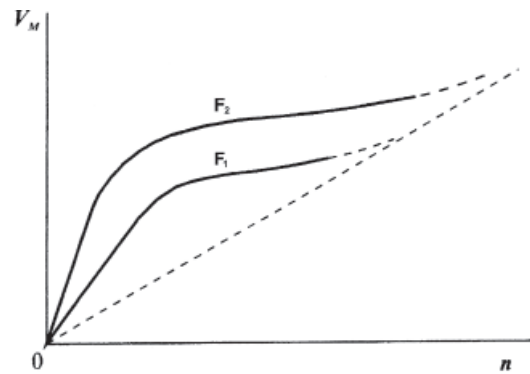


Рис. 2. Общий вид зависимости $V_m = f(n)$ при различных осевых усилиях ($F_2 > F_1$)

На участке кривой $V_m = f(n)$, расположенном между начальным и конечным линейными участками, изменение механической скорости, происходящее при постоянной осевой нагрузке, но росте частоты вращения, характеризуется снижением темпа прироста механической скорости. При определенной частоте вращения $n_{кр}$ наблюдается резкое снижение темпа прироста механической скорости. Это происходит вследствие резкого уменьшения глубины внедрения зуба долота в горную породу за один оборот, снижения времени контакта зуба долота с забоем скважины. Для мрамора, например, $n_{кр} = 100 \text{ мин}^{-1}$. С ростом твердости горной породы $n_{кр}$ возрастает.

Энергоемкость разрушения возрастает. По этой причине бурение скважины с частотой вращения $n > n_{кр}$ неэкономично. При данном значении осевого усилия увеличение n долота с целью повышения механической скорости целесообразно лишь до тех пор, пока возрастает рейсовая скорость бурения.

Особое влияние на процесс бурения оказывает динамическое воздействие долота по горной породе забоя скважины. Исключительно за счет ударной нагрузки разрушаются горные породы при использовании долот дробящего действия. Шарошечное долото наносит удары по горной породе забоя скважины при перекачивании шарошки с зуба на зуб, за счет накопления упругой энергии в бурильной колонне и неоднородности горных пород [3]. Это обеспечивает вертикальное перемещение не только долота, но и всей бурильной колонны. По этой причине на горную породу забоя действует динамическая нагрузка F_d во время удара зуба долота по забую, а затем и статическая нагрузка $F_{ст}$, обеспечивающая дальнейшее внедрение зуба в поверхность забоя. Суммарная нагрузка на забой

$$F_{\Sigma} = F_d + F_{ст}$$

отнесенная к величине статической нагрузки, определяет коэффициент динамичности:

$$k = F_{\Sigma} / F_{ст}$$

Коэффициент динамичности возрастает с увеличением твердости горной породы, шага зубьев и частоты вращения долота. При разбурировании мягких, средних и твердых горных пород коэффициент динамичности принимает следующие значения: 1,1; 1,2; 1,3 соответственно.

Эффективность разрушения горной породы на забое скважины под действием усилий F_d , $F_{ст}$ снижается с возрастанием пластических свойств горных пород. Разрушение горных пород на забое глубоких скважин инструментом, вызывающим дробление, обеспечивает малую механическую скорость.

Под действием ударной нагрузки, превышающей сопротивление горной породы ударному разрушению, происходит ее дробление и образование лунки в результате выкола породы. И в состоянии устойчивого и неустойчивого положения шарошки под торцом зуба в горной породе возникает напряженное состояние сжатия. Напряжения сжатия в породе достигнет большей величины при опоре шарошки на один зубец. Если при этом возникающие контактные давления превысят сопротивление породы вдавливанию ($P_k > H$), то горная порода под пятном контакта разрушится, возникнет лунка.

Перекатывание шарошки по забою с зуба на зуб не является единственной причиной появления динамической нагрузки. Так как нагружаемая горная порода забоя скважины практически всегда неоднородна и в каждый момент времени зубья долота находятся в контакте с забоем в разных сочетаниях, то все это приводит к неравномерному разрушению горной породы. При этом возникают колебания с более низкой частотой, но с большей амплитудой, чем при перекатывании шарошки с зуба на зуб.

При работе шарошечного долота различают следующие колебательные процессы, обеспечивающие динамическое воздействие на забой:

а) высокочастотные, появление которых вызвано зубчатостью шарошек;

б) среднечастотные, природа которых связана с изменением во времени числа взаимодействующих с поверхностью забоя скважины зубьев долота;

в) низкочастотные, обусловленные возникновением вследствие неоднородности строения горных пород и их дефектности ухватов на забое скважины.

Для создания максимальной производительности бурового станка при различных условиях бурения без учета прочности и ресурса бурового инструмента, необходимо выполнять следующие условия.

1) усилие подачи бурового инструмента находится в прямой зависимости от твердости буримой породы;

2) усилие подачи бурового инструмента должно обеспечивать режим объемного разрушения горной породы ($P_k > H$);

3) скорость вращения бурового инструмента находится в обратной зависимости от усилия подачи;

4) скорость вращения бурового инструмента должна обеспечивать максимальное число поражений забоя зубьями шарошечного долота, а также максимальную скорость и энергию соударения, но обеспечивать достаточное время контакта для поддержания режима объемного разрушения горной породы;

5) необходимо усиливать динамическое воздействие на забой шарошечного долота при перекатывании последнего, путем увеличения усилия подачи или изменения скорости вращения для увеличения энергии соударения синхронно перекатыванию шарошечного долота;

6) необходимо усиливать динамические нагрузки при резком снижении крепости породы, при прохождении дефектов и пустот.

НИИР выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика горных пород. – М.: Недра, 1975 – 271 с.
2. Проектирование буровых долот для открытых, земляных и строительных работ: монография / В.Д. Буткин, А.В. Гилев и др. – М.: Макс Пресс, 2005. – 240 с.
3. Методы расчетов прочности при проектировании рабочих органов буровых станков / А.В. Гилев, А.О. Шигин и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 1. – 3 с.
4. Евсеев В.Д. Физика разрушения горных пород при бурении нефтяных и газовых скважин: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 151 с.
5. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1978 – 216 с.
6. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 456 с.

References

1. Baklashov I.V., Kartozija B.A. *Mechanics of rocks*. M.: Bowels, 1975. 271 p.;
2. Butkin V.D., Gilev A.V., etc. *Designing of chisel chisels for opened, earthen and civil work: the monography*. M.: Max Press, 2005. 240 p.
3. Gilev A.V., Shigin A.O., etc. *Methods of calculations of durability at designing of working bodies of chisel machine tools – Modern high technologies*, 2011. no. 1. 3 p.
4. Yevseyev V.D. *Physics of destruction of rocks at drilling of oil and gas chinks: the Manual*. Tomsk: TPU, 2004. 151 p.
5. Mavlutov M.R. *Razrushenie of rocks at drilling of chinks*. M.: Bowels, 1978. 216 p.
6. Protasov U.I. *Destruction of rocks*. M.: Publishing house MGGU, 2001. 456 p.

Рецензенты:

Крушенко Г.Г., д.т.н., профессор, Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск.

Михайлов А.Г., д.т.н., профессор, Институт химии и химической технологии СО РАН, г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 29.02.2012.