

радиальными окнами 23 воздухораспределительной трубки 4, перемещается в нижнее положение и открываются каналы подвода энергоносителя в камеру 14 обратного хода. После этого рабочий процесс протекает согласно изложенному.

При продувке скважины пневмоударник поднимается над забоем. Поршень-ударник 2 перемещает коронку 9 в крайнее переднее положение до упора буртика на коронке на кольцо 11.

Воздухораспределительная трубка 4 посредством верхних радиальных окон 23 сообщается при этом с камерой 13 прямого хода. Энергоноситель из воздухораспределительной трубки 4 через радиальные окна 23 поступает в камеру 13 прямого хода, откуда по каналам 17 через нижнюю кольцевую расточку 16 и центральный канал 3 поршня-ударника 2, выхлопную трубку 10 и каналы 9 истекает в атмосферу забоя. Происходит продувка скважины.

Одновременно при перемещении поршня 2 в крайнее нижнее положение передней его кромкой перекрывается подвод энергоносителя в камеру 14 обратного хода, а оставшийся в ней энергоноситель по шлицевым пазам в буксе 12, которые при этом открываются, выпускаются в атмосферу. Происходит блокировка поршня-ударника 2 в крайнем переднем положении.

Для возобновления процесса бурения необходимо пневмоударник осевым усилием прижать к забою.

Под руководством и при участии автора данной статьи были спроектированы, Опытным заводом института ВНИПИрудмаш изготовлены (в количестве 3 шт.) и испытаны пневмоударники, выполненные по данной схеме и работающие на давлении сжатого воздуха 1,8 МПа.

Сравнительные испытания в условиях шахты "Гигант" показали, что производительность пневмоударников, выполненных по вышеприведенной схеме, такая же, как и пневмоударников фирм "Atlas Copco" и "Ingersoll-Rand" в тех же условиях.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, пневмоударники, выполненные по вышеобоснованной конструктивной схеме, наиболее полно отвечают предъявленным к ним требованиям и обеспечивают высокие технико-экономические показатели при их применении.

В связи с тем, что применяемые в данное время на шахтах пневмоударники не обеспечивают предъявляемых к ним требований и не созданы дожимные компрессорные установки, обеспечивающие повышения давления сжатого воздуха до 1,8...2,0 МПа, является целесообразным создание по такой же схеме пневмоударников, работающих при давлении сжатого воздуха 0,5...0,8 МПа, отбираемого из шахтной пневмосети.

Список литературы

1. Зарубежные конструкции погружных пневмоударников и передвижных компрессорных станций: Обзор / Бовдуй В.Г., Гуливец А.А., Кучма В.В., Бабич В.А. - М.: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, 1987. - 44 с. (Горное оборудование. Сер. 2. Вып.6).
2. Исследования по повышению технико-экономических параметров средств бурения за счет использования сжатого воздуха повышенного давления. (Промежуточный отчет), тема 82.3064228, инв. № 0284.0015734. Грицаев Н.Т., Кривой Рог, 1983. - 80 с.
3. Патент США № 4446229, кл. 173-17, опубл. 1984.
4. Авторское свидетельство СССР № 1689605, кл. E21 C3/24, E21 B4/14, опубл. 07.11.91. Бюл. №41.

Рукопись поступила в редакцию 23.02.12

УДК 622.232.74

Ю.С. РУДЬ, докт. техн. наук, проф., И.С. РАДЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук, доц.,

С.Ю. ОЛЕЙНИК, ассистент, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ТЕОРИЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД МАШИНАМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ С УЧЕТОМ ИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Теоретическими методами решена задача определения параметров внешнего энергетического воздействия для разрушения горных пород, имеющих определенное кристаллическое строение и физико-механические свойства (модуль Юнга, напряжения сжатия и растяжения, плотность).

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Повышение производительности горных машин ударного действия, увеличение надежности и долговечности их узлов, снижение энергозатрат, необходимых для разрушения породы, достигается в основном за

счет увеличения мощности машин. Анализ результатов промышленного применения рассматриваемых машин показывает, что они достаточно полно обеспечивают разрушение горных пород различной прочности. Имеются данные о разрушении пород в массиве с сопротивлением на сжатие $\sigma_{сж}$ до 10 МПа, а при вторичном дроблении – до 18 МПа. Важным фактором, влияющим на эффективность использования горных машин ударного действия, является эффективность передачи энергии единичного удара в горный массив (забой). В связи с этим задача о формировании необходимого и достаточного для разрушения породы импульса энергии неразрывно связана с передачей его по инструменту, а также от инструмента в породу забоя.

Так, проблема совершенствования горных машин ударного действия для повышения эффективности их применения, снижения энергозатрат, необходимых для разрушения породы, сокращения объемов буровзрывных работ является актуальной для ряда горнодобывающих отраслей минерально-сырьевого комплекса страны.

Анализ исследований и публикаций. Задача о формировании импульса энергии, необходимого и достаточного для разрушения горной породы, прохождении импульса через инструмент в породу рассматривалась в работах Р. Саймона [1], К.И. Иванова [2], В.Б. Соколинского [3], О.Д. Алимова, И.Д. Шапошникова, Л.Т. Дворникова [4]. Дифференциальное уравнение скорости перемещения плоскости контакта инструмента с породой имеет вид

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{\rho a S} \cdot [2F_1(t) - F(u)] + \dot{u}, \quad (1)$$

где: u – перемещение; $F_1(t)$ – силовой импульс; S – площадь поперечного сечения инструмента; $F(u)$ – усилие в месте контакта инструмента с породой; ρ – плотность материала инструмента; a – скорость звука для материала инструмента; \dot{u} – начальная скорость перемещения инструмента до прихода волны напряжения к рабочему концу инструмента.

Для решения данного уравнения необходимо иметь зависимость $F(u)$ при внедрении инструмента в породу. Обычно при исследованиях пользуются линейной зависимостью $F=Ku$, что справедливо лишь в узком диапазоне физико-механических характеристик породы. Учеными Е.В. Александровым, В.Б. Соколинским проводились экспериментальные исследования зависимости $F(u)$. В своих работах они определили эти функции в виде

$$\left. \begin{aligned} F &= K_1 u; & 0 < u \leq u_1; \\ F &= K_2 u + K_1 u_1; & u_1 < u \leq u_2; \\ F &= K_3 u + K_1 u_1 + K_2 u_2; & u_2 < u \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Однако исследования В.Д. Андреева, А.И. Бочковского, С.И. Склера, К.И. Иванова, показали, что функция $F(u)$ зависит от формы падающего импульса, геометрии бойка, волнового сопротивления инструмента и свойств породы. Зависимость между всеми этими параметрами и функцией $F(u)$ не была определена.

Постановка задачи. В наших исследованиях поставлена задача развить теорию разрушения горных пород машинами ударного действия с учетом их кристаллического строения и физико-механических свойств и определить параметры внешнего энергетического воздействия, необходимые для разрушения горных пород, имеющих разное кристаллическое строение и физико-механические свойства (модуль Юнга, напряжения сжатия и растяжения, плотность).

Изложение материала и результаты. Горные породы представляют собой трехкомпонентную среду, состоящую из твердых частиц, жидкости и газов. Прочность кристаллов твердых частиц обусловлена внутримолекулярными силами взаимодействия, строением кристаллической решетки и ее дефектами. Силы сцепления между кристаллами породы намного меньше сил сцепления внутри самого кристалла, вследствие чего можно сделать вывод, что при механическом взаимодействии на породу, трещина должна проходить между границами зерен. Это связано с дефектами кристаллической решетки, которые обусловлены отсутствием атомов в узлах решетки или наличием между узлами атомов других элементов, нарушением нормальной структуры, сдвигом решетки. Поры, пустоты, микротрещины, места спайности присущи горным породам. Все это является местами концентрации напряжений. Трещиноватость также влияет на дробимость породы.

Таким образом, горную породу можно представить в виде подвижной неожиданной среды, исследования которой возможно методами классической механики. Удар бойка (лезвия корон-

ки), производимый горной машиной ударного действия, можно разбить на две фазы: 1-я фаза – передача энергии от бойка к разрушаемой среде; 2-я фаза – движение самой среды.

Продолжительность 1-й фазы бесконечно мала (время удара $\approx 10^{-3} \div 10^{-2}$ с). Продолжительность 2-й фазы определяется теми скоростями, с которыми соударяемые массы будут двигаться. Эти скорости могут быть очень большими, но как бы велики они не были, все равно в течение бесконечно малого промежутка времени, который соответствует продолжительности первой фазы, смещения частиц среды будут бесконечно малы. При различных воздействиях внешней среды на материал от нее отрывается некоторая часть атомов Δn . Число отделенных атомов пропорционально времени Δt , энергии E_1 , подводимой за единицу времени Δt к зоне контакта, и обратно пропорционально энергии объема разрушаемого материала E , т.е.

$$\Delta n = -nC\Delta t E_1 / E, \quad (3)$$

где C - коэффициент, учитывающий, каким способом энергия E_1 сообщается объему разрушаемого материала.

Для случая простого трения некоторой частицы материала, размещенной вблизи поверхности, справедливо равенство

$$\dot{A}_1 = \dot{A}, \quad (4)$$

где A - работа, выполняемая одной частицей.

Связь между атомами в кристалле почти полностью обеспечивается силами электростатического притяжения между отрицательно заряженными электронами и положительно заряженными ядрами. Задав пространственное распределение электронов и ядер в кристаллах, можно рассчитать энергию, которую необходимо затратить для разделения твердого тела на отдельные нейтральные атомы при $0^\circ K$.

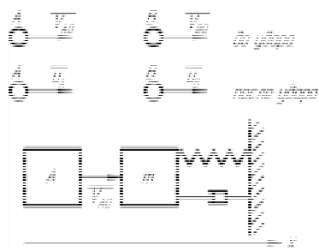


Рис. 1. Расчетная схема для описания удара двух материальных точек (тел)

Изложенное позволяет оценить величину энергии кристаллической решетки ионных соединений, т.е. энергию сцепления ионных кристаллов. Теоретические расчеты в этом случае довольно хорошо согласуются с наблюдаемыми величинами. Детальные расчеты для других типов кристаллической решетки можно найти в специальных руководствах [5,6].

Из физических соображений видно, что при отбойке руды перфоратором энергия для разрушения передается от бойка породе. Современными точными методами измерений процесс передачи энергии от одного тела к другому детально исследован при ударе. Фактически такая передача происходит при деформации соударяющихся тел и образовании ударных волн, которые распространяются в обоих телах. При этом разрушаемая масса породы значительно превосходит массу бойка.

Условно разделим весь процесс взаимодействия бойка и породы на две последовательные фазы. В течение первой фазы происходит непосредственная передача энергии (кинетической) от бойка к разрушаемой массе. Мерой такого взаимодействия материальных тел может служить мгновенный ударный импульс (мгновенный импульс)

$$S = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt, \quad (5)$$

здесь $F(t)$ – ударная сила, t_1 и t_2 – моменты времени, которые соответствуют началу и концу удара.

Выражению можно придать форму

$$S = F_{\text{ср}}(t_2 - t_1) = F_{\text{ср}} \tau, \quad (5)$$

где τ – время удара, $F_{\text{ср}}$ – среднее значение силы за время удара.

Далее необходимо рассматривать предельный переход, когда в выражении (5) первый множитель неограниченно возрастает, а второй – неограниченно убывает. В то же время их произведение остается конечным.

Рассмотрим общий случай соударения двух тел [3] и обозначим: V_{A_0} – скорость тела A до удара, м/с; V_{B_0} – скорость тела B до удара, м/с; m_A и m_B – массы тел A и B , соответственно, кг; u_A и u_B – скорости тел после удара, м/с.

Чтобы удар произошел, необходимо выполнять неравенство $V_{A0} > V_{B0}$. Мы предполагаем, что тела движутся вдоль одной прямой и за время удара импульс внешних сил (по отношению к системе двух точек) равен нулю. Следовательно, количество движения системы остается постоянным

$$m_A V_{A0} + m_B V_{B0} = m_A u_A + m_B u_B. \quad (6)$$

Далее воспользуемся допущением Ньютона, что относительная скорость соударяющихся материальных точек после удара пропорциональна их относительной скорости перед ударом

$$u_A - u_B = -k(V_{A0} - V_{B0}), \quad (7)$$

где k – коэффициент пропорциональности называется коэффициентом восстановления. Согласно допущению Ньютона этот коэффициент выражает собственные физические свойства материальных тел.

Уравнения (3) и (4) образуют полную систему, из которой получаем

$$u_A = [(m_A - km_B) \cdot V_{A0} + m_B \cdot (1+k) \cdot V_{B0}] / (m_A + m_B), \quad (8)$$

$$u_B = [(m_A - km_B) \cdot V_{A0} + m_B \cdot (1+k) \cdot V_{B0}] / (m_A + m_B), \quad (9)$$

Рассмотрим для простоты расчетов физические процессы, которые происходят в призматическом стержне под действием внезапно приложенной силы P (рис. 2).

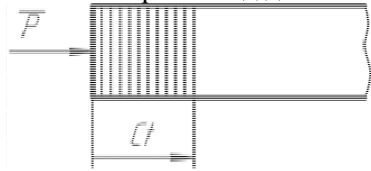


Рис. 2. Расчетная схема для определения критической скорости

В первый момент времени сила P вызывает сжатие бесконечно малого элемента (объема), который непосредственно примыкает к торцу стержня. Это сжатие будет постепенно перемещаться по стержню. В любой момент времени сжатой будет лишь некоторая часть длины стержня. Эта часть заштрихована на рис. 2. В то же время остальная часть стержня не будет испытывать деформации сжатия. Обозначим через C скорость, с которой распространяется деформация сжатия вдоль оси стержня. Тогда величина Ct определяет длину сжатого участка стержня в момент времени t . Будем предполагать, что материал подчиняется закону Гука. Тогда ускорение сжатой части стержня равно

$$[P/(E \cdot S)] \cdot Ct, \quad (10)$$

где E – модуль Юнга; S – площадь поперечного сечения стержня, m^2 .

Это выражение определяет также перемещение торца стержня в рассматриваемый момент времени. Отсюда находим скорость движения торца стержня

$$Vt = [P/(E \cdot S)] \cdot Ct; \quad V = P \cdot \tilde{N} / (E \cdot S). \quad (11)$$

С этой скоростью движутся все частицы стержня в сжатой его части.

Составим уравнение количества движения [4]: количество движения стержня в момент времени t равно импульсу силы P за то же время

$$\rho S V C t = P t, \quad (12)$$

здесь $\rho S C t$ – масса сжатой части стержня, а $\rho S C t V$ – количество движения сжатой части стержня; $P t$ – импульс силы P за время t .

Из равенств (11) и (12) находим скорость распространения деформации сжатия. Это будет скорость распространения волны

$$C = \sqrt{A/\rho}. \quad (13)$$

Скорость движения частиц стержня равна

$$V = D / (S \sqrt{E \rho}). \quad (14)$$

Учитывая, что

$$D/S = \sigma, \quad (15)$$

где σ – нормальное напряжение, H/m^2 , выражение (14) переписываем в следующем виде

$$V = \sigma / \sqrt{E \rho}. \quad (16)$$

Задача, решенная здесь, легко обращается, и можно рассматривать стержень, который первоначально движется вдоль своей оси со скоростью V , ударяется о жесткую преграду. Следовательно, в такой постановке задачи известно изменение скорости частиц, которые принадлежат торцу стержня, а неизвестным является напряжение σ , возникающее в стержне. Из равенства (16) находим

$$\sigma = V \sqrt{E \rho}. \quad (17)$$

Изложенное выше позволяет определить скорость в сечении стержня $V_{кр}$, при которой достигаются напряжения, равные пределу пропорциональности

$$V_{\dot{\epsilon}\delta} = \sigma_{\dot{\epsilon}\delta} / \sqrt{E\rho}. \quad (18)$$

Формулу (18) также можно получить другим методом. При малых деформациях в породе и ударяющей штанге среда находится в упругой стадии. Поэтому в течение соответствующего времени никакие необратимые изменения в среде, тем более разрушения, происходить не будут. Однако при более значительных деформациях могут возникнуть необратимые процессы, например, будут происходить пластические деформации со всеми связанными с ними последствиями.

Хорошо известно, что необратимые процессы могут происходить лишь после того, как будет достигнуто условие Мизеса-Генки [7,8], т.е. когда удельная энергия деформации формы будет соответствовать пределу текучести среды. Ясно, что величина предела текучести не является физической константой и зависит от многих величин, в том числе и от скорости деформации. Поэтому предел текучести во многих случаях определяют экспериментально. Однако необходимо отметить, что пока плотность энергии деформации среды не достигнет некоторого предела, разрушения происходить не будут.

При известном пределе текучести $\sigma_{тр}$ и модуле Юнга E удельная потенциальная энергия Π может быть вычислена по формуле

$$\dot{\Pi}_{\dot{\epsilon}\delta} = \sigma_{\dot{\epsilon}\delta}^2 / (2 \cdot E). \quad (19)$$

В данном случае удобно перейти к кинетической энергии, которая в случае полного перехода в работу деформации обеспечивает наступление условия пластичности. Это будет определять соответствующую критическую скорость $V_{кр}$ из условия

$$\dot{\Pi}_{\dot{\epsilon}\delta} = \rho \cdot V_{\dot{\epsilon}\delta}^2 / 2. \quad (20)$$

Следовательно,

$$V_{\dot{\epsilon}\delta} = \sigma_{\dot{\epsilon}\delta} / \sqrt{E\rho},$$

что совпадает с формулой (18).

В табл. 1 приведены вычисленные величины критических скоростей для некоторых горных пород.

Таблица 1

Вычисленные величины критических скоростей

Порода	ρ , кг/м ³	E , Н/м ²	$\sigma_{сж}$, Н/м ²	$\sigma_{рас}$, Н/м ²	$V_{кр.сж}$, м/с	$V_{кр.рас}$, м/с
Кварц	$2,65 \cdot 10^3$	$9,64 \cdot 10^{10}$	$2,95 \cdot 10^8$	$0,15 \cdot 10^8$	18,45	0,93
Гранит	$2,6 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^8$	17,33	1,58
Базальт	$2,7 \cdot 10^3$	$11,3 \cdot 10^{10}$	$3,6 \cdot 10^8$	-	20,6	-
Диабаз	$2,85 \cdot 10^3$	$12,6 \cdot 10^{10}$	$2,1 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^8$	11,08	1,06
Габбро	$2,95 \cdot 10^3$	$10,8 \cdot 10^{10}$	$2,9 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^8$	16,25	1,12
Каменный уголь	$1,3 \cdot 10^3$	$0,56 \cdot 10^{10}$	$0,35 \cdot 10^8$	$0,025 \cdot 10^8$	12,97	0,92
Каменная соль	$2,0 \cdot 10^3$	$3,6 \cdot 10^{10}$	$0,4 \cdot 10^8$	$0,04 \cdot 10^8$	4,71	0,47
Глинистый сланец	$2,3 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^8$	$0,25 \cdot 10^8$	15,08	2,51
Песчаник	$2,1 \cdot 10^3$	$4,7 \cdot 10^{10}$	$1,5 \cdot 10^8$	$0,1 \cdot 10^8$	15,09	1,01
Известняк	$2,3 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^{10}$	$1,6 \cdot 10^8$	$0,15 \cdot 10^8$	12,18	1,14
Доломит	$2,3 \cdot 10^3$	$9,5 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^8$	$0,4 \cdot 10^8$	12,85	2,71
Гнейс	$2,65 \cdot 10^3$	$7,6 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^8$	$0,2 \cdot 10^8$	19,73	1,41
Мрамор	$2,7 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^8$	$0,16 \cdot 10^8$	12,61	1,06
Кварцит	$2,65 \cdot 10^3$	$9,56 \cdot 10^{10}$	$1,48 \cdot 10^8$	$0,15 \cdot 10^8$	9,29	0,94

В большинстве случаев разрушаемая порода представляет собой набор отдельных кристаллов («зерен»), которые разделены друг от друга породой с другими физико-механическими свойствами или имеют область спайности. При действии ударного импульса на такую породу разрушение будет происходить в местах спайности, так как здесь связи между атомами ослаблены. Для расчета энергии разрушения здесь можно воспользоваться следующей физической моделью. Пусть масса отдельного кристалла (зерна) равна m и механически связана с остальными зернами иной породы, которую заменяем пружиной с жесткостью c и демпфером с коэффициентом затухания α (рис. 3).

В таком случае для определения движения можно воспользоваться основным уравнением динамики

$$m\ddot{x} = -cx - \alpha\dot{x} + S. \quad (21)$$

Отсюда находим

$$\ddot{x} + (\alpha/m) \cdot \dot{x} + (c/m) \cdot x = S/m. \quad (22)$$

Уравнение позволяет исследовать влияние формы ударного импульса на процесс разрушения породы.

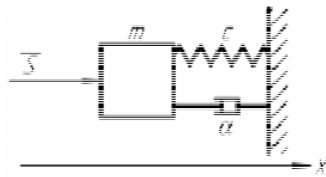


Рис. 3. Схема для расчета разрушения породы с включениями

Оценим величину коэффициента «жесткости» c . Для этого, как обычно, необходимо выделить в кристалле некоторый элементарный куб и вычислить растяжение Δa , которое возникает под действием силы F

$$E \cdot (\Delta a/a_0) = F/a_0^2, \quad (23)$$

где a_0^2 – площадь грани куба с ребром a_0 .

Тогда коэффициент «жесткости» c определяется как сила, необходимая для удлинения куба на расстояние, равное его ребру. Модуль Юнга $E \approx 10^{11}$ Н/м². Следовательно, величина c приблизительно равна 25 Н/м.

Выводы. В настоящей работе развита теория и исследован механизм разрушения горной породы с учетом ее кристаллического строения и физико-механических свойств (модуля Юнга, напряжения сжатия и растяжения, плотности). Учтено, что реальная порода состоит из отдельных микрокристаллов, связь между которыми ослаблена. Показано, что разрушение происходит в местах спайности. Учет кристаллического строения породы при разрушении ударным импульсом позволяет определить критическую скорость «движения» горной породы, при которой происходит разрушение.

Выделение в массиве отдельных микрокристаллов, разделенных друг от друга слоями с отличительными физико-механическими свойствами, дает возможность исследовать влияние формы и продолжительности ударного импульса на процесс разрушения и скорость породы.

Полученные результаты по определению скорости движения породы с учетом ее физико-механических свойств позволяют определить параметры внешнего энергетического воздействия (форму, длину и энергию импульса), которые обеспечивают разрушение породы.

Список литературы

1. Саймон Р. Расчет на вычислительных машинах волн напряжения от удара бойка в бурильных машинах. – В сб.: Механика горных пород. - М.: Недра, 1966.
2. Иванов К.И. Влияние формы ударника на коэффициент передачи энергии удара в породу. – В сб.: Горный породоразрушающий инструмент. – Киев: Техника, 1970.
3. Соколинский В.Б. Методы аналитического расчета параметров неупругого удара в волновых системах. - М.: Изд. ИГД им. А.А. Скочинского, 1970.
4. Алимов О.Д., Шапошников И.Д., Дворников Л.Т. Формирование ударных импульсов при вращательно-ударном бурении шпуров. – Изв. АН Кирг. ССР - №4, - 1970.
5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: «Наука», 1978. – 791 с.
6. Жданов Г.С. Физика твердого тела. - М.: Изд-во Московского университета, 1962. – 500 с.
7. Рудь Ю.С., Кузьмич С.М., Радченко І.С. Теорія удару. - Кривий Ріг: «Мінерал», 1997. – 64 с.
8. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Часть вторая. - М.: «Наука», 1969. - 332 с.

Рукопись поступила в редакцию 02.02.12

УДК 621-963: 622.233.5

А.А. БОНДАРЕЦ, старший преподаватель; С.И. НЕЙМИРКО, ассистент
Криворожский национальный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ПЛАНЕТАРНО-РОТОРНЫХ ВРАЩАТЕЛЕЙ ПЕРФОРАТОРОВ

Проведены теоретические исследования планетарно-роторных вращателей перфораторов с целью нахождения зависимости для определения их рабочих объемов, необходимых для дальнейшего совершенствования конструкций перфораторов с независимым вращением инструмента и снижения потребления данным типом перфораторов сжатого воздуха.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В последние несколько лет на рынках горнодобывающей техники Украины преобладает оборудование китайского производства, в частности перфораторы: УТ28, УТ27, УТ24, У24, УТ19А. Данный класс перфورا-