

Научная статья

УДК 622-1/-9

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-47-54

Линник Юрий Николаевич, Линник Владимир Юрьевич

Государственный университет управления

* для корреспонденции: vy_linnik@guu.ru

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ УДАРНИКА НА ПОКАЗАТЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**Информация о статье**

Поступила:

18 ноября 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

10 марта 2025 г.

Опубликована:

24 марта 2025 г.

Ключевые слова:

нагрузка, горная порода, форма и размеры ударника, динамическое разрушение, максимальное напряжение, энергоемкость, скорость приложения нагрузки

Аннотация.

Выбор эффективных способов и средств разрушения горных пород, особенно средней и высокой крепости, является одной из основных задач научных исследований как в России, так и за рубежом. Статический способ разрушения пород с использованием принципа резания зачастую оказывается малопродуктивным и недостаточно эффективным вследствие ограниченной мощности применяемого оборудования и быстрого выхода из строя режущего инструмента. Ударный же способ, характеризующийся весьма большими величинами усилий, развиваемых на исполнительных органах горных машин за малые промежутки времени, обеспечивает получение значительно лучших результатов. В этой связи выполнены экспериментальные исследования, основной задачей которых было установление влияния формы и размеров рабочих инструментов на показатели динамического разрушения горных пород и в том числе влияния соотношения диаметра и длины ударников при определенных постоянных значениях массы и радиусов закругления их торцов, определяющих податливость, на удельные энергозатраты при разрушении. Также проводились исследования по установлению эффективности применения ударников переменного сечения при различном характере и форме создаваемого импульса напряжения, результаты которых описаны в предлагаемой статье.

Для цитирования: Линник Ю.Н., Линник В. Ю. Влияние формы и размеров ударника на показатели динамического разрушения горных пород // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 1 (177). С. 47-54. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-47-54, EDN: JYXAJ5

Введение

Практика показывает, что эффективное применение динамического способа разрушения горных пород возможно лишь при определенных оптимальных параметрах, зависящих от конкретных условий эксплуатации, прогнозирование которых невозможно без проведения широких исследований. Применительно к статическому разрушению угля и горных пород такие исследования широко проводились как в России [1-4], так и за рубежом [5-7], в результате этих исследований разработаны методы расчета усилий, действующих на резцы исполнительных органов очистных [8] и проходческих [9, 10] комбайнов в зависимости от свойств разрушаемых угольных и породных массивов. Ре-

зультаты таких исследований позволяют рассчитывать оптимальные геометрические и конструктивные параметры резцов и исполнительных органов статического действия, а также выбирать оптимальные режимы их работы. Исследования применительно к динамическому разрушению горных пород в России также широко проводятся, как например [11-14], но до настоящего времени недостаточно изученным являются вопросы о влиянии параметров ударника и времени приложения нагрузки на показатели динамического разрушения горных пород при механических воздействиях.

В связи с вышеизложенным были выполнены исследования, направленные на установление влияния формы и размеров ударника на показатели

динамического разрушения горных пород, а также на установление эффективности применения ударников переменного сечения при различном характере и форме создаваемого импульса напряжения.

Результаты исследований. Для количественной оценки влияния формы и размеров ударника на показатели динамического разрушения горных пород была создана специальная тензометрическая аппаратура на базе шарошки, позволяющая в процессе разрушения породы измерять фактическое время контакта рабочего инструмента с породой и различные составляющие усилия, действующего непосредственно на инструмент. Конструкция шарошки позволяла устанавливать в два ряда отверстий на ее корпусе различные по геометрической форме и размерам ударники. Тензодатчики, расположенные на измерительных элементах шарошки, позволяли регистрировать осевые X , радиальные Y и тангенциальные Z усилия, которые затем передавались в осциллограф.

В соответствии с волновой теорией разрушения длина l ударника оказывает решающее влияние на величину времени соударения t :

$$t = 2l/a, \quad (1)$$

где a – скорость распространения упругих волн в материале.

Ранее выполненными исследованиями [15] установлено, что величина t , определенная по формуле (1), при воздействии на породы достаточно длинными ударниками действительно характеризует длительность ударного импульса с определенной степенью приближения – время достижения максимального напряжения.

Изменение податливости за счет радиуса закругления торца ударника определяет конечную величину общей продолжительности соударения, крутизну нарастания и спада амплитуды волны напряжения и некоторые другие параметры. Исследованиями установлено, что при свободном ударе, когда отсутствует сопротивление на конце ударника, величина максимального напряжения при ударе σ_{max} может быть определена по формуле:

$$\sigma_{max} = (\rho \cdot a \cdot V) / 2, \quad (2)$$

где ρ – плотность материала кг/см³, a – скорость распространения упругих волн, см/с; V – скорость ударника, см/с.

Для случая, когда штанга с коронкой контактирует с породой, величина максимальных напряжений с достаточной степенью точности определяется по формуле:

$$\sigma_{max} = \rho \cdot a \cdot V. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что приведенные выше формулы действительны для случаев взаимодействия ударяющего и ударяемого тел, имеющих один и тот же диаметр.

Величина максимального развиваемого усилия P_{max} при свободном соударении тел разного размера определяется по формуле:

$$P_{max} = \frac{\rho \cdot a \cdot F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2} \cdot V, \quad (4)$$

где F_1 – площадь сечения ударника, см²; F_2 – площадь сечения ударяемого тела, см².

Величина максимального напряжения в ударяемом теле равна:

$$\sigma_{max} = \frac{\rho \cdot a \cdot F_1 \cdot V}{F_1 + F_2}. \quad (5)$$

При равных сечениях ударника и штанги $F_1 = F_2 = F$ последняя формула преобразуется в следующий вид:

$$\sigma_{max} = \frac{\rho \cdot a \cdot F_1 \cdot V}{F_1 + F_2} = \frac{\rho \cdot F \cdot a \cdot V}{2F} = \frac{\rho \cdot a \cdot V}{2}, \quad (6)$$

т. е. формула (5) превратилась в формулу (2) для свободного удара, когда отсутствует сопротивление на конце ударяемого тела.

Для случаев несвободного удара при наличии сопротивления на конце ударяемого тела формулы для определения максимальных усилий и напряжений, очевидно, должны быть представлены в следующем виде:

$$P_{max} = \frac{2\rho \cdot a \cdot F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2} \cdot V; \quad (7)$$

$$\sigma_{max} = \frac{2\rho \cdot a \cdot F_1 \cdot V}{F_1 + F_2}. \quad (8)$$

Тогда после подстановки в последнюю формулу $F_1 = F_2$ формула (8) действительно превратится в формулу (3) для рассматриваемого случая.

Расчеты, выполненные по формуле (7), показали хорошую сходимость с экспериментально полученными предельными значениями силы удара. Более затруднительным является рекомендация вышеприведенных расчетных формул для случаев, когда ударник имеет переменное сечение, хотя качественную картину на основании имеющихся представлений можно приближенно описать. Так, например, если ударник имеет форму усеченного конуса, то, очевидно, форма ударного импульса будет различной в зависимости от того, утолщенным или утонченным концом производится удар по штанге. Если удар производится утонченным концом, то максимальная величина напряжения будет достигаться по истечении большего времени по сравнению со случаем удара утолщенным концом. Данная схема наиболее близка к схеме работы бурильных агрегатов, где, как правило, диаметр поршня несколько больше размера инструмента, ударяющего по штанге. Учитывая, что сопротивляемость породы внедрению рабочего инструмента, как известно, возрастает с глубиной погружения во времени, достигая наибольшего значения при максимальном погружении, применение двух типов упомянутых конических ударников может обеспечивать различный эффект разрушения породы. Высказанные соображения о характере изменения ударного импульса при различных случаях взаимодействия штанги с ударником переменного сечения находят свое подтверждение при анализе формул (4-8), из которых следует, что при увеличении площади ударника значения максимальных напряжений, развиваемых в штанге, возрастают.

Вернемся теперь к случаю взаимодействия ударяемого тела с ударником конической формы. При ударе утонченным концом сначала во взаимодействии со штангой приходит как бы ударник меньшего диаметра, чему должна соответствовать и меньшая амплитуда напряжения. Затем со штангой начинает взаимодействовать ударник большего

сечения и максимальные напряжения при этом должны возрастать. При ударе утолщенным концом должна наблюдаться обратная картина с достижением максимального значения напряжения в первые же мгновения с постепенным снижением его в последующее время. И этот случай, казалось бы, менее соответствует характеру изменения необхо-

димого усилия на рабочем органе во времени.

Для проверки изложенных выше основных теоретических положений были проведены экспериментальные исследования с тензометрической записью импульсов напряжений в буровых штангах с использованием специальной усилительной и осциллографической аппаратуры.

Таблица. Результаты экспериментально и теоретически установленных значений максимально развиваемого усилия в штанге при различных параметрах ударника
Table. Results of experimentally and theoretically established values of maximum force developed in the rod under different striker parameters

Параметры ударника	Параметры штанги	Скорость соударения, см/с	Значения максимального развиваемого усилия в штанге, Н		
			Вычисленное по формуле (4)	Экспериментально установленное	
Цилиндрический $d \times l = 75 \times 50$ мм; $G = 2,255$ кг	Длинная	140	27600	28900	
		221	43600	40100	
		313	61700	54500	
		383	75500	70800	
	Короткая	140	27600	21100	
		221	43600	32000	
		313	61700	48700	
		383	75500	56800	
		442	87000	65000	
Конический, ударная часть диаметром $d = 89$ мм, $G = 3,5$ кг	Длинная	140	28600	21900	
		221	45100	36500	
		313	63800	52200	
		383	78000	67800	
	Короткая	140	28600	17400	
		221	45100	28400	
		313	68800	42900	
		383	78000	52700	
		442	90200	-	
Конический, ударная часть диаметром $d = 37$ мм, $G = 3,5$ кг	Длинная	140	20700	16130	
		221	32700	36500	
		313	46400	49800	
		383	56600	73100	
	Короткая	140	20700	17050	
		221	32700	28400	
		313	45400	39400	
		383	56600	48700	
Цилиндрический $d \times l = 50 \times 158$ мм; $G = 2,253$; радиус закругления торца $r = 28$ мм	Длинная	221	31600	36500	
		313	45300	52200	
		383	55500	73000	
	Короткая	140	20250	16200	
		221	31600	25500	
		313	45300	37700	
		383	55500	47500	
Цилиндрический $d \times l = 50 \times 158$ мм; $G = 2,316$; радиус закругления $r = 37$ мм	Длинная	140	20250	20600	
		221	31600	40400	
		313	45300	59000	
		383	55500	85200	
	Короткая	140	20250	20300	
		221	31600	34200	
		313	45300	47000	
		383	55500	60900	
Цилиндрический $d \times l = 50 \times 158$ мм; $G = 2,35$; радиус закругления торца $r = 82$ мм	Длинная	140	20250	29100	
		221	31600	45200	
		313	45300	70800	
		383	55500		
	Короткая	140	20250	20300	
		221	31600	34200	
		313	45300	47000	
		383	55500	60900	

В Таблице приведены результаты выполненных экспериментальных и теоретических определений величин усилий в шестигранных штангах диаметром 25 мм и длинами 620 и 1800 мм. Цилиндрические ударники различных диаметра d и длины l были подобраны таким образом, чтобы их массы были примерно одинаковы ($\approx 2,3-2,4$ кг). Был также специально изготовлен ударник конической формы с концевыми частями диаметрами $d=89$ и 37 мм, длиной $l=124$ мм и массой в сборе около $G=3,5$ кг.

Анализ приведенных в Таблице данных показывает, что экспериментальные исследования с замедлением импульсов напряжений в буровых штангах различной длины в основном подтвердили изложенные выше теоретические соображения. Действительно, как следует из данных таблицы, с увеличением диаметра ударника возрастают и значения максимальных усилий в штанге, причем для большинства случаев наблюдается довольно близкое совпадение между экспериментальными величинами усилий с расчетными их значениями, определенными по формуле (4). Особенно резкое возрастание усилий наблюдается при переходе от ударника с площадью, примерно равной площади штанги, к ударникам больших размеров. Усилия при проведении опытов с ударниками диаметрами 50 и 75 мм оказались примерно одинаковыми. Этими данными, следовательно, подтвердилось высказанное ранее положение о том, что чем ближе значения площади сечения ударника к площади ударяемой штанги, тем больший эффект можно получить от увеличения диаметра ударника. Опыты с коническим ударником показали, что при ударе по штанге утолщенным концом ударника время формирования максимального усилия оказалось значительно меньшим по сравнению с временем при ударе утонченным концом, что также не противоречит теоретическим положениям. Экспериментальные данные Таблицы подтвердили и теоретические положения о том, что при изменении податливости торца ударника, определяемой радиусом его закругления, величины максимальных развиваемых усилий также могут значительно изменяться; при уменьшении податливости с увеличением радиуса закругления торца развиваемые усилия возрастают до некоторого предела.

В то же время анализ данных Таблицы показал, что результаты, получаемые при подстановке в формулу (4) значений диаметра только ударной части, недостаточно точно совпадают с экспериментальными. Так, при ударе утолщенным концом конического ударника теоретические значения максимального развиваемого усилия P_{max} , как правило, значительно превышают экспериментальные, а при ударе утонченным концом – наоборот, они меньше. Особо следует отметить то положение, что в подавляющем большинстве случаев величины максимальных усилий P_{max} , развивающихся в короткой штанге при прочих равных условиях, оказались на 20-30% меньше, чем в длинной штанге. Это положение, по всей вероятности, объясняется тем, что короткая штанга в отличие от длинной имела в верхней части буртик, влияние которого отража-

лось в потере части волновой энергии. Данное положение необходимо учитывать при конструировании горных машин ударного действия, детали которых, непосредственно передающих волновую энергию, по возможности не должны иметь резких изменений формы (утолщений, утончений и пр.).

Таким образом, вышеизложенные расхождения экспериментальных и теоретических значений максимального развиваемого усилия P_{max} при использовании ударников различных форм и размеров свидетельствуют о том, что необходимо выполнить дополнительные исследования, направленные на уточнение формулы для теоретического определения усилий P_{max} , развивающихся при ударе ударником сложной конфигурации, подобной испытанной конической конструкции. В этой связи были выполнены экспериментальные исследования с использованием ударников различных размеров и форм на пяти видах горных пород – трех крепких (красный гранит и лабрадорит) и двух слабых (две разновидности известняка).

Эксперименты проводились на вертикальном гравитационном копре высотой 6 м с различными приспособлениями, позволяющими осуществлять ударно-поворотное бурение испытуемых пород. Оценка эффективности процесса динамического разрушения пород производилась по показателю разрушаемости пород ударом в условиях ударно-поворотного бурения, по величине объемной энергоемкости процесса разрушения и по объему воронки разрушения (в случае проведения опытов с одиночным ударом). При проведении экспериментов с записью ударных импульсов дополнительно были проведены исследования с удлиненной штангой – 1,8 м.

Показатель разрушаемости пород ударом определялся по формуле

$$V = \frac{A \cdot n}{d^2} \cdot V_{max}^{0,85}, \quad (9)$$

где A – энергия единичного удара при ударно-поворотном бурении, Дж; n – частота ударов, 1/мин; d – диаметр буримого шпура, мм; V_{max} – показатель дробимости, определяемый в результате ситуового анализа продуктов разрушения.

Методика экспериментальных исследований предусматривала сбрасывание ударников с различным весом и формой на буровую штангу с коронкой, установленную на образце горной породы. После нанесения каждого удара штанга с коронкой поворачивалась на угол 300 и далее цикл повторялся. Основные опыты проводились при постоянной энергии удара. При изменении массы ударника соответствующим образом изменялась и высота сбрасывания (а, следовательно, и скорость приложения нагрузки) таким образом, чтобы энергия оставалась постоянной.

Таким образом, выполненные эксперименты не только позволяли установить степень влияния формы и размеров ударника на показатели динамического разрушения горных пород, но и дополнительно проверить ряд теоретических предположений относительно влияния скорости приложения нагрузки, энергии удара, массы ударника на эффек-

тивность разрушения пород с различными физико-механическими свойствами.

Помимо опытов по ударно-поворотному бурению на копре проводились испытания образцов лабрадорита и красного гранита с полированной поверхностью при одиночном ударном воздействии стандартным рабочим инструментом (буровой штангой с коронкой) на полированную поверхность образца с последующим замером образовавшейся воронки. При выполнении исследований по данному методу величина объемной энергоемкости определялась путем деления энергии единичного удара на объем воронки разрушения.

Основные результаты выполненного исследования вкратце состоят в следующем:

1. Опыты, проведенные с различной формой ударника, показали, что для некоторых пород наблюдается качественно различный характер зависимостей показателей эффективности динамического разрушения от скорости приложения нагрузки. Установлено, что для крепких хрупких пород по мере увеличения скорости приложения нагрузки примерно до 8 м/с (при постоянной энергии удара) наблюдается снижение удельной энергоемкости разрушения по гиперболическому закону, а для относительно слабых и вязких пород при таком же возрастании скорости отмечена отчетливая тенденция к увеличению энергоемкости.

2. Для всех испытанных пород при увеличении диаметра ударников до 100 мм отмечена тенденция к снижению энергоемкости разрушения, что подтверждено и теоретическими соображениями, свидетельствующими о том, что с увеличением площади ударника при прочих равных условиях имеет место возрастание максимальных усилий и напряжений в буровой штанге.

Расчетами установлено, что чем ближе значение площади сечения ударника к площади ударяемой штанги, тем больше можно получить эффект от увеличения диаметра ударника. Данное положение необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации горных машин действия.

3. Для предварительной оценки влияния изменения диаметров ударников на показатели применения горных машин ударного действия при заданной скорости приложения нагрузки можно рекомендовать использовать формулы (4) и (7), определяющие величину максимальных усилий при ударе.

4. Установлено, что зависимости энергоемкости процесса разрушения пород E в функции от полученных расчетным путем теоретических величин максимальных усилий при ударе P_{max} имеют такой же характер, как и экспериментально полученные зависимости величины E от скорости приложения нагрузки. Для хрупких пород величина E снижается с ростом теоретических значений максимальных усилий, а для слабых и вязких пород – наоборот, повышается, что отмечено как для больших, так и для малых значений энергии единичного удара.

5. Установлено, что для всех испытанных пород теоретическая величина времени соударения t , определенная расчетным путем, относительно мало влияет на удельные энергозатраты E при разруше-

нии, хотя и отмечена некоторая тенденция к возрастанию E по мере увеличения t , особенно заметная для крепких хрупких пород, например, красного гранита.

6. Опыты на известняках с ударниками, характеризующимися малыми диаметрами закругления торцов, показали, что в этом случае имеет место некоторое снижение энергоемкости разрушения породы. Данное обстоятельство указывает на то, что при разрушении слабых вязких пород увеличение общей длительности соударения может привести к определенному повышению эффекта разрушения. Однако после нанесения всего нескольких десятков ударов наблюдается деформация торцов ударников малого радиуса закругления, и разница в эффективности разрушения породы при использовании ударников с торцами различной податливости нивелируется. В этой связи рекомендуется при проектировании принимать величины радиусов закругления торцов ударников не менее, чем диаметр самого ударника, или использовать ударники с малым диаметром закругления, но имеющими высокую твердость.

7. Опыты с коническими ударниками различной формы позволили сделать вывод о том, что изменение формы ударного импульса не оказывает существенного влияния на показатели динамического разрушения горных пород, хотя несколько лучшие результаты получены при использовании конической конструкции с ударной частью большего диаметра.

Выводы

1. Полученные данные о влиянии диаметра ударника и его формы на показатели динамического разрушения различных по свойствам горных пород необходимо учитывать при проектировании высокочастотных бурильных агрегатов и при сравнительной оценке показателей эффективности применения различных машин ударного действия, поскольку повышение частоты ударов нередко осуществляется за счет увеличения рабочей площади поршня.

2. При проектировании машин с исполнительными органами ударного действия необходимо учитывать то обстоятельство, что лучшие результаты по динамическому разрушению горных пород обеспечиваются в случаях, когда концевая часть ударника конической или цилиндрической формы имеет больший диаметр по сравнению с буровой штангой.

3. Установлено, что для вновь создаваемых бурильных машин ударного действия, предназначенных для бурения крепких хрупких пород, следует рекомендовать назначать при проектировании величины весов поршней в пределах 2,-4,4 кг и предельных скоростей в диапазоне 4,4-7,8 м/с.

4. Вопрос о влиянии формы ударного импульса на прочность и износостойкость ударного инструмента должен стать предметом специальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. М. : Недра, 1984. 288 с.
2. Протодяконов М. М., Тедер Р. И. Исследование процесса разрушения угля методом крупного скола. М. : Госгортехиздат, 1960. 342 с.
3. Задков Д. А., Габов В. В., Линь К. Н. Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин // Записки Горного Института. 2019. № 236. С. 153–160.
4. Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Основы выбора параметров угледобывающих машин применительно к конкретным условиям эксплуатации. Монография. Москва : РУСАЙНС, 2023. 336 с.
5. Wang L. [et al.] Experimental Investigation on Static and Dynamic Bulk Moduli of Dry and Fluid-Saturated Porous Sandstones // Rock Mech. 2021. № 54. Pp. 129–148.
6. Yongming X., Bing D., Ying C., Lei Z., Guicheng H., Zhijun Z. Experimental Study on the Mechanical Properties and Damage Evolution of Hollow Cylindrical Granite Specimens Subjected to Cyclic Coupled Static-Dynamic Loads // Geofluids. 2020. № 4. Pp. 1–14.
7. Jiuqun Z., Jihuan H., Weihao Y. Investigating the Influences of Indentation Hardness and Brittleness of Rock-Like Material on Its Mechanical Crushing Behaviors // Mathematical Problems in Engineering. 2020. S2. Pp. 1–16.
8. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчет сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. М. : Изд-во Министерства угольной промышленности СССР, 1985. 108 с.
9. Жабин А. Б., Чеботарев П. Н., Лавит И. М., Поляков Ан. В. Методика определения нагруженности резцов и расходуемой мощности при разрушении угля и их расчет для проходческого комбайна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 135–148
10. ГОСТ Р 50703-2002. Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Общие технические требования и методы испытаний. М. : Госстандарт России, 2002. 33 с.
11. Барон Л. И., Хмельковский И. Е. Разрушаемость горных пород свободным ударом. М. : Наука, 1971. 203 с.
12. Нескоромных В. В., Чихоткин А. В. Аналитическое исследование механики разрушения горных пород резцами PDC с учетом динамических процессов резания-скальвания горной породы и сопротивления среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 4. С. 127–136.
13. Saksala T. 3D numerical modelling of bit-rock fracture mechanisms in percussive drilling with a multiplebutton bit // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2013. P. 309–324.
14. Винокуров В. Р. Применение мельницы сухого многократного ударного действия при измельчении золотосодержащих руд месторождения «Малый Тарын» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 12–1. С. 48–58.
15. Александров Е. В., Соколинский Б. В. Теория соударения. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М. : Наука, 1969. 201 с.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Линник Юрий Николаевич, профессор, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (109542, Российская Федерация, г. Москва, ул. Рязанский проспект, 99), докт. техн. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3968-0026>, yn_linnik@guu.ru

Линник Владимир Юрьевич, профессор, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», (109542, Российская Федерация, г. Москва, ул. Рязанский проспект, 99), докт. экон. наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5130-8222>, vy_linnik@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Линник Юрий Николаевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Линник Владимир Юрьевич – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

IMPACT OF IMPACTOR SHAPE AND DIMENSIONS ON DYNAMIC ROCK FRACTURE PERFORMANCE



Article info

Received:

18 November 2024

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

10 March 2025

Published:

24 March 2025

Keywords: impact load, rock, rock properties, drilling, test method, bit, drilling speed, fracture resistance.

Abstract.

The selection of effective methods and tools for the destruction of rocks, especially those of medium and high strength, is one of the main objectives of scientific research both in Russia and abroad. The static method of rock destruction using the cutting principle often proves to be unproductive and insufficiently effective due to the limited power of the equipment used and the rapid failure of the cutting tool. On the other hand, the impact method, characterized by very large forces developed on the executive organs of mining machines over short periods of time, ensures significantly better results. In this regard, experimental studies were conducted with the primary goal of determining the influence of the shape and size of working tools on the indicators of dynamic rock destruction, including the effect of the ratio of diameter to length of the strikers at certain constant values of mass and radii of rounding of their ends, which determine compliance, on specific energy consumption during destruction. Additionally, investigations were carried out to establish the effectiveness of applying variable cross-section strikers under different types and forms of generated stress pulses, the results of which are described in the proposed article.

For citation: Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Impact of impactor shape and dimensions on dynamic rock fracture performance. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 1(177):47-54 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-47-54, EDN: JYXAJ5

REFERENCES

- Pozin E. Z., Melamed, V. Z., Ton, V. V. Coal cutting by winning machines. 1989. [In Russ].
- Protodyakonov M.M., Teder R.I. Investigation of the process of coal destruction by the coarse chipping method. M.: Gosgortehzdat; 1960. 342 p. [In Russ].
- Zadkov D.A., Gabov V.V., Lin K.N. Peculiarities of Elementary Chipping Formation in the Process of Cutting of Coal and Isotropic Materials by a Reference Cutter of Mining Machines. *Notes of the Mining Institute*. 2019; 236:153–160. [In Russ].
- Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Fundamentals of selecting the parameters of coal mining machines applicable to specific operating conditions. *RUScience*. 2023. 336 p. [In Russ].
- Wang L. [et al.] Experimental Investigation on Static and Dynamic Bulk Moduli of Dry and Fluid-Saturated Porous Sandstones. *Rock Mech*. 2021; 54:129–148.
- Yongming X. [et al.] Experimental Study on the Mechanical Properties and Damage Evolution of Hollow Cylindrical Granite Specimens Subjected to Cyclic Coupled Static-Dynamic Loads. *Geofluids*. 2020; 4:1–14.
- Jiuqun Z. [et al.] Investigating the Influences of Indentation Hardness and Brittleness of Rock-Like Material on Its Mechanical Crushing Behaviors. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020; S2:1–16.
- OST 12.44.258-84. Combine harvesters. Parameter selection and calculation of cutting and feed forces on the actuators. Methodology. Ministry of Coal Industry of the USSR. 1985. 108 p. [In Russ].
- Zhabin A.B., Chebotarev P.N., Lavit I.M., Polyakov An.V. Methodology for determining the load capacity of cutters and power consumption during coal breaking and their calculation for roadheader. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2017; 3:135–148. [In Russ].
- GOST P 50703-2002. Roadheader combines with arrow-shaped actuator. General technical requirements and test methods. Moscow: Gosstandart of Russia; 2002. 33 p. [In Russ].

11. Baron L.I., Khmel'kovsky I.E. Destructibility of Rocks by Free Impact. Moscow: Nauka; 1971. 203 p. [In Russ].

12. Neskoromnykh V.V., Chikhotkin A.V. Analytical study of the mechanics of rock fracture by PDC cutters taking into account the dynamic processes of cutting and splitting of the rock and the resistance of the medium. *Mining information-analytical bulletin*. 2020; 4:127–136. [In Russ].

13. Saksala T. 3D numerical modelling of bit-rock fracture mechanisms in percussive drilling with a mul-

tipple-button bit. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2013; 37(3), 309–324.

14. Vinokurov V.R. Dry impact milling of Maly Taryn gold ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021; (12–1):48–58. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_48.

15. Aleksandrov E.V., Sokolinsky B.V. Theory of Impact. Applied Theory and Calculations of Impact Systems. Moscow: Nauka; 1969. 201 p. [In Russ].

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Yuriy N. Linnik, professor, “State University of Management” (109542, Russian Federation, Moscow, Ryazansky prospect, 99, Ryazansky str.), Doctor of Technical Sciences, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3968-0026>, yn_linnik@guu.ru

Vladimir Yu. Linnik, professor, «State University of Management» (109542, Russian Federation, Moscow, 99, Ryazansky Prospekt St., Moscow), Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5130-8222>, vy_linik@mail.ru.

Contribution of the authors:

Yuriy N. Linnik – research problem statement; conceptualisation of research, data collection and analysis, drawing the conclusions, writing the text.

Vladimir Yu. Linnik – scientific management, reviewing relevant literature, writing the text.

Authors have read and approved the final manuscript.

