

# ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.023

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-39-46

Линник Юрий Николаевич, Линник Владимир Юрьевич

Государственный университет управления

\* для корреспонденции: vy\_linnik@guu.ru

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗРУШЕНИЮ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ПРИЛОЖЕНИИ НАГРУЗКИ



### 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:

ударная нагрузка, горная порода, свойства горных пород, бурение, метод испытаний, долото, скорость бурения, сопротивляемость разрушению

### Аннотация.

Как известно, выбор эффективных способов и средств разрушения горных пород является одной из важнейших задач, стоящих перед угольной и горнодобывающей промышленностью. Для горных пород высокой крепости, как показала практика, наиболее эффективным является ударный способ их разрушения. Однако эффективное применение динамического способа разрушения горных пород возможно лишь при определенных оптимальных параметрах, выбор которых должен основываться на современных методах оценки сопротивляемости горных пород разрушению, зависящей от свойств горных пород. В этой связи в статье рассмотрены особенности динамического характера нагружения рабочего инструмента и предложена классификация методов динамических испытаний горных пород, на основании которой рекомендована методика проведения испытаний на дробимость пород. Предложена оценка сопротивляемости горной породы разрушению динамическими нагрузками, главным критерием которой является объемный выход раздробленного материала фракции минус 7 мм. Данные о прочностных характеристиках горных пород, полученные с использованием различных методов испытаний, сравнивались с оценкой сопротивляемости горных пород разрушению ударом по выбранному критерию. Результаты сравнения показали хорошую сходимость, достаточную для выполнения инженерных расчетов.

**Для цитирования:** Линник Ю.Н., Линник В. Ю. Анализ способов оценки сопротивляемости горных пород разрушению при динамическом приложении нагрузки // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 1 (177). С. 39-46. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-39-46, EDN: VJCNJD

**Введение.** Начальным этапом ведения добычных и проходческих работ является отделение угля и горных пород от массива. Нагрузки, возникающие при этом на исполнительных органах, влияют на энергоемкость процесса разрушения, сортность добываемого угля, что в итоге определяет эффективность процесса выемки. Поэтому выбор эффективных способов и средств разрушения, особенно применительно к породам средней и высокой крепости, является одной из важнейших задач, стоящих перед угольной и горнодобывающей промышленностью.

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. Все это обусловило широкое распро-

странение динамического способа разрушения горных пород при современной технологии разработки полезных ископаемых. Данный способ в настоящее время абсолютно преобладает при бурении шпуров в крепких породах на предприятиях всех отраслей горнодобывающей промышленности и в подземном строительстве. Как показал анализ, затраты труда на буровые работы при подземной добыче твердых полезных ископаемых обычно составляют 35-45% всех принятых затрат труда на очистную выемку.

Разрушение с динамическим приложением нагрузок имеет место при работе зарубежных образцов динамических стругов, отбойных молотков, станков шарошечного бурения, дробильных машин и барабанных мельниц, машин для разрушения мерзлых грунтов, при вторичном дроблении негабаритов и т. п. Зарубежными и отечественными учеными и конструкторами ведутся работы по созданию проходческих комбайнов ударного действия.

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 они не в полной мере учитывают свойства разрушаемых горных пород. В связи с вышеизложенным были выполнены исследования, направленные на установление влияния свойств горных пород на эффективность процесса динамического разрушения при бурении шпуров.

**Результаты исследований.** Прежде чем перейти к изложению непосредственных результатов исследований, сформулируем ряд особенностей динамического способа приложения нагрузок, отличающих его от статического способа. Определение статического или динамического характера нагружения обычно ставится в зависимость от скорости приложения нагрузки и времени ее воздействия. С учетом этих основных параметров нагрузки могут быть классифицированы следующим образом:

1. Статические нагрузки, независящие от времени их приложения;
2. Постепенно прилагаемые нагрузки, величина которых изменяется в течение промежутков времени, измеряемых секундами;
3. Пульсирующие или знакопеременные нагрузки, величины которых периодически изменяются во времени с частотой порядка сотен тысяч раз в секунду;
4. Быстро прилагаемые нагрузки, величины ко-

Таблица 1. Классификация существующих методов испытаний образцов горных пород  
Table 1. Classification of existing methods for testing rock samples

Методы испытаний с объемным разрушением образца		Методы испытаний без объемного разрушения образца	
С оценкой по характеристикам нагрузки:	При однократном ударе	С оценкой по характеристикам упругих свойств:	По показателю динамической твердости
	При многократном ударе		По показателю акустической жесткости
С оценкой по характеристикам продуктов разрушения	1. При однократном ударе: - без дробящего тела; - с дробящим телом. 2. При многократных ударах: а) без использования дробящих тел: - при свободном падении образца; - при вращении образца б) с использованием дробящих тел: - при свободном падении дробящего тела; - при вращении.	С оценкой по характеристикам разрушения в приповерхностном слое	По глубине внедрения ударника По удельной работе разрушения

торых изменяются в течение промежутков времени, измеряемых миллисекундами;

5. Ударные нагрузки, которые характеризуются почти мгновенным (меньше малых долей микросекунды) возрастанием нагрузки до очень большого, но конечного значения, непосредственно за которым следует быстрое уменьшение нагрузки.

Данная классификация имеет несколько условный характер, так как невозможно провести резкой грани между отдельными ее группами. Тем не менее, первые четыре группы следует отнести к категории обычного нагружения, а пятую к категории ударного или импульсного нагружения, чему и посвящено настоящее исследование.

В результате обобщения результатов выполненных исследований установлено, что известные методы динамических испытаний горных пород целесообразно разделить на основные виды в зависимости от того, происходит или не происходит при испытании разрушение образца с потерей его формы. Условно такое разрушение, как известно [11], образцов названо объемным разрушением, которое необходимо отличать от разрушения в приповерхностном слое, происходящего при вдавливании образца штампа для определения так называемой агрегатной твердости или контактной прочности породы.

Для дальнейшего разделения видов динамических испытаний целесообразно воспользоваться признаком избирательного критерия оценки. В соответствии с этим методы с объемным разрушением образцов горных пород были разделены на два класса в зависимости от того, производится ли оценка сопротивляемости породы по характеристикам минимальной нагрузки (силовым, энергетическим и пр.), вызывающей объемное разрушение, или же по характеристикам гранулометрического состава продуктов разрушения (выход различных фракций по крупности) – методы второго вида (без объемного разрушения).

Для дальнейшего разделения на подгруппы был использован признак использования или неиспользования дробящих тел при разрушении образцов. Так, например, разрушение может осуществляться в одном случае путем сбрасывания самих кусков породы на твердую поверхность, а в другом – посредством сбрасывания на неподвижно лежащий кусок специального дробящего груза определенной веса. Таким образом, схема классификации существующих методов динамических испытаний образцов горных пород может быть представлена в следующем виде (Табл. 1).

Оценивая совокупность приведенных выше методов динамических испытаний горных пород, можно сделать вывод о том, что ни один из них не отвечает полному сочетанию признаков, наиболее рациональных с точки зрения дробимости пород применительно к созданию горных машин с исполнительными органами ударного действия. Как показал анализ, наиболее целесообразный метод испытаний образцов горных пород на дробимость должен предусматривать:

- объемное разрушение образца, которое реализуется при ведении горнопроходческих и буровых работ;

- оценку результатов испытания по характеристикам продуктов разрушения, определяющих энергоемкость процесса разрушения горной породы;

- разрушение образца однократным ударом, поскольку при повторных ударах существенно изменится сопротивляемость динамическому разрушению, что искажает результаты экспериментов;

- проведение испытаний с использованием дробящих тел, а не со свободно падающим образцом породы;

- приложение нагрузки при свободном падении дробящего тела, а не при вращении.

Таким образом, в результате выполненного анализа при оценке способов оценки сопротивляемости горных пород разрушению были рекомендованы следующие рабочие параметры и порядок проведения испытаний:

1. Испытания должны проводиться на вертикальном копре. Вес падающего груза 16 кг. Высота поднятия груза над образцом 50 см. Энергия удара 8000 Н/см. Ударяющая поверхность ударника плоская.

2. Образцы исследуемых горных пород имеют неправильную форму. Наибольший и наименьший размеры для каждого образца могут отличаться не более, чем в два раза. Средний вес образца – около 70 г.

3. После удара по образцу падающим грузом тщательно собираются продукты разрушения.

4. Собранный материал подвергается ситовому анализу, по результатам которого вычисляются итоговые показатели испытания.

По базовому варианту испытаний на дробимость главным критерием сопротивляемости горной породы разрушению динамическими нагрузками является объемный (в см<sup>3</sup>) выход  $V_{max}$  раздробленного материала фракции минус 7 мм. Данный критерий назван *показателем дробимости горной породы*.

Дополнительным критерием может служить показатель  $tga$ , учитывающий соотношение крупных и мелких фракций в раздробленном продукте, который рассчитывается по формуле [4, 15]:

$$tga = \frac{\ln[-\ln(1-W_2)] - \ln[-\ln(1-W_1)]}{\ln d_2 - \ln d_1} \quad (1)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – максимальный и минимальный размеры отверстий сит соответственно, мм;  $W_1$  и  $W_2$  – выход фракций по весу, прошедших через сито с диаметром отверстий  $d_2=7$  мм и  $d_1=0,25$  мм в долях от единицы.

Данные о прочностных характеристиках горных пород, полученные с использованием различных методов испытаний, сравнивались с показателем сопротивляемости горных пород разрушению ударом. Для определения последнего была выполнена серия экспериментов на вертикальном гравитационном копре, по результатам которого сопротивляемость породы разрушению определялась по скорости бурения  $V$ , исчисленной как частное от деле-

Таблица 2. Показатели прочности горных пород, полученные с использованием различных методов  
 Table 2. Strength indicators of rocks obtained using different methods

Горная порода	Показатель $V_{max}$ , см <sup>3</sup>	Показатель $tg\alpha$	Коэффициент крепости по методу толчения	Показатель динамической твердости	Временное сопротивление раздавливанию образца правильной формы, Н/см <sup>2</sup>	Работа упругих деформаций сжатия, Дж/см <sup>2</sup>	Коэффициент хрупкости	Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову	Коэффициент крепости по Л.И. Барону	Коэффициент крепости по раздавливанию образца неправильной формы	Контактная прочность, Н/мм <sup>2</sup>	Показатель сопротивляемости разрушению ударом при бурении на копре $V$ , мм/удар
Диарид-порфирит	1.43	0.74	23.6	68	2560	58.0	0.25	20.0	17.8	17.2	2570	0.090
Песчаник темно-серый	1.82	0.68	16.7	72	2780	90.0	0.36	20.0	18.8	18.1	2711	0.119
Железистый кварцит	2.70	0.65	12.9	84	28000	78.0	0.38	20.0	19.0	19.7	3740	-
Скарн	2.70	0.83	24.8	93	29000	78.0	0.37	20.0	19.5	18.2	4944	-
Гранит биститовый	2.81	0.61	5.6	74	18600	41.0	0.24	18.6	14.1	10.4	2033	0.122
Габбро	2.98	0.54	7.0	75	1850	41.0	0.25	18.5	14.0	11.6	2810	0.095
Гранит дрезденский	3.21	0.59	6.8	80	22400	54.5	0.30	20.0	16.1	11.5	3030	0.126
Песчаник слоистый	3.80	0.55	6.8	51	19000	46.0	0.23	19.0	14.3	9.8	1831	-
Гранит лезниковский	4.10	0.61	6.1	97	24600	66.0	0.46	20.0	17.2	8.9	2990	0.148
Известняк мраморизованный	4.50	0.77	8.5	47	16300	38.0	0.23	16.3	12.8	8.2	1686	0.134
Уртит	5.00	0.65	5.1	72	17000	44.0	0.27	17.0	13.2	6.8	1940	-
Мрамор белый	5.90	0.41	1.5	35	9500	12.5	0.13	9.5	8.7	4.4	1115	0.173
Лабрадорит	6.90	0.70	5.6	72	16500	32.0	0.25	16.5	12.9	7.5	1580	0.134
Апатит	8.30	0.63	1.3	41	14200	28.0	0.29	14.2	11.6	5.1	1380	-
Песчаник кварцевый	8.90	0.63	1.2	50	17000	39.0	0.34	17.0	13.2	7.6	1620	0.208
Мрамор серый	9.20	0.43	1.7	58	10000	13.5	0.19	10.0	9.1	3.9	725	-
Мартитовая руда	13.4	0.35	1.1	21	5600	4.2	0.20	5.6	5.2	1.8	384	-
Известняк слабый	13.5	0.31	0.9	12	2100	1.0	0.07	2.1	3.6	1.8	-	-

ния заданной глубины шпура на общее число ударов, нанесенных по штанге с коронкой, общей длиной 0,89 м, поворачивающейся после каждого удара на постоянный угол 300. Стандартные для всех пород условия предусматривали использование армированной твердым сплавом коронки диаметром 49 мм с углом заострения 110° при постоянной энергии удара 80 Дж и скорости приложения нагрузки 7,8 м/с.

Сводные данных о прочностных характеристиках различных горных пород, полученных с использованием различных методов, приведены в Таблице 2. Предварительный анализ этих данных показал, что предложенный метод оценки сопротивляемости пород разрушению по показателю  $V$  имеет ряд преимуществ перед другими способами и может быть использован для оценки сопротивляемости горных пород разрушению при ударном бурении. Для проверки полученного на основании лабораторных

опытов данного вывода были выполнены эксперименты в производственных условиях, при проведении которых определялась величина скорости бурения при использовании перфораторов и станков ударно-канатного и шарошечного бурения.

Из забоев, где производилось бурение, отбирались образцы горных пород, которые затем подвергались испытаниям на дробимость в лабораторных

условиях и их результаты сравнивались с данными, полученными в производственных условиях.

В результате обработки данных о скорости бурения и показателях дробимости, полученных при бурении различных по свойствам горных пород, получена следующая формула для определения чистой скорости  $V$  перфорационного бурения пород однодолотчатыми коронками:

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

где  $A$  – энергия единичного удара перфоратора, Дж;  $n$  – частота ударов, 1/мин;  $d$  – диаметр буримого шпура, мм;  $V_{max}$  – показатель дробимости, определяемый в результате ситового анализа продуктов разрушения.

В Таблице 3 приведены данные о скорости бурения, полученные в производственных условиях, и значения временного сопротивления раздавливанию и показателей дробимости  $V_{max}$ , установленные на отобранных из забоев образцах горных пород в лабораторных условиях.

Анализ данных Таблицы 3 показывает, что расчеты по предложенной формуле для определения чистой скорости  $V$  перфорационного бурения обеспечивают получение достаточно точных результатов определения скоростей бурения самых разнообразных горных пород различными перфораторами. В подавляющем большинстве случаев отклонение расчетных от фактических значений скоростей

Таблица 3. Данные о скорости бурения  
Table 3. Drilling speed data

Горная порода	Показатель дробимости $V_{max}$ , см <sup>3</sup>	Фактическое значение скорости бурения, мм/мин	Значение скорости бурения $V$ , исчисленное по формуле 2	Отклонение расчетного от фактического значения скорости бурения, в % от фактического
Мартитовая руда	2.7	172	162	5.8
Мартитовый роговик	2.5	133	131	1.5
Известняк	4.80	196	158	19.3
Известняк мраморизованный	3.06	244	157	35.6
Известняк скарнированный везувианом	5.56	227	260	14.5
Мрамор серый	8.50	229	256	11.7
Апатит	9.80	280	290	3.5
Мончикит	2.35	118	70.4	40.6
Мончикит выветренный	1.55	97	49.6	48.5
Сетчатая руда	3.14	316	90.6	71.2
Ийолит	3.80	150	130	13.3
Перидонит	3.80	185	130	29.5
Роговик	3.25	148	113	23.6
Уртит	4.60	180	153	15.0
Железистый кварцит	2.60	67	94	40.3
Скарн	2.85	106	101	4.7
Гранатовый скарн	5.15	156	244	56.4
Роговообманковый скарн	2.50	192	149	22.4
Джеспилит	1.94	82	73	10.9
Рисчоррит	5.60	131	148	11.3
Сфеновый ийолит	5.36	133	142	6.8
Ийолит-уртит	6.25	182	162	11.0
Мончикит	2.35	118	70.4	40.6
Гранодиорит серый	3.21	152	164	7.9
Гранодиорит розовый	3.25	174	165	5.2
Гранодиорит интенсивно измененный	2.97	153	153	0.0
Монцонит	2.84	127	148	14.2
Монцонит альбитизированный	2.90	106	150	41.5
Монцонит метаморфизированный	2.40	100	128	28.0
Гранит роговообманковый	4.3	182	207	13.7
Гранит биотитовый	5.0	178	236	18.0
Лабрадорит	5.1	200	240	9.1
Габбро	5.2	250	244	2.4
Базальт	2.8	143	144	0.7
Доломит	5.4	204	252	23.5
Кварцит среднезернистый	3.8	141	187	32.6

бурения не превышает 20-30%, что вполне допустимо для выполнения инженерных расчетов. Необходимо, однако, отметить, что для некоторых типов пород отмечаются довольно значительные отклонения. Прежде всего это касается руды и пород апатитового комплекса, которые, хотя и характеризуются высокими значениями  $V_{max}$ , на практике бурятся иногда лишь немногим лучше других испытанных пород, которые имеют меньшие значения  $V_{max}$ . По-видимому, здесь оказывают существенное влияние структурные особенности таких пород.

Следует отметить, что формула (2) получена для случаев наиболее целесообразного использования бурового оборудования, предусматривающего использование незатупленного инструмента при оптимальных условиях его подачи. Поэтому не случайно расчетные и фактические значения скоростей бурения оказались близкими. Таким образом, величины скоростей бурения, рассчитанные по формуле (2), следует рассматривать как значения, полученные при эффективном использовании бурового инструмента. В случае, если фактические эксплуатационные значения скорости бурения по данным шахт и рудников будут отличаться в меньшую сто-

рону от рассчитанных по формуле (2), это может свидетельствовать о неудовлетворительном использовании бурового оборудования на предприятии.

#### Выводы

Таким образом, на основании выполненного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В качестве характеристики для оценки сопротивляемости пород ударному разрушению может быть использован показатель дробимости  $V_{max}$ , определяемый в результате ситового анализа продуктов разрушения. Удовлетворительное совпадение результатов расчетов скорости бурения по формуле (2) с опытными данными служит подтверждением этого положения.

2. Формула (2) для определения скорости бурения, основанная на использовании предложенного метода оценки сопротивляемости горных пород разрушению динамическими нагрузками, может быть рекомендована для практических определений возможных скоростей бурения самых разнообразных горных пород различными типами перфораторов, и для подавляющего большинства случаев ошибка в определениях не будет превышать 20-30%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. М. : Недра, 1984. 288 с.

2. Протодюжинов 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. Позин Е. З., Меламед В. З., Азовцева С. М. Измельчение углей при резании. М. : Наука, 1977. 138 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](mailto: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](mailto: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.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-39-46

Yuriy N. Linnik, Vladimir Yu. Linnik

State University of Management

\* for correspondence: vy\_linnik@guu.ru

## ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING ROCK FRACTURE RESISTANCE UNDER DYNAMIC LOAD APPLICATION



### 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.

*It is known that the choice of effective ways and means of rock destruction is one of the most important tasks facing the coal and mining industry. For rocks of high strength, as practice has shown, the most effective is the impact method of their destruction. However, the effective application of the dynamic method of rock destruction is possible only at certain optimal parameters, the choice of which should be based on modern methods of assessing the resistance of rocks to destruction, depending on the properties of rocks. In this connection in the article the features of dynamic character of loading of the working tool are considered and classification of methods of dynamic tests of rocks is offered, on the basis of which the methodology of tests on rock crushability is recommended. The estimation of rock resistance to destruction by dynamic loads is proposed, the main criterion of which is the volume yield of crushed material of minus 7 mm fraction. The data on rock strength characteristics obtained using different test methods were compared with the assessment of rock resistance to impact fracture by the selected criterion. The comparison results showed good convergence, sufficient for engineering calculations.*

**For citation:** Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Analysis of methods for assessing rock fracture resistance under dynamic load application. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 1(177):39-46 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-1-39-46, EDN: BJCJND

### REFERENCES

1. Pozin E. Z., Melamed, V. Z., Ton, V. V. Coal cutting by winning machines. 1989. [In Russ].
2. 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].
3. 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].
4. 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].

5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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].

9. 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].

10. 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. Neskromnykh 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 multiple-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. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Azovtseva S. M. Grinding coal during cutting. *Izmel'chenie uglei pri rezanii*. 1977. [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](mailto: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](mailto: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.*

