

**Линник Юрий Николаевич**, доктор техн. наук, профессор, **Линник Владимир Юрьевич\***, доктор экон. наук, доцент.

Государственный университет управления,  
Россия, г. Москва, Рязанский проспект, 99

\*E-mail: vy\_linnik@guu.ru

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА РЕЗЦАХ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ МАШИН**

***Аннотация:** Разрушение угольных пластов сложного строения, содержащих крепкие неоднородности (твердые включения и крепкие породные прослойки), сопровождается действием на резцы исполнительных органов угледобывающих машин динамических нагрузок, вызывающих снижение производительности процесса выемки угля и преждевременный выход из строя их узлов и элементов. Для правильного выбора режимов работы угледобывающих машин и выполнения расчетов, связанных с определением необходимой прочности резцов и элементов трансмиссий, необходимо учитывать уровень и характер возникновения пиковых (максимальных) нагрузок, возникающих на резцах при разрушении пластов сложного строения. В этой связи в первой части статьи изложены результаты экспериментальных исследований влияния параметров процесса резания и геометрических параметров режущего инструмента на нагрузки при различном характере взаимодействия резцов с твердыми включениями. Установлено, что при прорезании резцом включения и при касании с ним размеры последнего практически не влияют на величину пиковой нагрузки. Напротив, для случаев вырыва величина пиковой силы резания существенно зависит от размеров и конфигурации включения, а также хрупко-пластичных свойств угля, определяющих характер связи включения с массивом. Установлено, что из всех видов взаимодействия резца с твердым включением наибольшие нагрузки возникают при их центральном перерезании. Определены пиковые и среднепиковые значения сил резания и подачи для случаев центрального прорезания острым и затупленным резцом наиболее распространенных карбонатных включений. Предложены расчетные зависимости для определения максимальных нагрузок на резцах и времени их действия в функции от режимных параметров процесса резания, конструктивных и геометрических параметров резцов.*

*Во второй части статьи рассмотрен механизм и характер возникновения нагрузок при кратковременном перерезании группой резцов крупных (нераздробленных) твердых включений. Установлено, что максимальные нагрузки на группах резцов исполнительного органа могут также возникать при монотонном опрокидывании электродвигателя комбайна, когда средний уровень нагрузки приближается к тяговому моменту двигателя, по причине встречи нескольких резцов с крупными твердыми включениями, при подрубке пород кровли и перерезании крепких породных прослоек. Установлены вероятности перерезания резцом твердого включения при различных уровнях наработки исполнительного органа и время действия максимальной пиковой нагрузки при выемке полосы угля длиной 100 м. Предложены расчетные зависимости для определения уровня и времени действия максимальной нагрузки на группе резцов при прорезании крепких неоднородностей, коэффициентов ее вариации и неравномерности нагруженности исполнительного органа. Полученные результаты необходимо принимать за основу при определении максимального динамического момента в трансмиссии к исполнительному органу, по величине которого ведется расчет на прочность элементов трансмиссии.*

***Ключевые слова:** уголь, резец, исполнительный орган, угледобывающая машина, твердые включения, сила резания, максимальные нагрузки, сопротивляемость резанию, толщина и ширина стружки.*

***Информация о статье:** принята 02 марта 2021 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2021-4-16-21*

Разрушение угольных пластов сложного строения сопровождается действием на резцы исполнительных органов выемочных машин высоких нагрузок, что вызывает преждевременный выход из строя их узлов и элементов. Закономерности возникновения максимальных нагрузок и их величины в первую очередь важно знать для расчета на прочность элементов трансмиссии к исполнительным органам и режущего инструмента угледобывающих

машин. Максимальные нагрузки, как правило, возникают на резцах при перерезании ими крупных (карбонатных, карбонатно-пиритных и пиритных) твердых включений, крепость которых в пластах сложного строения существенно выше, чем крепость угля.

Исследованиями характеристик разрушаемости угольных пластов сложного строения и максималь-

ных нагрузок, возникающих на резах горных машин при взаимодействии их с твердыми включениями и крепкими породными прослойками, занимались как российские [1-9], так и зарубежные [10-14] ученые. Так, например, в своих исследованиях И.Н. Албул [6] совместно с В.З. Меламедом установили, что наибольший уровень максимальных нагрузок возникает при перерезании включений (условно), сильно упакованных в угольном массиве, когда сила сцепления включения с углем больше, чем сцепление элементов угля.

Характер возникновения максимальных нагрузок, действующих на резец при контактировании с крупными (консолированными) твердыми включениями, изучен недостаточно, а существующие методы их расчета не учитывают ряда факторов, влияющих на их величину. В этой связи были выполнены исследования с целью изучения механизмов разрушения и взаимодействия резцов с твердыми включениями и разработка на этой основе расчетных зависимостей максимальных нагрузок в функции от геометрических параметров режущего инструмента и режимов резания.

Исследования, выполненные на полноразмерном стенде при разрушении резцами очистного комбайна углещементного блока, содержащего различные по размерам и твердости твердые включения, позволили выделить пять наиболее характерных видов взаимодействия и соответствующие им относительные величины максимальных нагрузок (табл. 1).

Таблица 1. Максимальные нагрузки, возникающие на резе при различных видах взаимодействия с твердыми включениями

Table 1. Maximum loads arising on the cutter for various types of interaction with solid inclusions

Вид взаимодействия резца с включением	Относительная величина максимальной нагрузки на резе
Центральное прорезание	1,0
Краевое прорезание	0,2÷0,9
Касание	0,1÷0,2
Вырыв	0,3÷0,1
Извлечение	0

Значения относительных величин максимальных нагрузок определялись за вычетом сил, возникающих на резе при резании углещементного блока без контактирования с твердыми включениями, а за единицу принималась сила резания при центральном прорезании включения.

Установлено, что при прорезании резцом включения и при касании его размеры почти не влияют на величину пиковой силы на резе. Напротив, для случаев вырыва величина пиковой силы резания существенно зависит от размеров и конфигурации включения, а также хрупко-пластичных свойств угля, определяющих характер связи включения с массивом. Причем величина максимальной нагрузки при вырыве не превышает силу, возникающую при центральном прорезании включения, поскольку оно происходит только в случаях невозможности вырыва. Так, например, эксперименты, выполненные при прорезании карбонатных твердых включений острым и затупленным радиальным резцом с призматической формой режущей части при

резании вязкого углещементного блока с сопротивляемостью резанию  $A=200$  Н/мм, показали следующие результаты: средняя сила резания острым резцом  $Z_o=1.8$  кН, затупленным –  $Z=3.0$  кН; средняя сила подачи резания острым резцом  $Y_o=0.9$  кН, затупленным –  $Y=3.2$  кН; максимальная сила резания при прорезании включения составила  $Z_{\text{пик}}=55$  кН, среднепиковая  $\bar{Z}_{\text{пик}}=33$  кН, максимальная сила подачи  $Y_{\text{пик}}=15$  кН, среднепиковая  $\bar{Y}_{\text{пик}}=11$  кН. При сравнении этих данных видно, что максимальные значения сил резания и подачи при прорезании твердого включения в 10-30 раз превышают средние значения сил.

Количественная оценка максимальных нагрузок выполнена для случаев центрального прорезания острым резцом наиболее распространенных карбонатных включений. При этом были получены следующие расчетные выражения:

$$Z_{\text{пик}} = Z_{\text{пик.э}} k_{\delta_z} k_{\phi_z} k_{c_z}; \quad (1)$$

$$\bar{Z}_{\text{пик}} = \bar{Z}_{\text{пик.э}} k_{\delta_z} k_{\phi_z} k_{c_z}; \quad (2)$$

$$Y_{\text{пик}} = Y_{\text{пик.э}} k_{\delta_y} k_{\phi_y} k_{c_y}; \quad (3)$$

$$\bar{Y}_{\text{пик}} = \bar{Y}_{\text{пик.э}} k_{\delta_y} k_{\phi_y} k_{c_y}. \quad (4)$$

Для установившегося последовательного режима резания эталонным резцом (ширина резца  $b_k =$

2 см, угол резания  $\delta=50^\circ$ , прямоугольная режущая кромка) установлены следующие зависимости для расчета пиковых и среднепиковых сил резания:

$$Z_{\text{пик.э}} = \frac{5200(1+3,36h)t}{t+1,8}; \quad (5)$$

$$\bar{Z}_{\text{пик.э}} = \frac{5200(1+2h)t}{t+2,5}; \quad (6)$$

$$Y_{\text{пик.э}} = \frac{2000(1+0,29h)t}{t+3,7}; \quad (7)$$

$$\bar{Y}_{\text{пик.э}} = \frac{15700(1+0,26h)t}{t+3,4}; \quad (8)$$

В приведенных выше выражениях  $Z_{\text{пик.э}}$ ,  $\bar{Z}_{\text{пик.э}}$ ,  $Y_{\text{пик.э}}$ ,  $\bar{Y}_{\text{пик.э}}$  – значения максимальных пиковых и среднепиковых сил резания и подачи на эталонном резе соответственно;  $h$  и  $t$  – соответственно толщина и ширина стружки, см;  $k_{\delta_z}$ ,  $k_{\delta_y}$  – коэффициенты, учитывающие влияние ширины резца на пиковые и

среднепиковые силы резания и подачи соответственно;  $k_{\delta_z}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла резания на максимальную пиковую и среднепиковую силу резания;  $k_{\phi_z}, k_{\phi_y}$  – коэффициенты, учитывающие влияние клиновидной формы передней грани резца на пиковые и среднепиковые силы резания и подачи соответственно;  $k_{c_z}, k_{k_y}$  – коэффициенты, учитывающие влияние вида резания и формы задней поверхности резца соответственно.

Экспериментально установленные выражения для определения значений коэффициентов  $k_{\phi_z}, k_{\phi_y}, k_{\delta_z}, k_{\phi_z}, k_{\phi_y}$ , учитывающих влияние на максимальные нагрузки геометрических параметров резцов, отличающихся от эталонного резца, имеют вид:

$$k_{\phi_z} = 0,5 + 0,25b_p; \quad (9)$$

$$k_{\phi_y} = 0,3 + 0,35b_p; \quad (10)$$

$$k_{\delta_z} = [0,7\delta / (150 - \delta)] + 0,65; \quad (11)$$

$$k_{\phi_z} = \frac{0,58(\alpha_k - 100)}{\alpha_k - 65} + 0,6; \quad (12)$$

$$k_{\phi_y} = 0,64 + 0,002\alpha_k; \quad (13)$$

где  $\alpha_k$  – угол клина передней грани резца, град.

Формулы (12) и (13) справедливы для значений  $100^\circ \leq \alpha_k \leq 180^\circ$ . Для резцов с овальной формой передней грани резца коэффициенты  $k_{\phi_z}$  и  $k_{\phi_y}$  также рассчитываются по этим формулам при  $\alpha_k = 150^\circ \div 160^\circ$ .

Значения коэффициента, учитывающего влияние

– среднепиковой:

$$T_{ck} = L_{ck} / (100v_p), \quad (15)$$

где  $l_{ck}$  и  $L_{ck}$  – путь резца за время действия соответственно максимальной пиковой и среднепиковой сил, см.

Максимальные нагрузки на исполнительном органе угледобывающей машины возникают при кратковременном перерезании группой резцов крупных (нераздробленных) твердых включений и крепких породных прослоек (песчаники, алевролиты), удельное содержание которых особенно в пластах сложного строения достаточно велико.

Практика эксплуатации угледобывающих машин и стендовые исследования позволили установить [2], что максимальные нагрузки на группах резцов исполнительного органа могут возникнуть при:

а) перерезании одним или одновременно несколькими резцами твердых включений и крепких породных прослоек;

б) монотонном опрокидывании электродвигателя комбайна, когда средний уровень нагрузки приближается к тяговому моменту двигателя, по причине встречи нескольких резцов с крупными твердыми включениями, при подрубке пород кровли и перерезании крепких породных прослоек.

Такие характерные случаи возникновения максимальных нагрузок необходимо принимать за основу при выполнении расчетов на статическую прочность элементов трансмиссий к исполнительным органам угледобывающих комбайнов [2, 10, 11].

При перерезании несколькими резцами твердых препятствий величина максимальных нагрузок

Таблица 2. Относительный уровень суммарных максимальных нагрузок

Table 2. Relative level of total maximum loads

Значения параметра	Относительные величины суммарных максимальных нагрузок			
	1	2	3	4
Число резцов, одновременно перерезающих твердые включения				
Толщина стружки: $h = l_p$ $\bar{h} = l_p/k$	3,25 1	6,5 2	- 3	- 4

вида резания, рекомендуется принимать для шахматной схемы  $k_{c_z} = 1,2$  при определении  $Z_{ник}$  и  $k_{c_z} = 1,1$  для  $\bar{Z}_{ник}$ . Для последовательного вида резания  $k_{c_z} = 1$ .

Значения коэффициента  $k_{k_y}$  рекомендовано принимать для резцов с прямоугольной главной режущей кромки равными 1, с овальной –  $0,85 \div 0,9$ , с треугольной –  $0,6 \div 0,7$ .

Продолжительность действия максимальной пиковой и среднепиковой сил при прорезании твердых включений определяется по выражениям:

– максимальной пиковой:

$$t_{n1} = l_{ck1} / (100v_p); \quad (14)$$

определяется числом резцов, одновременно перерезающих твердые включения и породные прослойки, а также толщиной стружки. Ниже (табл. 2) приведены значения суммарных максимальных нагрузок на группе резцов, выраженные в относительных единицах, для случаев, когда резание осуществляется с предельной толщиной стружки, равной радиальному вылету резца ( $h = l_p$ ), и средней, равной  $\bar{h} = l_p/k$  (при  $k = 1,5 \div 2$ )

По результатам выполненных в стендовых условиях экспериментов по резанию комбайном полномерного углецементного блока с залитыми в нем твердыми включениями подсчитано, что вероятность перерезания одним резцом консолидированного (нераздробленного) твердого включения с толщиной стружки  $h = l_p$  (при относительном уровне

максимальной нагрузки, равном 3,25) возникает при наработках порядка 150÷200 тыс. т. Именно на такие условия и на уровень среднепиковых  $\bar{Z}_{\text{пик}}$  нагрузок и следует ориентироваться при выполнении расчетов на прочность элементов трансмиссии, а нагрузки более высокого уровня следует учитывать при наработках более 500 тыс. т. Что касается режущего инструмента, то расчеты, связанные с определением их необходимой прочности, следует производить для наработок от 10 до 100 т при пиковых ( $Z_{\text{пик}}$ ) значениях сил резания, возникающих при перерезании твердых включений со средней толщиной стружки  $\bar{h}=l_p/k$ .

Время действия  $\sum t_{\text{max}}$  максимальной пиковой нагрузки при выемке полосы угля длиной 100 м определяется по формуле

$$\sum t_{\text{max}} = N t_{n1} / (100 v_p) \quad (16)$$

где  $N$  – количество перерезаемых твердых включений в пределах выемочной полосы.

Время действия среднепиковой силы при выемке полосы определяется по формуле

$$\sum T_{\text{max}} = N_n T_{\text{ск}} = N_n L_{\text{ск}} / (100 v_p), \text{ с}, \quad (17)$$

где  $N_n$  – количество перерезаемых твердых включений в пределах объема выемочной полосы.

Экспериментально установлено [15], что в зависимости от размеров и удельного содержания в пласте твердых включений время действия максимальной пиковой нагрузки  $\sum t_{\text{max}} = 1 \div 45$  с, а  $\sum T_{\text{max}} = 15 \div 210$  с.

Коэффициент вариации среднего значения среднепиковой силы резания определяется по формуле

$$v_{Z_{\text{пик}}} = (5000 / \bar{Z}_{\text{пик}}) + 0,15 \quad (18)$$

Максимальное значение пиковой силы резания на исполнительном органе при прорезании крепких неоднородностей равно

$$Z_{\text{пик.max}} = \bar{Z}_{\text{пик}} (1 + 3 v_{Z_{\text{пик}}}), \quad (19)$$

В соответствии с этим уровень максимального динамического момента в трансмиссии к исполнительному органу, по величине которого ведется расчет на прочность элементов трансмиссии, определяется по формуле

$$M_{p.\text{max}} = Z_{\text{пик.max}} D_u / 2, \quad (20)$$

В реальных условиях эксплуатации угледобывающих комбайнов число резцов, одновременно перерезающих неоднородности в пласте, как правило, меньше числа резцов, взаимодействующих с угольным массивом. Исходя из такого предположения, коэффициент неравномерности нагруженности исполнительного органа следует рассчитывать по формуле

$$k_n = (n_1 - 1) \frac{\sqrt{n_1 + n_2 (k_2 - 1)^2 (k_1 - 1)^2}}{(n_1 + n_2)}, \quad (21)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – число резцов, контактирующих с углем и с более крепкими неоднородностями ( $n_1 + n_2 = n_{p.p}$ ) соответственно;  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты неравномерности нагрузок на одиночном резце соответственно при резании угля ( $k_1 = 3 \dots 4$ ) и более крепких неоднородностей ( $k_2 = 5 \dots 14$ ). Большие значения  $k_1$  и  $k_2$  принимаются для пластов сложного строения.

Для упрощения расчетов значение  $k_n$  можно определять по упрощенному выражению

$$k_n = 1 + [(3\sqrt{9 + n_{p.p}}) / n_{p.p}] \quad (22)$$

Для случаев монотонного опрокидывания электродвигателя комбайна максимальная нагрузка на исполнительном органе

$$F_{u.\text{max}} = k_n \bar{F}_u. \quad (23)$$

Для угледобывающих комбайнов, имеющих, как правило, два исполнительных органа, максимальные нагрузки определяют для трансмиссии общего привода и для трансмиссий к каждому отдельному исполнительному органу. При этом прочность элементов трансмиссии рассчитывается по величине наибольшей нагрузки.

Максимальный момент общей трансмиссии комбайна при перегрузке одного из исполнительных органов рассчитывается как сумма максимального момента в трансмиссии к этому исполнительному органу и средних нагрузок на других исполнительных органах.

#### Выводы

Таким образом, полученные результаты исследований позволили установить следующее:

1. Наибольшие нагрузки на резце возникают в случае центрального перерезания твердого включения, поэтому расчет на прочность и долговечность режущего инструмента следует производить для такого вида взаимодействия резца с включением.
2. Расчет максимальных нагрузок при резании одиночным резцом и группой резцов исполнительного органа выемочной машины необходимо вести с учетом параметров режима резания (толщина и ширина стружки) и геометрических параметров режущей части резца.
3. Расчет максимального динамического момента, возникающего в трансмиссии к исполнительным органам, должен производиться с учетом максимально возможной среднепиковой силы резания при перерезании консолидированных твердых включений и крепких породных прослоек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
2. Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Разрушение угольных пластов исполнительными органами комбайнов и стругов. М.: Русайн, 2020. – 430 с.
3. A. Zich, Yu.N. Linnik, V.Yu. Linnik. Selecting Parameters of Cutter-Loader Drums for specific Operating Conditions // GeoResources Journal Germany, N 2, 2015.

4. Prokopenko, S.A., V.S. Ludzish, and I.A. Kurzina. Improvement of Cutting Tools to Increase the Efficiency of Destruction of Rocks Tunnel Harvesters // Journal of Mining Science, 2016. № 1. С.153-59.

5. Прокопенко С.А., Лудзиш В.С., Курзина И.А. Результаты промышленных испытаний шахтных резцов многоразового применения // Горный журнал. 2017. № 2. С. 75-78.

6. Албул И.Н. Характер разрушения и максимальные нагрузки при резании твердых включений инструментами // Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. Выпуск 140. – М.: 1976. – С.31-38.

7. Дашковский Г.А. Исследование формирования динамических нагрузок в элементах привода и исполнительного органа фронтального агрегата (на примере агрегата АК-3). - Дисс... канд. техн. наук. М.: Ин-т горн. дела им. А.А.Скочинского, 1983.

8. Горные машины и оборудование подземных горных работ. Режущий инструмент горных машин: учеб. пособие // Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Цехин А.М., Борисов А.Ю.; КузГТУ. – Кемерово, 2012. 288 с.

9. Обзор и анализ методик определения параметров режущих исполнительных органов: Сборник трудов XVI Междунар. науч.-практ. конф. «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 7-10 октября 2014 г.) //Аксенов В.В., Хорешок А.А. [и др.] – Кемерово: Институт угля СО РАН, 2014. С. 92-94.

10. Горбатов П.А. Прогнозирование максимальных нагрузок в подсистемах привода исполнительных органов очистных комбайнов: монография / П.А. Горбатов, М.М. Лысенко, М.В. Перинский. – Под ред. П.А. Горбатова. – Донецк: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2011. 130 с.

11. Гуляев В.Г., Горбатов П.А., Мотин Н.Н. Определение максимальных нагрузок в подсистемах приводов комбайнов с виброзащитными устройствами // Уголь Украины. 1995. №12. С. 47-48.

12. Qiangling Yao, Xuehua Li, Boyang Sun, Minghe Ju, Qundi Qu. Numerical investigation of the effects of coal seam dip angle on coal wall stability. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 100. С. 298-309.

13. Adam K. Schwartzkopff, Nouné S. Melkoumian, Chaoshui Xu. Fracture mechanics approximation to predict the breakdown pressure using the theory of critical distances // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 95. С. 48-61.

14. Thomas Stoxreiter, Antony Martin, Dimitra Teza, Robert Galler. Hard rock cutting with high pressure jets in various ambient pressure regimes. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol.108. С. 179-188.

15. Позин Е.З., Хургин З.Я., Бурдин В.Е. Оценка нагрузок на шнековых исполнительных органах при разрушении угольных пластов, содержащих крепкий прослой. – В кн.: Научные основы разрушения угля и горных пород. – М.: Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского, 1979. С. 3-11.

**Yuri N. Linnik**, Dr. Sc. (Engineering), Professor, **Vladimir Yu. Linnik\***, Dr. Sc. (Economy), Associate Professor

State University of Management, Russian Federation, Moscow, Ryazansky pr, 99.

\*E-mail: vy\_linnik@guu.ru

## MECHANISMS OF MAXIMAL LOADS ON CUTTERS AND CUTTING HEADS OF COAL MINING MACHINES

**Abstract:** Fracture of coal seams having a complex structure and enclosing solid discontinuities (solid inclusions and hard dirt bands) is associated with generation of impact loads on cutters and cutting heads of mining machines. This impairs efficiency of coal cutting and causes premature failure of different components and parts. For the reasoned choice of operating modes of cutter-loaders and in order to calculate strengths of cutters and transmissions, it is required to take into account the level and mechanisms of peak loads on cutters in cutting complex structure coal seams. To this effect, this paper, in its first part, describes the research findings on influence exerted by the cutting mode and by geometry of cutters on the impact loads in various scenarios of cutter–solid inclusion interaction. It is found that when a cutter cuts an inclusion or touches it, the size of the inclusion has no influence on the value of the peak load. In case of tear-out of an inclusion, the peak cutting force value essentially depends on the size and shape of the inclusion, as well as on the brittleness and plasticity of coal as these properties govern coal–inclusion cohesion. Out of all modes of cutter–solid inclusion interaction, the highest loads arise in the mode of central cutting of inclusions. The peak and average peak values of the cutting and feed forces are determined for the cases of central cutting of carbonate inclusions, most common in coal, with sharp and dull cutters. The authors propose relations to calculate maximal loads on cutters and action times of these loads as functions of cutting mode, as well as cutter design and geometry.

In the second part of the paper, the mechanisms and behavior of loads in short-term cutting of large (unbroken) and solid inclusions by a group of cutters are discussed. The maximal loads on groups of cutters on cutting heads can also arise in gradual stalling when the average loading level approaches the tractive effort torque of electric motor when a group of cutters cuts many solid inclusions simultaneously, or in undermining

of roof rocks, or in cutting hard dirt bands. The probabilities of solid inclusion cutting by a cutter are determined for different outputs of a cutting head, and the action times of the maximal peak load in cutting a coal strip 100 m long are assessed. The relations are proposed to calculate the levels and action times of maximal loads on a group of cutters in cutting solid inclusions, as well as the coefficients of variation in the loads and the loading inequality of a cutting head. The results obtained by the authors should be taken as a basis in determination of the maximal instantaneous torque in the cutting head transmission to be used later on in calculation of the long-term strength of the transmission components.

**Keywords:** coal, cutter, cutting head, coal mining machine, solid inclusions, cutting force, maximal loads, cuttability, depth and width of cut.

**Article info:** received March 02, 2021

DOI: 10.26730/1816-4528-2021-4-16-21

#### REFERENCES

1. Pozin, E.Z., V.Z. Melamed, and V.V. Ton. 1984. Coal Mining by Cutter-Loaders. Moscow.: Nedra.
2. Linnik, Yu.N., and V.Yu. Linnik. 2020. Coal Fracture by Cutting Tools of Shearers and Ploughs. Moscow: RuScience.
3. Zich, A., Yu.N. Linnik, and V.Yu. Linnik. 2015. Selecting Parameters of Cutter-Loader Drums for Specific Operating Conditions. *GeoResources Journal* (2): 40-45.
4. Prokopenko, S.A., V.S. Ludzish, and I.A. Kurzina. 2016. Improvement of Cutting Tools to Increase the Efficiency of Destruction of Rocks Tunnel Harvesters. *Journal of Mining Science* 52(1): 153-59.
5. Prokopenko, S.A., V.S. Ludzish, and I.A. Kurzina. 2017. Design of New-Class Picks for Cutter-Loaders. *Gornyi Zhurnal* (2): 75-78.
6. Albul, I.N. 1976. Fracture Mode and Maximal Loads in Cutting Solid Inclusions by Cutting Tools. In *Transactions of the Skochinsky Institute of Mining*, Moscow, 31-38.
7. Dashkovskii G.A. Generation of load impacts in components of drive and cutting tool of longwall system (a case-study of longwall system AK-3). Candidate of Engineering Sciences Dissertation. Moscow: IGD Skochinskogo, 1983.
8. Khoreshok, A.A., L.E. Mametiev, A.M. Tsekhin, and A. Yu. Borisov. 2012. «Underground Mining Machines and Equipment». In *Cutting Tools: Educational Aid*, Kemerovo: KuzGTU.
9. Aksenov, V.V., and A.A. Khoreshok. 2014. Determination Procedure of Cutting Tool Parameters: Review and Discussion. In *Energy Safety of*

Russia. New Approaches to Advancement in Coal Industry: XVI Conference Proceedings, Kemerovo: Inst. Uglya SO RAN, 92-94.

10. Gorbatov, P.A., M.M. Lysenko, and M.V. Perinskii. 2011. Prediction of Maximal Loads in Systems of Shearer Cutting Drum Drives. ed. P.A. Gorbatov. Donetsk.: DonNTU UNITEKH.

11. Gulyaev, V.G., P.A. Gorbatov, and N.N. Motin. 1995. Determination of Maximal Loads in Shearer Drives with Vibration Protection Facilities. *Ugol Ukrainy* (12): 47-48.

12. Yao, Q., Li, X., Sun, B., Ju, M., Chen, T., Zhou, J., Qu, Q. (2017). Numerical investigation of the effects of coal seam dip angle on coal wall stability. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 100, 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.10.002>

13. Schwartzkopff, A.K., Melkoumian, N.S., & Xu, C. (2017). Fracture mechanics approximation to predict the breakdown pressure using the theory of critical distances. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 95, 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.03.006>

14. Stoxreiter, T., Martin, A., Teza, D., & Galler, R. (2018). Hard rock cutting with high pressure jets in various ambient pressure regimes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 108, 179-188. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.06.007>

15. Pozin, E.Z., Z.Ya. Khurgin, and V.E. Burdin. 1979. Loads on Shearer Drums in Cutting Coal Seams with Hard Interlayers. In *The Science of Coal and Rock Fracture*, Moscow: IGD Skochinskogo, 3-11.

#### Библиографическое описание статьи

Линник Ю.Н., Линник В.Ю. Закономерности формирования максимальных нагрузок на резцах и исполнительных органах угледобывающих машин // Горное оборудование и электромеханика – 2021. – № 4 (156). – С. 16-21.

#### Reference to article

Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Mechanisms of maximal loads on cutters and cutting heads of coal mining machines. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2021, no.4 (156), pp. 16-21.