

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Ю.Н. Линник<sup>1</sup>, В.Ю. Линник<sup>1</sup>, А.Б. Жабин<sup>2</sup>, А. Цих<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Государственный университет управления, Москва, Россия, e-mail: vylinnik@guu.ru

<sup>2</sup> Тульский государственный университет, Тула, Россия

<sup>3</sup> Ontex Hygieneartikel, Germany, Grospostwitz

**Аннотация:** В существующих методиках расчета оптимальных параметров угледобывающих машин и исполнительных органов для их оснащения в качестве критерия, характеризующего прочностные свойства угольных пластов, принят показатель сопротивляемости пласта резанию, который по сути является средневзвешенной величиной сопротивляемости резанию угля и породных прослоев и не учитывает содержащиеся в пластах крупные твердые включения, в существенной мере определяющие динамическую нагруженность и уровень эксплуатационной надежности машин. Исследования показали, что наиболее полная оценка прочностных и динамических свойств угольных пластов сложного строения может быть выполнена на основе предложенного показателя динамической сопротивляемости пласта резанию. Поскольку при описании содержащихся в угольных пластах неоднородностей, как правило, в геологической документации, используются коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова  $f$  или величина временного сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж}$ , предложены эмпирические зависимости для перехода от этих величин к используемому в существующих методиках расчета параметров угледобывающих машин показателю сопротивляемости их резанию. Рекомендуется использовать предложенные зависимости в расчетах по оптимизации параметров угледобывающих машин.

**Ключевые слова:** угольный пласт, сопротивляемость резанию, твердые включения, породные прослойки, крепость, угледобывающая машина, выбор параметров, динамическая нагруженность.

**Для цитирования:** Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Цих А. Взаимосвязь характеристик прочности неоднородностей в угольных пластах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 5–15. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_5.

### Interplay of strengths of nonuniformities in coal seams

Yu.N. Linnik<sup>1</sup>, V.Yu. Linnik<sup>1</sup>, A.B. Zhabin<sup>2</sup>, A. Zich<sup>3</sup>

<sup>1</sup> State University of Management, Moscow, Russia, e-mail: vylinnik@guu.ru

<sup>2</sup> Tula State University, Tula, Russia

<sup>3</sup> Ontex Hygieneartikel, Germany, Grospostwitz

**Abstract:** The current calculation procedures of optimal parameters of coal mining machines and their cutting tools use the coal strength criterion of coal cuttability which is intrinsically a weighted mean of cuttabilities of coal and dirt bands, and neglects large solid inclusions contained in coal, while they drastically affect the dynamic stress and serviceability of mining

machinery. Researches show that a more exhaustive estimation of strength and dynamic behavior of structurally complex coal seam is possible using the proposed index of the dynamic cuttability of coal. Geological descriptions of nonuniformities contained in coal seams use, as a rule, the value of the hardness  $f$  on Protodyakonov's scale and the ultimate compression strength  $\sigma_{\text{com}}$ . The authors offer the empirical relations for the transition from these values to the cuttability criterion used in the current procedure of coal mining machine design. It is recommended to use the proposed relations in optimization designs of coal mining machines.

**Key words:** coal seam, cuttability, solid inclusions, dirt bands, hardness, coal mining machine, parameter selection, dynamic stress.

**For citation:** Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Zhabin A. B., Zich A. Interplay of strengths of nonuniformities in coal seams. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(3):5-15. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_5.

## Введение

Известны методики, в которых подробно изложена последовательность расчета параметров угледобывающих машин [15], а также схем расстановки режущего инструмента на шнековых исполнительных органах [1–3]. В этих методиках в качестве основного критерия, с помощью которого описываются прочностные характеристики угольных пластов, используется показатель сопротивляемости резанию угольного пласта. Этот показатель определяется следующим образом:

$$A_{np} = \frac{\sum A_{ye} h_{ye} + \sum A_{np} h_{np}}{h_{ye} + h_{np}}, \quad (1)$$

где  $A_{yr}$  и  $A_{np}$  — сопротивляемость резанию угольных пачек и породных прослоек соответственно, Н/мм;  $h_{yr}$  и  $h_{np}$  — мощность (м) пачек угля и прослоек соответственно.

В приведенной формуле показатель сопротивляемости угольного пласта резанию фактически представляет собой средневзвешенную сопротивляемость резанию угля  $A_{yr}$  в рассматриваемом пласте и породных прослоев  $A_{np}$ . При этом формула не учитывает долю и прочностные свойства содержащихся в пласте твердых включений.

Как показывает практика, расчеты, выполненные по формуле (1), зачастую приводят к серьезным ошибкам при расчетах, особенно для пластов, имеющих сложное строение [4]. Объясняется это тем, что именно крупные твердые включения и крепкие породные прослойки, содержащиеся в подавляющем числе разрабатываемых угольных пластов, в основном определяют максимальные нагрузки на резцах и динамические характеристики процесса разрушения массива, влияющие на уровень надежности и производительность комбайна [5, 6]. Величина же сопротивляемости резанию, рассчитанная по формуле (1), слабо отражает их наличие в пласте. Кроме этого, в некоторых случаях, особенно при выемке тонких пластов, имеют место прищепки пород почвы или кровли. В таких случаях при расчете параметров комбайнов и исполнительных органов их наличие также необходимо учитывать.

## Основная часть

В связи с вышеизложенным, предложено оценивать пласты сложного строения не величиной  $A_{np}$ , а названным авторами показателем динамической сопротивляемости пласта резанию  $A_d$ . Численно он равен

$$A_d = A_{уг} + A_n^*, \text{ Н/мм}, \quad (2)$$

где  $A_n^*$  — интегральный показатель содержания и свойств неоднородностей в пласте, Н/мм.

В данном случае под неоднородностями понимаются содержащиеся в угольных пластах различные типы породных прослоек с их прочностными характеристиками, твердые включения, а в случаях наличия присечек — присекаемые вмещающие породы.

Величина (значение) показателя  $A_n^*$  численно описывает частоту возникновения максимальных нагрузок, возникающих на режущем инструменте в процессе разрушения угольных пластов сложного строения, а также уровень этих нагрузок. Именно такими максимальными нагрузками характеризуется динамическая сторона процесса резания угля, и именно эти нагрузки приводят чаще всего к внезапным отказам резцов, резцедержателей, и т.п.

В общем случае он рассчитывается по формуле

$$A_n^* = A_{вкл}^* + A_{п.п}^* + A_{пр.п}^*, \text{ Н/мм}, \quad (3)$$

где  $A_{вкл}^*$  — показатель содержания и свойств твердых включений в пласте, Н/мм;  $A_{п.п}^*$  — показатель содержания и свойств породных прослоек в пласте, Н/мм;  $A_{пр.п}^*$  — показатель содержания и свойств присекаемых вмещающих пород, Н/мм.

В свою очередь эти показатели рассчитываются по формулам:

$$A_{вкл}^* = 1,5A_{вкл} k_{вкл} S_{вкл}^* d_n^*, \text{ Н/мм}, \quad (4)$$

$$A_{п.п}^* = A_{п.п} k_{п.п} S_{п.п}^*, \text{ Н/мм}, \quad (5)$$

$$A_{пр.п}^* = A_{пр.п} k_{пр.п} S_{пр.п}^*, \text{ Н/мм}, \quad (6)$$

где  $A_{вкл}$ ,  $A_{п.п}$ ,  $A_{пр.п}$  — сопротивляемость резанию твердых включений, породных прослоек и присекаемых вмещающих пород соответственно, Н/мм;  $S_{вкл}^*$ ,  $S_{п.п}^*$ ,  $S_{пр.п}^*$  — удельное содержание в пласте твердых включений, породных прослой-

ков и присекаемых вмещающих пород соответственно, %.

Коэффициент  $k_n$  ( $k_{вкл}$ ,  $k_{п.п}$ ,  $k_{пр.п}$ ) вычисляется по выражению

$$k_n = (A_n - A_{уг}) / A_{уг}, \quad (7)$$

где под  $A_n$  подразумевается  $A_{вкл}$ , если  $k_n$  рассчитывается для определения величины  $A_{вкл}^*$ , либо  $A_{п.п}$  или  $A_{пр.п}$ , если он рассчитывается для  $A_{п.п}^*$  или  $A_{пр.п}^*$  соответственно.

Значения  $d_n$  характеризуют долю твердых включений, с которыми контактируют резцы в процессе резания и принимаются равными: 0,87 — для Донецкого угольного бассейна; 0,98 — для Кузнецкого и Челябинского угольных бассейнов; 0,9 — для всех остальных угольных бассейнов.

Практика оформления геологической документации на разрабатываемые угольные пласты показала, что в силу отсутствия на большинстве шахт данных о сопротивляемости резанию неоднородностей их прочностные свойства, как правило, оцениваются коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодьяконова  $f$  или величиной временного сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_{сж}$ . Поэтому для таких случаев для использования в расчетах показателя  $A_d$  требуется формула для перехода от  $f$  и  $\sigma_{сж}$  к величине сопротивляемости резанию. В этой связи были проанализированы имеющиеся данные о прочностных свойствах породных прослоек и твердых включений [7–10] с целью установления эмпирической взаимосвязи между ними. При проведении исследований по структурным колонкам угольного пласта определялось содержание в пласте породных прослоек, содержание твердых включений определялось по данным планшетных съемок поверхности забоя.

Анализ данных о прочностных свойствах наиболее часто встречающихся в

Таблица 1

**Характеристики породных прослоев угольных пластов [12]****Characteristics of dirt bands in coal seams [12]**

Пласт	Литотип*	Прочностные характеристики прослоев		
		Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Коэффициент крепости $f$	Сопротивляемость резанию $A_{п.п}$ , Н/мм
Бреевский	П-А1	73,0	—	835
Толмачевский	А4	—	2,7	230
Колмогоровский	А1-П	53,0	5,6	595
Наддальний	А3	37,3	—	286
З	А1	46,5	—	499
Е1	А2	42,0	4,3	393
Е5	А3	35,1	3,1	235
Е5	Ар	44,3	—	267
К1	А3	33,1	4,0	232
К1	Ар	35,6	3,6	312
К4	А3	—	4,0	261
III	А3	30,3	3,7	212
III	А4	25,0	2,5	208
VIa	Ар	31,0	2,7	195
VI	Ар.У	25,3	2,9	226
26a	Ар	—	3,8	242
Бреевский	Ар	30,0	—	229
Толмачевский	Ар.У	16,0	—	167
29	Ар.У	21,0	1,5	169
Байкаимский	П-А1	76,0	—	820
	А1-П	52,0	5,4	580
	А3	36,5	3,3	303
	А4	16,0	—	168
Бреевский	Ар	31,0	2,9	—
Характерный	П-А1	70,0	5,9	641
Прокопьевский	П-А1	101,8	9,0	760
Горелый	П-А1	83,5	6,7	932
Горелый	А2	55,5	5,0	565
Садовый	А3	29,3	4,0	375
Встречный	А4	30,7	2,8	305

\* П-А1 — песчаный алевролит; А1-П — алевролитовый песчаник; А1, А2, А3, А4 — алевролиты; Ар — аргиллит; Ар.У — аргиллит углистый.

угольных пластах породных прослоев показал (табл. 1), что их прочностные свойства варьируют в широких пределах [11]. Тем не менее, в разрезе одного и того же литотипа расхождения невелики — чаще всего отклонение от среднего значения составляет 15–21% и не превышает 23%.

Самыми крепкими [12] являются песчаные прослои (литотипы П-А1 и А1-П), предел прочности на сжатие которых  $\sigma_{сж} = 52,0...101,8$  МПа, сопротивляемость резанию  $A_{п.п} = 595...932$  Н/мм, а коэффициент крепости варьирует в пределах  $f = 5,9...9,0$ . Прослойки алевролита имеют среднее по прочностным характеристикам значение между аргиллитами и песчаниками, тем не менее, их прочностные характеристики также изменяются в достаточно широких пределах:  $\sigma_{сж} = 16,0...55,5$  МПа;  $A_{п.п} = 167...565$  Н/мм,  $f = 2,5...5,0$ . Наиболее слабыми по крепости являются прослойки литотипов  $A_{п1}$ ,  $A_{п2}$ ,  $A_{п.у}$  предел прочности на сжатие которых изменяется в диапазоне 16,0...35,6 МПа, сопротивляемость резанию — от 167 до 312 Н/мм, а  $f = 1,5...3,6$ .

Далее был выполнен анализ данных о твердых включениях, который указал на чрезвычайное разнообразие их литотипов [13, 14]. Так, пласты Челябинского бассейна и Кузбасса содержат значительные по размеру включения карбонатного типа. Твердые включения пирита, характерные для пласта  $I_4$ , разрабатываемого в Печорском угольном бассейне, также имеют значительные размеры. С другой стороны, пласты Восточного Донбасса (Ростовская область) в основном характеризуются наличием кальцита, пирита и кварца, имеющих мелкозернистую структуру, но в некоторых из них встречаются и консолидированные известково-песчаные конкреции, имеющие значительные размеры (144 × 5,4 см).

Наиболее часто встречающиеся включения карбонатного типа разделены на 4 типовые группы: кальцитовые  $K_1$ ; сидеритовые  $K_2$ ; карбонатно-сидеритовые  $K_3$ ; карбонатные  $K_4$ . В геологической терминологии включения карбонатного типа называются «колчеданами».

Размеры твердых включений карбонатного типа варьируют в достаточно широких пределах, но как правило, они имеют вытянутую форму (длина по обнажению пласта 40–310 см, мощность по высоте 15–50 см).

Беловский и Ленинский районы Кузнецкого бассейна в основном представлены включениями 35–105 см, мощностью 13–23 см. В ряде случаев встречались и включения, имевшие форму выпуклой линзы длиной до 3,3 м и мощностью до 0,7–0,8 м. Удельное содержание твердых включений в данных районах составляет 0,32–2,65%.

В Осинниковском и Байдаевском районах твердые включения имеют мощность 16–45 см (пласты  $E_{10}$ ,  $E_5$ , 15). Предельная длина конкреций достигает 10 м. Приблизительно в таких же диапазонах в Челябинском бассейне изменяются размеры включений карбонатно-сидеритового типа — от 40 до 330 см и более по длине и от 25 до 70 см — по мощности. Из-за больших размеров твердых включений их удельное содержание в пластах также высоко (Кузбасс — 7,5%, Челябинский бассейн — 2,5%, Печорский бассейн — 6,6%), что существенно усложняет условия выемки угля.

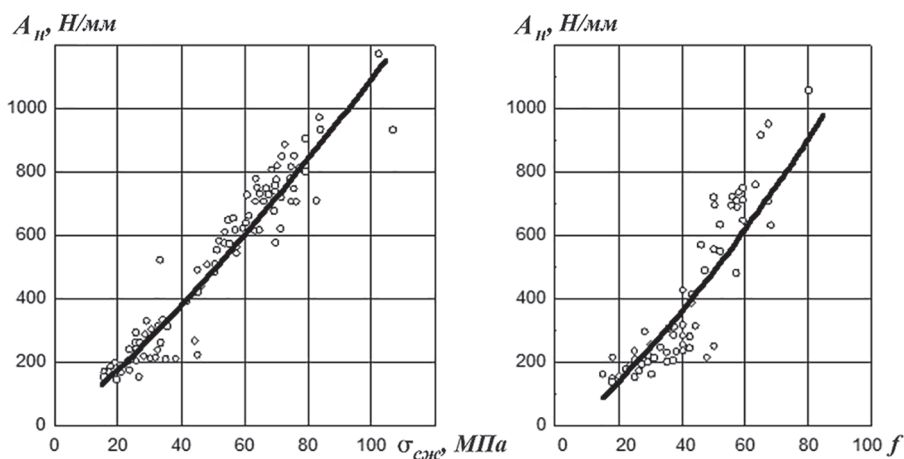
Прочностные характеристики твердых включений также существенно различаются (табл. 2) [12].

Значение предела прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  всех типов включений варьирует в диапазоне 33,6–117,6 МПа (в среднем 70,5 МПа). Сопротивляемость резанию включений меняется в пределах от 229 до 1100 Н/мм, при среднем значении  $A_{вкл} = 692$  Н/мм [12]. Коэффициент

Таблица 2

**Характеристики твердых включений угольных пластов****Characteristics of solid inclusions in coal seams**

Индекс (наименование пласта)	Литотип включений*	Прочностные характеристики включений		
		Предел прочности на сжатие $\sigma_{ск}$ , МПа	Коэффициент крепости $f$	Сопротивляемость резанию $A_{вкл}$ , Н/мм
<b>Кузнецкий бассейн</b>				
Бреевский	$K_3$	73,5	6,9	806
Толмачевский	$K_3$	73,6	7,1	831
Емельяновский	$K_3$	71,8	—	700
Серебряниковский	$K_3$	63,0	6,1	710
Тонкий	$K_3$	56,5	5,4	650
Е10	$K_3$	60,9	5,9	665
Е5	$K_3$	62,1	6,1	576
К4	$K_3$	51,0	5,3	560
24	$K_3$	70,3	7,2	676
15	$K_3$	53,7	—	627
14	$K_3$	63,4	—	775
XIII	$K_3$	65,2	7,1	720
Байкаимский	$K_3$	68,7	—	807
Полысаевский-2	$K_3$	74,7	7,2	744
31	$K_3$	59,2	6,0	690
Бреевский	$K_3$	—	3,1	229
Байкаимский	$K_3$	74,7	—	780
<b>Печерский бассейн</b>				
14	$P_4$	125,0	11,1	—
14	$P_4$	100,5	9,9	—
<b>Челябинский бассейн</b>				
Ж-1	$K_2$	55,9	5,4	568
1d-2сл	$K_2$	44,3	4,8	—
1а	$K_2$	53,0	5,1	532
IV	$K_2$	34,9	4,0	—
I, н.п	$K_2$	84,5	8,1	810
1а, в.п-3сл.	$K_2$	56,4	5,5	—
Чумлякский	$K_2$	33,6	3,2	387
<b>Восточный Донбасс</b>				
K5 <sup>в</sup>	$K_{a-т}$	76,0	7,3	—
K2 <sup>1н</sup>	$P_4$	117,6	9,9	1100
i3 <sup>н</sup>	$K_{a-т}$	50,0	—	—
K5 <sup>н</sup>	$P_4$	111,6	11,0	—
i6 <sup>н</sup>	$P_4$	107,4	9,8	980,0
i6	Изв-П	88,0	7,9	—
K2	$K_{a-т}$	74,0	7,5	—
* $K_3$ — карбонатные; $K_2$ — карбонатно-сидеритовые; $P_4$ — пиритные; $K_{a-т}$ — кальцит; Изв-П — известково-песчаные твердые включения				



Зависимости сопротивляемости резанию неоднородностей в пласте  $A_n$  от предела прочности на сжатие  $\sigma_{сж}$  и коэффициента крепости  $f$

Nonuniformity cuttability  $A_{non}$  in coal seam versus ultimate compression strength  $\sigma_{com}$  and hardness factor  $f$

вариации предела прочности на сжатие имеет среднее значение 12,1% при максимуме 27%, среднеквадратичное отклонение  $\sigma = 78,2$ . Приблизительно в таком же диапазоне варьирует и сопротивляемость резанию твердых включений ( $k_{вар} = 11,8, \sigma = 89,0$ ).

Анализ табл. 2 показывает, что наиболее крепкими неоднородностями являются включения пиритового типа (предел прочности на сжатие достигает 117,8 МПа), при этом, как показывает практика, их незначительные размеры практически не влияют на производительность угледобывающих комбайнов. И наоборот, присутствие в пластах значительных как по размерам, так и по удельному содержанию консолидированных включений в шахтопластах Челябинского и Кузнецкого бассейнов, в значительной мере усложняет условия применения угледобывающих машин, и, соответственно, снижает их производительность.

Анализ экспериментальных данных [12] о прочностных характеристиках твердых включений и породных прослоев показал, что между  $\sigma_{сж}$  и  $f$ , с одной стороны, и  $A_n$  ( $A_{вкл}, A_{п.п}, A_{пр.п}$ ) — с другой, имеет место корреляционная связь, опи-

сываемая зависимостями, приведенными на рисунке.

Индексы корреляции представленных на рисунке зависимостей составляют 0,92 для  $A_n = f(\sigma_{сж})$  и 0,79 — для  $A_n = f(f)$ , что является вполне приемлемым для выполнения дальнейших расчетов.

Эмпирические выражения, описывающие эти зависимости имеют вид:

$$A_{сж} = 0,3 \sigma_{сж}^{1,19}, \quad (8)$$

$$A_n = 56,3 f^{1,35}. \quad (9)$$

С учетом последних выражений формулы для определения интегрального показателя содержания и свойств неоднородностей в пласте можно представить в виде:

- при известных значениях  $\sigma_{сж}$

$$A_n^* = \sigma_{сж}^{1,19} (0,45 k_{вкл} S_{вкл}^* d_n + 0,3 k_{п.п} S_{п.п}^* + 0,3 k_{пр.п} S_{пр.п}^*); \quad (10)$$

- при известных значениях  $f$

$$A_n^* = f^{1,35} (84,4 k_{вкл} S_{вкл}^* d_n + 56,3 k_{п.п} S_{п.п}^* + 56,3 k_{пр.п} S_{пр.п}^*). \quad (11)$$

Для оценки весомости содержащихся в пластах крепких неоднородностей при определении сопротивляемости резанию были отобраны наиболее характерные для Кузнецкого угольного бассейна пласты, для которых по вышеприведенным формулам были рассчитаны показатели  $A_{пл}$  и  $A_{д}$ .

Видно (табл. 3), что пласты, содержащие сравнительно мощные по толщине крепкие породные прослойки алевролитов и консолидированные карбонатные

включения, имеют ощутимую разницу значений показателей  $A_{пл}$  и  $A_{д}$  (от 40 Н/мм в пласте 3 до 181 Н/мм – пласт 15), что при сравнительно низких значениях сопротивляемости угля резанию  $A_{уг}$  приводит к высокой динамической нагруженности исполнительного органа выемочной машины и снижению ее надежности и производительности. Поэтому данное обстоятельство необходимо учитывать в расчетах по выбору параметров машин, предназначенных для работы в

Таблица 3

**Данные об оценке прочностных свойств угольных пластов по сопротивляемости пласта резанию  $A_{пл}$  и показателю динамической сопротивляемости пласта резанию  $A_{д}$**   
**Strength-related estimates of coal seams by cuttability criterion  $A_{cut}$**   
**and dynamic cuttability criterion  $A_{dycut}$**

Пласт	Мощность пласта, м	Характеристика прослойков		Характеристика твердых включений			$A_{пл}$	$A_{д}$	$A_{пл} - A_{д}$
		литотип (кол-во в пласте)	мощность, м	литотип	структура	удельное содержание, %			
XXI	1,95	A	0,35	–	–	–	250	344	94
6	1,05	A	0,04	–	–	–	158	188	30
3	2,85	A1	0,13	$K_2$	конс.*	0,1	168	208	40
Полысаевский-1	2,45	–	–	$K_3$	конс.	0,9	204	274	70
Байкаимский	2,84	A1 – П	0,1	$K_3$	конс.	1,7	215	389	174
Емельяновский	1,45	–	–	$K_3$	конс.	1,5	158	191	33
Бреевский	1,7	Ap	0,2	$K_3$	конс.	1,93	193	243	50
Толмачевский	2,0	A4	0,1	–	–	–	163	182	19
70	5,6	A (4)	0,20	–	–	–	109	131	22
Полысаевский-II	7,0	П – A	0,25	$K_3$	конс.	1,2	190	285	95
		Ap.	0,06						
Надбайкаимский	3,00	Ap.У	0,24	–	–	–	173	175	2
		Ap	0,37						
Кыргайский-44	5,1	A	0,2	–	–	–	141	157	16
		Ap	0,2						
25	2,20	A(2)	0,32	$K_3$	конс.	0,3	160	196	36
67	4,3	Ap	0,6	–	–	–	143	174	31
Абрамовский	2,0	Ap.У	0,3	–	–	–	140	149	9
15	1,6	–	–	$K_3$	конс.	2,3	140	321	181

\* Конс. – консолидированные твердые включения с площадью поперечного сечения более 300 см.



таких условиях. Напротив, пласты, содержащие сопоставимые по крепости с углем аргиллиты и углистые аргиллиты при отсутствии в них консолидированных твердых включений имеют незначительную разницу значений показателей  $A_{пл}$  и  $A_{д}$ , что не отражается на выборе параметров выемочных машин при проведении соответствующих расчетов.

### Выводы

Таким образом результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Установленные зависимости позволяют рассчитывать значения интеграль-

ного показателя содержания и свойств неоднородностей в угольных пластах  $A_{н}^*$ . На основе этого показателя становится возможным рассчитать величину динамической сопротивляемости  $A_{д}$ .

2. Значимость полученных зависимостей с практической точки зрения заключается в том, что они дают возможность по заранее известным значениям  $\sigma_{сж}$  и  $f$ , которые обычно указываются в геологической документации при описании содержащихся в пластах породных прослоек и твердых включений, определить значение их сопротивляемости, что существенно упрощает выполнение расчетов по оптимизации параметров угледобывающих машин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Ананьев К. А., Ермаков А. Н. Обзор и анализ методик определения параметров режцовых исполнительных органов / Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». — Кемерово: Институт угля СО РАН, 2014. — С. 92—94.

2. Жабин А. Б., Аверин Е. А., Поляков А. В., Сарычев В. И. Состояние научных исследований в области разрушения горных пород режцовым инструментом на рубеже веков // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 230—247.

3. Маметьев Л. Е., Хорешок А. А., Цехин А. М., Борисов А. Ю. Исследование взаимодействия режущего инструмента с угольным массивом // Горное оборудование и электромеханика. — 2018. — № 6 (140). — С. 34—40.

4. Zich A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen // Mining Report 5. Gluckauf. 2017, no. 153, pp. 474—479.

5. Kuidong G., Changlong D., Hongxiang J., Songyong L. A theoretical model for predicting the Peak Cutting Force of conical picks // Fracture and Structural Integrity. 2013, vol. 8, no. 27, pp. 43—52. DOI: 10.3221/IGF-ESIS.27.06.

6. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions // Eurasian Mining. 2016, no. 2, pp. 11—15.

7. Захаров В. Н., Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б. Классификация угольных пластов по особенностям геологического строения и разрушаемости // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 5—12. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

8. Дмитриев А. П. Разрушение горных пород: Научные школы Московского горного. — М.: Изд-во «Горная книга», 2012. — 80 с.

9. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shale and sandstone under effective stress // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2016, vol. 81, pp. 19—27.

10. Klawitter M., Esterle J., Collins S. A study of hardness and fracture propagation in coal // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2015, vol. 76, pp. 237—242.

11. Naeimipour A., Rostami J., Buyuksagis I. S., Frough O. Estimation of rock strength using scratch test by a miniature disc cutter on rock cores or inside boreholes // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, vol. 107, pp. 9–18.

12. Рязанцев С. Н. Исследование и выбор параметров шнековых исполнительных органов очистных комбайнов для конкретных условий эксплуатации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — М.: Изд-во ВИНТИ, 2004. — 26 с.

13. Семенова С. А., Патраков Ю. Ф., Клейн М. С. Состав литотипов кларенодюренового угля Кузбасса и особенности его флотационного обогащения // *Химия твердого топлива*. — 2018. — № 5. — С. 13–19.

14. Бедреев А. С. Исследование угля разных марок, добытого различными способами в Кемеровской области / *Инновации в технологиях и образовании*. Сборник статей участников XIII Международной научно-практической конференции. — Белово, 2020. — С. 48–50.

15. ОСТ 12.44.258-84. Комбайны очистные. Выбор параметров и расчета сил резания и подачи на исполнительных органах. Методика. — М., 1985. — 108 с. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Aksenov V. V., Koreshok A. A., Ananiev K. A., Ermakov A. N. Review and analysis of methods for determining the parameters of cutting executive bodies. *Sbornik trudov XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Energeticheskaya bezopasnost' Rossii. Novye podkhody k razvitiyu ugol'noy promyshlennosti»* [Proceedings of XVI International Scientific and Practical Conference «Energy Security of Russia. New Approaches to Development of the Coal Industry»], Kemerovo, Institut uglja SO RAN, 2014, pp. 92–94.

2. Zhabin A. B., Averin E. A., Polyakov A. V., Sarychev V. I. The state of scientific research in the field of rock destruction tool at the turn of the century. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle*. 2018, no. 1, pp. 230–247. [In Russ].

3. Mametev L. E., Khoreshok A. A., Tcekhin A. M., Borisov A. Iu. Investigation of the interaction of a cutting tool with a coal massif. *Mining equipment and electromechanics*. 2018, no. 6(140), pp. 34–40. [In Russ].

4. Zich A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen. *Mining Report 5. Gluckauf*. 2017, no. 153, pp. 474–479.

5. Kuidong G., Changlong D., Hongxiang J., Songyong L. A theoretical model for predicting the Peak Cutting Force of conical picks. *Fracture and Structural Integrity*. 2013, vol. 8, no. 27, pp. 43–52. DOI: 10.3221/IGF-ESIS.27.06.

6. Sidorenko A. A., Sishchuk J. M., Gerasimova I. G. Underground mining of multiple coal seams: problems and solutions. *Eurasian Mining*. 2016, no. 2, pp. 11–15.

7. Zakharov V. N., Linnik V. Yu., Linnik Yu. N., Zhabin A. B. Classification of coal seams by features of geological structure and characteristics of breaking. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 5, pp. 5–12. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-5-12.

8. Dmitriev A. P. *Razrushenie gornykh porod: Nauchnye shkoly Moskovskogo gornogo* [Destruction of rocks: Scientific schools of the Moscow Mining University], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2012, 80 p.

9. Rui Zhang, Zhengfu Ning, Feng Yang, Huawei Zhao, Qing Wang A laboratory study of the porosity-permeability relationships of shale and sandstone under effective stress. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2016, vol. 81, pp. 19–27.

10. Klawitter M., Esterle J., Collins S. A study of hardness and fracture propagation in coal. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2015, vol. 76, pp. 237–242.

11. Naeimipour A., Rostami J., Buyuksagis I. S., Frough O. Estimation of rock strength using scratch test by a miniature disc cutter on rock cores or inside boreholes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018, vol. 107, pp. 9–18.

12. Ryazantsev S. N. *Issledovanie i vybor parametrov shnekovykh ispolnitel'nykh organov ochistnykh kombaynov dlya konkretnykh usloviy ekspluatatsii* [Research and selection of parameters of auger executive bodies of shearers for specific operating conditions. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences], Candidate's thesis, Moscow, 2004, 26 p.

13. Semenova S. A., Patrakov Yu. F., Kleyun M. S. The composition of the lithotypes of clar-enoduren coal of Kuzbass and the features of its flotation enrichment. *Khimiia tverdogo topliva*. 2018, no. 5, pp. 13–19. [In Russ].

14. Bedreev A. S. Research of coal of different brands extracted by various methods in the Kemerovo region. Innovatsii v tekhnologiyakh i obrazovanii. *Sbornik statey uchastnikov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovations in technology and education. Collection of articles by participants of XIII International Scientific and Practical Conference], Belovo, 2020, pp. 48–50. [In Russ].

15. OST 12.44.258-84. *Kombayny ochistnye. Vybor parametrov i rascheta sil rezaniya i podachi na ispolnitel'nykh organakh. Metodika* [Industry standards OST 12.44.258-84. Cleaning combines. Selection of parameters and calculation of cutting and feeding forces on executive bodies. Methodology], Moscow, 1985, 108 p. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Линник Юрий Николаевич<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор,

Линник Владимир Юрьевич<sup>1</sup> — д-р экон. наук, доцент, профессор, e-mail: vylinnik@guu.ru,

Жабин Александр Борисович — д-р техн. наук, профессор, Тульский государственный университет, действительный член Академии горных наук,

Цих Алексей — д-р техн. наук, ответственный за энергоэффективность и природоохрану, Ontex Hygieneartikel, Germany, Grospostwitz

<sup>1</sup> Государственный университет управления.

**Для контактов:** Линник В.Ю., e-mail: vylinnik@guu.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.N. Linnik<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

V.Yu. Linnik<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor, Professor, e-mail: vylinnik@guu.ru,

A.B. Zhabin, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Tula State University, 300012, Tula, Russia,

Full Member of Academy of Mining Sciences,

A. Zich, Dr. Sci. (Eng.), Energy and Environmental Management Representative, Ontex Hygieneartikel,

Germany, Grospostwitz,

<sup>1</sup> State University of Management, 109542, Moscow, Russia.

**Corresponding author:** V.Yu. Linnik, e-mail: vylinnik@guu.ru.

Получена редакцией 06.09.2021; получена после рецензии 18.01.2023; принята к печати 10.02.2023.

Received by the editors 06.09.2021; received after the review 18.01.2023; accepted for printing 10.02.2023.