

# Оценка надежности резцов угледобывающих машин

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-10-13>

## ЛИННИК Ю.Н.

Доктор техн. наук, профессор,  
профессор кафедры экономики  
и управления в топливно-  
энергетическом комплексе  
ФГБОУ ВО «Государственный  
университет управления»,  
109542, г. Москва, Россия,  
e-mail: ylinnik@rambler.ru

## ЛИННИК В.Ю.

Доктор экон. наук, доцент,  
профессор кафедры экономики  
и управления в топливно-  
энергетическом комплексе  
ФГБОУ ВО «Государственный  
университет управления»,  
109542, г. Москва, Россия,  
e-mail: vy\_linnik@guu.ru

## ПЕТРОВ И.В.

Доктор экон. наук, профессор,  
первый заместитель декана  
факультета экономики и бизнеса  
Финансового университета  
при Правительстве Российской Федерации,  
125993, г. Москва, Россия

## ЦИХ А.

Доктор техн. наук,  
профессор Фрайбургской академии,  
консультант по вопросам  
энергоэффективности MS QF GmbH,  
02791, г. Одервиц, Германия,  
e-mail: alexej.zich@freenet.de

В условиях безлюдной выемки угля очень важно, чтобы надежность режущего инструмента обеспечивала его безотказную работу в течение заданного периода времени. На основании выполненных экспериментальных исследований выявлены характерные виды отказов резцов угледобывающих машин при их эксплуатации в различных условиях разрушаемости пластов. Установлены законы распределения наработок по видам отказов резцов и получена расчетная зависимость для определения среднего пути трения до выхода резцов из строя по причине износа. При эксплуатации угледобывающих машин наиболее распространенным является случай, когда в структуре отказов присутствуют все характерные виды отказов резцов. В этом случае вероятность их безотказной работы определяется композицией распределений наработок до характерных видов отказов. Полученные вероятностные характеристики позволяют прогнозировать отказы резцов в конкретных условиях эксплуатации и нормировать их потребность. Установленные закономерности рекомендуется учитывать при эксплуатации угледобывающих машин в условиях безлюдной выемки угольных пластов.

**Ключевые слова:** уголь, угольный комбайн, струг, резец, износостойкость, поломка, удельный расход, вероятность безотказной работы, путь трения, сопротивляемость резанию.

**Для цитирования:** Оценка надежности резцов угледобывающих машин / Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник, И.В. Петров и др. // Уголь. 2021. № 2. С. 10-13. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-10-13.

## ВВЕДЕНИЕ

Производительность угледобывающих машин в существенной степени зависит от уровня надежности применяемого режущего инструмента [1, 2, 3, 4, 5]. Поэтому при работе в высоконагруженных очистных забоях, особенно в условиях безлюдной выемки угля, очень важно, чтобы надежность режущего инструмента обеспечивала его безотказную работу в течение заранее заданного периода времени (например, до профилактического обслуживания выемочного оборудования). Речь идет о регламентированной замене комплекта инструмента после выемки определенного объема угля. Для соблюдения такого условия должны вводиться ограничения пути резания (трения)  $L_{тр.б'}$  обеспечивающего безотказную работу комплекта режущего инструмента при заданном уров-

не вероятности его безотказной работы. Данное условие, по сути, является ограничением параметров режима резания, если для данного типа режущего инструмента известны значения  $L_{тр.б}$ .

**ХАРАКТЕРНЫЕ ВИДЫ ОТКАЗОВ РЕЗЦОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ МАШИН**

Под надежностью резцов угледобывающих машин следует понимать их способность выполнять функции по разрушению массива при сохранении эксплуатационных показателей в заданных пределах в течение требуемого периода времени или требуемой наработки.

Надежность горнорезающего инструмента может быть описана композицией распределения наработок до различных видов отказов:

$$P(L_{тр}) = \sum k_i P_i(L_{тр}), \tag{1}$$

где  $P(L_{тр})$  – вероятность безотказной работы резца при прохождении пути резания (трения)  $L_{тр}$ ;  $k_i$  – доля  $i$ -го вида отказа в общем потоке (структуре) отказов;  $P_i(L_{тр})$  – вероятность безотказной работы для  $i$ -го вида отказов.

**Наблюдениями установлено, что при работе резцов, в зависимости от характеристик разрушаемости угольных пластов, имеют место четыре основных вида структуры их отказов.**

**1.** Практически все резцы выходят из строя по причине износа армировки, что имеет место при работе на пластах простого строения невысокой сопротивляемости резанию (без породных прослоек, крепость которых выше, чем угля), содержащих мелкодробленые, но не содержащих крупные твердые включения.

В таких условиях средний путь трения  $L_{тр}$  до выхода резца по причине износа равен:

$$L_{тр} = \frac{60v_p n_p k_i}{B_3 H_{пл} V_n N_g \gamma_k}, \text{ км}, \tag{2}$$

где  $v_p$  – скорость резания, м/мин;  $n_p$  – число резцов на исполнительном органе;  $B_3$  – ширина захвата исполнительного органа, м;  $H_{пл}$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $V_n$  – скорость подачи, м/мин;  $N_g$  – удельный расход резцов, шт./1000 т;  $\gamma_k$  – удельный вес угля, т/м<sup>3</sup>.

Большинство ученых в области разрушения угольных пластов считают [6, 7, 8, 9, 10, 11], что вероятность безотказной работы резцов по износу лучше всего описывается  $\alpha$ -распределением, при котором:

$$P(L_{тр})_I = \left[ c\beta / (L_{тр}^2 \sqrt{2\pi}) \right] \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\beta}{L_{тр}} \right) - \alpha \right]^2 \right\}, \tag{3}$$

где  $c, \beta, \alpha$  – некоторые функции износостойкости резцов.

В таблице для различных условий износостойкости резцов приведены данные о соотношении между средним ( $L_{тр}$ ) путем трения и путем трения ( $L_{тр.б}$ ), обеспечивающим безотказную работу по износу инструмента.

В таблице в качестве величины износа принята площадь затупления  $S_3$ , образующаяся при трении твердосплавной армировки о разрушаемый массив.

**2.** Все резцы (или подавляющее их большинство) выходят из строя по причине поломок из-за действующих на них пиковых нагрузок при встрече с крепкими неоднородностями. В этом случае вероятность безотказной работы резцов описывается экспоненциальным распределением вида:

$$P(L_{тр})_{II} = \exp(-\lambda L_{тр}), \tag{4}$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов по поломкам, зависящая от характеристик разрушаемости пласта, шт./1000 т.

Экспериментально установлено, что вероятность безотказной работы резцов подчиняется распределению Вейбулла, параметры которого зависят от удельного содержания в пласте крепких неоднородностей и сопротивляемости пласта резанию в зоне работы исполнительного органа.

**3.** Подавляющее число резцов выходит из строя в результате усталостного накопления повреждений [12, 13, 14]. Такие виды отказов имеют место, как правило, при работе струговых установок на пластах простого строения с явно выраженным отжимом, где в зоне работы струга сопротивляемость резанию минимальная. В таких условиях стойкость инструмента по износу выше, чем по усталостной прочности. Экспериментально установлено, что усталостные поломки пластин твердого сплава струговых резцов происходят при наработках, превышающих 100 км.

Вероятность безотказной работы резцов в этом случае описывается законом Вейбулла:

$$P(L_{тр})_{III} = \exp(-L_{тр}^b / a), \tag{5}$$

где  $a$  и  $b$  – параметры распределения, зависящие от характеристик разрушаемости пласта в зоне работы струга.

**4.** Наиболее распространенный случай, когда в структуре отказов присутствуют все характерные виды отказов резцов (износ, поломка и отрыв армировки, поломка корпуса резца, выпадение). В этом случае вероятность безотказной работы резцов определяется композицией распределения (1) с учетом формул (3) – (5).

Расчет пути трения при такой структуре отказов следует производить с учетом того, что поломанные и выпавшие

**Соотношения путей трения  $L_{тр}$  и  $L_{тр.б}$**

Интенсивность изнашивания $i_s \cdot 100, \text{ см}^2/\text{км}$	Значения пути трения (км) при $S_3, \text{ см}^2$					
	0,5		0,75		1,0	
	$L_{тр}$	$L_{тр.б}$	$L_{тр}$	$L_{тр.б}$	$L_{тр}$	$L_{тр.б}$
0,25	100	60	162	97	224	134
0,58	45	27	66	44	102	61
1,13	24	14	38	23	53	32
2,23	12	7	18	11	26	15
4,72	5,6	3,4	9,2	5,5	12,6	7,7

из державки резцы часть времени амортизировались по износу армировки. Тогда приведенный путь трения равен:

$$L_{тр.пр} = \frac{60v_p n_p k_n}{\{B_3 H_{пл} V_n N_g \gamma_k [d + k(1-k)]\}'} \quad (6)$$

где  $d$  – доля в структуре отказов (в удельном расходе) резцов, амортизированных по износу;  $k$  – коэффициент, учитывающий, что до поломки или выпадения резец изнашивался.

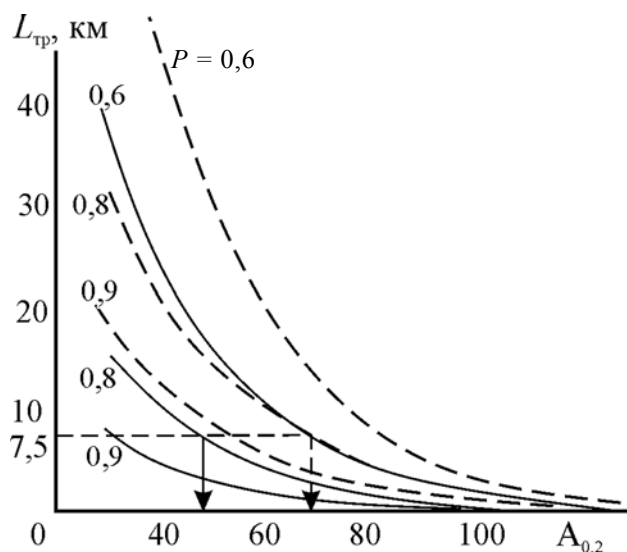
Полученные вероятностные характеристики позволяют решать различные прикладные задачи, связанные в том числе с прогнозированием отказов резцов в конкретных условиях эксплуатации и нормированием их потребности. В частности, на рисунке приведены зависимости наработок на отказ  $L_{тр}$  струговых резцов с конической и долотчатой формами режущей части в зависимости от сопротивляемости пласта резанию в зоне работы исполнительного органа  $A_{0,2}$ .

Из рисунка следует, что с вероятностью  $P = 0,8$  наработки в 7,5 км для резцов с конической режущей частью обеспечиваются при  $A_{0,2} = 45$  Н/мм, а с долотчатой – 70 Н/мм. Если задаться вероятностью  $P = 0,9$ , то возможная область применения таких резцов сужается до сопротивляемости резанию пластов  $A_{0,2}$ : 30 и 55 Н/мм соответственно.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– для работы очистных комбайнов и стругов в условиях безлюдной выемки важное значение имеет безотказная работа комплекта режущего инструмента в течение заданного периода времени;



Зависимость наработки на отказ  $L_{тр}$  струговых резцов с конической (сплошные линии) и долотчатой (пунктирные линии) формами режущей части от сопротивляемости пласта резанию  $A_{0,2}$  в зоне работы исполнительного органа при различных уровнях вероятности безотказной работы  $P$

Fig. The dependence of the mean time between failures ( $L_{тр}$ ) of the plough picks with conical (solid lines) and chisel (dotted lines) shapes of the cutting tool on the seam cuttability ( $A_{0,2}$ ) within the cutter reach at different probability levels of failure-free operation ( $P$ )

– вероятность безотказной работы резцов описывается композицией распределений по различным видам их отказов. Зная эти законы, можно, задаваясь уровнем вероятности безотказной работы, решать различные прикладные задачи, в том числе связанные с прогнозированием наработок на отказ резцов в зависимости от характеристик разрушаемости пластов.

### Список литературы

1. Оценка влияния отказов резцов и резцедержателей на показатели эффективности работы угледобывающих комбайнов / Ю.Н. Линник, А.Б. Жабин, В.Ю. Линник и др. // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2018. Вып. 2. С. 247-263.
2. Нормирование расхода резцов угледобывающих комбайнов в зависимости от условий эксплуатации / В.Ю. Линник, Ю.Н. Линник, А.Б. Жабин и др. // Уголь. 2019. № 12. С. 26-30. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-12-26-30.
3. Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Цехин А.М. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. 296 с.
4. Zich A., Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen // MINING REPORT 5. Gluckauf. 2017. N 153. P. 474-479.
5. Прокопенко С.А. Повышение срока службы комбайновых резцов в угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 1. С. 24-28.
6. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. М.: Недра, 1984. 288 с.
7. Романович А.С. Определение оптимального соотношения износостойкостей державки и вставки энергоэффективного тангенциального резца // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 1. С. 24-29.
8. Выбор формы армирующих вставок для тангенциальных поворотных резцов горных машин / П.Д. Крестовоздвиженский, В.И. Клишин, С.М. Никитенко и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 6. С. 107-115.
9. High-hardness alloy substituted by low hardness during drilling and cutting experiments of conical pick / Daolong Yang, Li Jianping, Kehong Zheng et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 9. P. 73-78.
10. Experimental investigation of rock breakage by a conical pick and its application to non-explosive mechanized mining in deep hard rock / S. Wang, K. Du, X. Li et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 122.
11. Yardimci A.G., Karakus M. A new protective destressing technique in underground hard coal mining // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2020. Vol. 130.
12. Surface collapse control under thick unconsolidated layers by backfilling strip mining in coal mines / F. Wang, B.Y. Jiang, S. Chen et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019. Vol. 113. P. 268-277.
13. Прокопенко С.А. Повышение ресурсоэффективности при изготовлении и использовании горнорезу-

щего инструмента // Современные научные исследования и инновации. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/50499> (дата обращения: 15.01.2021).

14. Талеров М.П. Повышение эффективности применения поворотных резцов проходческих комбайнов выбором рациональных геометрических параметров инструментов: дис... канд. техн. наук: Талеров Михаил Павлович. СПб., 2012.

#### Original Paper

UDC 622.232.72.054.54 © Yu.N. Linnik, V.Yu. Linnik, I.V. Petrov, A. Zich, 2021  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 2, pp. 10-13  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-10-13>

#### Title

### ASSESSMENT OF RELIABILITY OF COAL MINING MACHINE CUTTERS

#### Authors

Linnik Yu.N.<sup>1</sup>, Linnik V.Yu.<sup>1</sup>, Petrov I.V.<sup>2</sup>, Zich A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> State University of Management, Moscow, 109542, Russian Federation

<sup>2</sup> Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, 125993, Russian Federation

<sup>3</sup> MS QF GmbH, Oderwitz, 02791, Germany

#### Authors' Information

**Linnik Yu.N.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Economy and management in fuel and energy complex department, e-mail: [ylinnik@rambler.ru](mailto:ylinnik@rambler.ru)

**Linnik V.Yu.**, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of Economy and management in fuel and energy complex department, e-mail: [vy\\_linnik@guu.ru](mailto:vy_linnik@guu.ru)

**Petrov I.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice dean of economy and business faculty

**Zich A.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Freiburg Academy, consultant in the field of energy efficiency, e-mail: [alexej.zich@freenet.de](mailto:alexej.zich@freenet.de)

#### Abstract

In conditions of unpopulated coal mining, it is very important that the reliability of the cutting tool ensures its trouble-free operation for a given period of time. Based on the performed experimental studies, the characteristic types of failures of the cutters of coal mining machines during their operation in various conditions for the destructibility of layers are revealed. The laws of distribution of workings by types of tool failures are established and a calculated dependence is obtained for determining the average path of friction to the exit of the tools due to wear. When operating coal mining machines, the most common case is when all the characteristic types of cutter failures are present in the failure structure. In this case, the probability of their failure-free operation is determined by the composition of the distributions of developments to the characteristic types of failures. The obtained probabilistic characteristics allow to predict the failure of the cutters in specific conditions and to normalize the need for them. The established regularities are recommended to be taken into account when operating coal mining machines in conditions of unpopulated excavation of coal seams.

#### Keywords

Coal, Coal combine, Plow, Cutter, Wear resistance, Breakage, Specific consumption, Probability of failure-free operation, Friction Path, Cutting resistance.

#### References

- Linnik Yu.N., Zhabin A.B., Linnik V.Yu. et al. Impact assessment of cutting tool and tool retainer failures on coal miner performance. *Izvestiâ Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauka o Zemle*, 2018, (2), pp. 247-263. (In Russ.).
- Linnik Yu.N., Linnik V.Yu., Zhabin A.B., Polyakov A.V. & Averin E.A. Rationing of consumption of cutters of coal-mining combines depending on operating conditions. *Ugol'*, 2019, (12), pp. 26-30. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2019-12-26-30](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-12-26-30).
- Khoreshok A.A., Mametev L.E. & Tsekhin A.M. Production and operation of rock breaking tools for mining machines. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2013, 296 p. (In Russ.).

4. Zich A., Linnik Yu.N. & Linnik V.Yu. Verlängerung der Betriebsdauer von Meiselhalterungen an schneidenden Kohlegewinnungsmaschinen. *MINING REPORT 5. Gluckauf*. 2017, (153), pp. 474-479.

5. Prokopenko S.A. Increasing cutters service life for cutter-loaders in coal mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2014, (1), pp. 24-28. (In Russ.).

6. Pozin E.Z., Melamed V.Z. & Ton V.V. Coal breaking with stoping machines. Moscow, Nedra Publ., 1984, 288 p. (In Russ.).

7. Romanovich A.S. Determination of the optimal wear resistance ratio of the toolholder and the insert for the energy efficient tangential cutter. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2017, (1), 24-29. (In Russ.).

8. Krestovozdvizhensky P.D., Klishin V.I., Nikitenko S.M. et al. Selection of reinforcement inserts geometry for tangential rotary cutters of mining machines. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2014, (6), pp. 107-115. (In Russ.).

9. Daolong Yang, Li Jianping, Kehong Zheng et al. High-hardness alloy substituted by low hardness during drilling and cutting experiments of conical pick. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2017, (9), pp. 73-78.

10. Wang S., Du K., Li X. et al. Experimental investigation of rock breakage by a conical pick and its application to non-explosive mechanized mining in deep hard rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2019, (122).

11. Yardimci A.G. & Karakus M. A new protective destressing technique in underground hard coal mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2020, (130).

12. Wang F., Jiang B.Y., Chen S. et al. Surface collapse control under thick unconsolidated layers by backfilling strip mining in coal mines. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2019, (113), pp. 268-277.

13. Prokopenko S.A. Increasing resource efficiency in manufacturing and application of mining cutting tools. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. [Electronic resource]. Available at: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/50499> (accessed 15.01.2021). (In Russ.).

14. Talerov M.P. Enhancing the rotary cutters application efficiency for continuous-mining and tunneling machines by selecting rational geometrical parameters of the tools. PhD (Engineering) diss. St. Petersburg, 2012. (In Russ.).

#### For citation

Linnik Yu.N., Linnik V.Yu., Petrov I.V. & Zich A. Assessment of reliability of coal mining machine cutters. *Ugol'*, 2021, (2), pp. 10-13. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2021-2-10-13](https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-10-13).

#### Paper info

Received November 14, 2020

Reviewed December 9, 2020

Accepted January 12, 2021

#### MINING EQUIPMENT