

Анализ структуры отказов шнеков очистных комбайнов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-20-24>

ЛИННИК Ю.Н.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор кафедры экономики и управления
в топливно-энергетическом комплексе
Государственного университета 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
Государственного университета управления,
109542, г. Москва, Россия,
e-mail: d0c3n7@gmail.com

ВОРОНОВА Э.Ю.

Доктор техн. наук,
Шахтинский автодорожный институт
(филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,
346500, г. Шахты, Россия

ЕВСТРАТОВ В.А.

Доктор техн. наук, профессор,
Шахтинский автодорожный институт
(филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова,
346500, г. Шахты, 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

На основании выполненных экспериментальных исследований выявлены характерные виды отказов шнеков очистных комбайнов при их эксплуатации в различных условиях разрушаемости пластов. При эксплуатации комбайнов в структуре отказов шнеков присутствуют, как правило, все их характерные виды, доля каждого из которых зависит от характеристик разрушаемости угольных пластов. Чаще всего шнеки выходят из строя по причине отказов резцедержателей. Причем при разрушении пластов сложного строения, содержащих крупные твердые включения и крепкие породные прослойки, в структуре отказов шнеков преобладают мгновенные (поломочные) отказы резцедержателей, а при работе на пластах простого строения – постепенные (износосвые) отказы гнезд резцедержателей, влияющие на эффективность закрепления резцов. Установлено, что в структуре отказов шнеков типа ШК, оснащенных поворотными тангенциальными резцами, в отличие от шнеков типа ШР, оснащенных радиальными резцами, имеют место отказы, вызванные износом корпусов резцедержателей, что связано с малым радиальным вылетом резцов и недостаточным развалом борозды при резании. Для повышения надежности рекомендовано в наиболее нагруженной кутковой части шнеков типа ШК устанавливать радиальные резцы, а в забойной – поворотные с величиной и направлением угла разворота, зависящими от схемы резания.

Ключевые слова: уголь, очистной комбайн, шнек, структура отказов, резцедержатель, износ, поломка, вероятность безотказной работы, характеристики разрушаемости пласта, прогнозирование надежности шнеков.

Для цитирования: Анализ структуры отказов шнеков очистных комбайнов / Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник, Э.Ю. Воронова и др. // Уголь. 2021. № 4. С. 20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-20-24.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность работы очистных комбайнов в существенной мере зависит от уровня надежности шнековых исполнительных органов, которыми оснащаются практически все комбайны не только в отечественной, но и в зарубежной практике подземной добычи угля [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Поэтому при работе в высоконагруженных очистных забоях, особенно в условиях безлюдной выемки угля, очень важно, чтобы надежность шнеков обеспечивала безотказную работу комбайнов в течение необходимого периода времени. Другими словами,

речь идет о регламентированной замене шнекового исполнительного органа после добычи определенного, наперед заданного объема угля. Для этого необходимо, чтобы в структуре отказов шнеков основная их доля приходилась на постепенные (износосвые) отказы их узлов и элементов, что зависит от параметров исполнительных органов и характеристик разрушаемости угольных пластов.

ОТКАЗЫ ШНЕКОВ ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ

В результате шахтных исследований, выполненных в широком диапазоне изменения характеристик разрушаемости угольных пластов, установлено, что отказы шнеков очистных комбайнов происходят, как правило, не по какой-то одной из причин отказов конкретного узла или элемента, а в сочетании их различных вариантов. Так, испытания шнеков, оснащенных радиальными резцами 1Р080 (шнеки типа ШР), показали, что большинство их отказов связано с выходом из строя резцедержателей, причем отказы по их поломкам составляют в среднем 36%, а по износу гнезд – 49%. Более редкие (от 3,5 до 31%) отказы узла крепления корпуса на валу привода являются наиболее опасными, поскольку мгновенно приводят к полной утрате работоспособности комбайна и к непроизводительным потерям добычи угля.

В настоящее время широкое распространение получили шнеки, оснащенные поворотными тангенциальными резцами (шнеки типа ШК), особенно при эксплуатации на пластах сложного строения с крепкими породными прослойками и крупными твердыми включениями [7, 8, 9, 10]. Опыт эксплуатации показал, что в ряде горно-геологических условий эффективность работы комбайнов, оснащенных такими шнеками, заметно снижалась. Установлено, что в структуре отказов шнеков типа ШК в отличие от шнеков типа ШР, наряду с поломочными отказами резцедержателей (отрывы и разрывы), значительную долю (до 60%) составляют отказы, вызванные износом корпуса последних. Как показал анализ, такие отказы обусловлены малым радиальным вылетом поворотных тангенциальных резцов относительно торца резцедержателя (24–32 мм в зависимости от размеров резца) и отсутствием у них режущей кромки. Поэтому при работе комбайнов с достаточно большими скоростями подачи из-за малого развала борозды резания имеет место, особенно в кутковой части шнека, контактирование резцедержателей с неразрушенным массивом, вероятность возникновения которого возрастает по мере изнашивания (укорачивания) резцов. Указанные факторы являются причиной низкого межремонтного ресурса шнеков типа ШК по отказам, связанным с износом и поломками резцедержателей. Помимо изложенного, при эксплуатации шнеков типа ШК имеют место и другие недостатки, связанные, в частности, с низкой сортоностью добываемого угля, повышенным пылевыделением и энергоемкостью резания угля [11, 12].

Анализ данных, выполненный по результатам более чем двух тысяч отказов шнеков типов ШР и ШК при эксплуатации комбайнов в практически всех существующих условиях по строению и разрушаемости угольных пластов, позволил установить следующее:

– наиболее распространенные отказы шнеков связаны с выходом из строя резцедержателей (более 80%). У шнеков

типа ШР это чаще всего связано с износом гнезд (40–55%) и поломкой (16–32%) резцедержателей, а для шнеков типа ШК – с поломками резцедержателей;

– значения межремонтного ресурса разнятся как по видам отказов, так и по типоразмерам шнеков. Максимальные их значения соответствуют постепенным отказам по износу резцедержателей (от 17,3 до 35 тыс. т), а минимальные – мгновенным отказам узла крепления на валу привода. Последнее не означает, что узел крепления шнека имеет самую низкую надежность. Дело в том, что приведенные значения их межремонтного ресурса справедливы только для рассматриваемого периода стойкости шнека и не учитывают того, что, в отличие от резцедержателей, практически полностью заменяемых при ремонтах шнеков, узел крепления шнека, как правило, эксплуатирует несколько межремонтных периодов;

– шнеки, вышедшие из строя по причине отказов резцедержателей, имеют наиболее низкие значения межремонтного ресурса из-за поломок последних (отрывы и разрывы корпуса), однако для шнеков типа ШР они примерно в 1,5 раза выше, чем для шнеков типа ШК.

Установлено, что принятые для шнеков типа ШК параметры схем расстановки поворотных резцов не обеспечивают эффективное вращение последних в резцедержателях, что часто приводит к повышенному расходу режущего инструмента. С учетом выявленных недостатков рекомендуется кутковую часть шнеков типа ШК и лобовину оснащать радиальными резцами 1Р080, а в забойной части устанавливать поворотные резцы с углом разворота относительно груди забоя $\beta_p = 10^\circ\text{--}15^\circ$ при последовательной схеме резания и $\beta_p = 5^\circ\text{--}10^\circ$ – при шахматной. При этом разворот резца следует производить при шахматной схеме резания в сторону кутковой части исполнительного органа, а при последовательной – в противоположную сторону. Испытания шнеков типа ШК с рекомендованными параметрами показали существенное перераспределение структуры их отказов в сторону уменьшения доли поломочных отказов резцедержателей и увеличения износосвых, что повлекло увеличение примерно в 1,5 раза межремонтного ресурса шнеков.

На *рис. 1* приведены зависимости числа ($n_{\text{отк}}$) и интенсивности ($\lambda_{\text{ш}}$) отказов элементов шнеков от наработки T_Q , построенные по результатам испытаний 18 шнеков типоразмера 2Ш126Р.

Каждая точка на кривой (*см. рис. 1, а*) соответствует отказу какого-либо элемента шнека. Показатель $\lambda_{\text{ш}}$ (*см. рис. 1, б*) представляет собой в данном случае тангенс угла наклона изображенной на *рис. 1, а* кривой $n_{\text{отк}} = f(T_Q)$ и численно равен отношению приращения количества отказов элементов Δn к приращению наработки ΔT_Q . Кривые на *рис. 1* позволяют дать физическое толкование процессам наработки исполнительных органов очистных комбайнов. В начальный период работы исполнительного органа происходит выбраковка некачественно изготовленных узлов и элементов шнеков. В этот период (зона I) интенсивность отказов $\lambda_{\text{ш}}$ элементов шнеков чрезвычайно высока. По мере выбраковки некачественных элементов происходит приработка шнека с постепенным снижением интенсивности отказов и ее последующей (зона II) стабилизацией. В этой зоне отказы элементов и узлов шнеков носят случайный

характер с постоянной интенсивностью, обусловленной наличием в пласте крепких неоднородностей.

По мере дальнейшей наработки в узлах и элементах шнека накапливаются усталостные повреждения, что выражается в основном в виде износа элементов и режы – появлением в них микро- и макротрещин. Начиная с определенной наработки, величина которой зависит от характеристик разрушаемого угольного массива, интенсивность отказов начинает постепенно возрастать, а затем принимает лавинообразный характер (зона III). Наступает полный отказ шнека. В зоне I происходят отказы, связанные в основном с поломками резцедержателей (разрывы и отрывы), и практически отсутствуют отказы, связанные с износом (см. рис. 1, а). В зоне II, как правило, случайным образом происходят отказы узла крепления шнека и поломочные отказы резцедержателей. Зона III, наоборот, характеризуется частыми отказами резцедержателей из-за их износа и изредка поломочными отказами по мере развития макротрещин. Аналогичные характеристики имеют место для шнеков других конструкций.

Как известно, угольные пласты характеризуются широким спектром прочностных свойств угля и вмещающих неоднородностей (породных прослоек и твердых включений) [13, 14, 15]. В силу существенной вариации прочностных свойств угольного массива структура отказов резцедержателей может существенно меняться. Поэтому прогнозирование надежности шнеков в таких случаях должно производиться с учетом вероятности каждого из наиболее характерных видов отказов резцедержателей. В этой связи рассмотрим взаимосвязь вероятности наиболее распространенных видов отказов шнеков по поломкам d_{II} и износу гнезд d_{III} резцедержателей с показателями разрушаемости угольного пласта. Значения вероятностей

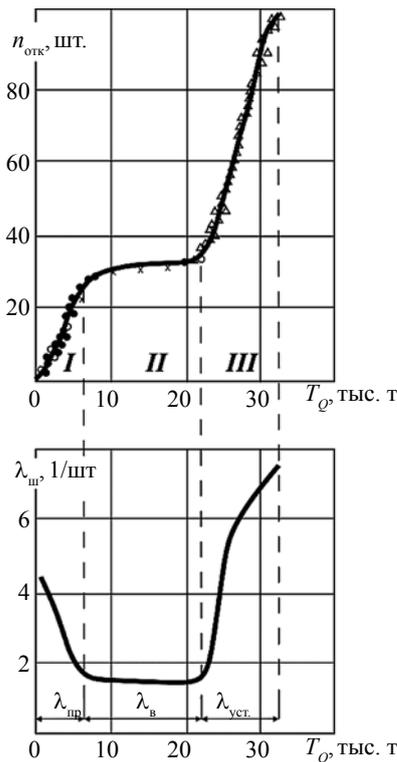


Рис. 1. Зависимости от наработки: количества $n_{отк}$ и интенсивности $\lambda_{шт}$ отказов шнеков; ●, ○, △ – разрыв, отрыв, износ гнезд резцедержателей соответственно; × – отказ узла крепления на валу привода

при анализе около двух тысяч отказов шнеков при эксплуатации комбайнов в 128 очистных забоях принимались в процентах от общего количества шнеков, вышедших из строя из-за отказов резцедержателей ($d_{II} + d_{III} = 100\%$).

На рис. 2 показано сопоставление вероятности отказов шнеков типа Ш88Р по поломкам резцедержателей с сопротивляемостью пласта резанию A_{III} (Н/мм) и показателем эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 (Н/мм), являющимся интегральной характеристикой прочностных свойств пластов, учитывающей удельное содержание и крепость неоднородностей в угольном массиве [13].

Поскольку $d_{II} = 100 - d_{III}$, то для износа гнезд резцедержателей такие зависимости не приводятся.

Видно, что из двух рассмотренных показателей свойств пластов явно выраженная связь значений d_{II} имеет место с показателем эквивалентной сопротивляемости пласта резанию A_3 . Некоторая взаимосвязь прослеживается и в зависимости $d_{II} = f(A_{III})$, однако в области малых значений A_{III} наблюдается недопустимо высокий разброс значений. В этой связи наиболее предпочтительной для инженерных расчетов является взаимосвязь $d_{II} = f(A_3)$, эмпирическое выражение для которой имеет вид:

$$d_{II} = \frac{1,5(A_3 - 160)}{A_3 \cdot 10^{-2}}, \tag{1}$$

тогда:

$$d_{II} = 1 - \frac{1,5(A_3 - 160)}{A_3 \cdot 10^{-2}}. \tag{2}$$

Установленная взаимосвязь $d_{II} = f(A_3)$ подтверждает обоснованность выбора показателя A_3 в качестве показателя, комплексно характеризующего прочностные свойства угольных пластов для прогнозирования надежности исполнительных органов. В данном случае показатель A_3 отражает влияние на поломки резцедержателей преимущественно динамической составляющей процесса резания угольного пласта, которая с ростом A_3 возрастает.

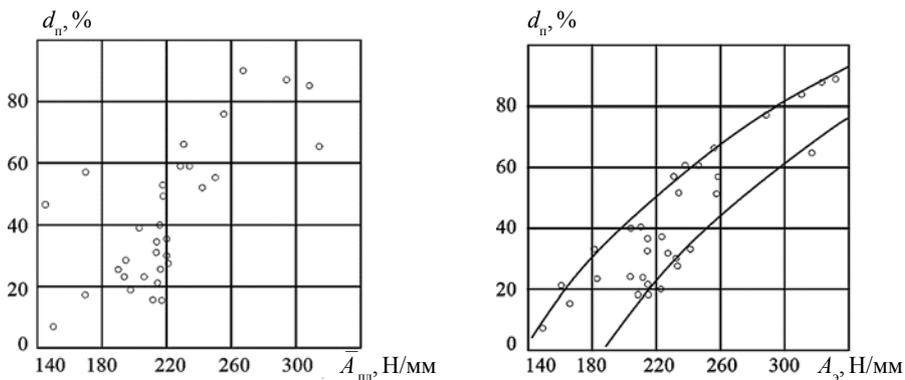


Рис. 2. Зависимость доли отказов шнеков по поломкам d_{II} от показателей свойств пластов A_{III} и A_3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволили установить, что основной причиной отказов шнеков, независимо от условий их эксплуатации, являются отказы, связанные с потерей работоспособности резцедержателей, причем при разрушении пластов сложного строения в структуре отказов преобладают их поломочные отказы, а на пластах простого строения – износосвые. Для увеличения межремонтного ресурса шнеков типа ШК, оснащенных поворотными резцами, необходимо в кутковой, наиболее нагруженной части шнека вместо поворотных резцов устанавливать радиальные, а в забойной части устанавливать поворотные резцы с рекомендованными углами разворота в зависимости от схемы резания.

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. Хорешок А.А., Маметьев Л.Е., Цехин А.М. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. 296 с.
3. 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.
4. Прокопенко С.А. Повышение срока службы комбайновых резцов в угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 1. С. 24-28.
5. Прокопенко С.А. Повышение ресурсоэффективности при изготовлении и использовании горно-режущего инструмента // Современные научные исследования и инновации. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/50499> (дата обращения: 15.03.2021).
6. Хорешок А.А., Цехин А.М., Борисов А.Ю. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 6. С. 2-5.
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. Крестовозвиженский, В.И. Клишин, С.М. Никитенко и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 6. С. 107-115.
9. Study of conical bit rotation using full-scale rotary cutting experiments / E. Kim, J. Rostami, C. Swope et al. // Journal of Mining Science. 2012. N 48. P. 717-731.
10. A theoretical model for predicting the peak cutting force of conical picks / K.D. Gao, C.L. Du, H.X. Jiang et al. // Fratt Integr Strutt. 2014. N 8. P. 43-52.
11. Талеров М.П. Повышение эффективности применения поворотных резцов проходческих комбайнов выбором рациональных геометрических параметров инструментов: дис... канд. техн. наук: Талеров Михаил Павлович. СПб., 2012.
12. Zich A., Linnik Yu.N., Linnik V.Yu. Selecting Parameters of Cutter-Loader Drums for specific Operating Conditions // GeoResources Journal. 2015. N 2. P. 40-44.
13. Комплексная оценка прочностных свойств угольных пластов сложного строения // Ю.Н. Линник, В.Ю. Линник, А.Б. Жабин и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 8. С. 33-42.
14. Estimation of rock strength using scratch test by a miniature disc cutter on rock cores or inside boreholes / A. Naeimipour, J. Rostami, I.S. Buyuksagis et al. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 107. P. 9-18.
15. Wang G., Pang Y. Surrounding rock control theory and longwall mining technology innovation // International Journal of Coal Science & Technology. 2017. Vol. 4. Is. 4. P. 301-309.

Original Paper

UDC [622.232.72.054.53].004.64 © Yu.N. Linnik, V.Yu. Linnik, E.Yu. Voronova, V.A. Evstratov, A. Zich, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 4, pp. 20-24
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-4-20-24>

Title
ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF FAILURES OF AUGERS OF CLEANING COMBINES

Authors

Linnik Yu.N.¹, Linnik V.Yu.¹, Voronova E.Yu.², Evstratov V.A.², Zich A.³

¹ State University of Management, Moscow, 109542, Russian Federation

² Shakhty Automobile and Road Construction Institute (Branch) of Platov SRSPU (NPI), Shakhty, 346500, Russian Federation

³ 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

Linnik V.Yu., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of Economy and management in fuel and energy complex department, e-mail: d0c3n7@gmail.com

Voronova E.Yu., Doctor of Engineering Sciences

Evstratov V.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor

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

MINING EQUIPMENT

Abstract

Based on the performed experimental studies, the characteristic types of failures of the augers of cleaning combines during their operation in various conditions of reservoir destructibility were revealed. When operating combine harvesters, the structure of screw failures usually contains all their characteristic types, the share of each of which depends on the characteristics of the destructibility of coal seams. Most often, the screws fail due to failures of the tool holders. Moreover, during the destruction of layers of complex structure containing large solid inclusions and strong rock layers, instantaneous (breakage) failures of tool holders prevail in the structure of screw failures, and when working on layers of simple structure – gradual (wear) failures of tool holder nests, which affect the efficiency of fixing the cutters. It is established that in the structure of failures of screws of the SHK-type equipped with rotary tangential cutters, in contrast to screws of the SHR-type equipped with radial cutters, there are failures caused by wear of the tool holder housings, which is associated with a small radial flight of the cutters and insufficient furrow collapse during cutting. To increase reliability, it is recommended to install radial cutters in the most loaded cut part of the SHK type augers, and rotary cutters in the bottom hole with the size and direction of the turn angle depending on the cutting scheme.

Keywords

Coal, Cleaning combine, Auger, Failure structure, Cutter, Wear, Breakage, Probability of failure-free operation, Reservoir destructibility characteristics, Auger reliability prediction.

References

1. 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 Tûlskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2018, (2), pp. 247-263. (In Russ.).
2. 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.).
3. 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.
4. Prokopenko S.A. Increasing cutters service life for cutter-loaders in coal mines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2014, (1), pp. 24-28. (In Russ.).
5. 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 15.03.2021). (In Russ.).

6. Khoreshok A.A., Tsekhin A.M. & Borisov A.Yu. Influence of operating conditions of mining combines on the design of their executive bodies. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2012, (6), pp. 2-5. (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. Kim E., Rostami J., Swope C. et al. Study of conical bit rotation using full-scale rotary cutting experiments. *Journal of Mining Science*, 2012, (48), pp. 717-731.
10. Gao K.D., Du C.L., Jiang H.X. et al. A theoretical model for predicting the peak cutting force of conical picks. *Fratt Integr Strutt*, 2014, (8), pp. 43-52.
11. 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.).
12. Zich A., Linnik Yu.N. & Linnik V.Yu. Selecting Parameters of Cutter-Loader Drums for specific Operating Conditions. *GeoResources Journal*, 2015, (2), pp. 40-44.
13. Linnik Yu.N., Linnik V.Yu., Zhabin A.B. et al. Complex assessment of strength properties of coal seams characterized with complex structures. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2019, (8), pp. 33-42. (In Russ.).
14. Naeimipour A., Rostami J., Buyuksagis I.S. et al. 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, (107), pp. 9-18.
15. Wang G. & Pang Y. Surrounding rock control theory and longwall mining technology innovation. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2017, Vol. 4 (4), pp. 301-309.

For citation

Linnik Yu.N., Linnik V.Yu., Voronova E.Yu., Evstratov V.A. & Zich A. Analysis of the structure of failures of augers of cleaning combines. *Ugol*, 2021, (4), pp. 20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-20-24.

Paper info

Received January 18, 2021

Reviewed February 15, 2021

Accepted March 17, 2021