

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА НАДЕЖНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Хорешок А.А.¹, Хажиев В.А.²

¹*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Кемерово;*

²*Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, Челябинск*

Ключевые слова: производственный цикл, надежность, горнодобывающее предприятие, оборудование, технологический комплекс, качество, эксплуатация, ремонтное обслуживание, риск-ориентированный подход.

Аннотация. Система эксплуатации оборудования технологического комплекса является одной из ключевых систем горнодобывающего предприятия, преобразующей до 75% всех производственных ресурсов. Входящие в ее состав подсистемы технического использования и ремонтного обслуживания оборудования оказывают существенное влияние на характеристики производственного цикла предприятия. Характерным для большинства горнодобывающих предприятий России является недостаточное качество условий работы и ремонтного обслуживания оборудования, что обуславливает возникновение его внезапных отказов, которые приводят к снижению надежности производственного цикла, выражаемой его сбоями и риском невыполнения заданного количества продукции с требуемой эффективностью ее производства. Практика показывает, что на горнодобывающих предприятиях для повышения надежности производственного цикла содержится избыточное количество оборудования, используемого для компенсации невыполненной работы выходящего из строя оборудования. Содержание избыточного количества оборудования приводит к тому, что уровень использования технического потенциала оборудования технологического комплекса находится в диапазоне 25-60% от возможного уровня и в среднем составляет 43%. Влияние на показатели результативности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса преимущественно осуществляется посредством технического перевооружения, как правило, без соответствующих изменений качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования. В статье представлен риск-ориентированный подход к повышению надежности производственного цикла горнодобывающего предприятия, базирующийся на оценке влияния качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования на уровень использования технического потенциала оборудования технологического комплекса и оценке риска сбоя производственного цикла из-за внезапных отказов оборудования.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE SYSTEM OF OPERATION OF THE EQUIPMENT OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX ON THE RELIABILITY OF THE PRODUCTION CYCLE OF THE MINING ENTERPRISE

Khoreshok A.A.¹, Khazhiev V.A.²

¹*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo;*

²*Research Institute for the Efficiency and Safety of Mining, Chelyabinsk*

Keywords: production cycle, reliability, mining enterprise, equipment, technological complex, quality, operation, maintenance, risk-based approach.

Abstract. The system for operating the equipment of the technological complex is one of the key systems of a mining enterprise, which converts up to 75% of all production resources. The subsystems of technical use and repair maintenance of equipment included in it have a significant impact on the characteristics of the production cycle of the enterprise. A characteristic feature of the majority of mining enterprises in Russia is the insufficient quality of working conditions and equipment maintenance, which causes its sudden failures, which lead to a decrease in the reliability of the production cycle, expressed by its failures and the risk of not fulfilling a given amount of products with the required efficiency of its production. Practice shows that in order to increase the reliability of the production cycle, mining enterprises contain an excess amount of equipment used to compensate for the backlog of equipment that fails. The maintenance of an excess amount of equipment leads to the fact that the level of use of the technical potential of the equipment of the technological complex is in the range of 25-60% of the possible level and averages 43%. The impact on the performance indicators of the equipment operation system of the technological complex is mainly carried out through technical re-equipment, as a rule, without corresponding changes in the quality of working conditions and equipment maintenance. The article presents a risk-based approach to improving the reliability of the production cycle of a mining enterprise, based on assessing the impact of

the quality of working conditions and equipment maintenance on the level of use of the technical potential of the equipment of the technological complex and assessing the risk of failure of the production cycle due to sudden equipment failures.

1. Введение

Горнодобывающее предприятие как горнотехническая система осуществляет добычу полезного ископаемого на основе формирования и осуществления производственного цикла (рис. 1) [1, 2]. Под производственным циклом понимается законченный цикл работ, выполняемый технологическим комплексом, начиная от подготовки горной массы к выемке и заканчивая процессами складирования готовой продукции для последующей отгрузки потребителю [3]. Существенное влияние на характеристики производственного цикла, такие как длительность, себестоимость и надежность, оказывает система эксплуатации оборудования технологического комплекса. Под системой эксплуатации оборудования технологического комплекса понимается единство подсистем технического использования и ремонтного обслуживания оборудования технологического комплекса, обеспечивающее осуществление производственного цикла горнодобывающего предприятия с определенной его приведенной длительностью и себестоимостью [4].



Рис. 1. Взаимосвязь технологической подсистемы и технологического комплекса горнодобывающего предприятия (доработано [4])

Обеспечение целостности и достижение необходимых результатов функционирования системы эксплуатации оборудования технологического комплекса основано на формировании и развитии структурных взаимосвязей (рис. 2), определяющих результат взаимодействия двух основных ее подсистем: технического использования и ремонтного обслуживания оборудования.

2. Материалы и методы исследований

Результаты взаимодействия подсистем системы эксплуатации оборудования технологического комплекса отражаются на качестве условий работы и ремонтного обслуживания оборудования. В случае если взаимодействие подсистем является конфликтным, то факторы, обусловленные условиями работы и ремонтным обслуживанием оборудования, понижают уровень использования технического потенциала оборудования, в случае комплементарного [5] взаимодействия – повышают уровень использования его технического потенциала. Анализ, оценка и сравнение результатов работы оборудования технологического комплекса на представительном ряде горнодобывающих предприятий позволили выявить, что сочетание определенного качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования,

оказывает существенное влияние на ключевые технико-экономические показатели работы оборудования: производительность, совокупную стоимость владения, эффективность использования технического ресурса, рациональный срок эксплуатации. Результаты проведенных анализа, оценки и сравнения представлены в таблице 1.

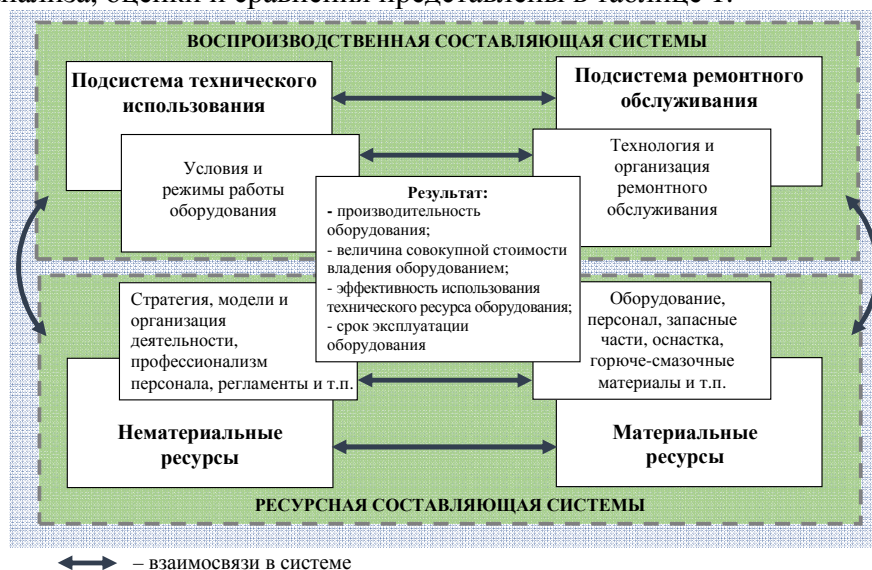


Рис. 2. Взаимосвязи системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия (доработано [4])

Табл. 1. Влияние качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования на показатели эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса (отн. ед.) (доработано [3, 5]), [6-10]

		Качество ремонтного обслуживания оборудования, балл		
		Высокое (7-9 баллов)	Среднее (4-6 баллов)	Низкое (1-3 балла)
Качество условий работы оборудования, балл	Высокое (7-9 баллов)	$Q = 4 - 5$ $S^{вл} = 0,3 - 0,4$ $P(x) = 10 - 16$ $T^{ЭК} = 1,6 - 1,8$	$Q = 3 - 4$ $S^{вл} = 0,4 - 0,6$ $P(x) = 6 - 10$ $T^{ЭК} = 1,5 - 1,7$	$Q = 2,5 - 3,5$ $S^{вл} = 0,45 - 0,65$ $P(x) = 5 - 9$ $T^{ЭК} = 1,2 - 1,4$
	Среднее (4-6 баллов)	$Q = 3,5 - 4,5$ $S^{вл} = 0,35 - 0,5$ $P(x) = 7 - 12$ $T^{ЭК} = 1,5 - 1,6$	$Q = 2,5 - 3,5$ $S^{вл} = 0,5 - 0,7$ $P(x) = 4 - 9$ $T^{ЭК} = 1,3 - 1,5$	$Q = 1,5 - 2,0$ $S^{вл} = 0,8 - 0,9$ $P(x) = 2 - 5$ $T^{ЭК} = 1,1 - 1,2$
	Низкое (1-3 балла)	$Q = 2,5 - 3,5$ $S^{вл} = 0,5 - 0,6$ $P(x) = 4 - 8$ $T^{ЭК} = 1,4 - 1,5$	$Q = 1,2 - 1,7$ $S^{вл} = 0,7 - 0,9$ $P(x) = 2 - 4$ $T^{ЭК} = 1,0 - 1,1$	$Q = 1,0$ $S^{вл} = 1,0$ $P(x) = 1,0$ $T^{ЭК} = 1,0$

Q – годовая производительность оборудования;
 $S^{вл}$ – совокупная стоимость владения оборудованием за весь его срок службы;
 $P(x)$ – эффективность использования технического ресурса оборудования (удельная величина расчетной прибыли, приходящейся на выполненную работу оборудования в период его жизненного цикла [4, 5]);
 $T^{ЭК}$ – рациональный срок эксплуатации оборудования (срок эксплуатации, при котором оборудование является рентабельным [4, 5]);
 1,0 – значения показателей, принятые за единицу (исходные);
 Характеристика взаимодействия подсистем системы эксплуатации оборудования технологического комплекса:
 - комплементарное
 - компромиссное
 - конфликтное

Баллы, отражающие качество условий работы и ремонтного обслуживания оборудования, рассчитываются как произведение баллов характеристик технологии и режима в подсистеме технического использования (табл. 2), технологии и организации в подсистеме ремонтного обслуживания (табл. 3). Характеристики параметров подсистем технического использования и ремонтного обслуживания оборудования были установлены в ходе исследования результатов развития системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающих предприятий и являются универсальными для оценки качества условий работы и ремонтного обслуживания всех видов оборудования, эксплуатируемого на каждом этапе производственного цикла предприятия.

Табл. 2. Качество условий работы оборудования технологического комплекса (доработано [3, 4, 11, 12])

Характеристики подсистемы технического использования		Балл
Технология	Режимы	
Параметры рабочей среды и пространства соответствуют техническим характеристикам оборудования и обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования при производстве продукции с заданными объемом, качеством и себестоимостью	Профессионализм оператора и параметры рабочих циклов обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования при производстве продукции с заданными объемом, качеством и себестоимостью	3
Параметры рабочей среды и пространства частично соответствуют техническим характеристикам оборудования, не обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования, заданный объем и качество продукции обеспечиваются с повышенной себестоимостью	Профессионализм оператора и параметры рабочих циклов не обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования, заданный объем и качество продукции обеспечиваются с повышенной себестоимостью	2
Параметры рабочей среды и пространства не соответствуют техническим характеристикам оборудования, не обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования, не позволяют производить продукцию с заданными объемом, качеством и себестоимостью	Профессионализм оператора и параметры рабочих циклов не обеспечивают полноценное использование технического ресурса оборудования, не позволяют производить продукцию с заданными объемом, качеством и себестоимостью	1

Табл. 3. Качество ремонтного обслуживания оборудования технологического комплекса (доработано [3, 4, 13])

Характеристики подсистемы ремонтного обслуживания		Балл
Технология	Организация	
Методы восстановления работоспособности оборудования обеспечивают сохранение технического ресурса оборудования при производстве продукции с заданными объемом, качеством и себестоимостью	Профессионализм персонала ремонтной службы и ремонтная инфраструктура обеспечивают сохранение технического ресурса оборудования при производстве продукции с заданными объемом, качеством и себестоимостью	3
Методы восстановления работоспособности оборудования не обеспечивают сохранение технического	Профессионализм персонала ремонтной службы и ремонтная инфраструктура не обеспечивают сохранение технического	2

ресурса оборудования, заданный объем и качество продукции обеспечиваются с повышенной себестоимостью	ресурса оборудования, заданный объем и качество продукции обеспечиваются с повышенной себестоимостью	
Методы восстановления работоспособности оборудования не обеспечивают сохранение технического ресурса оборудования, не позволяют производить продукцию с заданными объемом, качеством и себестоимостью	Профессионализм персонала ремонтной службы и ремонтная инфраструктура не обеспечивают сохранение технического ресурса оборудования, не позволяют производить продукцию с заданными объемом, качеством и себестоимостью	1

В качестве интегрального показателя, отражающего влияние качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования на показатели эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса, возможно применять разработанный коэффициент использования технического потенциала оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия.

Коэффициент использования технического потенциала оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия (K^n) целесообразно определять по формуле [3, 14]:

$$K^n = T_n^{мц} / T_\phi^{мц}, \quad (1)$$

где $T_n^{мц}$ и $T_\phi^{мц}$ – соответственно, потенциальная и фактическая приведенная длительность производственного цикла, маш.-ч/м³.

Фактическую приведенную длительность производственного цикла ($T_\phi^{мц}$ возможно рассчитывать по формуле [3]:

$$T_\phi^{мц} = t_\phi^n / V, \text{ маш.-ч/м}^3, \quad (2)$$

где t_ϕ^n – фактическая сумма приведенных машино-часов работы оборудования, задействованного на всех этапах производственного цикла, маш.-ч. Методика расчета фактической суммы приведенных машино-часов работы оборудования представлена в [3];

V – объем извлечения горной массы, включающий в себя пустую породу и полезное ископаемое, м³.

Потенциальная приведенная длительность производственного цикла ($T_n^{мц}$ рассчитывается по формуле [3]:

$$T_n^{мц} = t_n^n / V, \text{ маш.-ч/м}^3, \quad (2)$$

где t_n^n – потенциальная сумма приведенных машино-часов работы оборудования, задействованного на всех этапах производственного цикла, маш.-ч. Методика расчета потенциальной суммы приведенных машино-часов работы оборудования представлена в [3].

Под **приведенной длительностью производственного цикла горнодобывающего предприятия** понимается суммарное приведенное время работы каждой единицы оборудования технологического комплекса, затрачиваемое на прохождение единицей продукции предприятия всех технологических этапов производственного цикла до стадии готовности к отгрузке потребителю [4]. Определение приведенных, а не фактических машино-часов работы оборудования технологического комплекса необходимо в связи с тем, что в производственном цикле задействованы различные виды и типы оборудования и суммирование фактических машино-часов работы всех единиц оборудования будет некорректным, поскольку не позволит учесть вклад более мощного оборудования в результаты производственного цикла по сравнению с менее мощным.

Оценка уровня использования технического потенциала оборудования технологического комплекса ряда горнодобывающих предприятий показала, что величина этого показателя находится в диапазоне 0,25-0,60 от возможного и в среднем составляет 0,43.

Низкий уровень использования технического потенциала оборудования технологического комплекса во многом обусловлен тем, что на предприятиях для снижения рисков невыполнения плановых объемов производства содержится его избыточное количество, которое по сути является резервным и используется в случае возникновения внезапных отказов оборудования. Однако низкий уровень использования технического потенциала оборудования технологического комплекса существенно повышает капитальные затраты предприятия, себестоимость производства и снижает конкурентоспособность предприятия [4, 5, 16].

При повышении уровня использования технического потенциала оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия необходимо учитывать существующие и вновь возникающие угрозы, обусловленные динамичными условиями среды. Улучшение взаимодействия подсистем системы эксплуатации оборудования, основанное на учете фактически случившихся отклонений, не позволяет с достаточной точностью прогнозировать зарождение, развитие и реализацию внезапных отказов оборудования, принимать и реализовывать результативные меры по повышению эффективности и безопасности осуществления производственного цикла [15, 16]. В связи с этим разработан риск-ориентированный подход к повышению надежности производственного цикла, применение которого позволяет переводить внезапные отказы в категорию прогнозируемых, посредством устранения предпосылок, обуславливающих зарождение отказов оборудования и, соответственно, не допускать сбои производственного цикла предприятия. Сбой производственного цикла представляет собой остановку процесса производства или его отклонение от нормативного состояния, приводящие к неспособности предприятия производить заданное количество продукции с требуемой эффективностью. Под надежностью производственного цикла горнодобывающего предприятия понимается его способность производить заданное количество продукции с требуемой эффективностью, сохраняя приемлемый уровень риска сбоя.

Надежность производственного цикла горнодобывающего предприятия следует оценивать величиной риска сбоя производственного цикла (R) и определять по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{T_{nd}^i + T_c^i}{2} \cdot \frac{B_{ky}^i + B_{kp}^i + B_p^i}{3} \right)}{9 \cdot N}, \quad (4)$$

где T_{nd}^i и T_c^i – тяжесть последствий отказа оборудования i -го технологического этапа производственного цикла, баллы. Определяется на основании характеристик приведенной длительности и себестоимости производственного цикла (табл. 4);

B_{ky}^i , B_{kp}^i , B_p^i – вероятность отказа оборудования i -го технологического этапа производственного цикла, баллы. Определяется на основании оценки качества условий работы, ремонтного обслуживания и технического ресурса оборудования (табл. 5);

N – количество технологических этапов в производственном цикле предприятия;

9 – максимальное количество баллов для одного технологического этапа;

i – технологический этап.

Величину риска сбоя производственного цикла также необходимо определять по оборудованию каждого технологического этапа в отдельности, что позволяет принимать обоснованные решения о приоритетах воздействий при повышении качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования. Приоритет воздействий отдается технологическому этапу, оборудование которого характеризуется наибольшей тяжестью последствий внезапных отказов, а затраты на повышение качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования для снижения риска сбоя производственного цикла являются наименьшими.

Табл. 4. Тяжесть последствий от отказа оборудования в отношении сбоя производственного цикла

Характеристика производственного цикла	Тяжесть последствий		
	Некритичная	Значимая	Критичная
	Балл		
	1	2	3
Последствия сбоя производственного цикла			
Приведенная длительность ($T_{пд}^i$)	Заданное количество и качество продукции обеспечивается с незначительными нарушениями заданных технологических параметров, не требующими в последующем восстановительных работ	Заданное количество и качество продукции обеспечивается со значительными нарушениями заданных технологических параметров, требующими в последующем восстановительных работ	Невозможность обеспечения заданного количества и качества продукции, приводящая к потере рынков сбыта
Себестоимость (T_c^i)	Незначительное увеличение стоимости владения оборудованием	Стоимость владения оборудованием увеличивается до уровня конкурентов	Стоимость владения оборудованием превышает выручку предприятия

Табл. 5. Вероятность отказа оборудования

Показатель работы оборудования	Вероятность		
	Малая	Допустимая	Высокая
	Балл		
	1	2	3
Характеристика эксплуатации оборудования			
Качество условий работы оборудования ($B_{ку}^i$)	Качество условий работы оборудования, соответствующее 3-м баллам (см. табл. 2)	Качество условий работы оборудования, соответствующее 2-м баллам (см. табл. 2)	Качество условий работы оборудования, соответствующее 1-му баллу (см. табл. 2)
Качество ремонтного обслуживания оборудования ($B_{кр}^i$)	Качество ремонтного обслуживания оборудования, соответствующее 3-м баллам (см. табл. 3)	Качество ремонтного обслуживания оборудования, соответствующее 2-м баллам (см. табл. 3)	Качество ремонтного обслуживания оборудования, соответствующее 1-му баллу (см. табл. 3)
Технический ресурс оборудования (B_p^i)	Работа оборудования на нормальной стадии эксплуатации	Работа оборудования на предзавершающей стадии эксплуатации	Работа оборудования на стадии приработки или завершающей

3. Результаты

С применением предложенного подхода при анализе результатов деятельности ООО «СУЭК-Хакасия» за период 2010-2020 гг. были выявлены экспоненциальные зависимости величины использования технического потенциала оборудования технологического комплекса и величины себестоимости производства от риска сбоя производственного цикла, которые характерны для такого типа объекта (рис. 3). За рассматриваемый период на

предприятия риск сбоя производственного цикла снизился более чем в 2 раза, что позволило увеличить уровень использования технического потенциала оборудования технологического комплекса в 1,4 раза и сократить себестоимость производства в 1,7 раза [17-18].

Полученные зависимости (коэффициенты аппроксимации 0,86 и 0,71) позволяют в процессе повышения надежности осуществления производственного цикла обосновывать целесообразность вложения ресурсов в повышение качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования для повышения эффективности горного производства посредством снижения риска сбоя производственного цикла.

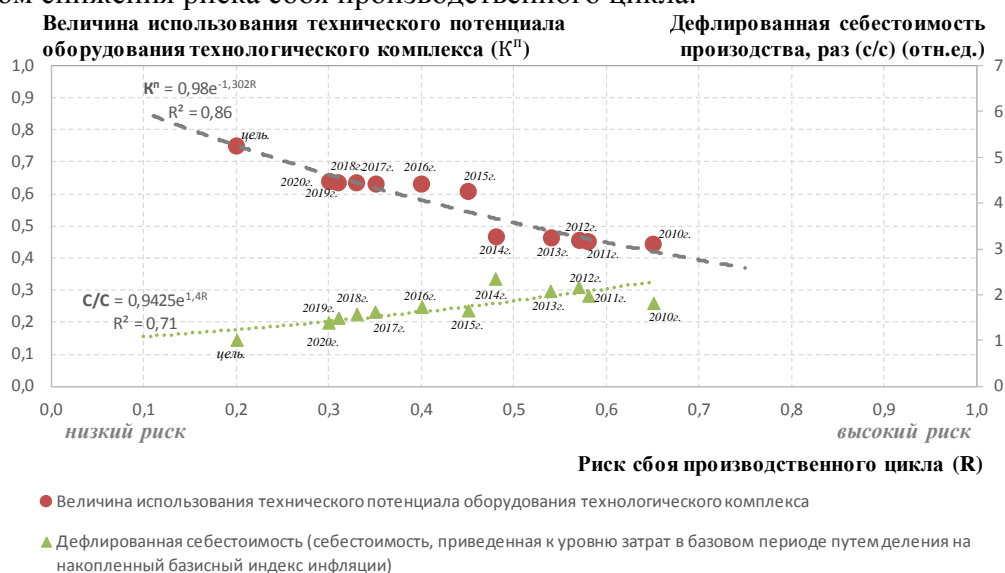


Рис. 3. Зависимость величины использования технического потенциала оборудования технологического комплекса и себестоимости производства от риска сбоя производственного цикла в ООО «СУЭК-Хакасия»

4. Заключение

Представленный в статье риск-ориентированный подход к повышению надежности производственного цикла горнодобывающего предприятия, измеряемой риском его сбоя, позволил произвести оценку влияния системы эксплуатации оборудования технологического комплекса на надежность производственного цикла горнодобывающего предприятия. Исследование и обобщение результатов повышения надежности производственного цикла предприятий ООО «СУЭК-Хакасия», а также других предприятий добывающего сектора промышленности России, позволили установить следующее:

- связи величины использования технического потенциала оборудования технологического комплекса и себестоимости производства от риска сбоя производственного цикла, описываются экспоненциальными функциями с коэффициентами аппроксимации более 0,7;

- изменение величины риска сбоя производственного цикла на 0,1 приводит к изменению уровня использования технического потенциала оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия в среднем на 12% и себестоимости производства в среднем на 15%.

Повышение надежности производственного цикла достигается на основе устранения предпосылок, обуславливающих зарождение отказов оборудования, посредством повышения качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования, что позволяет значительно улучшать технико-экономические показатели работы оборудования: увеличить производительность оборудования до 5 раз, эффективность использования технического ресурса – до 16 раз, рациональный срок эксплуатации – до 1,8 раза и сократить совокупную стоимость владения – до 3 раз.

Представленные в статье характеристики качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования, формулы расчета уровня использования технического

потенциала оборудования технологического комплекса, риска сбоя производственного цикла, выявленное влияние качества условий работы и ремонтного обслуживания оборудования на показатели эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса, а также зависимости величины использования технического потенциала оборудования технологического комплекса и себестоимости производства от риска сбоя производственного цикла являются методическим инструментарием для повышения эффективности горного производства посредством развития системы эксплуатации оборудования технологического комплекса.

Список литературы

1. Каплунов Д.Р. Современное содержание методологии проектирования освоения недр // Недропользование XXI век. – 2008. – №1. – С. 32-34.
2. Соколовский А.В. Методология проектирования технологического развития действующих карьеров: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук. – Москва, 2009. – 38 с.
3. Хажиев В.А. Концепция развития системы эксплуатации технологического комплекса горнодобывающего предприятия // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – №2(160). – С. 3-13. – DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-3-13.
4. Хажиев В.А. Развитие системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия: теория и практика: монография. – Челябинск: Изд. центр «Титул», 2022. – 198 с.
5. Хажиев В.А. Оценка результативности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горнодобывающего предприятия // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – №3(151). – С. 64-74. – DOI: 10.26730/1999-4125-2022-3-64-74.
6. Воронов А.Ю., Хорешок А.А., Воронов Ю.Е., Буянкин А.В. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №2. – С. 19-26.
7. Горюнов С.В., Хорешок А.А. Влияние дорожных условий на износ протектора крупногабаритных шин карьерных автосамосвалов // Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России». – Прокопьевск: Изд-во Филиала ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева» в г.Прокопьевске, 2020. – С. 152-156.
8. Квагинидзе В.С., Ворсина Е.В., Арсланов К.Р. Определение показателей для оценки эффективности технологии горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S2. – С. 167-174.
9. Квагинидзе В.С., Мансуров А.А., Поповская М.Н. Интенсификация производства через эффективное использование действующего оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S4. – С. 356-360.
10. Зырянов И.В., Лель Ю.И., Ильбульдин Д.Х., Мартынов Н.В., Ганиев Р.С. Производительность выемочно-погрузочного оборудования // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2016. – №8. – С. 11-20.
11. Тарасов П.И., Зырянов И.В., Фелелов Е.В. Дифференциация условий эксплуатации карьерных автосамосвалов // Горная промышленность. – 2016. – № 3(127). – С. 51.
12. Лель Ю.И., Мусихина О.В., Глебов И.А., Зырянов И.В., Ильбульдин Д.Х. Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 4(48). – С. 66-71.
13. Квагинидзе В.С., Корецкая Н.А., Чупейкина Н.Н., Акименко В.В., Ахременков А.В. К вопросу совершенствования структуры ремонтных циклов горно-транспортного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S3. – С. 310-314.
14. Воронов А.Ю., Хорешок А.А., Воронов Ю.Е., Жданов В.Л. Обоснование показателей качества функционирования карьерного экскаваторно-автомобильного комплекса // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – №4. – С. 3-9.
15. Байкин В.С. Развитие мониторинга системы эксплуатации горно-транспортного оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – Спецвыпуск №64. – С. 107-115.
16. Шаповаленко Г.Н., Еремеев О.Н., Назаренко С.В., Кудря Е.В., Байкин В.С. Организация работы по снижению количества внезапных отказов автомобилей БелАЗ на разрезе «Черногорский» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – Спецвыпуск №62. – С. 77-83.
17. Килин А.Б. Методика формирования инновационной организационной структуры угледобывающего производственного объединения: автореф. ... дисс. Канд. техн. наук. Москва, 2010. – 23 с.
18. Килин А.Б., Азев В.А., Костарев А.С., Баев И.А., Галкина Н.В. Эффективное развитие угледобывающего производственного объединения: практика и методы / под ред. В.Б. Артемьева. – М.: Изд-во «Горная книга», 2019. – 280 с.

References

1. Kaplunov D.R. Modern content of the design methodology for the development of subsoil // Subsoil use XXI century. 2008, no. 1, pp. 32-34.
2. Sokolovsky A.V. Methodology for designing the technological development of existing quarries: abstract of diss. ... dr. of tech. sc. – Moscow, 2009. – 38 p.
3. Khazhiev V.A. The concept of development of the system of operation of the technological complex of a mining enterprise // Mining equipment and electromechanics. 2022, no. 2(160), pp. 3-13. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-3-13.
4. Khazhiev V.A. Development of the system for operating the equipment of the technological complex of a mining enterprise: theory and practice: monograph. – Chelyabinsk: Publ. center «Titul», 2022. – 198 p.
5. Khazhiev V.A. Evaluation of the effectiveness of the system for operating the equipment of the technological complex of a mining enterprise // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022, no. 3 (151), pp. 64-74. doi: 10.26730/1999-4125-2022-3-64-74.
6. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Buyankin A.V. Evaluation of the quality of work of excavator-automobile complexes of cuts in Kuzbass // Mining equipment and electromechanics. 2020, no. 2, pp. 19-26.
7. Goryunov S.V., Khoreshok A.A. Influence of road conditions on the wear of the tread of large-sized tires of mining dump trucks // Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference «Prospects for Innovative Development of Coal Regions of Russia». – Prokopyevsk: Publishing House Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev» in Prokopyevsk, 2020. – P. 152-156.
8. Kvaginidze V.S., Vorsina E.V., Arslanov K.R. Determination of indicators for evaluating the effectiveness of the technology of a mining enterprise // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2012, no. S2, pp. 167-174.
9. Kvaginidze V.S., Mansurov A.A., Popovskaya M.N. Intensification of production through the efficient use of existing equipment // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2012, no. S4, pp. 356-360.
10. Zyryanov I.V., Lel Yu.I., Ilbul'din D.Kh., Martynov N.V., Ganiev R.S. Productivity of excavation and loading equipment News of higher educational institutions // Mining journal. 2016, no. 8, pp. 11-20.
11. Tarasov P.I., Zyryanov I.V., Fefelov E.V. Differentiation of operating conditions for mining dump trucks // Mining industry. 2016, no. 3(127), pp. 51.
12. Lel Yu.I., Musikhina O.V., Glebov I.A., Zyryanov I.V., Ilbuldin D.Kh. The method of rationing the fuel consumption of dump trucks in deep quarries // Bulletin of the Ural State Mining University. 2017, no. 4 (48), pp. 66-71.
13. Kvaginidze V.S., Koretskaya N.A., Chupeikina N.N., Akimenko V.V., Akhremenkov A.V. On the issue of improving the structure of repair cycles of mining and transport equipment // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2011, no. S3, pp. 310-314.
14. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Zhdanov V.L. Substantiation of indicators of the quality of functioning of a quarry excavator-automobile complex // Mining equipment and electromechanics. 2019, no. 4, pp. 3-9.
15. Baikin V.S. Development of monitoring of the system of operation of mining and transport equipment // Mining Information and Analytical Bulletin. 2018, special issue no. 64, pp. 107-115.
16. Shapovalenko G.N., Ereemeev O.N., Nazarenko S.V., Kudrya E.V., Baikin V.S. Organization of work to reduce the number of sudden failures of BelAZ vehicles at the Chernogorsky open pit // Mining Information and Analytical Bulletin. 2015, no. S62, pp. 77-83.
17. Kilin A.B. Methodology for the formation of an innovative organizational structure of a coal-mining production association: abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – Moscow, 2010. – 23 p.
18. Kilin A.B., Azev V.A., Kostarev A.S., Baev I.A., Galkin N.V. Effective development of a coal mining production association: practice and methods / ed. by V.B. Artemiev. – M.: Publ. house «Mountain Book», 2019. – 280 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Хорешок Алексей Алексеевич – доктор технических наук, профессор, директор горного института, профессор кафедры горных машин и комплексов	Khoreshok Aleksey Alekseevich – doctor of technical sciences, professor, director of the mining institute, professor of the department of mining machines and complexes
Хажиев Вадим Аслямович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией эффективной эксплуатации оборудования vadimkhazhiev@gmail.com	Khazhiev Vadim Aslyamovich – candidate of technical sciences, head of the laboratory for efficient operation of equipment

Получена 19.08.2022



№ 16

ISSN 2658-3305

**Транспортное, горное
и строительное
машиностроение:
наука и производство**



Санкт-Петербург, 2022



ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ: НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО

Журнал публикует статьи, обзоры и краткие сообщения по результатам научно-исследовательских работ по следующим направлениям и научным специальностям:

1. Математика и механика:

- 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин;
- 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

2. Машиностроение:

- 2.5.2. Машиноведение;
- 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы;
- 2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы.

3. Недропользование и горные науки:

- 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин;
- 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика;
- 2.8.7. Теоретические основы проектирования горнотехнических систем;
- 2.8.8. Геотехнология, горные машины.

Научно-образовательный журнал.

Издается с 2018г.

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС 77 - 77557.

Периодичность – 4 номера в год.

С 21.04.2022г. журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна (ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778, г.Санкт-Петербург).

Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. –
Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – № 16. – 155 с.

Целями журнала являются развитие фундаментальных и прикладных исследований в горно-геологических и технических науках, способствование продвижению их результатов в национальное и международное научное сообщество, повышение качества подготовки специалистов для горнодобывающей и машиностроительной отраслей промышленности, публикация докладов конференций профильной направленности.

Редакционная коллегия:

- Жуков Иван Алексеевич* – главный редактор, д.т.н., доцент, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, директор Научно-исследовательского центра «МашиноСтроение», г.Санкт-Петербург;
- Балакина Екатерина Викторовна* – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», Волгоградский государственный технический университет, г.Волгоград;
- Болобов Виктор Иванович* – д.т.н., старший научный сотрудник, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, г.Санкт-Петербург;
- Габараев Олег Знаурович* – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Горное дело», Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г.Владикавказ;
- Еремьянц Виктор Эдуардович* – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Институт машиноведения и автоматики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г.Бишкек, Кыргызстан;
- Лагунова Юлия Андреевна* – д.т.н., профессор, профессор кафедры горных машин и комплексов, Уральский государственный горный университет, г.Екатеринбург;
- Наумкин Николай Иванович* – к.т.н., д.п.н., профессор, заведующий кафедрой основ конструирования механизмов и машин, Национальный исследовательский Мордовский государственный университета им. Н.П. Огарёва, г.Саранск;
- Новичихин Алексей Викторович* – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой логистики и коммерческой работы, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г.Санкт-Петербург;
- Сарбаев Владимир Иванович* – д.т.н., профессор, профессор кафедры наземных транспортных средств, Московский политехнический университет, г.Москва;
- Саруев Лев Алексеевич* – д.т.н., профессор, профессор отделения нефтегазового дела, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск;
- Степанов Юрий Александрович* – д.т.н., доцент, профессор кафедры ЮНЕСКО по информационным вычислительным технологиям, Кемеровский государственный университет, г.Кемерово;
- Унаспеков Берикбай Акибаевич* – д.т.н., профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, профессор кафедры «Инженерные системы и сети», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г.Алматы, Казахстан;
- Червов Владимир Васильевич* – д.т.н., заведующий лабораторией механизации горных работ, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г.Новосибирск;
- Шадрин Анатолий Александрович* – д.т.н., доцент, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства, Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г.Москва;
- Шигин Андрей Олегович* – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Горные машины и комплексы», Сибирский федеральный университет, г.Красноярск.



No. 16, 2022

ISSN 2658-3305

TRANSPORT, MINING AND CONSTRUCTION ENGINEERING: SCIENCE AND PRODUCTION

Accepted for publication articles, abstracts, reviews and short communications on the results of scientific research in the following areas:

1. Mathematics and Mechanics:

Theoretical mechanics, dynamics of machines;
Mechanics of a deformable solid.

2. Mechanical engineering:

Machine science;
Ground transportation and technological facilities and complexes;
Machines, aggregates and technological processes.

3. Subsurface use and mining sciences:

Technology of drilling and development of wells;
Geomechanics, rock destruction, mining aerogasodynamics and mining thermophysics;
Theoretical foundations of mining engineering systems design;
Geotechnology, mining machines.

Scientific-Educational Journal.
Published since 2018.
Frequency – 4 issues per year.

Since 04/21/2022 journal has been included in the List of peer-reviewed scientific publications of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation, in which the main scientific results of dissertations for the degree of candidate of sciences, for the degree of doctor of sciences should be published.

Founder: Elena V. Zhukova.

Transport, mining and construction engineering: science and production. –
Saint-Petersburg: SRC MS, 2022. – No. 16. – 155 p.

The objectives of the journal are development of fundamental and applied research in geological and technical sciences, introduction of their results in national and international scientific community, improving the quality of training specialists for mining and engineering industries, publication of the reports of the conferences of professional orientation.

Editorial Board:

- Ivan Zhukov* – chief editor, doctor of technical sciences, associate professor, professor of department of mechanical engineering, Saint-Petersburg mining university, Scientific Research Centre "MachineStructure", Saint-Petersburg, Russia;
- Ekaterina Balakina* – doctor of technical sciences, associate professor, professor of department of «Technical exploitation and repair of cars», Volgograd state technical university, Volgograd, Russia;
- Victor Bolobov* – doctor of technical sciences, senior researcher, professor of department of mechanical engineering, Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia;
- Oleg Gabaraev* – doctor of technical sciences, professor, head of Mining department, North Caucasian institute of mining and metallurgy (state technological university), Vladikavkaz, Russia;
- Victor Eremyants* – doctor of technical sciences, professor, chief researcher, Institute of Machine Science and Automation of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan;
- Yulya Lagunova* – doctor of technical sciences, professor of department of mining machines and complexes, Ural state mining university, Ekaterinburg, Russia;
- Nikolay Naumkin* – doctor of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, head of department of fundamentals of designing mechanisms and machines, N.P.Ogarev Mordovia state university, Saransk, Russia;
- Alexey Novichihin* – doctor of technical sciences, associate professor, head of department of logistics and commercial work, Emperor Alexander I Saint-Petersburg state transport university, Saint-Petersburg, Russia;
- Vladimir Sarbaev* – doctor of technical sciences, professor of department of motor vehicles, Moscow polytechnic university, Moscow, Russia;
- Lev Saruev* – doctor of technical sciences, professor of department of oil and gas business, National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia;
- Stepanov Yuri* – doctor of technical sciences, professor of department of informatics and computer engineering, Novokuznetsk Institute (branch) "Kemerovo state University", Novokuznetsk, Russia;
- Berikbay Unspecov* – doctor of technical sciences, academic of National engineering academy of Republic of Kazakhstan, professor of department "Engineering systems and networks", Kazakh national technical university, Almaty, Kazakhstan;
- Vladimir Chervov* – doctor of technical sciences, head of laboratory of mechanization of mining, Institute of mining Siberian branch of Russian academy of sciences, Novosibirsk, Russia;
- Anatoliy Shadrin* – doctor of technical sciences, associate professor, professor of department of technologies and equipment of timber industry, Mytishchi branch of Moscow state technical university named N.E. Bauman (national research university), Moscow state forest university, Moscow, Russia;
- Andrey Shigin* – doctor of technical Sciences, professor of department "Mining machines and complexes", Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

Математика и механика

1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

- Савельев А.Н., Макаров А.В., Анисимов Д.О.** Оценка динамической составляющей напряжения в материале при мелкоступенчатом нагружении образца на растяжение9
- Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Николаев А.В.** Концепция динамических инвариантов в оценке вибрационных полей рабочих органов вибрационных технологических машин18

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

- Зеньков Е.В.** Моделирование напряженно-деформированного состояния арочной конструкции для освещения автодороги в условиях гидротехнического сооружения24
- Казakov К.Е.** Об учете сложных форм и поверхностных свойств контактирующих тел в задаче взаимодействия трубы и осесимметричной вставки31

Машиностроение

2.5.2. Машиноведение

- Дворников Л.Т., Жуков И.А.** Принципиальные уточнения понятия перекрытия зацепления эвольвентных зубчатых передач37
- Серeda Н.А., Галочкина А.И.** Машины для перемещения изделий с поступательным движением звена, связанного с захватом46
- Алисин В.В.** Повышение износостойкости цилиндрических втулок тяжелых дизелей лазерной обработкой51

2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

- Алешков Д.С., Корчагин П.А., Тетерина И.А.** Исследование работы физических моделей вертикального и горизонтального питателей снегоочистителя56
- Поляков П.А.** Определение положения центра давления в системе «прижимающий элемент – тормозная колодка – тормозной диск»62

2.5.21. Машины, агрегаты и технологические процессы

Лукиенко Л.В. Подъёмная установка, оснащённая зубчато-реечной системой перемещения.....	70
Ханин С.И., Воронов В.П., Кикин Н.О., Мордовская О.С. Математическое описание мощности, потребляемой приводом горизонтального лопастного смесителя с цилиндрическими стержневыми элементами	75
Шеметова О.М., Фадин Ю.М. Проведение экспериментальных исследований процесса смешения в пневмосмесителе	83
Герасимов М.Д., Горлов А.С., Рязанцев В.Г., Любимый Н.С., Бражник Ю.В. Формирование идеального закона изменения вынуждающей силы вибрационного устройства с асимметричными колебаниями с использованием ряда Фурье	89
Федотов Е.С. Исследование эффективности работы вентилируемого перфорированного тормозного диска.....	97

Недропользование и горные науки

2.8.8. Геотехнология, горные машины

Соловьев И.В., Михайлов А.В. Особенности компоновки технологического модуля для добычи торфяного сырья малой степени разложения	103
Иванов С.Л., Мякотных А.А., Князькина В.И. Повышение работоспособности гидрофицированного горного оборудования для реализации климатически нейтральной геотехнологии торфа	110
Хорешок А.А., Хажиев В.А. Оценка влияния системы эксплуатации оборудования технологического комплекса на надежность производственного цикла горнодобывающего предприятия	117
Мартюшова А.А., Хазанова О.В., Новикова А.Д. Формирование позиционной точности соединения ниппель-корпус алмазного долота	127
Бочков В.С., Хазин М.Л., Кривелев М.Д., Великанов В.С., Бочкова К.В. О влиянии изменения частоты вращения шатуна щековой дробилки на её технологические показатели	133
Хазин М.Л., Фурзиков В.В., Тарасов П.И. Перспективные энергоносители для мощной карьерной и дорожной техники	139
Нго Ву Нгуэн, Нго Ван Туан, Нгуен Тхэ Винь, Нгуен Суан Хынг. Обоснование метода восстановления работоспособности штоков гидростоек крепей очистных забоев.....	146

CONTENTS

Mathematics and Mechanics

Theoretical mechanics, dynamics of machines

Saveliev A.N., Makarov A.V., Anisimov D.O. Evaluation of the dynamic component of the stress in the material under small-step loading of the specimen in tension9

Eliseev A.V., Kuznetsov N.K., Nikolaev A.V. The concept of dynamic invariants in the evaluation of the vibration field of the working body of a vibrating technological machine....18

Mechanics of a deformable solid

Zenkov E.V. Simulation of the stress-strain state of arch structure for highway lighting under the conditions of hydro-engineering structures.....24

Kazakov K.E. On the consideration of complex shapes and surface properties of contacting bodies in the problem of interaction of a pipe and an axisymmetric insert31

Mechanical engineering

Machine science

Dvornikov L.T., Zhukov I.A. Fundamental clarifications of the concept of overlapping engagement of involute gears37

Sereda N.A., Galochkina A.I. Machines for moving products with the translational movement of the link associated with the capture46

Alisin V.V. Increasing the wear resistance of cylinder bushings of heavy diesel engines by laser treatment.....51

Ground transportation and technological facilities and complexes

Aleshkov D.S., Korchagin P.A., Teterina I.A. Study of the operation of physical models of vertical and horizontal snowplow feeders.....56

Polyakov P.A. Determination of the position of the pressure center in the system «clamping element – brake pad – brake disc»62

Machines, aggregates and technological processes

- Lukienko L.V.** Lifting installation equipped with rack-and-pinion system of movement 70
- Khanin S.I., Voronov V.P., Kikin N.O., Mordovskaya O.S.** Mathematical description of the power consumed by the drive of a horizontal paddle mixer with cylindrical rod elements 75
- Shemetova O.M., Fadin Yu.M.** Experimental studies of the mixing process in a pneumatic mixer..... 83
- Gerasimov M.D., Gorlov A.S., Ryazantsev V.G., Lyubimiy N.S., Brazhnik Yu.V.** Formation of an ideal law of change in the force of a vibrating device with asymmetric oscillations using the Fourier series 89
- Fedotov E.S.** Investigation of the efficiency of the ventilated perforated brake disc 97

Subsurface use and mining sciences

Geotechnology, mining machines

- Soloviev I.V., Mikhailov A.V.** Features of the layout of the technological module for extracting peat raw materials with a low degree of decomposition 103
- Ivanov S.L., Myakotnykh A.A., Knyazkina V.I.** Improvement of operability of hydroficated mining equipment for implementation of climate-neutral peat geotechnology 110
- Khoreshok A.A., Khazhiev V.A.** Assessment of the influence of the system of operation of the equipment of the technological complex on the reliability of the production cycle of the mining enterprise 117
- Martyushova A.A., Khazanova O.V., Novikova A.D.** Formation of the nipple-body connection positional accuracy of the diamond bit..... 127
- Bochkov V.S., Khazin M.L., Krivelev M.D., Velikanov V.S., Bochkova K.V.** On the effect of changing the rotational frequency of the rod of a jaw crusher on its technological indicators 133
- Khazin M.L., Furzikov V.V., Tarasov P.I.** Promising energy resources for powerful mining and road equipment 139
- Ngo Vu Nguyen, Ngo Van Tuan, Nguyen The Vinh, Nguyen Xuan Hung.** Substantiation of the rods restoring operability method of the hydraulic supports of the treatment faces 146

Научно-образовательный журнал

ISSN 2658-3305

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ: НАУКА И ПРОИЗВОДСТВО

№ 16

Подписано в печать 24.10.22г.

Формат бумаги 60x84/8. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 18,02. Тираж 300 экз. Заказ №22-17. Свободная цена.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор):

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС 77 – 77557 от 31.12.2019.

Подписной индекс по каталогу «Почта России»: ПМ179.

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,
г.Санкт-Петербург).

Главный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение».
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru/tgism.html>

E-mail: spbf@srcms.ru