

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 622.673.1-28:62-192
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-33-40



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ПРОХОДКИ СТВОЛОВ И ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Куручкин А.И.¹, Габбасов Б.М.¹, Подболотов С.В.¹, Усов И.Г.¹, Пикалов В.А.², Гавришев С.Е.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

² ООО «Научно-технический центр “Геотехнология”», Челябинск, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Представлен анализ надежности подъемных машин, оснащенных различными системами приводов, используемых при подземном способе добычи полезных ископаемых и проходке стволов строящихся шахт, что является, несомненно, актуальной задачей в связи с постоянно увеличивающимися глубинами и протяженностью подземных выработок, связанными со снижением концентрации полезного компонента в рудах. **Цель работы.** Анализ возможных решений для модернизации системы привода шахтного подъема путем предварительного анализа его надежности и долговечности эксплуатации. **Используемые методы.** В работе использованы методы численного расчета надежности, интенсивности отказов элементов подъемных установок, графический анализ основных параметров надежности, который позволяет судить о рациональном выборе системы привода подъема. **Новизна.** Разработан метод расчета надежности приводов подъемных установок и ее основных параметров, проведен поэлементный анализ интенсивности отказов, представлены рекомендации. **Результат.** Разработанная методика будет полезна при проектировании шахтного подъема для больших глубин разработки и проходки недр. Изучена проблема надежности основных систем приводов шахтных подъемных машин, решение которой позволит более тщательно продумать и организовать безопасную эксплуатацию шахтного подъема при добыче полезных ископаемых на больших глубинах и проходке вертикальных стволов строящихся шахт. **Практическая значимость.** Изучение параметров надежности подъемных установок при эксплуатации на больших глубинах имеет важнейшую практическую значимость, так как возникающие динамические нагрузки на привод подъемной установки соизмеримы с весом груза и свиваемого на всю глубину шахты тягового органа, не учитывая возможные аварийные режимы торможения.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, асинхронный привод, тиристорный привод, надежность, интенсивность отказов, полезные ископаемые

© Куручкин А.И., Габбасов Б.М., Подболотов С.В., Усов И.Г., Пикалов В.А., Гавришев С.Е., 2024

Для цитирования

Повышение эффективности работы подъемных машин, эксплуатируемых на больших глубинах проходки стволов и при добыче полезных ископаемых / Куручкин А.И., Габбасов Б.М., Подболотов С.В., Усов И.Г., Пикалов В.А., Гавришев С.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 33-40. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-33-40>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

INCREASING EFFICIENCY OF PERFORMANCE OF HOISTING UNITS OPERATING AT GREAT DEPTHS OF SHAFT SINKING AND IN MINING OPERATIONS

Kurochkin A.I.¹, Gabbasov B.M.¹, Podbolotov S.V.¹, Usov I.G.¹, Pikalov V.A.², Gavrishev S.E.¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

² LLC Scientific and Technical Center Geotechnology, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The article presents an assessment of reliability of mine hoisting machines equipped with various drive systems used in underground mining and drilling of shafts of mines under construction, which is undoubtedly a currently relevant task due to constantly increasing depths and length of underground workings associated with a decrease in the concentration of a useful component in ores. **Objectives.** The study aims at analyzing possible solutions applied to modernize the shaft hoisting drive system by a preliminary analysis of its reliability and lifetime. **Methods Applied.** The research uses methods of numerical calculation of reliability, failure rate of elements of hoisting units, a graphical analysis of main parameters of reliability to assess a reasonable selection of a lift drive system. **Originality.** The authors developed a method for calculating reliability of drives of hoisting units and their main parameters, carried out an element-by-element analysis of the failure rate, and gave recommendations. **Result.** The developed methodology will be useful in designing headframes for great depths of development and penetration of subsoil. The authors have studied a problem of reliability of the main drive systems of mine hoisting machines, whose solution will make it possible to more carefully consider and organize the safe operation of headframes for mining at great depths and penetrating vertical shafts of mines under construction. **Practical Relevance.** The study on the reliability parameters of hoisting units during operation at great depths is of practical importance, since the resulting dynamic loads on the drive of the hoisting unit are commensurate with weight of the load and the pulling element descending to the entire depth of the shaft, not taking into account the possible emergency braking modes.

Keywords: shaft hoisting unit, asynchronous drive, thyristor drive, reliability, failure rate, minerals

For citation

Kurochkin A.I., Gabbasov B.M., Podbolotov S.V., Usov I.G., Pikalov V.A., Gavrishev S.E. Increasing Efficiency of Performance Of Hoisting Units Operating at Great Depths of Shaft Sinking and in Mining Operations. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 33-40. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-33-40>

Введение

Процесс шахтного подъема отличается высоким уровнем трудоемкости в период эксплуатации. Основным функциональным требованием установки является повышение надежности. Надежность определяется известными показателями, главными из которых являются безотказность и долговечность. В процессе работы подъема отказы недопустимы, приводят к простоям горного производства и аварийным ситуациям.

Увеличения показателей надежности подъемных машин возможен путем анализа каждого элемента (детали) подъема на предмет снижения интенсивности его отказов.

Несомненно, инновации и модернизация в области шахтного подъема должны быть сосредоточены на рациональном подборе системы его привода, отличающейся высокой надежностью.

На сегодняшний день самым распространенным типом привода подъемных машин является электро-механический асинхронный привод [2], система управления которым показана на **рис. 1**. Электро-

механический асинхронный привод подъема зарекомендовал себя положительными качествами, такими как: ремонтпригодность и упрощенная конструкция; приемлемость КПД при номинальной нагрузке и скорости; низкая цена по сравнению с другими типами приводов; взаимозаменяемость деталей и узлов системы управления.

Сигнал к началу движения поступает из узла команд и технологического контроля УКТ, анализирующего информацию о ходе процессов разгрузки и загрузки подъемных сосудов. УКТ задействует подъемный двигатель ПД контактором В или Н к питающей сети и через аппарат АУС подает команду на растормаживание машины. Выбор требуемых реостатных характеристик ПД в процессе движения производится с помощью аппарата управления контакторами цепи ротора АУК, на входы которого поступают сигналы действительной скорости от тахогенератора ТГ и тока i_c статора ПД от трансформатора тока ТТ. Кроме того, в АУК поступают команды от этажных выключателей путевого командоаппарата ПК. АУК выполняет включение контакторов У1-У8 в период вывода подъемного сосуда из разгрузочных кривых по скорости и ускорению, в период разгона – по ускорению с отсечкой по

току, в период основного замедления в режиме динамического торможения – по скорости.

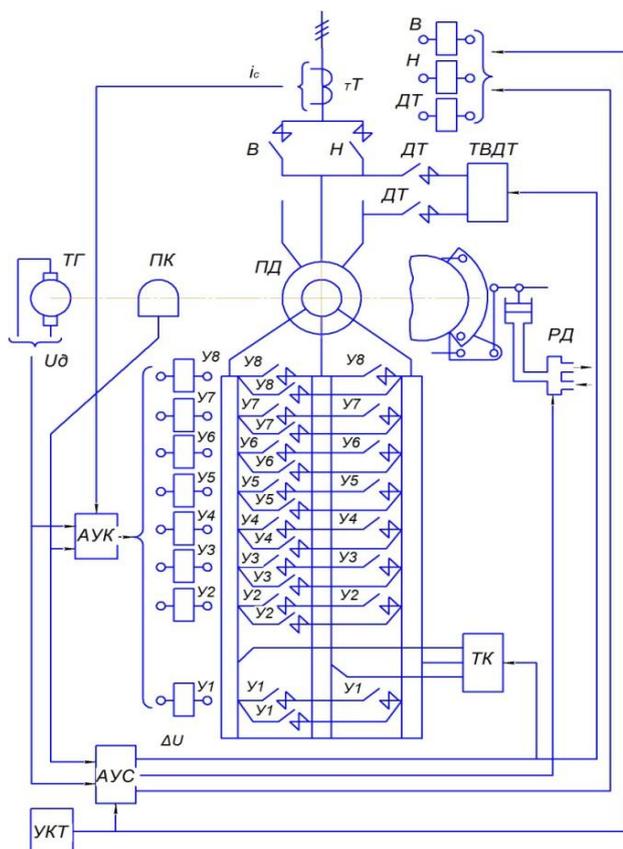


Рис. 1. Система управления асинхронным приводом подъема

Fig. 1. Asynchronous hoisting drive control system

Несмотря на то, что асинхронный двигатель достаточно распространен в приводах горных машин, он не отвечает всем предъявляемым требованиям. Так, при работе в неустановившихся и переходных режимах у двигателей этого типа возникают некоторые проблемы: осуществление проектной диаграммы скорости, исключая механический тормоз; жесткое реагирование двигателя на скачки напряжения в электрической сети; серьезные потери мощности при запуске и, как следствие, невыгодная работа при низкой скорости; невозможность поддержки минимальных скоростей при нагрузке ниже номинальной; малые моменты двигателя и тормоза; внушительные размеры и вес двигателя наряду с редуктором.

Существует опыт применения частотного регулирования асинхронного привода для шахтного подъема, что обосновывается обеспечением генераторного торможения установки и возврат энергии в электрическую сеть. Однако из-за высоких цен на реверсивные схемы и инверторы тока, позволяющие выполнять вышеуказанное достоинство, частотное регулирование не получило широкого распространения в шахтных подъемных машинах.

Наиболее подходящим типом привода для шахт-

ных подъемных машин является привод постоянного тока [1] или система тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д) (рис. 2), который используется в однодвигательном и многодвигательных исполнениях с нереверсивным силовым тиристорным преобразователем в якорной цепи и реверсированием по цепи возбуждения.

В тиристорных преобразователях электропривода рудничных подъемных установок используются схемы шестипульсного и двенадцатипульсного выпрямления, выполненные на последовательном или параллельном соединении трехфазных выпрямительных мостов, запитанных от разных трансформаторов или от многообмоточного трансформатора с группами соединения обмоток, реализующих соответствующий сдвиг по фазе вторичных напряжений.

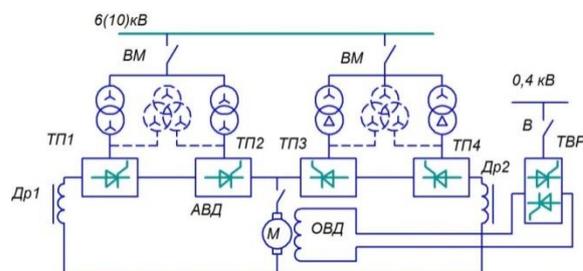


Рис. 2. Силовая схема однодвигательного электропривода ТП-Д шахтной подъемной установки

Fig. 2. Power diagram of TP-D single-engine electric drive of the shaft hoisting unit

И всё-таки представленная система привода, характеризующаяся отличным КПД, высоким быстродействием, небольшой мощностью управления и рядом других преимуществ, имеет ряд отрицательных качеств, связанных с малым коэффициентом мощности, низкой возможной перегрузкой тиристорных преобразователей, колоссальными размерами и весом привода. Вдобавок никак не избежать размещения двух тириستоров для реверса двигателя, что усложняет схему с точки зрения функциональности и надежности эксплуатации.

Обобщая вышеизложенное, особенно в части отрицательных качеств электропривода для шахтного подъема, можно выделить один главный его недостаток, приводящий к неизбежности использования редуктора – при низких крутящих моментах очень высокая быстроходность двигателя. Опираясь на проведенные ранее исследования [3, 4], можно сделать вывод о том, что вес редуктора составляет порядка 25-35% от веса подъемной установки в целом. В конечном итоге это приводит к большим динамическим нагрузкам на всю установку, особенно при работе на больших глубинах [8].

Следовательно, выбор типа привода для шахтного подъема должен быть осуществлен исходя из значительной эксплуатационной надежности, приемлемой стоимости двигателя и условиями работы на горном предприятии [3].

Правила безопасности ведения горных работ предъявляют требования к надежности перечисленных систем приводов. Необходима их оценка с помощью вероятностной модели надежности. Опираясь на ранее рассмотренные законы распределения отказов элементов приводов и их аналогов [5, 6], можно подобрать методы расчета надежности.

Материалы и методы исследования

Существует несколько методик численного расчета надежности и ее параметров. В конечном итоге все они достаточно схожи и дают явное представление о необходимых численных параметрах надежности.

Опираясь на работу уважаемых коллег [7], можно констатировать, что вероятность отказов во времени приводов и шахтной аппаратуры управления подчиняется экспоненциальному закону. Данная методика и тип подсчета надежности предполагает незначительным старение элемента, а отказы узлов и деталей машины – событиями случайными, а поломка одного элемента системы приравнивается к выходу из строя всей системы [6].

Если необходимо получить численные значения параметров надежности по экспоненциальному закону распределения, то нужно определить λ отказов каждого элемента системы. Вероятность безотказной работы $P(t)$ включает в себя ряд критериев, оказывающих влияние на надежность машины, и по экспоненциальному закону распределения вычисляется по формуле [5, 7]

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma}t}, \tag{1}$$

где λ_{Σ} – общая интенсивность отказов системы; t – время; e – основание натурального логарифма.

Стоит обратить внимание еще на один параметр – запас надежности $S(t)$ [5], являющийся достаточно информативным, который рассчитывается по формуле

$$S(t) = e^{-\lambda_{\Sigma}t} (1 + \lambda_{\Sigma}t). \tag{2}$$

Весьма характерна вероятность отказа $F(t)$ и сводится в следующую зависимость:

$$F(t) = 1 - P(t). \tag{3}$$

В итоге весь подсчет характеристик надежности подходит к установлению общей интенсивности отказов системы λ_{Σ} [4], которую можно найти, зная интенсивности отказов всех элементов системы.

Проведя необходимый анализ типов приводов подъемных машин [9, 11], мы выделяем для себя следующие: асинхронный электромеханический привод с фазным ротором [2] и тиристорный привод постоянного тока (ТП-Д) [1].

В табл. 1 и 2 представлены интенсивности отказов элементов рассматриваемых выше приводов [5, 7] и, сложив их средние показатели, получаем результаты: для асинхронного привода $\lambda_{\Sigma} = 516,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч; для тиристорного привода $\lambda_{\Sigma} = 596,9 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Таблица 1. Интенсивности отказов элементов тиристорного привода постоянного тока подъемной установки
Table 1. Failure rates of elements of the hoisting unit DC thyristor drive

Наименование элемента	Количество элементов, шт.	Интенсивность отказа элемента $\lambda_{\text{эп}} \cdot 10^{-6}$, 1/ч	Интенсивность отказов группы элементов $\lambda_{\text{гр}} \cdot 10^{-6}$, 1/ч
Силовой трансформатор	2	1,04	2,08
Тиристорный преобразователь	2	8,3	16,6
Система импульсного фазового управления	1	12,4	12,4
Подъемный электродвигатель (ДП)	1	12,36	12,36
Силовой сглаживающий дроссель	2	0,175	0,35
Автомат силовой в якорной цепи	1	10	10
Тиристорные возбудители (ТВ-В и ТВ-Н)	2	10,1	20,2
Блок управления возбудителями	1	15	15
Суммирующий магнитный усилитель	1	5,65	5,65
Преобразователь частоты возбудителя	1	15	15
Трансформатор преобразователя частоты	1	1,09	1,09
Датчики тока	2	15	30
Шунты	2	0,087	0,174
Диоды	50	3,2	10
Разъединители в цепи трансформаторов	2	2,4	4,8
Автоматы силовые	4	10	40
Редуктор	1	1,2	1,2
Муфты сцепления	10	0,06	0,6
Плавкие предохранители	20	0,5	10
Трансформатор напряжения	1	1,04	1,04
Трансформатор тока	2	1,04	2,08

Таблица 2. Интенсивности отказов элементов электромеханического асинхронного привода
Table 2. Failure rates of electromechanical asynchronous drive elements

Наименование элемента	Количество элементов, шт.	Интенсивность отказа элемента $\lambda_{\text{ср}} \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$	Интенсивность отказов группы элементов $\lambda_{\text{гр}} \cdot 10^{-6}, 1/\text{ч}$
Разъединитель	2	2,4	4,8
Трансформатор напряжения	1	1,04	1,04
Трансформатор тока	1	1,04	1,04
Масляный выключатель	1	0,38	0,38
Электродвигатель асинхронный с фазным ротором	1	9,36	9,36
Реверсор	1	40,0	40,0
Командоаппарат	1	40,2	40,2
Ящики сопротивлений	50	0,3	20,3
Концевые выключатели	6	12,0	72,0
Датчики начала замедления	2	15	30,0
Кремниевые диоды	20	0,2	4,0
Автоматы	2	10	20
Универсальный переключатель	2	12	24
Кнопка пусковая	5	4,2	21
Насосы маслосмазки	2	13,5	27
Электродвигатели генераторов	1	5,24	5,24
Генераторы питания роторной станции	1	12,4	12,4
Реле ускорений	6	3,2	19,2
Контакты роторной станции	6	10	60
Реле контроля напряжений	2	3,2	6,4
Реле блокировочное	1	0,75	0,75
Сопротивления экономические	15	0,09	1,35
Двигатель генератора динамического торможения	1	5,24	5,24
Генератор динамического торможения	1	12,36	12,36
Максимальные реле	4	1,2	4,8
Токовые реле	1	3,2	3,2
Тахогенератор	1	12,36	12,36
Реле дуговой блокировки	1	3,2	3,2
Реле контроля тока	1	3,2	3,2
Реле контроля скорости	1	3,2	3,2
Регулятор ограничения скорости	1	15	15
Редуктор подъемной машины	1	1,2	1,2
Муфты	10	0,06	0,6

Полученные результаты и их обсуждение

Проведя последовательные вычисления вероятности безотказной работы и запаса надежности, которые выполнялись по формулам (1) и (2), заносим итоговые значения в **табл. 3**.

Сведя в общую систему числовые значения параметров надежности, строятся графики в зависимости от времени (**рис. 3** и **4**) и определяется среднее время безотказной работы системы: для асинхронного привода $T_{\text{ср}} = 1940$ ч, для тиристорного привода $T_{\text{ср}} = 1680$ ч.

Исходя из проведенных исследований и выявленных результатов подсчета параметров надежности приводов подъемных машин, делаем вывод о том, что асинхронный привод с фазным ротором обладает улучшенными показателями в сравнении с тиристорным приводом и по вероятности безотказной работы

и запасу надежности в промежутке времени работы 1000 до 6000 ч на 16% эффективнее.

Таблица 3. Итоговые значения критериев надежности приводов

Table 3. Final values of drive reliability criteria

$t, \text{ч}$	1000	2000	3000	4000	5000	6000
Асинхронный привод						
$P(t)$	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1
$S(t)$	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,9
$F(t)$	0,4	0,6	0,7	0,9	0,9	0,9
Тиристорный привод						
$P(t)$	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
$S(t)$	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1
$F(t)$	0,4	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9

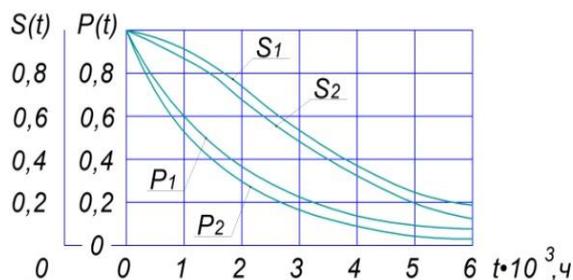


Рис. 3. Изменение параметров вероятности безотказной работы $P(t)$ и запаса надежности $S(t)$ систем приводов подъемных машин:

1 – асинхронного; 2 – тиристорного

Fig. 3. Changes in the parameters of probability of a failure-free operation $P(t)$ and safety margin $S(t)$ for hoisting machine drive systems:

1 is an asynchronous drive; 2 is a thyristor drive

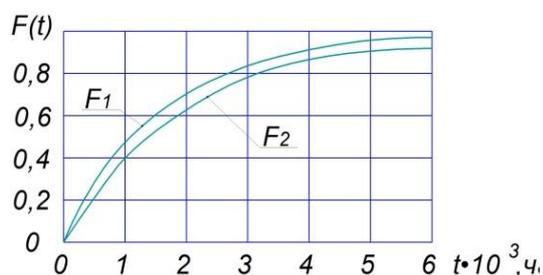


Рис. 4. Изменение параметра вероятности отказа $F(t)$ для систем приводов: 1 – асинхронного; 2 – тиристорного

Fig. 4. Changes in the parameter of probability of failure $F(t)$ for drive systems: 1 is an asynchronous drive; 2 is a thyristor drive

Заклучение

Проведенный в работе подробный анализ систем приводов шахтного подъема, оценка их показателей надежности свидетельствует о том, что подъемные установки, оснащенные асинхронным приводом, имеют более высокую надежность, меньшую стоимость привода и в конечном итоге более эффективны в эксплуатации.

Изучена проблема надежности основных систем приводов шахтных подъемных машин, решение которой позволит более тщательно продумать и организовать безопасную эксплуатацию шахтного подъема при добыче полезных ископаемых на больших глубинах и проходке вертикальных стволов строящихся шахт.

Список источников

1. Бабакин В.И., Кондрашова О.Г., Зайдуллин А.Р. Сравнительный анализ энергетической эффективности электроприводов лебедок по системам тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока и преобразователь частоты – асинхронный двигатель // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. №1. С. 136-139.

2. Трифанов Г.Д., Кошкин А.П. Новая редакция Руководства по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. 2014. Т. 1. С. 19-24.
3. Горнопроходческие подъемные машины в технологических процессах разработки месторождений на больших глубинах / А.И. Курочкин, С.В. Подболотов, Б.М. Габбасов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. №S38. С. 3-15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-38-3-15
4. Вагин В.С. Совершенствование проходческого подъема // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №5. С. 214-217.
5. Вагин В.С., Гуров М.Ю., Виноградова А.В. Оценка надежности систем приводов передвижных подъемных установок // Процессы и оборудование металлургического производства. 2004. Вып. 6. С. 77-86.
6. Курочкин А.И., Филатов А.М., Подболотов С.В. Оптимизация динамических процессов проходческих подъемных машин, оснащенных дисковыми тормозными устройствами // Естественные и технические науки. 2020. №3(141). С. 212-214.
7. Кантович Л.И., Вагин В.С. Влияние системы привода на динамические нагрузки передвижных проходческих подъемных установок // Горное оборудование и электромеханика. 2012. №6. С. 26-33.
8. Kuskildin R.B., Kryuchkova Y.V. Methods of estimating dynamic loads on ropes of mine winding plants // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2018: 11th, Potsdam, 07-08 ноября 2018 года. Potsdam, 2019, pp. 283-286.
9. Карпеш А.А., Вагин В.С. Оценка возможности применения следящих систем управления гидроприводом подъемной машины при проходке стволов шахт по добыче природного камня // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Междунар. техн. конф., Екатеринбург, 24-26 апреля 2018 года / под ред. Г.Д. Першина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. С. 179-182.
10. Курочкин А.И., Габбасов Б.М., Подболотов С.В. Переход к новому способу конструирования подвесных устройств канатов подъемных установок для глубоких шахт // Современные достижения университетских научных школ: сб. докл. нац. науч. школы-конференции, 23-24 ноября 2023 г. Магнитогорск. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. Вып. 8. С. 182-185.
11. Повышение надежности и безопасности шахтных подъемных установок / А.П. Дворник, Ю.В. Калинин, В.Л. Клемба, Н.И. Березовский // Горная механика и машиностроение. 2021. №1. С. 13-20.

References

1. Babakin V.I., Kondrashova O.G., Zaydullin A.R. A comparative analysis of energy efficiency of electric drives of winches by systems of a thyristor converter – a DC motor and a frequency converter – an asynchronous motor. *Neftegazovoe delo* [Petroleum Engineering], 2012;10(1):136-139. (In Russ.)
2. Trifanov G.D., Koshkin A.P. A revised version of the Guidelines for the Audit, Adjustment and Testing of Shaft Hoisting Units. *Aktualnye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya* [Current problems of increasing efficiency and safety of the operation of mining and oilfield equipment]. 2014;1:19-24. (In Russ.)
3. Kurochkin A.I., Podbolotov S.V., Gabbasov B.M. et al. Mine hoisting machines in the technological processes of deposit development at great depths. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. 2020;(S38):3-15. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-38-3-15
4. Vagin V.S. Improvement of tunneling hoists. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2011;(5):214-217. (In Russ.)
5. Vagin V.S., Gurov M.Yu., Vinogradova A.V. Assessment of reliability of drive systems of mobile hoisting machines. *Protsessy i oborudovanie metallurgicheskogo proizvodstva* [Processes and Equipment of Metallurgical Production]. 2004;(6):77-86. (In Russ.)
6. Kurochkin A.I., Filatov A.M., Podbolotov S.V. Optimization of dynamic processes of tunneling hoisting machines equipped with disc braking devices. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences]. 2020;(3(141)):212-214. (In Russ.)
7. Kantovich L.I., Vagin V.S. The influence of the drive system on dynamic loads of mobile tunneling hoisting machines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics]. 2012;(6):26-33. (In Russ.)
8. Kuskildin R.B., Kryuchkova Y.V. Methods of estimating dynamic loads on ropes of mine winding plants. *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference, November 7-8, 2018, Potsdam. Potsdam, 2019, pp. 283-286.*
9. Karpesh A.A., Vagin V.S. Assessment of the possibility of using tracking control systems for the hydraulic drive of a hoisting machine when drilling shafts of mines for the extraction of natural stone. *Dobycha, obrabotka i primenenie prirodnogo kamnya: sb. nauch. tr. Mezhdunar. tekhn. konf.* [Mining, working and use of natural stone: Collection of research papers of the International Technical Conference]. Yekaterinburg, April 24-26, 2018. Edited by G.D. Pershin. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2018, pp. 179-182. (In Russ.)
10. Kurochkin A.I., Gabbasov B.M., Podbolotov S.V. Transition to a new method of designing suspended ropes of hoisting machines for deep mines. *Sovremennye dostizheniya universitetskikh nauchnykh shkoly: sb. dokl. nats. nauch. shkoly-konferentsii* [Modern achievement of university research schools: Collection of reports of the National Scientific Workshop-Conference]. Magnitogorsk, November 23-24, 2023. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2023, vol. 8, pp. 182-185. (In Russ.)
11. Dvornik A.P., Kalintsev Yu.V., Klemba V.L., Berezovsky N.I. Improving reliability and safety of mine hoisting machines. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie* [Mining Mechanics and Mechanical Engineering]. 2021;(1):13-20. (In Russ.)

Поступила 25.03.2024; принята к публикации 18.04.2024; опубликована 27.06.2024
Submitted 25/03/2024; revised 18/04/2024; published 27/06/2024

Курочкин Антон Иванович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Email: a.kurochkin@magtu.ru. ORCID 0000-0003-3287-4653

Габбасов Булат Маратович – кандидат технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: bulatg74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3811-0697

Подболотов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: podbolotov_sergey@mail.ru. ORCID 0000-0002-7870-7183

Усов Игорь Геннадьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: usov_ig@list.ru. ORCID 0000-0002-7642-3603

Пикалов Вячеслав Анатольевич – доктор технических наук, начальник отдела, ООО «Научно-технический центр “Геотехнология”», Челябинск, Россия.
Email: pikalov@ustup.ru. ORCID 0009-0003-9251-5190

Гавришев Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия. Email: ormi-cg@mail.ru.

Anton I. Kurochkin – PhD (Eng.), Head of the Department of Mining Machinery and Transport and Technological Complexes, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: a.kurochkin@magtu.ru. ORCID 0000-0003-3287-4653

Bulat M. Gabbasov – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: bulatg74@mail.ru. ORCID 0000-0003-3811-0697

Sergey V. Podbolotov – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: podbolotov_servey@mail.ru. ORCID 0000-0002-7870-7183

Igor G. Usov – PhD (Eng.), Senior Lecturer, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: usov_ig@list.ru. ORCID 0000-0002-7642-3603

Viacheslav A. Pikalov – DrSc (Eng.), Head of the Department, LLC Scientific and Technical Center Geotechnology, Chelyabinsk, Russia. Email: pikalov@ustup.ru. ORCID 0009-0003-9251-5190

Sergei E. Gavrishev – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Development of Mineral Deposits, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: ormi-cg@mail.ru.