

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ТОРМОЗНОГО ПОСТАМЕНТА РУДНИЧНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С РЕЗИНОТРОСОВЫМ ТЯГОВЫМ ОРГАНОМ

С. Гылымұлы¹, Л.И. Кантович¹, Ж.А. Тиагалиева¹, О.В. Белянкина¹

¹ ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: m1606832@edu.misis.ru

Аннотация: Модернизация рудничных подъемных установок за счет внедрения резинотросовых тяговых органов взамен стальных канатов обеспечит повышение их производительности, снижение металлоемкости и рост ресурса тяговых органов. Но данное техническое решение влечет изменение параметров основных узлов подъемных установок. Поэтому обоснование этих параметров является актуальной научно-практической задачей. Выполнен обзор современных исследований в области рудничного подъема, который показал, что в публикациях отсутствуют работы по тормозным системам применительно к подъемным установкам с резинотросовыми тяговыми органами. В связи с этим для обеспечения безопасности эксплуатации модернизируемых подъемных установок было предложено проанализировать возможные решения в области тормозных систем. Определено, что наиболее эффективными являются дисковые тормоза. Для анализа их работоспособности был предложен метод цифрового моделирования с применением программного комплекса SolidWorks, при помощи которого была разработана цифровая модель одного из важных элементов тормозной системы — тормозного постамент. Предлагаемая цифровая модель позволяет имитировать тормозные усилия, соответствующие эксплуатации подъемных установок, и на основании этого рассчитывать напряженно-деформированное состояние постамент. Проведена серия экспериментов с использованием предлагаемой цифровой модели, что позволило получить зависимости максимальных напряжений от конструктивных параметров постамент при различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: рудничные подъемные установки, цифровое моделирование, дисковый тормоз, тормозная система, тормозной постамент, резинотросовые тяговые органы, резинотросовые канаты, цифровой эксперимент.

Для цитирования: Гылымұлы С., Кантович Л. И., Тиагалиева Ж. А., Белянкина О. В. Цифровая модель тормозного постамент рудничной подъемной установки с резинотросовым тяговым органом // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6. – С. 62–76. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_62.

Digital model of brake plinth of mine hoist with rubber cable pulling equipment

S. Gylymuly¹, L.I. Kantovich¹, Z.A. Tiagalieva¹, O.V. Belyankina¹

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: m1606832@edu.misis.ru

Abstract: Modernization of mine hoists by means of replacement of steel cable traction by rubber cable pulling equipment ensures increased capacity, decreased metal intensity and extended life of traction mechanisms. However, this engineering solution involves the change in the parameters of the main assemblies of mine hoists. For this reason, substantiation of designs of these assemblies is the actual basic and applied problem. The authors have reviewed the current mine hoist studies which appear to lack any investigation connected with braking systems for mine hoists with rubber cable pulling equipment. In this connection, toward the safe operation of mine hoists being modernized, it is proposed to discuss possible engineering decisions on braking systems. By estimates, the disc braking systems feature the highest efficiency. For the analysis of the disc brake performance, the method of digital modeling in SolidWorks environment is put forward and used to construct a digital model of the critical component of the braking system—a brake plinth. This digital model simulates braking forces equivalent to actual operating conditions of mine hoists, which allows the stress and strain assessment in the brake plinth. The studies include a series of tests using the proposed digital model, with estimation of maximum stresses versus design variables of the plinth in different operating conditions.

Key words: mine hoist, digital modeling, disc brake, braking system, brake plinth, rubber cable pulling equipment, rubber cables, digital experiment.

For citation: Gylymuly S., Kantovich L. I., Tiagalieva Z. A., Belyankina O. V. Digital model of brake plinth of mine hoist with rubber cable pulling equipment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(6):62-76. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_62.

Введение

Подземный способ добычи полезных ископаемых на сегодняшний день остается востребованным и продолжает развиваться с точки зрения повышения эффективности технологий добычи, обеспечения устойчивости горных выработок и безопасности ведения горных работ [1–5]. При этом основным транспортным звеном, связывающим подземные горные выработки с поверхностью, остаются рудничные подъемные установки [6, 7].

Эксплуатация рудничных подъемных установок обеспечивает эффективность работы горнодобывающего предприятия в целом. В большей степени это касается шахт и рудников, обрабатывающих глубокие горизонты, где нет возможности альтернативных способов транспортирования, например, с использованием наклонных конвейерных выработок.

В связи с этим для значительной доли горных предприятий подъемная установка остается основным транспортным звеном, соединяющим подземные горные выработки с поверхностью.

Большинство горнодобывающих предприятий эксплуатирует подъемные установки более 30–40 лет. Это вызвано прежде всего тем, что внедрение нового подъема является трудоемкой и дорогостоящей операцией для каждого предприятия. Это обусловлено большой металлоемкостью и энергоемкостью подъемных машин. Их массы могут достигать 120 т, а мощности 5 МВт и выше. Кроме того, их эксплуатация должна отвечать критериям безопасности, надежности и экономичности.

С точки зрения повышения безопасности эксплуатации подъемных установок большой блок научно-прикладных работ выполнен в ПНИПУ [8–10]. Эти

работы посвящены внедрению систем непрерывного контроля основных узлов рудничных подъемных установок, что позволяет повысить уровень безопасности их эксплуатации. Разработанные системы контроля позволяют оценивать рабочие нагрузки в канатах и прогнозировать их остаточный ресурс, контролировать качество монтажа и состояние направляющих на основании наблюдаемых колебаний подъемных сосудов, выявлять отклонения в работе оборудования, анализировать и снижать аварийность подъемной установки в целом за счет уменьшения влияния человеческого фактора. Подобное комплексное внедрение цифровых технологий в горное производство позволит разрабатывать меры по заблаговременной локализации причин аварий, в том числе на подъемных установках.

Передача данных, получаемых в результате работы компьютерных систем контроля горного оборудования, в систему автоматизированного проектирования технологических процессов, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом оборудования [11], позволит сократить периоды подготовки документации и выполнения этих работ и обеспечить более рациональное их планирование в зависимости от степени изношенности основных узлов оборудования.

Для оценки работоспособности горного оборудования широко применяются методы моделирования: математического, цифрового и физического эксперимента [12 – 18].

В значительной степени достоверные результаты могут быть достигнуты при помощи цифрового моделирования с применением метода конечных элементов. Цифровое моделирование позволяет разработать расчетную модель для любых сложных конструкций, для которых практически невозможно дать

точное математическое описание [19]. Количество уравнений, которые могут с необходимой точностью описать сложные конструкции, достаточно велико, решить их можно только численными методами с использованием специализированных компьютерных программ. Применение корректно разработанных цифровых моделей позволяет выполнить большой объем экспериментов, которые могут показать, при каких конструктивных, эксплуатационных или режимных параметрах изделие будет работоспособным.

Цифровое моделирование широко применяется в исследованиях, направленных на модернизацию различного горного, транспортного и стационарного оборудования [19 – 21]. Разработанные при помощи цифровых моделей алгоритмы выбора рациональных параметров барабанов подъемных машин [21, 22] позволяют конструировать барабаны таким образом, чтобы снизить напряжения в обечайке и увеличить ее ресурс.

Цифровые модели, предложенные в работе [23], позволяют определить количество и размеры спиц шкивов трения подъемных машин. Выбор рациональных параметров шкивов трения минимизирует их массу при сохранении прочностных характеристик. Другим аспектом разработки цифровых моделей является то, что рассматриваемые шкивы трения предлагаются для модернизации рудничных подъемных установок при внедрении ленточных тяговых органов [24, 25]. Следствием такой модернизации будет повышение срока службы тяговых органов, снижение массы и массивности подъемных машин, а значит, и уменьшение динамических нагрузок в переходных режимах при пусках и остановках рудничного подъема. Уменьшение диаметров шкивов трения позволит также ускорить их производство,

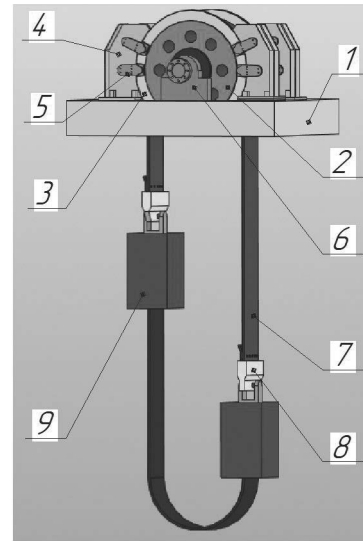
что повысит конкурентные возможности отечественных машиностроительных предприятий по реализации подъемных машин нового типа (рис. 1).

Специалисты отмечают, что в качестве ленточных тяговых органов на рудничном подъеме могут быть применены стальные, резиноканатные ленты, резиноканатные канаты [26 – 30]. Независимо от типа ленточного тягового органа, его внедрение требует пересмотра применяемых на классических канатных подъемных установках основных узлов. К ним относятся: подвесные устройства скипов, тормозные системы, шкивы трения.

Для дальнейшего развития упомянутого инновационного решения на рудничном подъеме предлагается в первую очередь уделить внимание тормозным системам, которые обеспечивают безопасность эксплуатации подъемных установок.

Основная часть

Безопасная эксплуатация рудничных подъемных установок обеспечивается надежно действующими тормозными устройствами. Тормозные устройства являются важной составной частью подъемной машины и обеспечивают безопасность процесса торможения как в



- 1 – фундамент; 2 – шкив трения;
- 3 – диск тормозной системы;
- 4 – тормозные постаменты;
- 5 – тормозные модули с колодками;
- 6 – подшипниковые опоры;
- 7 – резиноканатный тяговой орган;
- 8 – подвесное устройство; 9 – скип

Рис. 1. Общий вид рудничной подъемной установки с резиноканатным тяговым органом

Fig. 1. General view of mine hoist with rubber cable pulling equipment

нормальном режиме эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Долгое время подъемные установки оборудовались громоздкими колодочными тормозами, но современные подъемные установки

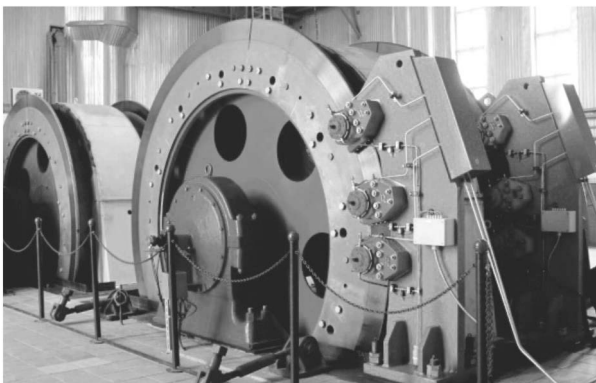


Рис. 2. Общий вид подъемных машин с дисковым тормозом

Fig. 2. General view of hoist machine with disc brake



Рис. 3. Тормозной модуль

Fig. 3. Braking module

снабжаются более компактными дисковыми тормозными устройствами (рис. 2) [31].

В составе дисковых тормозов подъемных установок находят применение тормозные модули с исполнительным органом аксиального типа (рис. 3), которые устанавливаются на тормозных постаментов (рис. 4) [32] в количестве, необходимом для реализации тормозного момента. Один тормозной модуль может осуществлять усилие затормаживания в пределах от 50 до 200 кН.

В отличие от колодочных, у дисковых тормозов меньше масса, короче ход, равномернее прижатие колодок, быстрее теплоотведение. Они проще в настройках и в эксплуатации, а в зависимости от количества тормозных модулей может реализовываться различное тормозное усилие. Управление тормозными модулями обеспечивается посредством гидропривода с автоматизированной системой управления.

Переход на тормозные системы нового типа сопровождается незначительным количеством публикаций с научными и методическими основами для практических расчетов и выбора оборудования дисковых тормозов рудничных подъемных установок.

Существующие работы, посвященные дисковым тормозам [17, 18, 26, 33] носят обрывочные сведения, которых недостаточно применительно к проектированию модернизированных подъемных установок с ленточными тяговыми органами. В этом случае уменьшаются габариты и масса подъемной машины, происходит перераспределение движущихся масс подъемной системы, увеличивается грузоподъемность подъемной установки. В связи с перечисленным существенно изменяются не только режимные и эксплуатационные параметры подъемных установок [34], но и конструктивные размеры отдельных их узлов. Поэтому требуется обоснование рациональных значений параметров узлов подъемных установок, в том числе тормозных систем.

В данной работе изучается влияние на параметры тормозных систем усилий, реализуемых подъемными машинами с резиновыми тяговыми органами.

В первую очередь рассматривались тормозные постаменты, на которых крепятся тормозные модули. Для выполнения исследований нами был выбран инженерный инструмент цифрового моделирования — программный комплекс

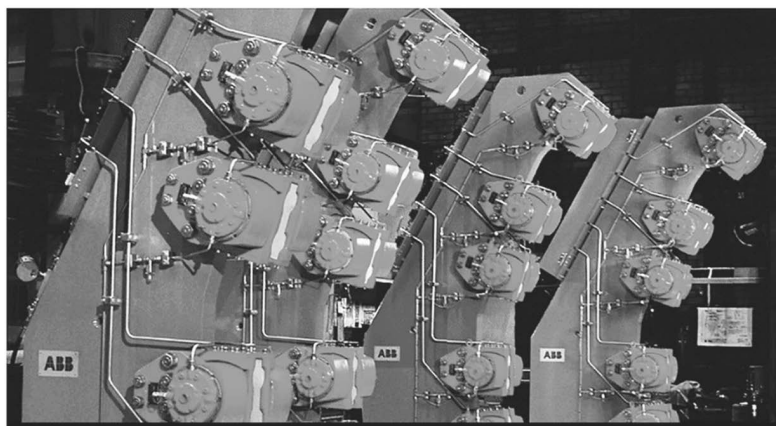


Рис. 4. Тормозные постаменты

Fig. 4. Brake plinths

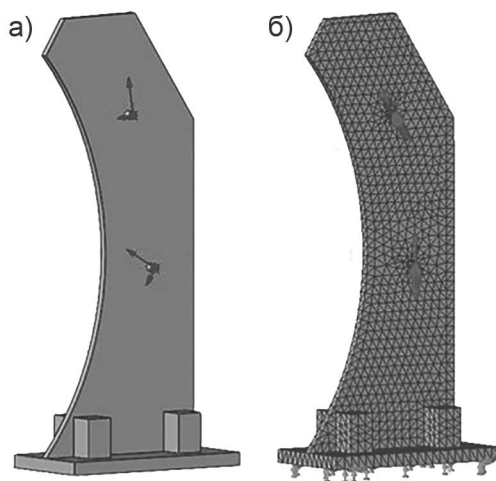


Рис. 5. Создание модели тормозного постамента: 3D-модель (а); цифровая модель (б)
 Fig. 5. Brake plinth modeling: 3D model (a); digital model (b)

SolidWorks. Для исследования конструкции тормозного постамента была создана его цифровая модель (рис. 5) и в программном комплексе SolidWorks применен метод конечных элементов для исследования напряженно-деформированного состояния постамента под нагрузками, имитирующими его эксплуатацию в составе рудничной подъемной установки.

При создании цифровой модели тормозного постамента были сделаны следующие допущения:

- постамент считается изготовленным в виде отливки и жестко крепится к основанию;
- тормозные усилия воздействуют на постамент посредством абсолютно жестких стержней, вставленных в специальные отверстия, имитирующие крепление тормозных модулей на постаменте;
- усилия, передаваемые от тормозных модулей, приняты одинаковыми и направлены по касательной к окружности, коаксиальной к траектории вращения шкива трения.

При создании цифровой модели (рис. 5) в программном комплексе Solid Works выполнялись следующие основ-

ные операции: формирование 3d-модели, выбор материала, крепление нижней части постамента (наложение ограничений), прикладывание усилий, имитирующих реальные нагрузки на постамент при торможении, разбиение детали на конечные элементы (рис. 5, б).

Имитационное моделирование с использованием метода конечных элементов позволило получить эпюры изменения напряжений, деформаций и запасов прочности применительно к тормозному постаменту подъемной машины (рис. 6). На эпюрах показаны результаты расчета напряженно-деформированного состояния постамента применительно к величине усилия $F_p = 200$ кН, приходящегося на тормозной постамент.

В качестве исходных данных для определения конструктивных параметров модели тормозного постамента было принято, что предполагается моделирование работы с приводным шкивом диаметром $D = 2$ м, что обосновано для подъемных машин с резинометаллическими тяговыми органами [28]. Габаритные размеры и значения толщины стойки первоначально принимались в соответ-

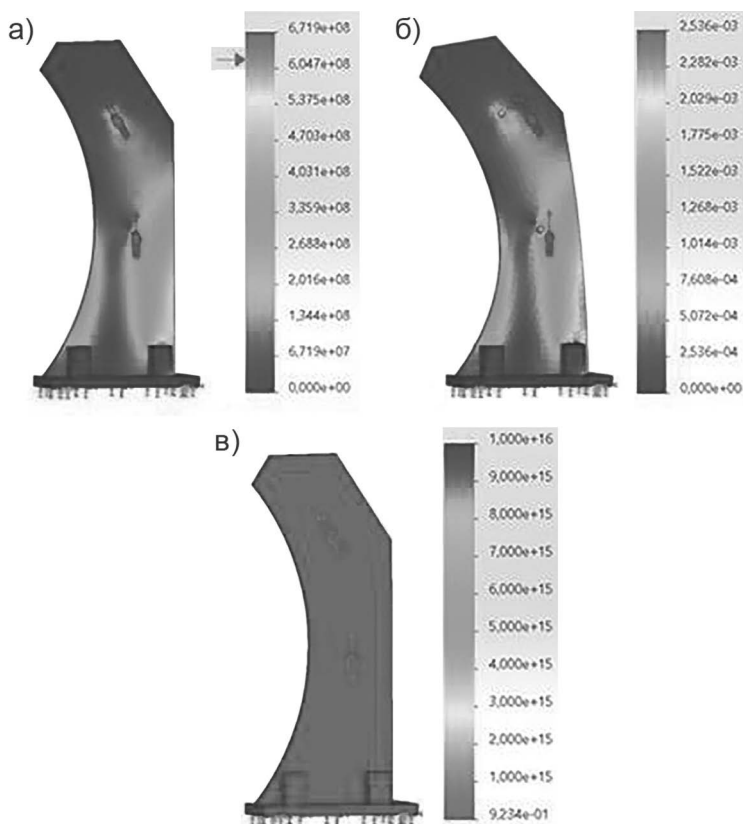


Рис. 6. Примеры эпюр напряжений (а), деформаций (б) и запасов прочности (в) модели тормозного постамента

Fig. 6. Example curves of stresses (a), strains (b) and safety factors (c) in brake plinth model

ствии с размерами постаментов для канатных подъемных машин на основании того, что диапазон усилий, в которых может эксплуатироваться постамент, соответствует усилиям высокопроизводительных многоканатных подъемных установок. Также важно было учитывать, чтобы при моделировании запасы прочности постаментов не были ниже допустимых.

С учетом того, что в зависимости от высоты подъема и грузоподъемности подъемных установок разница статических усилий $F_{ст}$ на приводном шкиве существенно меняется, было решено провести имитационное моделирование для широкого диапазона значений тормоз-

ных усилий F_p , приходящихся на один тормозной постамент. Так как у каждой подъемной машины постаментов $n = 4$, то с учетом ПБ можно определить тормозное усилие F_T , приходящееся на каждый постамент, по следующей формуле

$$F_T = 3F_{ст} = n F_p.$$

Величина F_p для моделирования нагрузки на один постамент принималась в диапазоне от 200 до 500 кН, что соответствует эксплуатационным параметрам мощных многоканатных подъемных машин.

Разработанная цифровая модель позволила выполнить серию имитационных экспериментов с варьированием тормоз-

ных усилий и с изменением конструктивных параметров тормозного поста­мента. Прежде всего требовали проверки места крепления тормозных модулей к тормозному постаменту. В предлагаемом варианте моделирования использовались абсолютно жесткие стержни, которые вставлялись в монтажные отверстия в конструкции поста­мента. В дальнейшем к этим стержням прикладывались тормозные усилия, направленные по касательной, коаксиальной к траектории вращения приводного шкива.

Изменение диаметров d отверстий и стержней позволило получить зависимости максимальных напряжений, наблюдаемых при моделировании различных тормозных усилий (рис. 7, а) и для постаментов с разной толщиной стойки δ_p (рис. 7, б).

Из графиков видно, что увеличение диаметра отверстий (стержней) приводит к снижению максимальных напряжений σ (рис. 7, а), которые наблюдаются в области контакта стержней и поста­мента. Повышение толщины стойки поста­мента δ_p (рис. 7, б) также уменьшает максимальные напряжения.

Надо отметить, что увеличение толщины стойки δ_p существенно повышает массу поста­мента (рис. 8), в рассматриваемом случае — не менее чем в 1,5 раза. В качестве решения можно предложить бобышки в районе монтажных отверстий, которые позволят перераспределить возникающие в конструкции поста­мента напряжения.

Это конструктивное решение может быть реализовано при обосновании допустимой толщины стойки поста­мента δ .

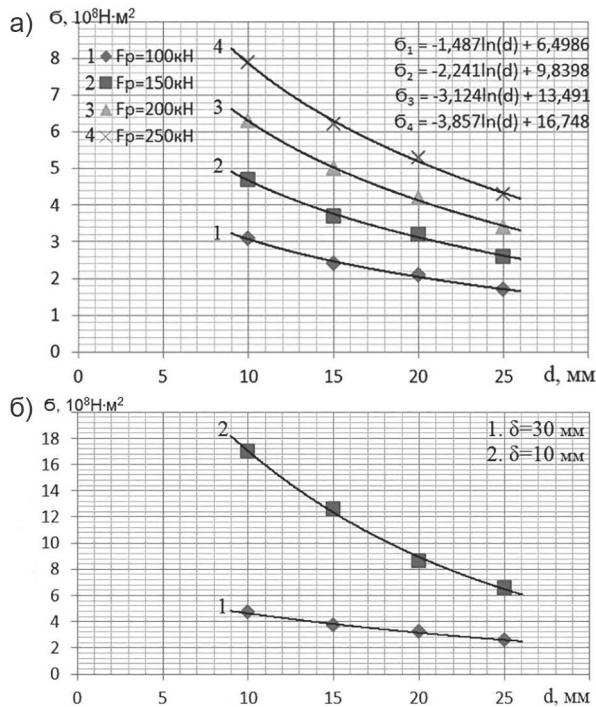


Рис. 7. Зависимости максимальных напряжений σ в конструкции поста­мента от диаметра монтажных отверстий d при изменении тормозных усилий (а) и толщины стойки поста­мента δ_p (б)

Fig. 7. Maximum stresses σ in plinth as function of mounting pot diameter d under change in braking efforts (а) and in plinth support thickness δ_p (б)

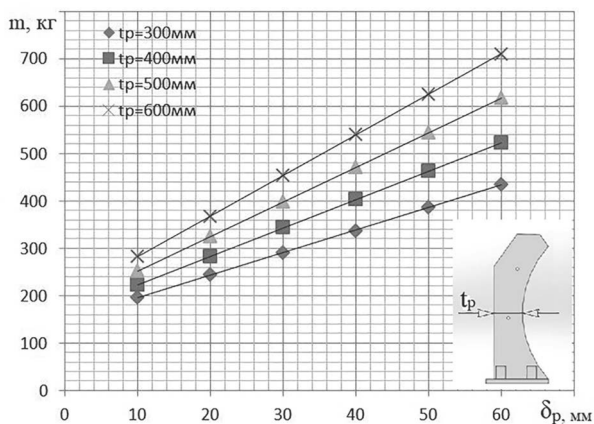


Рис. 8. Зависимости массы постамента m от толщины стойки постамента δ_p при различных габаритных параметрах t_p

Fig. 8. Plinth mass m versus plinth support thickness δ_p at different overall dimensions t_p

Для этого на разработанной в Solid Works модели была выполнена серия имитационных экспериментов с изменением тормозных усилий и толщины стойки постамента δ_p , что позволило получить соответствующие зависимости (рис. 9).

Из графика видно, что с ростом толщины стойки постамента δ_p максимальные напряжения σ снижаются в соответствии со степенными зависимостями. Из полученных значений напряжений можно выделить область $\delta_p = 30 - 40$ мм,

в пределах которой кривые напряжений выполаживаются при существенном возрастании массы постамента. Кроме того, именно с этого диапазона начинаются значения пределов прочности на растяжение, допустимые для сталей, из которых изготавливаются тормозные постаменты рудничных подъемных машин.

На графике (рис. 10) приводятся зависимости максимальных напряжений в постаменте от рабочей нагрузки на него в режиме торможения при разной толщине стойки постамента δ_p и диа-

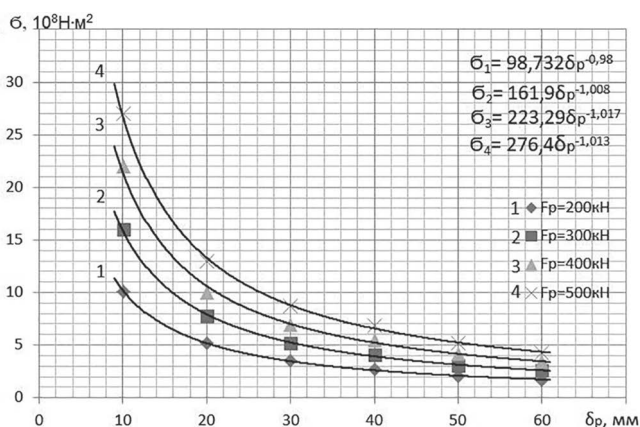


Рис. 9. Зависимости максимальных напряжений σ от толщины стойки постамента δ_p при различных тормозных усилиях F_p

Fig. 9. Maximum stresses σ versus plinth support thickness δ_p at different braking efforts F_p

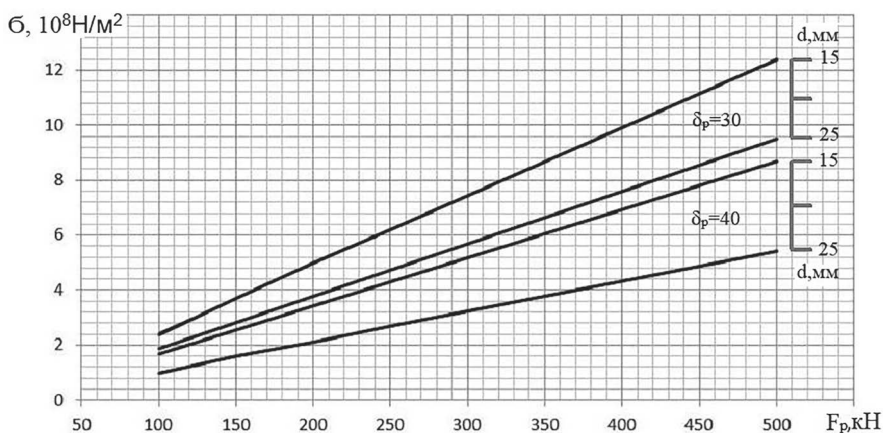


Рис. 10. Зависимости максимальных напряжений σ от тормозных усилий F_p при разной толщине стойки постаментов δ_p и диаметрах монтажных отверстий d

Fig. 10. Maximum stresses σ versus different braking efforts F_p at different plinth support thicknesses δ_p and mounting pot diameters d

метрах монтажных отверстий $d = 30 - 40$ мм. С учетом этих зависимостей можно выделить зону допустимых напряжений для выбранной стали (не более $8 \cdot 10^8$ Н/м 2) и по расчетной величине тормозного усилия F_p , приходящегося на один тормозной постамент, оценить допустимую толщину стойки постаментов δ_p . В рамках продолжения данной научной работы предполагается подготовить номограммы с более широким диапазоном конструктивных параметров тормозных постаментов, рассчитанных для типового ряда подъемных машин со шкивами трения $D = 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5$ м.

На основании полученных в данной работе зависимостей можно проектировать тормозные системы рудничных подъемных установок с резинометаллическими тяговыми органами. При этом будут учитываться эксплуатационные нагрузки на оборудование, конструктивные особенности подъемной машины и режимы работы подъемных установок.

Заключение

В статье приводится обоснование проведения исследований тормозных систем

применительно к модернизированным рудничным подъемным установкам с резинометаллическими тяговыми органами.

Разработанная цифровая модель тормозного постаментов дискового тормоза позволяет оценить его напряженно-деформированное состояние при имитации нагрузок, возникающих при реализации торможения подъемной установки.

На основании выполненной серии цифровых экспериментов получены зависимости максимальных напряжений от конструктивных параметров тормозных постаментов при различных тормозных усилиях, соответствующих эксплуатации подъемных установок с резинометаллическими канатами. Полученные зависимости позволяют определить массу и конструктивные параметры тормозных постаментов новых подъемных машин с учетом расчетных значений тормозных усилий при эксплуатации подъемных установок.

Цифровая модель тормозного постаментов и полученные зависимости могут быть применены при проектировании тормозных систем рудничных подъемных установок с резинометаллическими тяговыми органами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельник В. В., Ефимов В. И., Корчагина Т. В., Попов А. И., Музафаров Г. Г. Опыт отработки крутых угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 11. – С. 18–38. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-18-38.

2. Pleshko M. S., Pankratenko A. N., Pleshko M. V., Nasonov A. A. Assessment of stress-strain behavior of shaft lining in bottomhole area during sinking by real-time monitoring and computer modeling data // Eurasian Mining. 2021, vol. 35, no 1, pp. 25–30. DOI: 10.17580/em.2021.01.05.

3. Коликов К. С., Каледина Н. О., Кобылкин С. С. Кафедра безопасность и экология горного производства: прошлое, настоящее и будущее // Горный журнал. – 2018. – № 3. – С. 21–28. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04.

4. Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Y., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas / 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. 2019, vol. 19, book 1.3, pp. 717–724. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.091.

5. Павленко М. В., Барнов Н. Г., Кузиев Д. А., Кенжабаев К. Н., Монзоев М. В. Вибрационное воздействие через скважины и технология дегазационной подготовки низкопропнищаемого угольного пласта // Уголь. – 2020. – № 1. – С. 36–40. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.

6. Ilin S., Adorska L., Samusia V., Kolosov D., Ilina I. Conceptual bases of intensification of mining operations in mines of Ukraine. Based on monitoring and condition management of mine hoisting systems // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 109, article 00030, pp. 1–10. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900030.

7. Ilin S. R., Samusya V. I., Kolosov D. L., Ilina I. S., Ilina S. S. Risk-forming dynamic processes in units of mine hoists of vertical shafts // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2018, no. 5, pp. 64–71. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/10.

8. Трифанов Г. Д., Князев А. А., Филатов А. П., Лаук В. В. Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных системами непрерывного контроля // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 6. – С. 52–58. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-52-58.

9. Мацов С. Я., Газизуллин Г. Д., Трифанов Г. Д. Компьютерные системы защиты и мониторинга шахтных подъемных установок // Безопасность труда в промышленности. – 2016. – № 1. – С. 32–36.

10. Трифанов Г. Д., Князев А. А. Опыт использования цифровых технологий для повышения эффективности и безопасности работы шахтных подъемных установок // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горношахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2018. – Т. 1. – С. 4–11.

11. Сурина Н. В., Мнацаканян В. У. Автоматизированная система проектирования технологических процессов ремонта горного оборудования // Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 90–95. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.

12. Галкин В. И., Шешко Е. Е., Дьяченко В. П. Конструктивные параметры криволинейных участков ленточных конвейеров в горнодобывающей промышленности // Горный журнал. – 2018. – № 12. – С. 69–73. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.14.

13. Фащиленко В. Н., Решетняк С. Н. Исследование резонансного режима работы электропривода горных машин // Горный журнал. – 2017. – № 7. – С. 80–83. DOI: 10.17580/gzh.2017.07.15.

14. Макаров Н. В., Макаров В. Н., Угольников А. В., Носырев М. Б. Оптимизация параметров вентиляторных установок устройств воздушного охлаждения // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – Т. 13. – № 3. – С. 433–440. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-433-440.

15. Khoreshok A., Ananiev K., Ermakov A., Kuziev D., Babarykin A. Determination of the rational number of cutters on the outer cutting drums of geokhod // *Acta Montanistica Slovaca*. 2020, vol. 25, no. 1, pp. 70 – 80. DOI: 10.46544/AMS.v25i1.7.
16. Gubanov S., Petsyk S., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils // *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, article 03008, pp. 1 – 5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.
17. Dagang W., Ruixin W., Jun Z. Dynamic brake characteristics of disc brake during emergency braking of the kilometer deep coal mine hoist // *Advances in Mechanical Engineering*. 2020, vol. 12, no. 5, pp. 1 – 23. DOI: 10.1177/1687814020918097.
18. Guiyun X., Di S., Di Z., Xiaoguang Z., Shikang S. A novel mechanical design of disc brakes for fault diagnosis and monitoring positive braking pressure in mine hoist // *Advances in Mechanical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 1 – 16. DOI: 10.1177/1687814019842494.
19. Rakhutin M., Simba N., Khoroshavin S. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope // *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, article 03015, pp. 2 – 5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.
20. Снитко С. А., Яковченко А. В., Горбатьюк С. М. Метод учета остаточных технологических напряжений при моделировании напряженно-деформированного состояния диска железнодорожного колеса. Сообщение 2 // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2021. – № 7. – Т. 64. – С. 477 – 483. DOI: 10.17073/0368-0797-2021-7-477-483.
21. Рутковский М. А. Моделирование напряженно-деформированного состояния барабана шахтной подъемной машины // *Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта*. – 2014. – № 1(1). – С. 197 – 205.
22. Zabolotnyi K., Panchenko O., Zhupiiiev O., Haddad J. S. Justification of the algorithm for selecting the parameters of the elastic lining of the drums of mine hoisting machines // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 123, article 01021, pp. 1 – 10. DOI: 10.1051/e3sconf/201912301021.
23. Перекутнев В. Е., Зотов В. В. Моделирование приводных шкивов подъемных установок с резиновых канатами // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2020. – № 6. – С. 105 – 114. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
24. Vagin V. S., Kurochkin A. I., Karpesh A. A. Compact mobile sinking hoists creation prospects / *Conference on Industrial Engineering ICIE 2017*. 2017, vol. 206, pp. 21 – 24. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.431.
25. Перекутнев В. Е., Зотов В. В. Сравнительная оценка резиновых канатов для рудничных вертикальных подъемных установок // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2020. – № 7. – С. 85 – 93. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
26. 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.
27. Kurochkin A., Vagin V., Karpesh A., Dyorina N. Control system for electrohydraulic drive of a mobile sinking hoisting plant // *MATEC Web of Conferences*. 2018, vol. 224, article 02009, pp. 1 – 4. DOI: 10.1051/matecconf/201822402009.
28. Зотов В. В., Кузиев Д. А., Рыжов И. М. Основные направления повышения технического уровня шахтных подъемных установок // *Горная промышленность*. – 2014. – № 2(114). – С. 111 – 112.
29. Belmas I., Kogut P., Kolosov D., Samusia V., Onyshchenko S. Rigidity of elastic shell of rubber-cable belt during displacement of cables relatively to drum // *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 109, article 00005, pp. 1 – 14. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900005.
30. Колосов Д. Л. Исследование напряженного состояния резинового каната при сложной контактной поверхности с рабочим органом подъемной машины // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна*. – 2012. – № 2(24). – С. 97 – 104.

31. Сайт завода НКМЗ. URL://http://nkmz.com/ (дата обращения: 21.12.2022).
32. Сайт компании ABB. URL://https://new.abb.com/ru/ (дата обращения: 21.12.2022).
33. Zabolotnyi K. Development of a model of contact shoe brake-drum interaction in the context of a mine hoisting machine // Mining of Mineral Deposits. 2017, vol. 11, no. 4, pp. 38–45. DOI: 10.15407/mining11.04.038.
34. Reshetnyak S., Maksimenko Y., Zakharova A. Investigation of the electric drive system of the lifting unit with parallel coordinate correction // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 315, article 03028, pp. 1–5. DOI: 10.1051/e3sconf/202131503028. **IAE**

REFERENCES

- Melnik V. V., Efimov V. I., Korchagina T. V., Popov A. I., Muzafarov G. G. Experience of steeply dipping coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 11, pp. 18–38. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-11-0-18-38.
- Pleshko M. S., Pankratenko A. N., Pleshko M. V., Nasonov A. A. Assessment of stress-strain behavior of shaft lining in bottomhole area during sinking by real-time monitoring and computer modeling data. *Eurasian Mining*. 2021, vol. 35, no 1, pp. 25–30. DOI: 10.17580/em.2021.01.05.
- Kolikov K. S., Kaledina N. O., Kobylkin S. S. Mining safety and ecology department: Past, present and future. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 3, pp. 21–28. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.03.04.
- Batugin A., Kolikov K., Ivannikov A., Ignatov Y., Krasnoshtanov D. Transformation of the geodynamic hazard manifestation forms in mining areas. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019*. 2019, vol. 19, book 1.3, pp. 717–724. DOI: 10.5593/sgem2019/1.3/S03.091.
- Pavlenko M. V., Barnov N. G., Kuziev D. A., Kenzhabaev K. N., Monzoev M. V. Vibration impact through wells and the technology of degassing of the preparation of low-permeability coal seam. *Ugol'*. 2020, no. 1, pp. 36–40. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-36-40.
- Ilin S., Adorska L., Samusia V., Kolosov D., Ilina I. Conceptual bases of intensification of mining operations in mines of Ukraine. Based on monitoring and condition management of mine hoisting systems. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 109, article 00030, pp. 1–10. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900030.
- Ilin S. R., Samusya V. I., Kolosov D. L., Ilina I. S., Ilina S. S. Risk-forming dynamic processes in units of mine hoists of vertical shafts. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2018, no. 5, pp. 64–71. DOI: 10.29202/nvngu/2018-5/10.
- Trifanov G. D., Knyazev A. A., Filatov A. P., Laschuk V. V. Operational experience of mine lifting installations equipped with continuous monitoring systems. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 6, pp. 52–58. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-6-52-58.
- Matsov S. Ya., Gazizullin G. D., Trifanov G. D. Computer systems for protection and monitoring of mine lifting installations. *Occupational Safety in Industry*. 2016, no. 1, pp. 32–36. [In Russ].
- Trifanov G. D., Knjazev A. A. Maintenance of safety of operation of mine lifting units by application of digital technologies. *Aktual'nye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i neftepromyslovogo oborudovaniya*. 2018, vol. 1, pp. 4–11. [In Russ].
- Surina N. V., Mnatsakanyan V. U. Automated process design system for mining equipment repair. *Gornyi Zhurnal*. 2019, no. 7, pp. 90–95. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.08.
- Galkin V. I., Sheshko E. E., Dyachenko V. P. Design parameters of curvilinear sections of belt conveyors in mining. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 12, pp. 69–73. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.12.14.

13. Fashchilenko V. N., Reshetnyak S. N. Resonant behavior of electric drives of mining machines. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 7, pp. 80 – 83. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2017.07.15.
14. Makarov N. V., Makarov V. N., Ugolnikov A. V., Nosyrev M. B. Optimization of parameters of fan units of air cooling devices. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 3, pp. 433 – 440. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-433-440.
15. Khoreshok A., Ananiev K., Ermakov A., Kuziev D., Babarykin A. Determination of the rational number of cutters on the outer cutting drums of geokhod. *Acta Montanistica Slovaca*. 2020, vol. 25, no. 1, pp. 70 – 80. DOI: 10.46544/AMS.v25i1.7.
16. Gubanov S., Petsyk S., Komissarov A. Simulation of stresses and contact surfaces of disk rolling cutters with the rock when sinking in mixed soils. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, article 03008, pp. 1 – 5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703008.
17. Dagang W., Ruixin W., Jun Z. Dynamic brake characteristics of disc brake during emergency braking of the kilometer deep coal mine hoist. *Advances in Mechanical Engineering*. 2020, vol. 12, no. 5, pp. 1 – 23. DOI: 10.1177/1687814020918097.
18. Guiyun X., Di S., Di Z., Xiaoguang Z., Shikang S. A novel mechanical design of disc brakes for fault diagnosis and monitoring positive braking pressure in mine hoist. *Advances in Mechanical Engineering*. 2019, vol. 11, no. 4, pp. 1 – 16. DOI: 10.1177/1687814019842494.
19. Rakhutin M., Simba N., Khoroshavin S. Analysis of the dependence of the stressed state of the tracked track of a career excavator from an angle slope. *E3S Web of Conferences*. 2020, vol. 177, article 03015, pp. 2 – 5. DOI: 10.1051/e3sconf/202017703015.
20. Snitko S. A., Yakovchenko A. V., Gorbatyuk S. M. Accounting method for residual technological stresses in modeling the stress-deformed state of a railway wheel disk. Report 2. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021, no. 7, vol. 64, pp. 477 – 483. [In Russ]. DOI: 10.17073/0368-0797-2021-7-477-483.
21. Rutkovsky M. A. Simulation of stress-strain state drum mine winders. *Contemporary Innovation Technique of the Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry*. 2014, no. 1(1), pp. 197 – 205. [In Russ].
22. Zabolotnyi K., Panchenko O., Zhupiiiev O., Haddad J. S. Justification of the algorithm for selecting the parameters of the elastic lining of the drums of mine hoisting machines. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 123, article 01021, pp. 1 – 10. DOI: 10.1051/e3sconf/201912301021.
23. Perekutnev V. E., Zotov V. V. Modeling drive wheels of hoisting machines with rubber cables. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 105 – 114. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-105-114.
24. Vagin V. S., Kurochkin A. I., Karpesh A. A. Compact Mobile Sinking Hoists Creation Prospects. *Conference on Industrial Engineering ICIE 2017*. 2017, vol. 206, pp. 21 – 24. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.431.
25. Perekutnev V. E., Zotov V. V. Comparative assessment of rubber steel cables for vertical mine hoists. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 85 – 93. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-85-93.
26. Kurochkin A. I., Filatov A. M., Podbolotov S. V. Optimization of dynamic processes of driving lifting installations equipped disk braking devices. *Natural and technical sciences*. 2020, no. 3(141), pp. 212 – 214. [In Russ].
27. Kurochkin A., Vagin V., Karpesh A., Dyorina N. Control system for electrohydraulic drive of a mobile sinking hoisting plant. *MATEC Web of Conferences*. 2018, vol. 224, article 02009, pp. 1 – 4. DOI: 10.1051/matecon/201822402009.
28. Zotov V. V., Kuziev D. A., Ryzhov I. M. Main trends of improving the mine hoist engineering performance standards. *Russian Mining Industry*. 2014, no. 2(114), pp. 111 – 112. [In Russ].
29. Belmas I., Kogut P., Kolosov D., Samusia V., Onyshchenko S. Rigidity of elastic shell of rubber-cable belt during displacement of cables relatively to drum. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 109, article 00005, pp. 1 – 14. DOI: 10.1051/e3sconf/201910900005.

30. Kolosov D. L. Stress state analysis of the rubber-rope cable at complicated contact surface with a hoist actuator. *Naukovi prati Donetsk National Technical University. Series: Girnichoelectro-mechanical*. 2012, no. 2(24), pp. 97 – 104.

31. NKMZ factory, available at: <http://nkmz.com/> (accessed 21.12.2022).

32. ABB company, available at: <https://new.abb.com/ru> (accessed 21.12.2022).

33. Zabolotnyi K. Development of a model of contact shoe brake-drum interaction in the context of a mine hoisting machine. *Mining of Mineral Deposits*. 2017, vol. 11, no. 4, pp. 38 – 45. DOI: 10.15407/mining11.04.038.

34. Reshetnyak S., Maksimenko Y., Zakharova A. Investigation of the electric drive system of the lifting unit with parallel coordinate correction. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 315, article 03028, pp. 1 – 5. DOI: 10.1051/e3sconf/202131503028.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гылымұлы Саламат¹ – аспирант,

e-mail: m1606832@edu.misis.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5088-1828,

Кантович Леонид Иванович¹ – д-р техн. наук,

профессор, e-mail: kantovich.li@misis.ru,

ORCID ID: 0000-0003-1438-8010,

Тиагалиева Жанна Асетовна¹ – аспирант,

e-mail: m1707439@edu.misis.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5447-2693,

Белянкина Ольга Владимировна¹ – канд. техн. наук,

доцент, e-mail: belyankina.ov@misis.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1506-6526,

¹ ГИ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Гылымұлы С., e-mail: m1606832@edu.misis.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

S. Gylymuly¹, Graduate Student,

e-mail: m1606832@edu.misis.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5088-1828,

L.I. Kantovich¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: kantovich.li@misis.ru,

ORCID ID: 0000-0003-1438-8010,

Z.A. Tiagalieva¹, Graduate Student,

e-mail: m1707439@edu.misis.ru,

ORCID ID: 0000-0001-5447-2693,

O.V. Belyankina¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

e-mail: belyankina.ov@misis.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1506-6526,

¹ Mining Institute, National University of Science

and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: S. Gylymuly, e-mail: m1606832@edu.misis.ru.

Получена редакцией 28.01.2022; получена после рецензии 24.03.2022; принята к печати 10.05.2022.

Received by the editors 28.01.2022; received after the review 24.03.2022; accepted for printing 10.05.2022.

