

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории комбинированной геотехнологии при разработке природных и техногенных ресурсов» хорошо известна мировой научной общественности.

В Институте горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова совместно с Институтом проблем комплексного освоения недр Российской академии наук ведутся исследования по созданию эффективных технологий комбинированной разработки природных и техногенных георесурсов. За работу «Разработка и промышленная реализация комбинированных технологий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала» коллектив авторов: член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, проф. Каплунов Д.Р. (ИПКОН РАН, г. Москва), д-р техн. наук, проф. Калмыков В.Н. (МГТУ, г. Магнитогорск), д-р техн. наук, проф. Рыльникова М.В. (ИПКОН РАН, г. Москва) и др. удостоены премии Правительства РФ в области науки и техники.

Дальнейшие исследования по созданию схем вскрытия законтурных запасов подземными выработками, пройденными с борта карьера, позволяют за счет использования существующих карьерных коммуникаций и транспортного оборудования для подземных горных работ повысить эффективность отработки законтурных запасов подземным способом.

УДК 622.271.326:622.673

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ВСКРЫТИЯ ЗАКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРЬЕРНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г., Заляднов В.Ю.

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

Аннотация. В статье предложена модель оценки эффективности схем вскрытия законтурных запасов наклонным съездом, пройденным с борта карьера с транспортированием рудной массы по карьерным подъемникам. Строительство подземного рудника из карьерного пространства сокращает сроки строительства и объем капитальных вложений, транспортирование рудной массы из шахты по карьерному подъемнику минимизирует эксплуатационные расходы на подъем. Данные факторы позволяют значительно снизить себестоимость добычи рудной массы, вследствие чего повышается эффективность отработки законтурных запасов по сравнению с традиционным способом вскрытия посредством вертикальных стволов с поверхности. При небольшой глубине залегания рудного тела рассмотренные технологические схемы позволяют избежать вскрытия законтурных запасов с поверхности и расширить область применения схем вскрытия из карьерного пространства с применением карьерных подъемников, установленную предшествующими исследованиями.

Ключевые слова: комбинированный открыто-подземный способ разработки, технологические схемы, конвейерный подъемник, скиповой подъемник, стоимость транспортирования.

Введение

Разработка запасов нижних горизонтов карьера и последующая подземная разработка законтурных запасов связана с капиталоемким и трудоемким процессом строительства транспортных коммуникаций для обеспечения связи рабочих горизонтов с поверхностью, который впоследствии формирует высокую себестоимость подземной добычи рудной массы. Целесообразность и экономическая эффективность комбинированной разработки месторождений во многом будет определяться схемами вскрытия месторождения при открытом и подземном способе разработки, а также транспортным взаимодействием данных схем.

Вскрытие законтурных запасов рудовыдачным наклонным съездом или штольной, пройденными с борта карьера, по сравнению с традиционной схемой вскрытия вертикальными стволами с поверхности позволяет сократить срок строительства подземного рудника, снизить затраты на подъем рудной массы

на поверхность, а также избежать применения сложного горнопроходческого оборудования. Последними исследованиями [1, 2] доказана целесообразность применения крутонаклонных подъемников в карьерах, позволяющая минимизировать затраты на транспортирование горной массы при доработке месторождения открытым способом и использования в дальнейшем при подземной разработке месторождения. Однако в данных работах не выполнялись исследования области эффективного применения технологических схем транспортирования рудной массы из шахты по карьерному подъемнику в сопоставлении с традиционным способом вскрытия законтурных запасов с транспортированием по вертикальным рудовыдачным стволам. Поэтому целью исследований является установление максимальной производительной мощности рудника и глубины залегания рудного тела, при которых рассматриваемые технологические схемы вскрытия и транспортирования будут эффективны.

1. Экономико-математическая модель расчета эффективности схемы на основе базовых технологических схем применения карьерных подъемников при вскрытии законтурных запасов

Рассматриваемые варианты вскрытия законтурных запасов отличаются объемом капитальных вложений и эксплуатационными затратами на добычу рудной массы. Эксплуатационные затраты состоят из затрат по себестоимости системы разработки, стоимости перемещения рудной массы на поверхность и амортизации специализированных основных средств. Для всех сравниваемых вариантов принята одинаковая система подземной разработки месторождения, поэтому эксплуатационные затраты будут отличаться по статье затрат на перемещение рудной массы на поверхность и амортизационным отчислениям по специализированным основным средствам (горно-капитальным выработкам).

Объектом исследований является крутопадающее глубокозалегающее месторождение, отрабатываемое комбинированным открыто-подземным способом.

Исследования проводились для четырех схем размещения карьерных подъемников (рис. 1) [3-6].

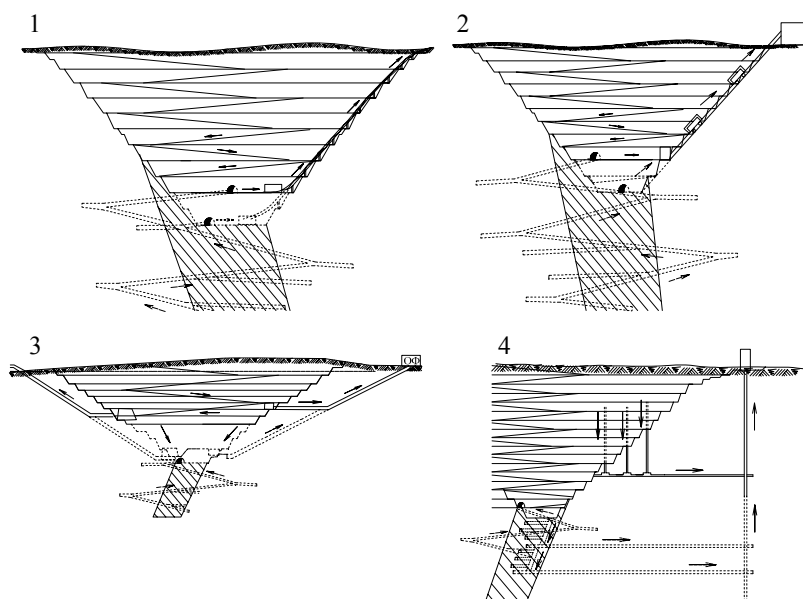


Рис. 1. Базовые схемы размещения карьерных подъемников: 1 – крутонаклонный конвейерный подъемник на борту карьера; 2 – скиповой подъемник на борту карьера; 3 – конвейер, расположенный в наклонном стволе; 4 – скиповой подъемник, расположенный в вертикальном стволе

Оценка эффективности способов вскрытия законтурных запасов выполнена для приконтурных и удаленных от контура карьера запасов, вскрытых

наклонным съездом или штольной, пройденными с борта карьера, и традиционным способом – вертикальным стволом с поверхности. Запасы, расположенные в бортах карьера, вскрываются штольной. Запасы, расположенные ниже уровня дна карьера, вскрываются наклонным съездом (рис. 2) [7].

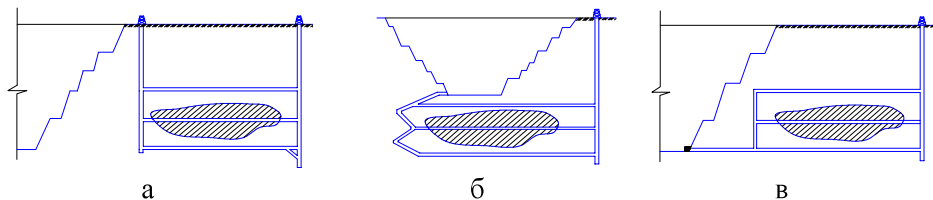


Рис. 2. Типовые схемы вскрытия удаленных от контура карьера запасов: а – штольной из карьера; б – наклонным стволом из карьера; в – скиповым стволом с поверхности

В качестве целевой функции принята разность затрат на транспортирование рудной массы с амортизацией ГKB:

$$\Xi = S_1 - S_2 \rightarrow \max \text{ или } S_2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где S_1, S_2 – стоимость транспортирования 1 т рудной массы на поверхность с амортизацией ГKB при традиционном способе вскрытия законтурных запасов и при вскрытии наклонным съездом или штольной с борта карьера соответственно, руб./т.

При отрицательной разнице между стоимостями транспортирования с амортизацией ГKB в рассматриваемых вариантах вскрытия законтурных запасов целесообразно производить традиционным способом – шахтным стволом с поверхности.

Стоимость транспортирования 1 т рудной массы на поверхность с амортизацией ГKB при вскрытии наклонным съездом S_2 складывается из стоимости транспортирования подземными автосамосвалами по подземному рудовыдачному съезду с амортизацией ГKB и карьерному подъемнику:

$$S_2 = \frac{S_{ПА} + S_{КП}}{Q_{ш}}, \quad (2)$$

где $S_{ПА}$ – затраты на транспортирование рудной массы подземными автосамосвалами по наклонному съезду с амортизацией ГKB, руб.; $S_{КП}$ – затраты на транспортирование рудной массы по карьерному подъемнику, руб.

Затраты на транспортирование рудной массы по технологическим схемам будут зависеть от типа и расположения подъемника [8-13]. При этом в расчетах не учитываются затраты на

амортизацию подъемников, поскольку капитальные вложения на их строительство окупаются в период открытых горных работ [1].

Сравнение затрат на подъем рудной массы на поверхность по четвертой технологической схеме производится с вариантом углубки шахтных стволов. Затраты на подъем рудной массы скиповым подъемником в вертикальном стволе рассчитываются аналогично традиционной схеме без учета амортизационных отчислений по зданиям и сооружениям поверхностного комплекса. Стоимость углубки вертикального ствола примерно в полтора раза дороже проходки ствола. Это связано с тем, что углубка производится в стесненных условиях с использованием подъемных сосудов и грейферных грузчиков меньшей вместимости, чем при проходке ствола. Углубку можно вести в условиях эксплуатации подъема в стволе по выдаче горной массы с дорабатываемых горизонтов карьера.

Также рассматривался вариант транспортирования рудной массы на поверхность карьерными самосвалами – технологическая схема 5 (рис.3). Перегрузочный пункт предусматривался вблизи портала наклонного съезда с экскаваторной перегрузкой.

2. Определение области применения схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников

По результатам исследований, полученных с помощью предложенной экономико-математической модели, построены зависимости стоимости подъема 1 т рудной массы с амортизацией ГКР от производственной мощности шахты по вариантам перемещения на поверхность при глубине подъема из шахты 1000 м (рис. 3).

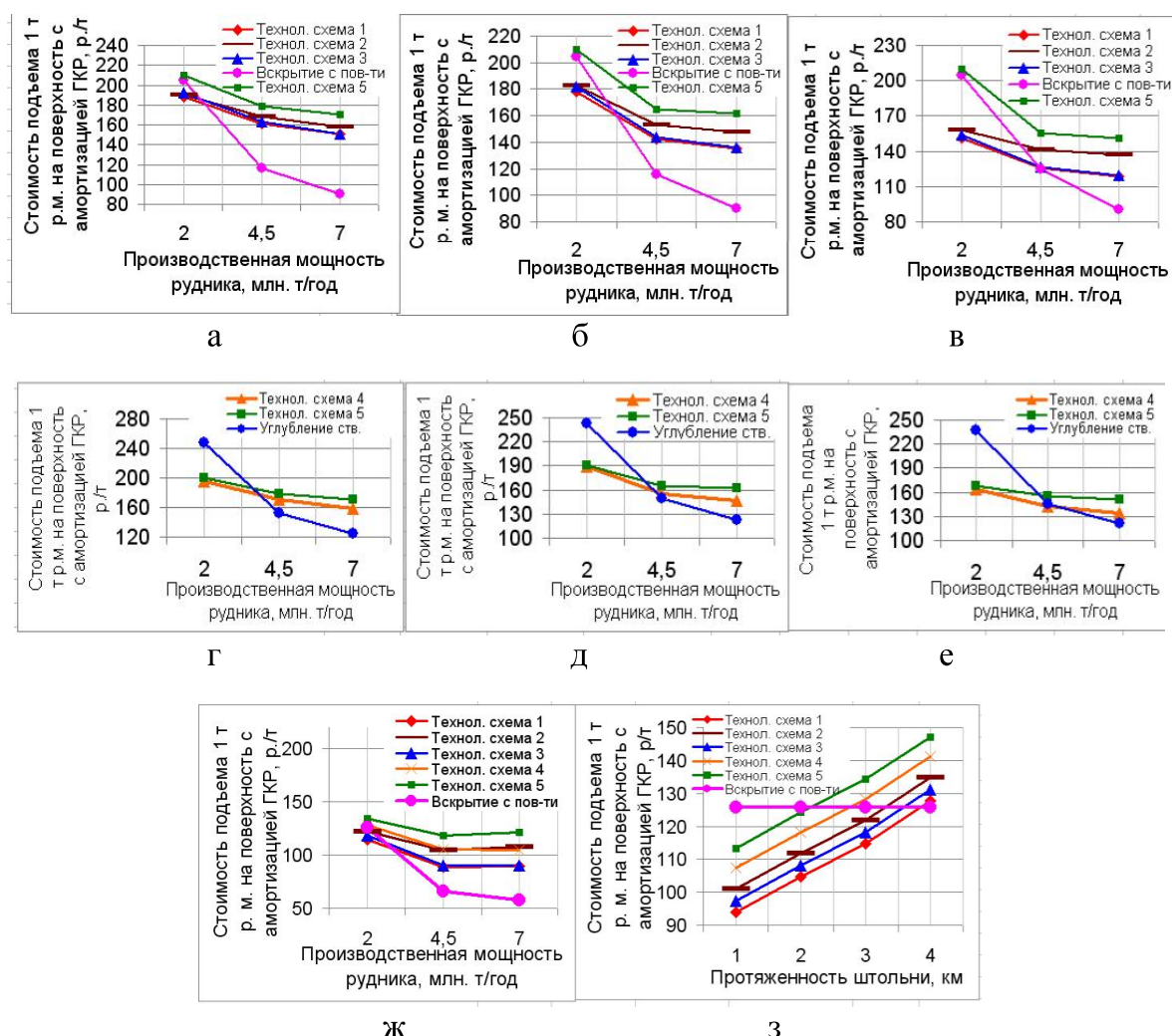


Рис. 3. Зависимость затрат на транспортирование рудной массы с амортизацией ГКР от производственной мощности шахты по вариантам перемещения на поверхность при глубине подъема из шахты 1000 м и при глубине расположения перегрузочного пункта в карьере: а, г – 200 м; б, д – 300 м; в, е – 400 м

На основе выполненных исследований установлено, что при вскрытии горизонтов карьера крутыми траншеями или наклонными конвейерными стволами и квершлагами вскрытие законтурных запасов, залегающих на глубине до 1000 м, из карьерного пространства с помощью наклонных съездов с транспортированием рудной массы по карьерному подъемнику целесообразно при:

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 200 м и производственной мощности рудника до 2,5 млн т/год;

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 300 м и производственной мощности рудника до 3 млн т/год;

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 400 м и производственной мощности рудника до 4,5 млн т/год. При большей производственной мощности рудника целесообразно вскрытие вертикальными стволами с поверхности (рис. 3, а, б, в).

При вскрытии горизонтов карьера вертикальными стволами и квершлагами при глубине расположения запасов до 1000 м и производственной мощности рудника до 4,5 млн т/год целесообразно их вскрытие из карьерного пространства с помощью наклонных съездов с транспортированием рудной массы по вертикальному подъемнику. При большей производственной мощности рудника целесообразно углубление существующих шахтных стволов (рис. 3, г, д, е).

При расположении удаленных запасов в бортах карьера на расстоянии до 4 км эффективно вскрытие штольной с транспортированием рудной массы по карьерному подъемнику, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности.

Ранее выполненными исследованиями было установлено [7]:

1) при глубине расположения запасов ниже дна карьера до 200 м более экономичным является их вскрытие из карьерного пространства с помощью штолен и наклонных съездов или стволов, при большей глубине распространения запасов предпочтителен традиционный способ вскрытия посредством вертикальных стволов с поверхности;

2) в случае удаления запасов от поверхности откоса борта на расстоянии до 2 км целесообразно вскрытие штольнями из карьера, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности.

Заключение

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют расширить область применения схем вскрытия законтурных запасов подземными выработками, пройденными с борта карьера с дальнейшим транспортированием рудной массы по карьерным подъемникам; применить существующее карьерное транспортирующее оборудование для целей подземных горных работ; повысить эффективность отработки законтурных запасов подземным способом. При небольшой глубине залегания рудного тела месторождения обрабатывается без строительства вертикальных стволов с поверхности.

Список литературы

1. Санакулов К.С., Шеметов П.А. Развитие циклично-поточной технологии на основе крутонаклонных конвейеров в глубоких карьерах // Горный журнал. 2011. №8. С. 34-37.
2. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров // Горный журнал. 2003. №4-5. С. 51-56.
3. Обоснование факторов, обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н. Г. Томила // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №4. С. 5-10.
4. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томила Н.Г. Классификация технологических схем вскрытия глубоких горизонтов с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. №7. С. 9-15.
5. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томила Н.Г. Обоснование технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №4. С. 108-115.
6. Применение ресурсосберегающих технологических схем транспортирования горной массы на заключительных этапах открытых горных работ / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н. Г. Томила, В.А. Кидяев // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №3. С. 168-179.
7. Рыльникова М.В., Калмыков В.Н., Ивашов Н.А. Эффективные схемы вскрытия и комбинированной отработки рудных месторождений // Недропользование: XXI век. 2007. №2. С. 52-54.
8. Высокопроизводительные глубокие карьеры / Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. и др. М.: Недра, 1984. 188 с.
9. Ленточные конвейеры в горной промышленности / Дьяков В.А., Шахмистер Л.Г., Дмитриев В.Г. и др. М.: Недра, 1982. 349 с.
10. Ромакин Н.Е. Конструкция и расчет конвейеров: справочник. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 504 с.
11. Кириченко А.И., Картавый А.Н. Крутонаклонный конвейер КНК-270 для Навоийского ГМК // Горная промышленность. 2010. №2. С. 71-75.
12. Яковлев В.Л., Смирнов В.П., Берсенов В.А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 42 с.
13. Моссаковский Я.В. Экономика горной промышленности. М.: Изд-во МГТУ, 2006. 525 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERFORMANCE EVALUATION OF OPENING SUPPLIES SCHEMES WITH THE USE OF QUARRY LIFTS

Gavrishev Sergey Evgenyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Mining Engineering and Transport, Head of Open-Pit Mining of Mineral Deposits department, Mining Engineering and Transport Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-75. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Underground Mining of Mineral Deposits department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-84-61.

Burmistrov Konstantin Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-56. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru.

Tomilina Nuriya Gumarovna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-84-16. E-mail: t.nuria@yandex.ru.

Zalyadnov Vadim Yuryevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-56.

Abstract. A model of performance evaluation of supplies development schemes by ramp with the transportation of ore with quarry lifts is suggested in the paper. The construction of the underground mine from the open pit space reduces the construction time and capital investments, ore transportation from the mine with the quarry lifts minimizing operating costs on the rise. These factors can significantly reduce the cost of extracting the ore mass, thereby increasing the effectiveness of mining stocks compared with the traditional way of opening through vertical shafts from the surface. With a small depth of the ore body engineering schemes considered allow to avoid supplies development from the surface and extend the scope of development schemes from the pit area using lifts installed by previous studies.

Keywords: combined open-underground mining method, engineering schemes, conveyor, skip, the transportation cost.

References

1. Sanakulov K.S., Shemetov P.A. Razvitiye tsiklichno-potochnoy tekhnologii na osnove krutonaklonnykh konveyerov v glubokikh karyerakh [Development of cyclic-flow technology based on steeply inclined conveyors in deep open pits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2011, no. 8, pp. 34-37.
2. Yakovlev V.L. Perspektivnye resheniya v oblasti tsiklichno-potochnoy tekhnologii glubokikh karyerov [Promising solutions in the field of cyclic-flow technology of deep open pits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2003, no. 4-5, pp. 51-56.
3. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Obosnovanie faktorov, obuslovliyayushchikh primeneniye krutonaklonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniy [Justification of the factors contributing to the use of steeply inclined lifts in the combined method of field development]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 4, pp. 5-10.
4. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Klassifikatsiya tekhnologicheskikh skhem vskrytiya glubokikh gorizontov s primeneniem krutona-
klonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniy [Classification of technological circuits of opening of deep layers using steeply inclined lifts or combined mining method]. *Izvestiya vyscheykh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Mining Journal], 2013, no. 7, pp. 9-15.
5. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy vskrytiya glubokikh gorizontov karyerov s primeneniem krutonaklonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniya [Justification of the technological scheme of opening of deep horizons of quarries with the use of high-angle lifts in the combined method of field development]. *Gornyy informatsionno-analicheskii bulletin (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 4, pp. 108-115.
6. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G., Kidaev V.A. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of transport complex of Russia]. Magnitogorsk, 2013, pp. 168-179.
7. Rylnikova M.V., Kalmykov V.N., Ivashov N.A. Effektivnyye skhemy vskrytiya i kombinirovannoy obrabotki rudnykh mestorozhdeniy [Effective Opening Scheme and of Combined Mining Deposits Ore]. *Nedropolzovanie: XXI vek* [Use of subsurface: XXI century], 2007, no. 2, pp. 52-54.
8. Novozhilov M.G., Drizhenko A.U., Maevskiy A.M. and others, Under. ed. Novozhilov M.G. *Vysokoproizvoditelnye glubokie karyery* [High Performance Deep Pits]. Moscow, 1984, 188 p.
9. Dyakov V.A., Shakhmeyer L.G., Dmitriev V.G. and others. *Lentochnyye konveyery v gornoy promyshlennosti* [Belt Conveyors in Mining]. Moscow, 1982, 349 p.
10. Romakin N.E. *Konstruktsiya i raschet konveyerov* [Design and Calculation of Conveyors]. Staryy Oskol, 2012, 504 p.
11. Kirichenko A.I., Kartavy A.N. Krutonaklonnyy konveyer KNK-270 dlya Navoiyskogo GMK [Steeply inclined conveyor for Navoiysk MMC]. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry], 2010, no.2, pp. 71-75.
12. Yakovlev V.L., Smirnov V.P., Bersenev V.A. *Ustroystvo drobilno-konveyernykh kompleksov na glubokikh karyerakh* [Device of crushing and conveyor systems in deep pits]. Yekaterinburg, 2003, 42 p.
13. Mossakovskiy Ya.V. *Ekonomika gornoy promyshlennosti* [Economics of mining industry]. Moscow, 2006, 525 p.