

# РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

---

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-1-8-14

## АКТИВАЦИЯ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

ГОЛИК В. И., РАЗОРЕНОВ Ю. И., КАРГИНОВ К. Г., НОСЫРЕВ М. Б.

*Необходимость увеличения объемов добычи руд для удовлетворения потребности в минеральном сырье и усложнение условий разработки рудных месторождений актуализируют поиски резервов производства закладочных твердеющих смесей, в том числе за счет применения технологий, изменяющих технологические свойства ингредиентов смесей. Эксперименты по изысканию эффективных технологий активации компонентов твердеющих смесей имеют целью обеспечить производство дешевым и доступным сырьем. В статье приведены результаты первого в мировой практике экспериментального освоения технологии комбинированной активации твердеющих смесей в промышленных масштабах в процессе разработки металлического месторождения. Рекомендована технологическая схема установки для реализации новой технологии. Показано, что эффективность приготовления и транспортирования твердеющих смесей определяется взаимодействием не только известных факторов, но и наложением на них фактора активации. Определено, что комплексирование методов активации ингредиентов смеси обладает рядом преимуществ: возможность увеличения сырьевой базы; повышение коэффициента полноты ресурсов недр; возможность доставки смеси на расстояние, превышающее предельное для традиционных технологий, что позволяет отказаться от строительства новых закладочных комплексов. Технологии с закладкой пустот твердеющими смесями обеспечивают безопасность горных работ, максимальную полноту использования, охрану недр и окружающей среды. Снижение стоимости смесей обеспечивается путем использования активаторов. Использование дезинтеграторной технологии обеспечивает приращение активности вяжущих.*

**Ключевые слова:** твердеющая смесь; дезинтегратор; доставка; активация; недра; шлак; экология; экономика.

Условиям локализации скальных металлических месторождений в наибольшей мере отвечают камерные системы разработки полезных ископаемых с заполнением выработанного пространства твердеющей смесью, которые гарантированно обеспечивают безопасность горных работ, полноту использования недр и минимизируют опасность для окружающей среды. Эти системы отличаются высокими затратами на приготовление твердеющих смесей, поэтому направление снижения стоимости смесей путем использования новых технологий и внутренних резервов производства приобретает особую актуальность [1–5].

---

**Голик Владимир Иванович** – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН; профессор кафедры горного дела. 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Северо-Кавказский государственный технологический университет. E-mail: v.i.golik@mail.ru

**Разоренов Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор, проректор. 346428, г. Новочеркасск Ростовской обл., ул. Просвещения, 132, Южно-Российский государственный политехнический университет. E-mail: yiri1963@mail.ru

**Каргинов Казбек Георгиевич** – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела. 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, Северо-Кавказский горно-металлургический институт. E-mail: karginovkg@normik.ru

**Носырев Михаил Борисович** – доктор технических наук, профессор кафедры электрификации горных предприятий. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: nosirev.mb@ursmu.ru

Прорывное снижение стоимости твердеющих смесей не может быть обеспечено без использования отходов горного производства, которые в настоящее время в лучшем случае применяют в качестве инертных заполнителей.

Имеющиеся в распоряжении горных предприятий отходы не могут использоваться без улучшения их свойств, поэтому работы, цель которых – повышение активности компонентов смесей, являются приоритетными [6–10].

Параметры физико-химических процессов зависят от площади участвующей в процессе поверхности вещества. Для образования поверхности используются механические силы. Качество механического измельчения определяется расходом энергии на создание новой поверхности и эксплуатационными затратами.

В течение двух последних столетий получает практическую реализацию феномен изменения состояния вещества – активация. Й. Хинт теоретически обосновал и экспериментально доказал, что в результате обработки при скорости удара более 250 м/с вещества изменяют технологические свойства [11–13]. Новая технология имеет пока небольшое распространение, хотя на ряде предприятий используется в промышленных масштабах.

Активация компонентов твердеющей смеси производится в дезинтеграторе, конструкция которого включает два вращающихся в противоположные стороны ротора на отдельных валах. На дисках роторов расположены рабочие элементы, так что ряды одного ротора проходят между рядами другого. Материал подается в центральную часть ротора и, перемещаясь к периферии, подвергается ударам пальцев, вращающихся во встречных направлениях со скоростью 500–1000 об./мин [14–15].

В процессе активации компоненты смеси подвергаются резким скачкообразным изменениям, каждая последующая ступень интенсивнее предыдущей. При перегрузке до четырехсот миллионов ускорений свободного падения в веществе накапливается энергия особого вида. При дезинтегрировании вещества скорости ударов на порядок больше, чем в вибро- и шаровых мельницах. Минералы, содержащие фазы разной прочности, измельчаются под действием ударов по границе разделов фаз в различной степени.

При дезинтеграции использование давно известных физических и химических процессов создает синергетический эффект, который изменяет качество активируемого вещества. В горной промышленности дезинтеграторы нашли практическое применение для активации компонентов твердеющих смесей.

Процесс приготовления закладочной смеси включал измельчение, дозировку и смешивание компонентов смеси. Воду предварительно активировали, изменяя ее энергетическое состояние при взаимодействии с продуктами катодной и анодной реакции и электродиффузии ионов сквозь мембраны.

Экспериментальное освоение технологии комбинированной активации твердеющих смесей в промышленных масштабах в горной практике осуществлено в процессе разработки месторождения Шокпар в Северном Казахстане [16].

#### Техническая характеристика дезинтегратора ДУ-65

Размер куска питания, мм.....	20
Диаметр ротора, мм.....	1220
Суммарная мощность привода, кВт.....	450
Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> .....	1485
Выход фракций –74 мкм, %	
в мокром режиме.....	55
в сухом режиме.....	40
Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т.....	9–12
Удельный расход металла при измельчении, кг/т.....	0,24
Производительность, т/ч.....	24

Дезинтегратор изготовлен по чертежам фирмы «Дезинтегратор» (г. Таллин) и работал в составе установки, расположенной в трех уровнях помещения с площадью основания 7 м.

Схема комбинирования активаторов в процессе изготовления и транспортирования твердеющей смеси представлена на рис. 1.

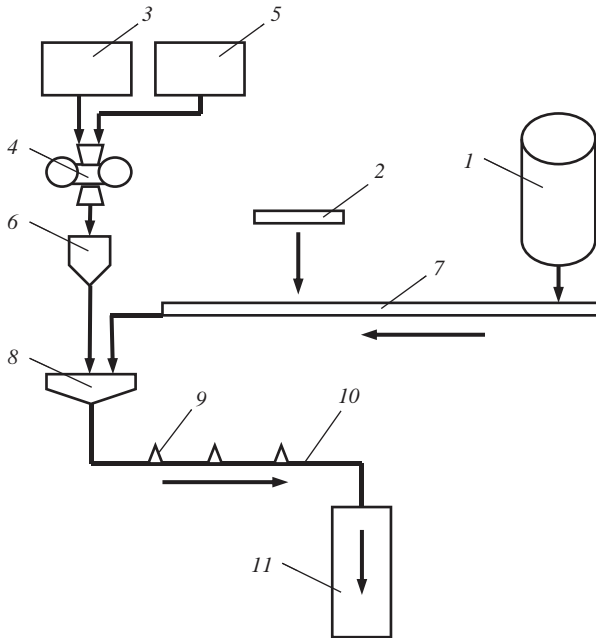


Рис. 1. Схема активаторов при изготовлении и транспортировании твердеющих смесей:

1 – бункер цемента; 2 – виброгрохот инертных заполнителей; 3 – доменный шлак; 4 – дезинтегратор; 5 – активированная вода затворения; 6 – вибромельница; 7 – конвейер; 8 – смеситель; 9 – вибраторы; 10 – закладочный трубопровод; 11 – камера блока

Активация доменных шлаков в дезинтеграторе обеспечила приращение прочности твердеющей смеси на 25–30 % по сравнению с обработкой в мельнице. Одинаковой оказалась прочность контрольных твердеющих смесей в возрасте 28 дней при расходе 180 кг/м<sup>3</sup> цемента и 80 кг/м<sup>3</sup> цемента с добавкой 370 кг/м<sup>3</sup> активированных хвостов, что дает основание эквивалентом 1 кг цемента считать 4 кг активированных хвостов.

Дезинтегратор обеспечил выход активного класса до 55 %, а в комбинации с вибромельницей – 70 %, что позволило активированному шлаку по вяжущей способности конкурировать с товарным цементом.

Массовая концентрация сложного вяжущего, кг/м:

$$A = C_m + Ш_{и}/K_a,$$

где  $C_m$  – минимальная концентрация цемента для активации процесса, кг/м;  $Ш_{и}$  – массовая концентрация исходного шлака, кг/м;  $K_a$  – коэффициент активации процесса в установке, доли ед.

Технологическая схема установки для активации твердеющей смеси: виброгрохот, дезинтегратор, активатор воды, вибромельница, закладочный трубопровод.

Для замещения 1 части цемента при подготовке в шаровых мельницах расходуется 8–20 частей шлака, а при подготовке в дезинтеграторе – только 6–8. Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> смеси снижается со 140 до 50 кг.

Из 220 кг шлака, расходуемого на приготовление 1 м<sup>3</sup> твердеющей смеси, при мокром измельчении в установке в УДА-65 только 90 кг (40 %) использовали в качестве вяжущего. Остальные 130 кг шлака применяли как инертный наполнитель.

Активация продолжалась во время транспортирования смеси к месту назначения в вибротранспортной установке с параметрами: вынужденная сила 2–5 кН; амплитуда колебания трубопровода 1,2–2,0 мм; частота колебаний 6,0–13,0 Гц; влияние одного возбудителя 200–220 м. Достигнутая дальность подачи смеси примерно в 2 раза превысила возможности традиционных транспортных установок (рис. 2).

В продуктах дезинтеграции уменьшается количество фракций крупнее 125–400 мкм и менее 5 мкм. Расход энергии на активацию составляет от 5 до 30 кВт · ч/т.

При одинаковой производительности комплекса (80 м<sup>3</sup>/ч) и длине доставки на расстояние 1500 м при пневмо-самотечной доставке приращение прочности закладки достигает 3 % в возрасте 28 дней и 6 % в возрасте 90 дней, а при вибро-пневмо-самотечной доставке на то же расстояние – 11 % в возрасте 28 дней и 14 % в возрасте 90 дней [17–18].

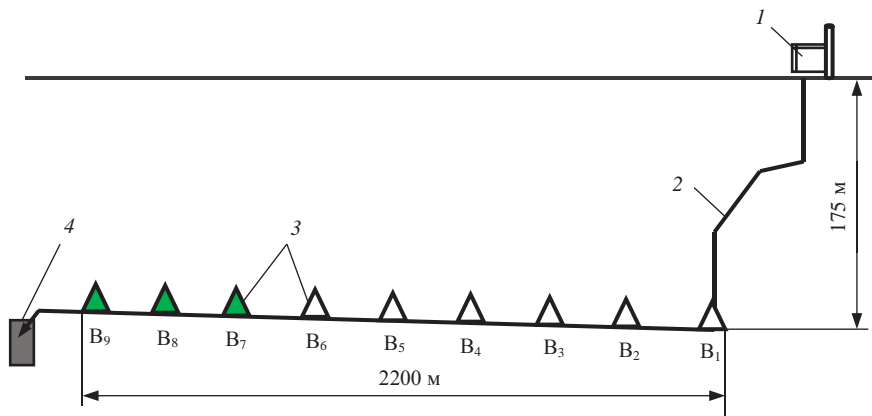


Рис. 2. Схема вибро-пневмо-самотечного транспортирования твердеющих смесей от закладочного комплекса месторождения Шокпар в очистную камеру месторождения Камышовое:

1 – закладочный комплекс; 2 – вертикальная часть трубопровода; 3 – вибраторы; 4 – закладочная камера блока; B<sub>1</sub>–B<sub>9</sub> – однофазные вибровозбудители с электроприводом

Активное состояние, достигаемое обработкой в дезинтеграторе, довольно устойчиво. После 2 мес. хранения активность минералов понижается примерно на 10 % и полностью отсутствует через 6 мес.

Результаты активации веществ в дезинтеграторе находят применение в смежных отраслях производства:

- при закреплении стенок скважин прочность активированного цемента увеличивается в 5 раз;
- активированный буровой раствор на 20–25 % повышает скорость бурения;
- искусственный камень обходится в 2 раза дешевле при уменьшении расхода энергии на 50 %;
- при обработке железной руды на 100 °С снижается температура восстановления металла;

– при обработке вольфрамовых концентратов на 10 % увеличивается извлечение металла;

– при обработке медных и железных концентратов прочность окатышей увеличивается на 35 %.

В условиях уранового рудника средней производственной мощности использование технологии в период с 1985 по 1992 г. позволило заменить товарный цемент доменным шлаком (отходом металлургического производства), что дало возможность решить технологические, экономические и экологические проблемы [19–21].

Развитие использования минеральных отходов для изготовления твердеющих смесей возможно при включении активаторов в схему комбинирования соседствующих процессов горного производства. Так, равномерное дробление руд при взрывной отбойке способствует усреднению размеров хвостов обогащения и эффективности процессов активации.

Область применения новой технологии включает в себя предприятия по добыче, переработке и применению твердых полезных ископаемых системами разработки с закладкой твердеющими смесями, а также смежные производства.

Итак, технологии с закладкой пустот твердеющими смесями обеспечивают безопасность горных работ, максимальную полноту использования и охрану недр и окружающей среды, но отличаются высокими затратами. Главным направлением совершенствования горного производства является снижение стоимости смесей путем использования новых технологий, в том числе комбинированной активации. Дезинтегратор как перспективный прибор для активации ингредиентов твердеющей смеси обеспечивает приращение активности вяжущих на 40 %.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голик В. И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. М.: ИНФРА, 2014. 192 с.
2. Голик В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: ИНФРА, 2014. 132 с.
3. Голик В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комащенко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 91–94.
4. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of mineral processing engineering education in China University of Mining and Technology // *Advances in Computer Science and Engineering*. AISC 141. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012. P. 77–83.
5. Ляшенко В. И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // *Маркшейдерский вестник*. 2015. № 1. С. 10–15.
6. Вагин В. С., Голик В. И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа: учеб. пособие. Владикавказ: СКГМИ, 2005. 192 с.
7. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgaty L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // *The Social Sciences (Pakistan)*. 2015. Vol. 10. No. 6. P. 750–754.
8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 5. С. 401–405.
9. Пагиев К. Х., Голик В. И., Габараев О. З. Научные технологии добычи и переработки руд. Владикавказ: СКГМИ, 1998. 571 с.
10. Бесцементная закладка на горных предприятиях / В. И. Ляшенко [и др.]. М.: ЦИИцветмет экономики и информатики, 1992. 94 с.
11. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. № 2. С. 101–114.
12. Страданченко С. Г., Масленников С. А., Шинкарь Д. И. Состояние и перспективы развития крепления вертикальных стволов в сложных горно-геологических условиях // *ГИАБ*. 2013. № 2. С. 26–34.
13. Голик В. И., Разоренов Ю. И. Проектирование горных предприятий. Новочеркасск: Набл, 2007. 262 с.
14. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production // *Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Environmental Management: sci. reports on resource issues innovations in mineral resource value chains*. Freiberg, 2014. P. 402–412.
15. Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 17. С. 38105–38109.

16. Голик В. И., Брюховецкий О. С., Габараев О. З. Технологии освоения месторождений урановых руд: учеб. пособие. М.: РГГРУ, 2007. 131 с.

17. Голик В. И., Хадонов З. М., Габараев О. З. Управление технологическими комплексами и экономическая эффективность разработки рудных месторождений. Владикавказ: СКГМИ, 2001. 391 с.

18. Магомедов Ш. Ш. Приготовление и транспортирование твердеющих смесей // Логическое управление технологическими процессами и системами: матер. математич. Междунар. конф. Москва, Владикавказ, 1999. С. 65–73.

19. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // The Social Sciences, Medwell Journals. 2015. No. 10(5). P. 682–686.

20. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.

21. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus // International Business Management. 2015. No. 9(6). P. 1209–1216.

Поступила в редакцию 4 августа 2017 года

## ACTIVATION OF BINDERS FOR HARDENING MIXTURES

**Golik V. I., Karginov K. G.** – North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz, the Russian Federation. E-mail: v.i.golik@mail.ru

**Razorenov Iu. I.** – Platov South-Russian State Polytechnical University, Novocherkassk, the Russian Federation. E-mail: yiri1963@mail.ru

**Nosyrev M. B.** – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: nosyrev.mb@ursmu.ru

The necessity for the increase in the volume of ore production to satisfy the needs for raw minerals and complication of the conditions of ore deposits development make the search for hardening stowage mixtures production reserves actual, also by means of applying technologies, which change the technological properties of mixtures ingredients. Experiments in the search of efficient technologies of hardening mixtures components activation are aimed at providing the production with cheap and available raw material. The article introduces the results of the first international experimental exploitation of the technology of combined activation of hardening mixtures on an industrial scale in the process of developing metal ore deposit. The flowsheet of a plant for the realization of a new technology is recommended. It has been shown, that the efficiency of hardening mixtures preparation and transportation isn't merely determined by the interaction of well-known factors, but also by the superposition of the factor of activation. It has been determined that the combination of the methods of the mixtures ingredients activation possesses a range of advantages: possibility to enlarge the raw materials base, the increase of subsoil resources fullness ratio, the possibility to deliver the mixture over a distance, exceeding the critical distance for traditional technologies, which makes it possible to abandon the construction of new stowage facilities. The technologies of stowing with hardening mixtures provide the safety of mining, maximum completeness of utilization, subsoil and environmental protection. Reduction in the cost of mixtures is achieved with the activators application. The use of the desintegration technology provides the increase in the activity of binders.

**Key words:** hardening mixture; disintegrator; delivery; activation; bowels; cinder; ecology; economy.

## REFERENCES

1. Golik V. I. *Prirodokhrannye tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [Environmental technologies of ore deposits exploitation]. Moscow, INFRA Publ., 2014. 192 p.
2. Golik V. I. *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdenii* [Special methods of deposits exploitation]. Moscow, INFRA Publ., 2014. 132 p.
3. Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. [Ecological problems of Kursk Magnetic Anomaly ore deposits exploitation]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2013, no. 4, pp. 91–94. (In Russ.)
4. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of mineral processing engineering education in China University of Mining and Technology. *Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, pp. 77–83.
5. Liashenko V. I. [Environmental technologies of complex structured mineral deposits exploitation]. *Marksheiderskii vestnik – Mine Surveying Bulletin*, 2015, no. 1, pp. 10–15. (In Russ.)
6. Vagin V. S., Golik V. I. *Problemy ispol'zovaniia prirodnykh resursov Iuzhnogo federal'nogo okruga: ucheb. posobie* [School book “The problems in the application of natural resources of the South Federal District”]. Vladikavkaz, SCMMI Publ., 2005. 192 p.
7. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgatyi L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences (Pakistan)*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
8. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 5, pp. 401–405.
9. Pagiev K. Kh., Golik V. I., Gabaraev O. Z. *Naukoemkie tekhnologii dobychi i pererabotki rud* [High technologies of ore production and processing]. Vladikavkaz, SCMMI Publ., 1998. 571 p.
10. Liashenko V. I., and others. *Bestsementnaia zakladka na gornykh predpriiatiakh* [Cement-free stowage at mining enterprises]. Moscow, Central Research and Development Institute of Non-Ferrous Metallurgy Economy and Information Publ., 1992. 94 p.

11. Komashchenko V. I., Vasil'ev P. V., Maslennikov S. A. [To the technologies of underground exploitation of KMA deposits – reliable raw base]. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle – Proceedings of the Tula State University. Sciences of the Earth*, 2016, no. 2, pp. 101–114. (In Russ.)
  12. Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A., Shinkar' D. I. [State and prospects of vertical shafts supports development in complex mining and geological conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2013, no. 2, pp. 26–34. (In Russ.)
  13. Golik V. I., Razorenov Iu. I. *Proektirovanie gornykh predpriatii* [Mining enterprises design]. Novocherkassk, Nabla Publ., 2007. 262 p.
  14. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production. *Sci. reports on resource issues innovations in mineral resources value chains "Geology, mining, processing, economics, safety, and environmental management"*. Freiberg, 2014, pp. 402–412.
  15. Golik V. I., Razorenov Y. I., Polukhin O. N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.
  16. Golik V. I., Briukhovetskii O. S., Gabaraev O. Z. *Tekhnologii osvoeniia mestorozhdenii uranovykh rud: ucheb. posobie* [School book "Technologies of uranium ore deposits exploitation"]. Moscow, MGRI-RSGPU Publ., 2007. 131 p.
  17. Golik V. I., Khadonov Z. M., Gabaraev O. Z. *Upravlenie tekhnologicheskimi kompleksami i ekonomicheskaiia effektivnost' razrabotki rudnykh mestorozhdenii* [Control over the technological complexes and economic efficiency of ore deposits exploitation]. Vladikavkaz, SCMMI Publ., 2001. 391 p.
  18. Magomedov Sh. Sh. [Preparation and transportation of hardening mixtures]. *Logicheskoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami i sistemami: mater. matematich. mezhdunar. konf.* [Proc. Math. Int. Conf. "Logistical control over the technological processes and systems"]. Moscow, Vladikavkaz, 1999, pp. 65–73. (In Russ.)
  19. Golik V. I., Hasheva Z. M. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences, Medwell Journals*, 2015, no. 10(5), pp. 682–686.
  20. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. [Enlargement of raw material base of mining enterprises on the basis of integrated utilization of deposits mineral resources]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2013, no. 12, pp. 29–33. (In Russ.)
  21. Khasheva Z. M., Golik V. I. The ways of recovery in economy of the depressed mining enterprises of the Russian Caucasus. *International Business Management*, 2015, no. 9(6), pp. 1209–1216.
-