

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-14-19

УДК: 622.81:622.271:622.235

## КОМБИНИРОВАННАЯ ДОСТАВКА ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ НА УДАЛЕННЫЕ УЧАСТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

## COMBINED DELIVERY OF HARDENING MIXTURES TO REMOTE DEPOSIT SITES

Голик Владимир Иванович,  
доктор техн. наук, профессор, e-mail: v.i.golik@mail.ru  
**Golik Vladimir I., D. Sc., Professor**  
Разоренов Юрий Иванович,  
доктор техн. наук, профессор  
**Razorenov Yuri I., D. Sc., Professor**  
Дзеранов Борис Витальевич,  
кандидат геол.-мин. наук, доцент  
**Dzeranov Boris V., C. Sc. (Geology), Associate Professor**

Северо-Кавказский государственный технологический университет, 362021, Россия, Владикавказ, ул. Космонавта Николаева, 44  
North-Caucasian State Technological University, 362021, Vladikavkaz, ul. Kosmonavta Nikolaeva, 44, Russia,

**Аннотация.** Проблемы современного горного производства включают в себя ограничение области применения природоохранных и ресурсосберегающих технологий с использованием твердеющих смесей при разработке удаленных от закладочных комплексов участков рудного поля, что существенно снижает показатели эффективности подземной разработки металлических руд.

Экспериментальный подход к решению проблемы отличается доказательством технической возможности и эффективности комбинированного вибро - пневмо – самотечного способа доставки твердеющих смесей на расстояние, превышающее возможности существующих способов доставки, путем исследования феномена вибрации в промышленном трубопроводе специальной конструкции.

Результаты промышленного эксперимента подтверждают теоретические расчеты о возможности подачи твердеющих смесей обычного состава на расстояние, превышающее возможности традиционного пневмо-самотечного способа, за счет уменьшения сопротивления движению твердеющей смеси по трубопроводу в результате трения. В процессе доставки по трубопроводу улучшаются параметры взаимодействия компонентов твердеющей смеси с увеличением ее прочности, повышается полнота использования недр, сохраняется земля для сельскохозяйственного производства и снижается нагрузка на окружающую природную среду.

**Abstract.** Problems of modern mining include restriction of the scope of application of environmental and resource-saving technologies using the hardening mixtures in development of the ore field sites which are remote from stowing complexes, that significantly decreases performance indicators of metal ores underground mining.

Experimental approach to the problem solution differs in the proof of technical capability and efficiency of the combined vibro - pneumo – gravity flowing delivery mode of the hardening mixtures to the distance exceeding possibilities of the existing delivery modes, in the study method of the vibration phenomenon of in the industrial pipeline of a special design.

Results of industrial experiment confirm theoretical calculations about the possibility to supply the hardening mixtures of regular composition to the distance exceeding possibilities of the traditional pneumo-gravity flowing method due to reduction of resistance to movement of the hardening mixture in the pipeline as a result of friction. In the course of delivery by the pipeline, parameters of interaction of components of the hardening mixture improve with the increase in its durability, the completeness of subsoil use increases, the earth remains for agricultural production, and the load on the surrounding environment decreases.

**Ключевые слова:** Закладка пустот, твердеющая смесь, вибро-самотечный транспорт, трубопровод, вибро – возбудитель.

**Keywords:** Backfilling, hardening mixture, vibro-gravity flowing transport, the pipeline, vibro-activator.

### Введение

Увеличивающиеся в связи с ростом населения и изменением географии добычи запросы в минеральном сырье для отраслей промышленности могут быть удовлетворены не только применением новых технических средств и современных технологий, но и за счет использования собственных резервов производства. Одним из направлений модернизации горного производства является рационализация методов изготовления и доставки к месту применения закладочных смесей [1-2].

При подземной разработке подавляющего большинства металлических месторождений область применения технологий с использованием твердеющих смесей для управления состоянием рудовмещающих массивов ограничивается при разработке удаленных от закладочных комплексов участков рудного поля, поэтому использование действующих закладочных комплексов для обеспечения потребности в смесях становится все более актуальной проблемой [3].

### Материалы и методы исследования

Традиционные способы доставки твердеющих закладочных смесей от закладочного комплекса до места применения по трубам осуществляется способами: самотечный, механический, пневматический и комбинированный, сочетающий элементы двух-трех способов.

Транспортирование смесей по трубопроводам самотеком зависит от свойств смеси и соотношения вертикальной и горизонтальной составляющих трубопровода. Расстояние доставки твердеющих закладочных смесей при благоприятном уклоне редко достигает 1500 м [4].

Расстояние доставки повышается, если самотек дополняется подачей в трубопровод сжатого воздуха. В трубопроводе формируются порции твердеющей закладочной смеси, разделенные воздушными промежутками, а скорость движения смесей возрастает 25 м/с.

Оба способа надежны при отношении вертикальной и горизонтальной частей трубопровода не более 1/5.

При освоении запасов удаленных от основной площадки месторождений возникает необходимость доставки смесей на расстояния более 1500 м при малой высоте вертикальной части трубопровода [5].

Такая проблема возникла при разработке рядом расположенных Северо-Казахстанских месторождений Шокпак и Камышовое. В окрестностях месторождений расположены плодородные земли, исключающие применение иных способов управления массивом, кроме закладки твердеющими смесями. При этом строительство второго закладочного комплекса удорожало стоимость добычи руды до пределов экономически неприемлемой [6].

Доказательство технологической возможности и экономической целесообразности новой техно-

логии включает в себя моделирование процессов, достоверность результатов которых повышается при использовании материалов производственных исследований в промышленных условиях.

Практика подачи смесей с повышением возможностей самотека путем комбинирования с другими способами сравнительно невелика. Так, на месторождении «Висмут» (Германия) твердеющую смесь подавали вибро-самотечным способом на расстояние по горизонтали, в 3 раза превышающее высоту вертикального става [7-8].

Вибро-пнеumo-самотечный способ принципиально отличается от известных способов использованием феномена вибрации трубопровода на упругих опорах с помощью вибро-возбудителей, обеспечивающих его вибрацию.

### Эксперимент

Установка вибро - пневмо - самотечного транспорта, освоенная впервые в СССР на месторождении Шокпак - Камышовое (Северный Казахстан), объединяла горизонтальный и вертикальный участки трубопровода (рис.1) [9-10]. Горизонтальный участок трубопровода был установлен на резиновые опоры. Каждая секция трубопровода длиной 200 м была снабжена инерционным одновальным вибро-возбудителем с электроприводом и пневмо-врезкой с электромагнитным клапаном. Секции горизонтального трубопровода соединяли упругими соединителями, исключающими взаимное влияние одной секции на другую.

Объем отдельных порций твердеющей смеси изменялся в пределах 200...400 м<sup>3</sup>.

После заполнения закладочной смесью каскадного участка и первой секции горизонтального участка включали вибро - возбудители, начиная с первого, что уменьшало сопротивление смеси транспортированию.

Измеренный перепад давления на длине секции составил: в режиме самотека 0,6-1,0 МПа, grad P = 3,0-5,0 кПа/М, а в режиме вибрации - 0,12-0,20 МПа, grad P = 0,8-1,0 кПа/М.

При движении смеси со скоростью 1,0-1,5 м/с в трубопроводе компоненты смеси перераспределялись с разрушением гранул и предотвращением расслоения, что повышало ее прочность на 20-25%.

Расход энергии закладочной смеси при подаче на расстояние до 2,5 км, частоте колебаний 10-30 Гц, амплитуде 0,5-1,5 мм составил 0,15-0,22 кВт/ч. на 1 м<sup>3</sup>.

Свойства материалов для изготовления твердеющих смесей: песок местного карьера: плотность 2,64 т/м<sup>3</sup>; содержание пылевидных, глинистых и илистых 10 - 30 %; остаток на сите 5,0 мм - 1%; удельная поверхность - 6,9 м<sup>2</sup>/кг без учета отмучиваемых частиц.

При самотечной доставке для повышения транспортабельности в смесь добавляют воды до осадки конуса 11, что увеличивает расход вяжущ-

щих и удорожает стоимость смесей.

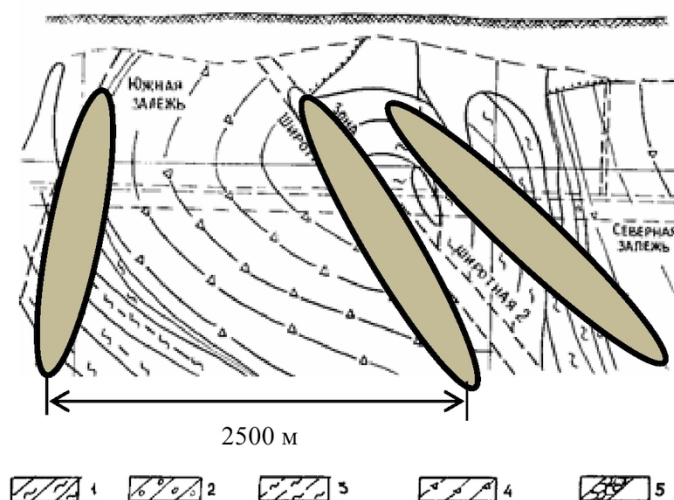


Рисунок 1. Месторождение Шокпак-Камышовое: 1-яшмоварциты; 2-конгломераты; 3-алевролиты; 4-гравелиты, брекчии; 5-зона дробления пород

С помощью вибраторов закладочная смесь транспортировалась при значении осадки конуса 9.

Перепад давления в закладочномпроводе длиной 1200 м:

- производительность 80 м<sup>3</sup>/ч: 12,03 – 4,55 = 7,48 атм.;

- производительность 100 м<sup>3</sup>/ч: 15,0 – 5,38 = 9,62 атм.

Удельное сопротивление ( $\Delta P_c$ ):

- производительность 80 м<sup>3</sup>/ч:  
 $\Delta P_c = \frac{7,48}{1200} = 0,00623$  атм. или 62 кг/м<sup>2</sup>/1 м;

- производительность 100 м<sup>3</sup>/ч:

$$\Delta P_c = \frac{9,62}{1200} = 0,008 \text{ атм. или } 80 \text{ кг/м}^2 / 1 \text{ м.}$$

- для производительности 80 м<sup>3</sup>/ч и 100 м<sup>3</sup>/ч, соответственно:

$$\tau_0 = \frac{62,30,17}{4} = 2,6 \text{ кг/м}^2 \text{ и } \tau_0 = \frac{80,0,17}{4} = 3,4 \text{ кг/м}^2$$

Для мониторинга давления в закладочном трубопроводе были установлены манометры по трассе трубопроводов в пикетах от РМ1 до РМ9 (рис. 2). Рядом с вибраторами оборудованы воздушные врезки. При обратном уклоне трубопровода 0,003д о пикета7 закладочные смеси транспортируются самотеком (1580 м), а дальше - с применением вибрационной техники.

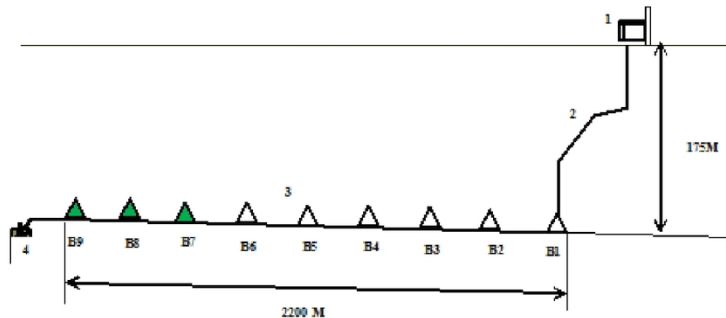


Рис. 2. Схема вибро-пнеumo- самотечного транспорта твердеющих смесей от закладочного комплекса месторождения Шокпак в очистную камеру месторождения Камышовое: 1-закладочный комплекс; 2-вертикальная часть трубопровода; 3-вибраторы; 4- закладочная камера блока; B1-B9 - однофазные вибро- возбуждители с электроприводом

Предельная длина самотёчного транспорта 1600 м; экспериментально определенная длина вибро-пневмотранспорта 600 м; расстояние доставки смесей 2200 м.

При постановке эксперимента давление в закладочном трубопроводе измеряли в пунктах 1, 7, 8 и 9 одновременно с интервалом в три минуты

отдельно при производительности закладочной установки 80 и 100 м<sup>3</sup>/ч.

Вначале смеси транспортировали с помощью воздуха без вибраторов. До пикета 7 на расстояние 1500 м закладочные смеси успешно транспортировались самотеком. От пикета 7 до места укладки смеси транспортировали с участием вибраторов на расстояние 600 м

по горизонтали.

Давление воздуха в воздушном и закладочном трубопроводах:

- при производительности 80 м<sup>3</sup>/ч:

$P_m = 60800 \text{ кг/м}^2$  (6,08 атм.);  $P_r = 45500 \text{ кг/м}^2$  (4,55 атм.);

- при производительности 100 м<sup>3</sup>/ч:

$P_m = 67400 \text{ кг/м}^2$  (6,74 атм.);  $P_r = 53800 \text{ кг/м}^2$  (5,38 атм.).

Скорость движения закладочной смеси:

- для производительности 80 м<sup>3</sup>/ч: 6,7 м/с;

- для производительности 100 м<sup>3</sup>/ч: 5,7 м/с

Длина порции закладочной смеси:

- при производительности 80 м<sup>3</sup>/ч: 88 м

- при производительности 100 м<sup>3</sup>/ч: 128 м

Удельное сопротивление движению закладки:

- при производительности 80 м<sup>3</sup>/ч: 517 кг/м<sup>2</sup> на 1 м;

- при производительности 100 м<sup>3</sup>/ч: 420 кг/м<sup>2</sup> на 1 м.

Поправочные коэффициенты на скорость:

- при производительности 80 м<sup>3</sup>/ч: 0,027 с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

- при производительности 100 м<sup>3</sup>/ч: 0,24 с<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Приращение прочности закладки после пневмо- самотечной доставки на расстояние 1500 м составляет около 11% в возрасте 28 дней и 13-14 % в возрасте 90 дней [11].

### Результаты и их обсуждение

Устойчивый режим работы транспорта обеспечивается в случае соответствия скоростей на самотечном и пневматическом участках или равенства времени транспортирования суммарной порции и заливки ее в трубопровод. Регулировать режим можно или пластичностью смесей или изменением производительности закладочной установки.

Включение вибраторов до предельных возможностей самотечного транспорта увеличивает сопротивление движению смеси, поэтому при транспортировке по трубопроводу с обратным уклоном вибраторы улучшают показатели транспортирования твердеющих смесей не всегда.

Для объективного сравнения возможностей транспортных схем сопоставляются результаты математического моделирования пневмо- самотечного и пневмо- вибро- самотечного транспорта при одинаковой производительности комплекса (80 м<sup>3</sup>/ч) и длине доставки 1500 м, которая является предельной для первой схемы и начальной для второй схемы. При пневмо- самотечной доставке на расстояние до 1500 м приращение прочности закладки после достигает 3% в возрасте 28 дней и 6% в возрасте 90 дней, а при пневмо- самотечной доставке на то же расстояние 11% в возрасте 28 дней и 14 % в возрасте 90 дней.

При равных условиях транспортирования новая технология за счет вибрации стенок трубопровода уменьшает сопротивление движению, увели-

чивает длину доставляемой порции смеси и прочность твердеющей смеси.

Эффективность активации твердеющей смеси при альтернативных схемах характеризуется величиной:

- для пневмо- самотечной доставки- 1,03-1,05;

- для вибро – пневмо- самотечной доставки- 1,05-1,20.

В случае транспортирования смесей на месторождение Камышовое с действующего закладочного комплекса на месторождении Шокпак исключает необходимость строительства нового закладочного комплекса с соответствующими капитальными затратами, которые заменяются гораздо меньшими затратами на строительство трубопровода. В результате активации смеси может быть уменьшен расход цемента со снижением стоимости смеси на 15%.

При транспортировании твердеющей закладки по новой технологии повышается полнота использования недр, сохраняется земля для сельскохозяйственного производства и снижается нагрузка на окружающую природную среду.

Оценка эффективности технологий транспортирования твердеющих смесей производится сопоставлением приведенных затрат [12-15]:

$$\Delta = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] \cdot A_r$$

где  $\Delta$  - годовой экономический эффект, руб.;  $E_n$  - коэффициент дисконтирования затрат и прибыли во времени, доли ед.;  $K_1$  и  $K_2$  - капитальные вложения в производственные фонды, соответственно при строительстве нового закладочного комплекса и комбинированной доставке, руб.;  $C_1$  и  $C_2$  - себестоимость 1 т концентрата, соответственно при сравниваемых вариантах, руб.;  $A_r$  - годовой объем производства после вовлечения в эксплуатацию запасов нового месторождения.

Комбинирование способов доставки смесей является элементом системы управления экономической горных предприятий в условиях ужесточения конкуренции на рынке и выживания без государственной поддержки [16-20].

### Выводы

1. Область применения систем разработки с закладкой твердеющими смесями увеличивается при подаче твердеющих закладочных смесей на удаленные участки месторождения по комбинированной схеме с использованием вибротехники.

2. Применение вибраторов увеличивает возможности транспортирования смесей на расстояние, превышающее возможности традиционной пневмо- самотечной доставки, за счет уменьшения трения о стенки трубопровода.

3. Активированная в процессе доставки по трубопроводу твердеющая смесь отличается более равномерным распределением заполнителя, в результате чего ее прочность увеличивается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магомедов Ш.Ш. Приготовление и транспортирование твердеющих смесей. / В сб.: Математической межд. конф. «Логическое управление технологическими процессами и системами» - Москва-Владикавказ. 1999. С.65-73.
2. Воробьев А.Е., Голик В.И., Пагиев К.Х., Цирихова Э.М., Котенко Е.А., Шестаков В.А., Исаев К.С. Научные технологии добычи и переработки руд // Владикавказ. Терек. 1998., 571 с.
3. Котенко Е.А., Голик В.И., Хадонов З.М. Управление технологическими комплексами при разработке рудных месторождений. – Владикавказ: Терек, 2000. – 290 с.
4. Голик В.И. Научно-технический прогресс в истории подземной добычи радиоактивных руд. – М.: ВИНТИ, ЦНИИ черметинформация. 1992. С.123-128.
5. Gridley N. C., Salcedo L. Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs / Australian Centre for Geomechanics. — Perth, 2011. — 431 p.
6. Ляшенко В.И., Голик В.И., Штеле В.И. Использование свойств природных материалов при подземной разработке рудных месторождений. - Цветная металлургия, 1992, № 3, с. 7-
7. Платонов В.Н., Поддубный И.К. Устройство и опыт работы вибро - самотечной установки по доставке закладочных смесей на руднике в Тюрингии. Вибрационная техника. /Материалы семинара. - М.: Общество «Знание». 1992.
8. Голик В.И. Инновационная схема погрузки сыпучих грузов на морское судно. Эксплуатация морского транспорта. Новороссийск. 2014. №1. С.56-62.
9. Голик В.И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. Учебное пособие. Сер. Высшее образование: Бакалавриат – М.: Инфра – М. –2014. –190 с.
10. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 1. – С. 10–15.
11. Ляшенко В.И., Коваленко В.Н., Голик В.И., Габараев О.З. Бесцементная закладка на горных предприятиях. - М.: ЦНИИ экономики и информации. 1992. 195 с.
12. Golik V. I., Hasheva Z. M., Galachieva S. V. Diversification of the Economic Foundations of Depressive Mining Region. The Social Sciences 10 (5): pp.678-681, 2015. Medwell Journals, 2015.
13. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste. The Social Sciences 10 (5): 682-686, Medwell Journals, 2015.
14. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the Effectiveness of Utilization of Mining Waste. International Business Management 9 (5). 1993-5250. Medwell Journals, 2015.
15. Голик В.И., Разоренов Ю.И. Проектирование горных предприятий // Новочеркасск, Набл. 2007. 262 с.
16. Zarema M. Khasheva and Vladimir I. Golik. The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus. International Business Management. 2015. 9 (6): pp. 1209-1216.
17. Разоренов Ю.И. Оптимизация рудопотоков при разработке сложных рудных месторождений подземно-открытым способом // диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Новочеркасск, 2000
18. Голик В.И. Технологическая диверсификация горнодобывающего региона. Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ. 2016. №1. с.47-53.
19. Разоренов Ю.И., Голик В.И. Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // Маркшейдерия и недропользование. 2013. № 4 (66). С. 52-54.
20. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Страданченко С.Г., Прокопов А.Ю., Масленников С.А. Экспериментальное обоснование возможности извлечения металлов из хвостов обогащения угля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 5. С. 128-134.

## REFERENCES

1. Magomedov Sh.Sh. Prigotovlenie i transportirovanie tverdeyushchih smesey. / V sb.: Matematicheskoy mezhd. konf. «Logicheskoe upravlenie tekhnologicheskimi processami i sistemami» - Moskva-Vladikavkaz. 1999. pp.65-73.
2. Vorob'ev A.E., Golik V.I., Pagiev K.H., Cirihovala E.M., Kotenko E.A., SHehtakov V.A., Isaev K.S. Nauchnye tekhnologii dobychi i pererabotki rud // Vladikavkaz. Terek. 1998., p.571.
3. Kotenko E.A., Golik V.I., Hadonov Z.M. Upravlenie tekhnologicheskimi kompleksami pri razrabotke rudnyh mestorozhdenij. – Vladikavkaz: Terek, 2000. – p.290.
4. Golik V.I. Nauchno-tekhnicheskij progress v istorii podzemnoj dobychi radioaktivnyh rud. – M.: VINITI, CNII chernetinformaciya. 1992. pp.123-128.



5. Gridley N. C., Salcedo L. Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs / Australian Centre for Geomechanics. — Perth, 2011. — p.431.
6. Lyashenko V.I., Golik V.I., SHtele V.I. Ispol'zovanie svojstv prirodnih materialov pri podzemnoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij. - Cvetnaya metallurgiya, 1992, № 3, p. 7-
7. Platonov V.N., Poddubnyj I.K. Ustrojstvo i opyt raboty vibro - samotechnoj ustanovki po dostavke zakladchnyh smesey na rudnike v Tyuringii. Vibracionnaya tekhnika. /Materialy seminarov. - M.: Obshchestvo «Znanie». 1992.
8. Golik V.I. Innovacionnaya skhema pogruzki sypuchih грузов на морское судно. Eksploatatsiya morskogo transporta. Novorossiysk. 2014. №1.p.56-62.
9. Golik V.I. Prirodoohrannye tekhnologii razrabotki rudnyh mestorozhdenij. Uchebnoe posobie. Ser. Vysshee obrazovanie: Bakalavriat – M.: Infra – M. –2014. –p.190.
10. Lyashenko V.I. Prirodoohrannye tekhnologii osvoeniya slozhnostrukturnykh mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh // Markshejderskij vestnik. – 2015. – № 1. – p. 10–15.
11. Lyashenko V.I., Kovalenko V.N., Golik V.I., Gabaraev O.Z. Bescementnaya zakladka na gornyh predpriyatiyah. - M.: CNII ehkonomiki i informacii. 1992. p.195.
12. Golik V. I., Hasheva Z. M., Galachieva S. V. Diversification of the Economic Foundations of Depressive Mining Region. The Social Sciences 10 (5): pp.678-681, 2015. Medwell Journals, 2015.
13. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste. The Social Sciences 10 (5): 682-686, Medwell Journals, 2015.
14. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the Effectiveness of Utilization of Mining Waste. International Business Management 9 (5). 1993-5250. Medwell Journals, 2015.
15. Golik V.I., Razorenov YU.I. Proektirovanie gornyh predpriyatij // Novocherkassk, Nabla. 2007. p.262.
16. Zarema M. Khasheva and Vladimir I. Golik. The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus. International Business Management. 2015. 9 (6): pp. 1209-1216.
17. Razorenov YU.I. Optimizatsiya rudopotokov pri razrabotke slozhnykh rudnykh mestorozhdenij podzemno-otkrytym sposobom // dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novocherkassk, 2000
18. Golik V.I. Tekhnologicheskaya diversifikatsiya gornodobyvayushchego regiona. Ustoichivoe razvitie gornyh territorij. Vladikavkaz. 2016. №1. pp.47-53.
19. Razorenov YU.I., Golik V.I. Problemy glubokoj utilizatsii othodov pererabotki uglya // Markshejderiya i nedropol'zovanie. 2013. № 4 (66). pp. 52-54.
20. Golik V.I., Razorenov YU.I., Stradanchenko S.G., Prokopov A.YU., Maslennikov S.A. Eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnosti izvlecheniya metallov iz hvostov obogashcheniya uglya // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2012. № 5. p. 28-134.

*Поступила в редакцию 25 мая 2017*  
*Received 25 May 2017*