

УДК 622.257.1

РАЗВИТИЕ ИНЪЕКЦИОННЫХ СПОСОБОВ УПЛОТНЕНИЯ МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД В КУЗБАССЕ

Хямяляйнен Вениамин Анатольевич,

доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, e-mail: vah@mail.kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация. Рассмотрены вопросы истории развития инъекционных способов уплотнения массива горных пород в Кузбассе и, в целом, в России при проведении горных выработок в сложных гидрогеологических и горно-геологических условиях. Дана классификация инъекционных способов и область их применения. Приведены основные результаты исследований в области механики и технологии инъекционно-го уплотнения массива горных пород. Отмечены преимущества разработанной принципиальной технологической схемы изоляции выработок от затопления. Затронуты вопросы современных исследований в области течения стабильного вязко-пластичного тампонажного раствора в трещинах большого раскрытия.

Ключевые слова: тампонаж, изоляция, упрочнение, уплотнение, фильтрация, цемент, шахта, горная выработка, угольный пласт, горная порода

Одними из основных причин недостаточного роста темпов подземной угледобычи являются малые объемы строительства и реконструкции шахт, ухудшение горно-геологических условий при ведении горных работ. Существенными факторами, влияющими на сроки строительства и стоимость выработок, являются обводненность и неустойчивость породного массива, требующие применения специальных способов проходки. При этом согласно СНиП 3.02.03-84 [1] после применения специальных способов остаточный водоприток в пройденный ствол угольной или рудной шахты глубиной до 800 м не должен превышать 5 м³/ч.

Одним из эффективных специальных способов является тампонаж горных пород, осуществляемый нагнетанием в массив цементных, глиноцементных или химических растворов [2-12]. На рис. 1 представлены инъекционные способы и область их применения. На рис. 2 – история развития инъекционных способов в СССР, России и за рубежом. На рис. 3 – развитие инъекционных способов в Кузбассе.

За рубежом одним из основателей развития инъекционных способов уплотнения пород является А. Камбефор [2].

В России одним из основателей теории и практики цементации горных пород является профессор Н.Г. Трупаков [9]. Вопросам теории тампонажа посвящены работы профессора И.И. Вахрамеева [10]. Основателем научной школы по тампонажу горных пород глиноцементными растворами можно считать научно-производственное объединение «Спецтампонажгеология», возглавляемое в течение продолжительного времени профессором Э.Я. Кипко [11].

В Кузбассе тампонаж горных пород цемента-

цией при строительстве вертикальных стволов в водоносных породах начал развиваться с 1961 г. в научно-исследовательском институте «КузНИИшахтострой».

В 1961 г. была создана лаборатория проходки горных выработок специальными способами, эффективно функционирующая более 40 лет.

Параллельно начали развиваться исследования по тампонажу горных пород и в Кузбасском государственном техническом университете.

Начало исследований в Кузбассе по тампонажу горных пород цементацией связано с именами Е.Г. Дуды – зав. лабораторией проходки горных выработок специальными способами института «КузНИИшахтострой» и Б.А. Корецкого – доцента Кузбасского государственного технического университета [12]. Затем исследования были продолжены доктором техн. наук Ю.В. Бурковым, кандидатом техн. наук Г.И. Комаровым, профессорами В.А. Хямяляйненым, А.В. Угляницей, С.М. Простовым, П.С. Сыркиным, Г.С. Франкевичем, В.В. Першиным, кандидатами технических наук А.П. Политовым, Л.П. Понасенко, В.А. Жеребцовым, С.Л. Понасенко, В.М. Удовиченко, В.М. Пампурой, И.А. Поддубным, Е.Б. Росстальным [6-8, 13].

Вопросы анкер-инъекционного упрочнения горных пород получили развитие в работах доктора техн. наук А.Е. Майорова [14-17].

Получили развитие работы в области цементационного и электрохимического закрепления неустойчивых плавунов в наносах, а также получены существенные результаты в области геофизического контроля и инъекционного укрепления техногенных массивов гидротехнических сооружений и бортов угольных разрезов, отраженные в исследованиях докторов техн. наук С.М. Просто-

ва и С.П. Бахасовой, кандидатов техн. наук О.В. Герасимова, М.В. Гуцала, Е.А. Мальцева, А.В. Показилова и Е.В. Костюкова [18, 19].

В течение 10 лет развивалась предварительная и последующая цементация применительно к вертикальным стволам в водоносных породах. С 1971 г. в КузНИИшахтострое начаты исследования по применению цементации в горизонтальных выработках с целью упрочнения нарушенных горных пород. В Кузбасском государственном техническом университете начаты исследования по химическому укреплению угольных пластов.

За прошедшие годы в Кузбассе получены следующие основные результаты в области инъекционного уплотнения массива горных пород, отраженные в более 20 научных монографиях и более 100 авторских свидетельствах и патентах на изобре-

тений и полезные модели:

- установлены закономерности отфильтровывания жидкой фазы из цементных растворов;
- установлено влияние химических добавок на реологические свойства тампонажных растворов и прочность тампонажного камня;
- исследованы физико-механические свойства зацементированных пород;
- разработаны теоретические основы цементации горных пород нестабильными тампонажными растворами, учитывающие седиментацию цементных частиц и отфильтровывание жидкой фазы раствора;
- разработан комплекс технических решений по совершенствованию предварительной и



Рис. 1. Инъекционные способы и область их применения

последующей цементации водоносных пород при проходке вертикальных стволов, основанных на установленных закономерностях седиментации цементных частиц и отфильтровывания жидкой фазы раствора;

- разработаны технологии возведения и

конструкции комбинированных инъекционных крепей в капитальных выработках, использующих несущую способность упрочненного массива и представляющих собой сочетание традиционных типов крепей с упрочненным массивом, при этом предусмотрено применение передвижных механиз-



Рис. 2. История развития инъекционных способов

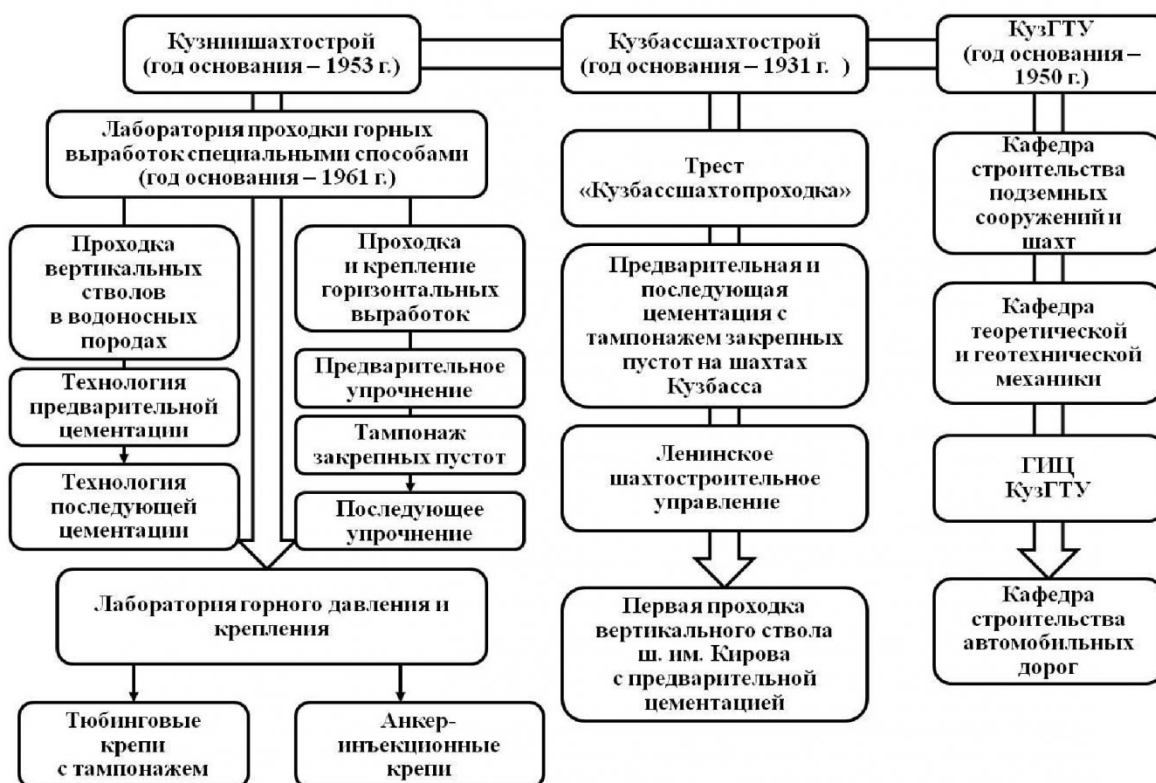


Рис. 3. Развитие инъекционных способов в Кузбассе

зированных и щитовых инвентарных опалубок;

- обоснована и разработана технология тампонажа закрепленного пространства в сочетании с тубинговыми и металлическими креплениями;
- обоснована и разработана технология цементации горных пород вокруг подготовительных горных выработок, учитывающая особенности распределения трещиноватости пород вокруг них и особенности деформационного поведения под воздействием инъекционного давления;
- разработаны способы гидродинамического и электродинамического контроля состояния тампонируемого массива на всех стадиях тампонажа: до, в процессе и после его окончания;
- разработаны электрохимические способы укрепления неустойчивых глинистых горных пород;
- разработаны способы высоконапорной направленной цементации неустойчивых горных пород в основаниях сооружений различного назначения.

На основе результатов выполненных исследований разработана технология предварительной цементации заходками переменной длины (рис. 4), технология последующей цементации с передвижной изолирующей оболочкой (опалубки) (рис. 5) и применением щитовой инвентарной опалубки (рис. 6) [6], которые явились основой присуждения премии Правительства РФ в области науки и техники в 1998г.

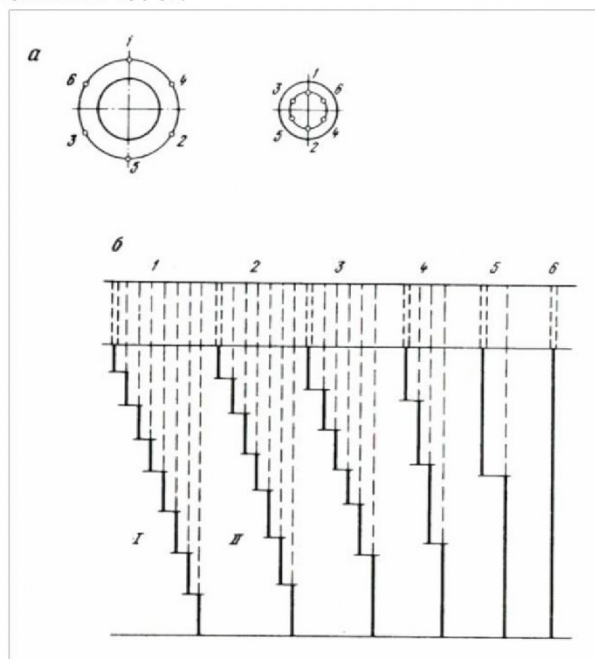


Рис. 4. Схема предварительной цементации заходками переменной длины

a – расположение и очередность бурения цементационных скважин по контуру выработки; *б* – разделение цементруемого массива на заходки; *I* и *II* – зоны соответственно цементации и обсадки трубами; сплошная линия – бурение по породе; пунктирная – разбуривание цементного камня

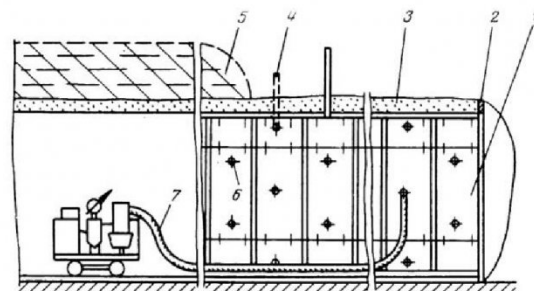


Рис. 5. Схема последующей цементации с применением передвижной оболочки;

1 – передвижная оболочка-опалубка; *2* – торцевая гидроизоляционная стенка; *3* – внутренняя облицовочно-несущая оболочка; *4* – скважина (шпур); *5* – внешняя несущая оболочка из упрочненного массива; *6* – патрубок; *7* – нагнетательный шланг

В последние годы в области инъекционного уплотнения массивов горных пород значительные усилия были направлены на проблемы возведения противодиффузионных завес при консервации и ликвидации угольных шахт.

Консервация и ликвидация угольных шахт идет, как правило, путем их затопления. Это приводит к повышению уровня подземных вод, загрязнению чистых водоносных горизонтов и, в целом, к ухудшению экологической обстановки в угольных регионах.

Разработана принципиальная технологическая схема изоляции выработок от затопления [20].

Предлагаемая комбинированная технологическая схема включает в себя создание противодиффузионной тампонажной завесы вокруг ствола по его длине, возведение в сопряжениях ствола с другими горизонтами предохранительных водоупорных перемычек с предварительной инъекционной подготовкой массива горных пород, сооружение дренажных (водоспускных) скважин из ствола до пересечения с вышерасположенными затопленными выработками.

При этом водоспускные скважины позволяют регулировать размеры депрессионной воронки, напор подземных вод и приток воды в водосборник. Это в свою очередь позволяет регулировать систему водоотлива. Причем появляется возможность регулирования водоотлива в экстремальных ситуациях (например, во время паводка).

Основными параметрами технологии тампонажа являются давление нагнетания раствора, его расход в скважину, радиус распространения, время нагнетания, плотность заполнения трещин и пустот тампонажным камнем.

За основу при численных расчетах взята модель нестационарной фильтрации тампонажного раствора в неоднородных средах, разработанная в КузГТУ на основе линейной теории фильтрации [6]. При этом в процессе исследований особое

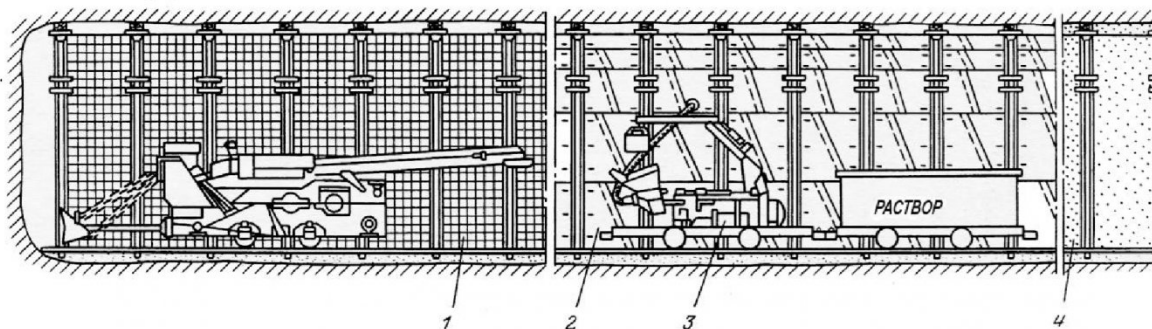


Рис. 6. Схема последующей цементации с применением щитовой инвентарной опалубки
1 – сетчатая затяжка; 2 – щитовая инвентарная опалубка; 3 – растворонасос; 4 – монолитное межрамное ограждение

внимание уделялось процессам тампонажа в местах сопряжения вертикальной и горизонтальной выработок. Выполнены расчеты радиуса распространения и давления раствора на скважине.

В настоящее время нами разрабатывается теоретическая модель течения стабильного вязкопластичного тампонажного раствора в трещинах большого раскрытия с использованием другой теории – теории фильтрации с предельным градиентом. Отдельные результаты расчетов показывают, что даже в крутопадающих трещинах можно управлять процессом распространения тампонажного раствора от скважин добываясь его равномерного распространения.

При оценке величины водопритока через массив горных пород вокруг водоупорной перемычки в основу математической фильтрационной модели положены ранее разработанные в КузГТУ фильтрационные модели перетока воды через перемычку, установленную в протяженной горизонтальной выработке, и притока воды в выработку через тампонажно-дренажную завесу.

Технология возведения водоупорных перемычек с инъекционной подготовкой массива горных пород в условиях сопряжений вертикальных стволов разработана с учетом результатов моделирования течения раствора и воды, полученных при решении вышерассмотренной задачи.

Таким образом, результаты выполненных исследований показывают, что тампонаж горных пород – весьма эффективное средство при создании противифльтрационных завес вокруг водоупорных перемычек при ликвидации и консервации угольных шахт.

В целом результаты многолетних исследований показывают перспективность рассматриваемого метода управления физическим состоянием массива горных пород при ведении горных работ и строительстве оснований различных сооружений. Дальнейшие исследования в области инъекционного уплотнения массивов горных пород должны быть направлены на оценку эффективности эксплуатации тампонажных завес в сеймоопасных и пожароопасных условиях, а также качества их возведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 3.02.03-84. Подземные горные выработки. – Взамен СНиП III-11-77; введ. 1985-07-01. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 7 с.
2. Камбефор А. Инъекция грунтов / А. Камбефор; пер. с фр. Р. Б. Казаковой и В. Б. Хейфеца. – М.: Энергия, 1971. – 190 с.
3. Golaszewski J., Szwabowski J. Influence of Superplasticizers on Rheological Behaviour of Fresh Cement Mortars // Cement and Concrete Research Journal. – 2004. – № 34 (2). – pp. 235–248.
4. Максимов А. П. Тампонаж горных пород / А. П. Максимов, В. В. Евтушенко. – М.: Недра, 1978. – 180 с.
5. Заславский Ю. З. Новые виды крепи горных выработок / Ю. З. Заславский, Е. Б. Дружко. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
6. Хямяляйнен В. А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В. А. Хямяляйнен, Ю. В. Бурков, П. С. Сыркин. – М.: Недра, 1994. – 400 с.
7. Хямяляйнен В. А. Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок / В. А. Хямяляйнен, В. И. Митраков, П. С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 352 с.
8. Хямяляйнен В. А. Геоэлектрический контроль разрушения и инъекционного упрочнения горных пород / В. А. Хямяляйнен, С. М. Простов, П. С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 288 с.
9. Трупаков Н. Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле. – М.: Metallurgizdat, 1956. – 420 с.

10. Вахрамеев И. И. Теоретические основы тампонажа горных пород. – М.: Недра, 1968. – 291 с.
11. Кипко Э. Я. Тампонаж обводненных горных пород: Справочное пособие / Э. Я. Кипко, Ю. А. Полозов, О. Ю. Лушникова [и др.]. – М.: Недра, 1989. – 318 с.
12. Дуда Е. Г. Руководство по производству предварительной цементации горных пород при проходке вертикальных стволов шахт глубиной до 400-500 м (временное) / Е. Г. Дуда [и др.]; под общ. ред. Н. Г. Трупака. – Кемерово, КузНИИшахтострой, 1972. – 172 с.
13. Угляница А. В. Цементация трещиноватых пород в условиях подготовительных горных выработок / А. В. Угляница, В. В. Першин / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1998. – 220 с.
14. Майоров А. Е. Исследование процессов деформирования и фильтрационных свойств твердых частиц суспензии и сыпучего материала при упрочнении горных пород цементацией и предварительно напряженными анкерами // ФТПРПИ. – 2010. – № 2. – С. 82–90.
15. Майоров А. Е. Исследование процесса закрепления анкеров сыпучим материалом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2010. – № 4. – С. 11–15.
16. Майоров А. Е. Геомеханические аспекты консолидирующего крепления горных выработок // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 41–44.
17. Нургалиев Е. И. Технология скоростного возведения высокопрочных безврубовых перемычек с использованием специализированных цементных смесей / Е. И. Нургалиев, А. Е. Майоров, Г. Н. Роут // Уголь. – 2014. – № 6. – С. 20–23.
18. Простов С. М. Электромагнитный контроль процессов укрепления грунтов / С. М. Простов, О. В. Герасимов, Е. А. Мальцев. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 211 с.
19. Соколов М. В. Исследование влияния закрепления грунтового основания на напряженно-деформированное состояние / М. В. Соколов, С. М. Простов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1 (107). – С. 7–11.
20. Хямяляйнен В. А. Изоляция выработок от затопления / В. А. Хямяляйнен, Л. П. Понасенко, С. Л. Понасенко / КузГТУ, ППЦ «Кузниишахтострой». – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 168 с.

Поступило в редакцию 23 августа 2015

UDC 622.257.1

DEVELOPMENT OF INJECTION METHODS OF CONSOLIDATION OF MASSIFS OF ROCKS IN KUZBASS

Khyamyalyaynen Veniamin A.,

Dr. Sc. in Engineering, Professor, e-mail: vah@mail.kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract. *The questions of the history of injection methods of consolidation of the massif of rocks in the Kuzbass region and elsewhere in Russia during mining in complex hydrogeological and geological conditions. The classification of injection methods and their field of application is given. The main results of research in the field of mechanics and technology of injection consolidation of the massif of rocks are given. The advantages of the developed concept of the technological scheme of isolation mines from flooding are noted. The issues of modern researches in a stable viscoelastic flow of cement slurry in the cracks of big disclosure are raised.*

Key words: *plugging, isolation, strengthening, consolidation, filtration, cement, mine, mining, coal seam, rock*

REFERENCES

1. SNiP 3.02.03-84. Podzemnye gornye vyrabotki [Underground Mine Working]. Moscow, TsITP Gostroya SSSR, 1985. 7 p.
2. Kambefor A. In"ektsiya gruntov [Injection of Soil]. Moscow, *Energiya*, 1971. 190 p.
3. Golaszewski J., Szwabowski J. Influence of Superplasticizers on Rheological Behaviour of Fresh Cement Mortars. Cement and Concrete Research Journal, 2004. No. 34 (2). pp. 235–248.
4. Maksimov A. P., Evtushenko V. V. Tamponazh gornykh porod [Plugging of Rocks]. Moscow, *Nedra*, 1978. 180 p.

5. Zaslavskiy Yu. Z., Druzhko E. B. Novye vidy krepі gornyx vyrabotok [New Types of Mine Working Support]. Moscow, *Nedra*, 1989. 256 p.
6. Khyamyalyaynen V. A., Burkov Yu. V., Syrkin P. S. Formirovanіe tsementatsionnykh zaves vokrug kapital'nykh gornyx vyrabotok [Formation the Cement Veils Around the Capital Mine Working]. Moscow, *Nedra*, 1994. 400 p.
7. Khyamyalyaynen V. A., Mitakov V. I., Syrkin P. S. Fiziko-khimicheskoe ukreplenie porod pri sooruzhenii vyrabotok [Physical and Chemical Strengthening of Rocks at a Construction of Mine Working]. Moscow, *Nedra*, 1996. 352 p.
8. Khyamyalyaynen V. A., Prostov S. M., Syrkin P. S. Geoelektricheskiy kontrol' razrusheniya i in'eksionnogo uprochneniya gornyx porod [Geoelectric Control of Destruction and Injection Hardening of Rocks]. Moscow, *Nedra*, 1996. 288 p.
9. Trupak N. G. Tsementatsiya treshchinovatykh porod v gornom dele [Cementation of Fractured Rocks in Mining]. Moscow, *Metallurgizdat*, 1956. 420 p.
10. Vakhrameev I. I. Teoreticheskie osnovy tamponazha gornyx porod [Theoretical Bases of Plugging of Rocks]. Moscow, *Nedra*, 1968. 291 p.
11. Kipko E. Ya., Polozov Yu. A., Lushnikova O. Yu. Tamponazh obvodnennykh gornyx porod: Spravochnoe posobie [Plugging of Flooded Rocks: A Reference Guide]. Moscow, *Nedra*, 1989. 318 p.
12. Duda E. G. Rukovodstvo po proizvodstvu predvaritel'noy tsementatsii gornyx porod pri prokhodke vertikal'nykh stvolov shakht glubinoy do 400-500 m (vremennoe) [The Guide to Production of Preliminary Cementation of Rocks at Construction of Vertical Mine Trunks up to 400-500 m in Depth (temporary)]. Kemerovo, *KuzNIIshakhtostroy*, 1972. 172 p.
13. Uglyanitsa A. V., Pershin V. V. Tsementatsiya treshchinovatykh porod v usloviyakh podgotovitel'nykh gornyx vyrabotok [Cementation of Fractured Rocks in the Conditions of Preparatory Mine Workings]. Kemerovo, *Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet*, 1998. 220 p.
14. Mayorov A. E. Issledovanie protsessov deformirovaniya i fil'tratsionnykh svoystv tverdykh chastits suspensii i sypuchego materiala pri uprochnenii gornyx porod tsementatsiei i predvaritel'no napryazhennymi ankerami [Deformation and Filtration Characteristics of Solid Particles in a Suspension or Granular Material in Rock Strengthening with Cementation and Pre-stressed Bolting]. *Journal of Mining Science*. 2010. Vol. 46, No. 2, pp. 82–90.
15. Mayorov A. E. Issledovanie protsessa zakrepleniya ankerov sypuchim materialom [Research of Process of Fixing of Anchors with Bulk Material]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. No. 4, pp. 11–15.
16. Mayorov A. E. Geomekhanicheskie aspekty konsolidiruyushchego krepleniya gornyx vyrabotok [Geomechanical Aspects of the Consolidating Strengthening of Mine Workings]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. No. 3, pp. 41–44.
17. Nurgaliev E. I., Mayorov A. E., Rout G. N. Tekhnologiya skorostnogo vozvedeniya vysokoprochnykh bezvrubovykh peremychek s ispol'zovaniem spetsializirovannykh tsementnykh smesey [Technology of Rapid Erection of High-strength Non-cut Brattices Using Specific Cement Mixtures]. *Ugol'*. 2014. No. 6, pp. 20–23.
18. Prostov S. M., Gerasimov O. V., Mal'tsev E. A. Elektromagnitnyy kontrol' protsessov ukrepleniya gruntov [Electromagnetic Control of Processes of Strengthening of Soil]. Tomsk, *Izdatel'stvo Tomskogo universiteta*, 2007. 211 p.
19. Sokolov M. V., Prostov S. M. Issledovanie vliyaniya zakrepleniya gruntovogo osnovaniya na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie [Research of Influence of Fixing of the Soil Basis on the Stress-strain State]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015. No. 1 (107), pp. 7–11.
20. Khyamyalyaynen V. A., Ponasenko L. P., Ponasenko S. L. Izolyatsiya vyrabotok ot zatopeniya [Isolation of Mine Workings from Flooding]. Kemerovo, *Kuzbassvuzizdat*, 2012. 168 p.

Received 23 August 2015