

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-4-50-55

УДК 622.455, 622.822.3, 624.136.6

## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SPECIALIZED CEMENT MIXTURES FOR INTEGRATED ISOLATION OF MINE WORKINGS

Нургалиев Евгений Илдарович<sup>1</sup>,  
горный инженер, e-mail: ugm\_kuz@mail.ru  
Eugene I. Nurgaliev<sup>1</sup>  
Mining engineer

Майоров Александр Евгеньевич<sup>2</sup>,  
доктор технических наук, профессор РАН, e-mail: majorov-ae@mail.ru  
Alexander E. Mayorov<sup>2</sup>,  
Dr.Sc., RAS Professor

<sup>1</sup>Научно-производственная компания ООО «УГМ-Сервис», 650014, Россия, г. Кемерово, ул. Вахрушева, 10

<sup>1</sup>Scientific research and production company LLC “UGM-Service”, 10, Vakhrushev street, Kemerovo, 650014, Russian Federation

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 650065, Россия, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10

<sup>2</sup>The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 28, Leningradskiy Avenue, Kemerovo, 650065, Russian Federation

**Аннотация:** Рассмотрены эффективные способы возведения изоляционных сооружений горных выработок угольных шахт в условиях нарушенных вмещающих пород. Наиболее перспективен комбинированный способ, основанный на технологическом совмещении возведения тела перемычки и тампонажной упрочняюще-уплотняющей завесы с качественным изменением физико-механических характеристик нарушенных пород и созданием несущих структурных связей с приконтурной зоной массива, что дает синергетический эффект повышения качества и скорости изоляции выработанного пространства. В статье представлен анализ физико-механических характеристик новых специализированных цементных смесей УГМ и УГМ-П, дана оценка их влияния на качество и эффективность технологии изоляции горных выработок системой «монолитная перемычка-тампонажная завеса», разрабатываемой и внедряемой в настоящее время на угольных шахтах Кузбасса. Обоснована эффективность консолидирующих изоляционных систем, конструктивно интегрированных в нарушенный вмещающий массив и управляющих его физико-механическим состоянием. Приведены результаты масштабных испытаний в течение 2012-2018 гг. Определяющим при выборе рациональных параметров технологии является учет нелинейной зависимости прочности образцов на одноосное сжатие и изгиб от водо-твердого соотношения смесей, основу которых составляет цемент ПЦ-500, твердые техногенные отходы ТЭЦ и металлургических предприятий Кузбасса.

**Ключевые слова:** цементные смеси, изоляция, перемычка, приконтурный массив, инъекция, тампонажная завеса, упрочнение, уплотнение.

**Abstract:** Efficient methods were reviewed for construction of isolating structures for underground coal mine workings in the conditions of broken enclosing rock. One of the promising methods is a combined method based on the technological combination of the construction of the stopping body and the consolidating and compacting grout curtain with changing of physical and mechanical properties of the broken rock and creation of

*structural bonds with border area of rock. This article presents the analysis of physical and mechanical properties of new specialized cement mixtures UGM and UGM-P. The evaluation is given of their influence on the quality and efficiency of the technology of coalmine isolation by the monolithic stopping – grout curtain system, which has been developed and applied in Kuzbass coalmines. The study gives justification of the efficiency of consolidating isolating systems, which have been constructively integrated in the destroyed enclosing rock strata and controlled its physical and mechanical state. The results of large-scale studies performed in the period from 2012 till 2018 are presented. In choosing rational parameters of the technology, it is important to take into consideration the nonlinear dependence of uniaxial compression strength and bend strength on water-solid ratio of the grouts which is based on PC-500 cement, solid industrial waste of heat electric plants and metallurgical companies of Kuzbass.*

**Key words:** cement mixtures, isolation, stopping, border rock massif, injection, grout curtain, consolidation, compaction.

#### **Актуальность работы (The urgency of the discussed issue):**

Отработка запасов угольных месторождений невозможна без выполнения требований промышленной безопасности, регламентирующих особый контроль следующих негативных процессов: повышение концентрации кислорода/метана в отработанном пространстве/горных выработках, развитие эндогенных окислительных процессов с очагами самонагрева угля, нарушение режимов проветривания шахт. Не смотря на многообразие существующих горно-геологических и горнотехнических условий, проведение практически всех горных выработок сопровождается формированием систем трещин в приконтурном массиве пород, что способствует активации процессов фильтрации газовых сред [1-17].

В настоящее время для изоляции выработанного пространства в основном возводят взрывоустойчивые монолитные безврубные перемычки из смесей на основе цемента – отличаются низкой стоимостью, термо- и теплостойкостью, прочностью, стабильностью свойств во времени, и не взрывоопасны. В Кузбассе эксплуатируются сотни подобных сооружений, при возведении большей части которых не было учтено реальное физическое состояние прилегающего массива пород. Нарушения приконтурной зоны особенно активно проявлены в пластовых выработках, где формируется перемятая зона отжима угля. Очевидны необходимость и перспективность разработки современных технологий комплексной изоляции горных выработок монолитными безврубными перемычками с опоясывающей тампонажной цементационной завесой, обеспечивающих технологичность, оперативность и эксплуатационную надежность подземных сооружений. Возведение безврубной изоляционной перемычки, технологически увязанное с возведением упрочняюще-уплотняющей завесы в нарушенных вмещающих породах горных выработок, даст синергетический эффект повышения качества изоляции выработанного пространства при эффективной и безопасной разработке угольных месторождений. В свою очередь, качество и эффективность технологии изоляции горных выработок системой «монолитная

перемычка – тампонажная завеса», разрабатываемой и внедряемой в настоящее время ООО «УГМ-Сервис» на шахтах Кузбасса, напрямую зависит от физических характеристик специализированных цементных смесей (ЦС). Предлагаемый системный подход технологически реализован в трех взаимодополняющих циклах: непрерывное наливное опалубочное возведение монолитного тела изоляционной перемычки без создания вруба; пропиточный тампонаж крупных трещин почвы и бортов, проходящий под влиянием давления высоты столба подвижной ЦС в наполняемой опалубке; инъекционный тампонаж, проходящий при нагнетании ЦС в приконтурную зону трещиноватых пород вокруг перемычки через веер шпуров. В свою очередь, указанные циклы накладывают уникальные ограничения на разрабатываемые составы в области их физико-механических и реологических параметров для решения общей научно-технической задачи эффективного управления физическим состоянием трещиноватых пород, способствуя их консолидации (упрочнению и уплотнению) и интеграции сооружения в прилегающую приконтурную зону массива [1-14].

#### **Цель работы (The main aim of the study):**

В первой части исследования, представленного в настоящей статье, основной целью является физико-механическое обоснование выбора состава ЦС, регламентирующего их применение при комплексной изоляции горной выработки системой «монолитная перемычка-тампонажная завеса».

#### **Методы исследования (The methods used in the study):**

Значительный опыт работы специалистов КузНИИшахтострой, МакиСИ, Кафедры теоретической и геотехнической механики КузГТУ, ИУ СО РАН в направлении развития инъекционного упрочнения и тампонажа горных пород, НИИГД (РосНИИГД) в области изоляции выработок и выработанных пространств, опыт специалистов угольных предприятий Кузбасса [1-12], позволил определить основные подходы при разработке нового состава ЦС.

Для классификации разрабатываемых ЦС введена аббревиатура: УГМ – для инъекционного тампонажа нарушенных горных пород; УГМ-П –

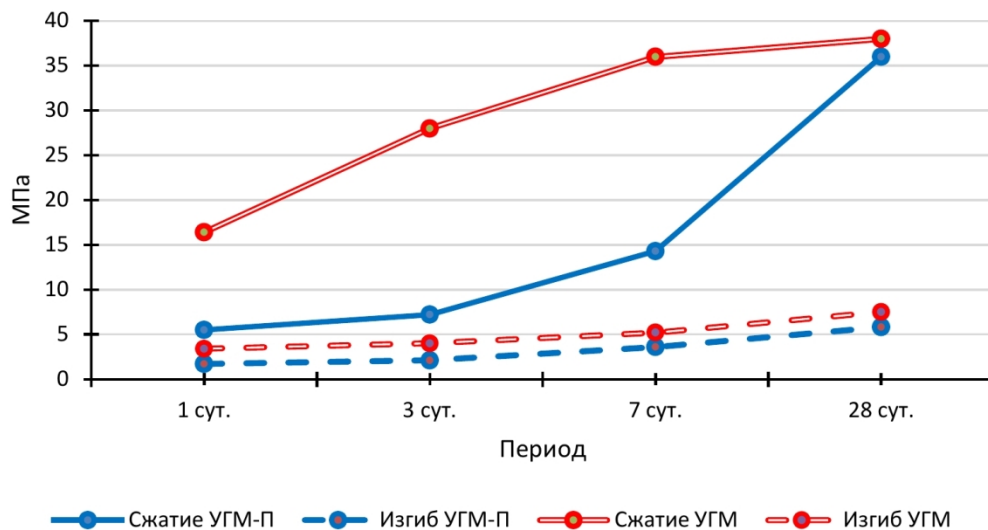


Рис. 1. Зависимости пределов прочности образцов цементных смесей при одноосном сжатии и изгибе от времени отверждения

Fig. 1. Dependences of strength limits of cement mixture samples under uniaxial compression and bending on the time of hardening

Таблица. Зависимость физических характеристик цементных смесей от В/Т  
 Table. Dependence of physical properties of cement mixtures on W/S

В/Т	Плотность раство- ра, кг/м³	Расход сухой смеси, кг/м³	Расплав по ГОСТ 31356, см	Прочность в возрасте 28 сут., МПа	
				при изгибе	при сжатии
УГМ-П:					
0,35	1737	1287	20	5,8	23,2
0,47	1680	1143	28,6	2,8	19,2
0,7	1464	861	36,3	1,3	4,0
1,0	1195	598	> 40	1,0	2,1
УГМ:					
0,4	1798	1284	22	2,4	23,1
0,5	1680	1120	27	3,2	14,0
0,59	1520	950	29	2,7	8,9

для возведения монолитных безврубовых изоляционных переемычек горных выработок и пропиточного тампонажа крупных трещин приконтурной зоны.

Учитывая ограничения в условиях импортозамещения и ведения конкурентной ценовой политики на рынке ЦС в Кузбассе, а также, ограничения в указанных технологических циклах, в качестве основного сырья состава приняты (здесь, и далее по тексту, использованы массовые соотношения): портландцемент, твердые техногенные отходы ТЭЦ и металлургических предприятий Кузбасса. Подбор основы ЦС был начат с использования в составе 100% ПЦ-500, к которому по мере исследований вводили наполнители различных поставщиков. В итоге подбора комбинаций компонентов создана уникальная рецептура составов с фиксированным временем потери текучести и схватывания на базе цемента марки ПЦ-500 – до

45%, твердых техногенных отходов ТЭЦ и металлургических предприятий Кузбасса – до 50%. Технологическими требованиями, учитывающими время потери текучести и набора прочности ЦС, возможность механизации работ по их приготовлению и транспортированию по трубопроводам, непрерывному заполнению опалубки большого объема, обеспечение фильтрации по трещинам прилегающих горных пород, и т.д., обусловлено применение различных добавок-ускорителей и стабилизаторов, добавок-наполнителей (инертных и активных) – до 4%.

Первичным критерием оценки применимости ЦС является комплекс их физико-механических характеристик, включающий: пределы прочности при одноосном сжатии и изгибе образцов. Важнейшей технологической характеристикой ЦС является ее В/Т соотношение. Известно, что смеси на основе цемента являются весьма чувствитель-





Рис. 2. Нагнетательно-смесительная установка  
(подключена к емкости с водой)

Fig. 2. Injection and mixing device (connected to the water tank)

ными к отклонениям водо-твердого (В/Т) соотношения от заданных значений [1-12]. Учитывая реальную ситуацию по организации и ведению работ на шахтах, очевидна необходимость более широкого рабочего диапазона значений, для выявления которого получены зависимости физико-механических характеристик ЦС от В/Т соотношения.

В лабораторных условиях затворение ЦС водой осуществляли лабораторной мешалкой с низкой угловой скоростью вращения – 450 об/мин., что подходит для перемешивания растворов с низкой и средней вязкостью (до 1,00 Па·с). Дальнейшие испытания прочности образцов УГМ и УГМ-П на одноосное сжатие и изгиб проведены по ГОСТ в испытательной лаборатории компании УГМ-Сервис. Часть образцов выборочно тестировалась на высокоточном оборудовании – сервогидравлической системе RDS-500 Центра испытаний горно-шахтного оборудования и инновационных технологий угледобычи Института угля СО РАН – подразделение ФИЦ УУХ СО РАН.

#### Результаты (The results):

При подготовке для испытаний образцов ЦС УГМ и УГМ-П проведен рассев их исходного сырья на калиброванных ситах. В результате, для ПЦ-500 остатки на сите 0,2 составили 0,34%, на сите 0,08 – 5,7%, на дне – 93,96%; для молотых золо-шлаковых отходов остатки на сите 0,2 составили 2,2%, на сите 0,08 – 11,5%, на дне – 86,3%. Насыпная плотность сухих ЦС составила 1070-1080 кг/м<sup>3</sup>.

Первые испытания проведены для максималь-

но густых ЦС, с В/Т соотношением равным 0,3. Полученные зависимости пределов прочности образцов УГМ и УГМ-П при одноосном сжатии и изгибе от времени отверждения, представлены на рисунке 1. Значительная динамика роста показателей позволила учесть данный запас прочности и перейти к дальнейшим исследованиям, более широко варьируя количество добавляемой в ЦС воды. Итоговые результаты исследований зависимости физических характеристик ЦС от В/Т соотношения выборочно представлены в таблице.

Для оценки технологичности использования разработанных ЦС и влияния режимов работы нагнетательно-смесительного оборудования на стабильность В/Т соотношения и общее качество раствора (расслоение, вовлечение воздуха, полнота перемешивания сухой ЦС с водой), получаемого на выходе из насоса, проведены цеховые испытания на установке, созданной на базе шахтного ПБН-15, представленной на рисунке 2. Сброс получаемого из ЦС раствора от установки осуществлялся по штатному нагнетательному гибкому шлангу в открытую емкость объемом 200 л, находящейся на расстоянии 12 м. В результате, было заполнено 10 емкостей, подтверждена высокая подвижность и транспортируемость, стабильность качества приготовления раствора. Реальное отклонение полученной плотности от ожидаемой (по рецепту) составило не более 3%, что вполне допустимо для условий применения ЦС в шахте.

Таким образом, в результате анализа полученных данных сделаны следующие выводы и заключения:

- разработанные ЦС УГМ и УГМ-П с основой (массово) до 45% цемента ПЦ-500, до 50% твердых техногенных отходов ТЭЦ и металлургических предприятий Кузбасса, со специализированными добавками и наполнителями в остатке, обеспечивают нелинейный рост значений физико-механических характеристик при уменьшении В/Т соотношения в рациональном диапазоне от 0,35 до 0,5. При этом, максимально достигнутый предел прочности образцов ЦС на одноосное сжатие составил около 40 МПа при В/Т соотношении 0,3;
- определена область применения ЦС УГМ-П – предназначена для дистанционного возведения монолитных врубовых и безврубовых изолирующих, взрывоустойчивых и водоупорных перемычек горных выработок угольных шахт и рудников; усиления и ремонта подземных изоляционных сооружений («приливы» к ранее возведенным перемычкам, «рубашки» в кроссингах и квершлагах, и т.д.); пропиточной цементации трещиноватой приконтурной зоны массива пород, прилегающей к возводимому подземному сооружению;
- прочностные характеристики разработанных ЦС УГМ и УГМ-П потенциально обеспечивают создание равнопрочного подземного изоляционного сооружения в виде системы «монолит-

ная перемычка – тампонажная завеса»;

- разработанные минеральные составы расширяют материальную базу проводимых ИУ СО РАН совместно с Кафедрой теоретической и геотехнической механики КузГТУ исследований, научно обосновывающих процессы управления физико-механическим состоянием массивов горных пород в различных горно-геологических и горнотехнических условиях;

- для дальнейшей разработки технологии комплексной изоляции горных выработок необходима оценка реологических характеристики УГМ и УГМ-П качественно влияющих на процесс фильтрации ЦС по трещинам горных пород при возведении тампонажной завесы (представлена во второй части статьи).

Для дальнейших шахтных исследований работоспособности ЦС УГМ и УГМ-П, и внедрения их в производство, получена необходимая техническая и разрешительная документация: заключения экспертизы промышленной безопасности на продукцию (Ростехнадзор РФ), паспорта безопасности и санитарно-эпидемиологическое заключение, сертификаты соответствия продукции, разработаны локальные инструкции по применению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмяляйнен, В.А. Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В.А. Хмяляйнен, Ю.В. Бурков, П.С. Сыркин. – М.: Недра, 1994. – 400 с.
2. Хмяляйнен, В.А. Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок / В.А. Хмяляйнен, В.И. Митраков, П.С. Сыркин. – М.: Недра, 1996. – 352 с.
3. Майоров, А.Е. Консолидирующее крепление горных выработок / А.Е. Майоров, В.А. Хмяляйнен; науч. ред. В.А. Хмяляйнен; Сиб. отд-ние РАН, КеМНЦ. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 260 с.
4. Хмяляйнен, В.А. Возведение противифльтрационных завес вокруг водоупорных перемычек / В.А. Хмяляйнен, Г.С. Франкевич, В.А. Жеребцов, и др. РАЕН; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2000. – 119 с.
5. Майоров, А.Е. Фильтрационное течение и приливы плотности дисперсной фазы при заполнении трещин горных пород цементным раствором / А.Е. Майоров, В.А. Хмяляйнен // Изв. вузов. Горный журнал. – 2010. – № 4. – С. 105–110.
6. Хмяляйнен, В. А. Развитие инъекционных способов уплотнения массивов горных пород в Кузбассе // Вестник КузГТУ. – 2015. – №. 5 (111). – С. 25-32.
7. Заславский, Ю.З. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Б.А. Лопухин, Е.Б. Дружко. – М.: Недра, 1984. – 176 с.
8. Хмяляйнен, В.А. Оценка влияния отходов углеобогащения на физико-механические свойства тампонажных растворов и параметры технологии цементации / В.А. Хмяляйнен, М.А. Басев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – №. 4. – С. 247-253.
9. Кипко, Э.Я. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт / Э.Я. Кипко, Ю.А. Полозов, О.Ю. Лушникова, В.А. Лагунов. – М.: Недра, 1984. – 280 с.
10. Хмяляйнен, В.А. Экспериментальные исследования физико-механических свойств тампонажных растворов на основе цемента и отходов углеобогащения / В.А. Хмяляйнен, М.А. Басев // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 6. – С. 12-19.
11. Углиница А.В., Першин В.В. Цементация трещиноватых пород в условиях подготовительных горных выработок / Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1998. – 220 с.
12. Хмяляйнен, В.А. Разрушение и тампонаж пород в сейсмически активных условиях метаноугольных месторождений / В.А. Хмяляйнен, В.В. Иванов, В.И. Мурко и др.; под общ. ред. В.А. Хмяляйнена; КузГТУ. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2014. – 256 с.

13. Парфенов, А.П. Строительство гидроизоляционных перемычек в калийных рудниках Прикарпатя // Шахтное стр-во. – 1989. – № 7. – С. 24-25.
14. Нургалиев, Е.И. Технология скоростного возведения высокопрочных безврубовых перемычек с использованием специализированных цементных смесей / Е.И. Нургалиев, А.Е. Майоров, Г.Н. Роут // Журнал Уголь. – 2014. – №6. – С 20-23.
15. Инструкция по предупреждению и тушению подземных эндогенных пожаров в шахтах Кузбасса // ФГУП РосНИИГД, ФГУП НЦ ВостНИИ. – Кемерово, 2007. – 77 с.
16. Глузберг, Е.И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1989. – 160 с.
17. Егосин, В.В. Предупреждение и тушение эндогенных пожаров на шахтах Кузбасса / В.В. Егосин, Е.В. Кухаренко, И.Ф. Александрович. – Кемерово: Кемеров. кн. изд-во, 1994. – 355 с.

## REFERENCES

1. Khyamyalyainen, V.A. Cement-grout screen formation around permanent mine excavations / V.A. Khyamyalyainen, Y.V. Burkov, P.S. Syrkin. – M.: Nedra, 1994. – 400 p.
2. Khyamyalyainen, V.A. Physical and chemical rocks hardening with excavation construction / V.A. Khyamyalyainen, V.I. Mitrakov, P.S. Syrkin. – M.: Nedra, 1996. – 352 p.
3. Mayorov, A.E. Consolidating bracing of mining excavations / A.E. Mayorov, V.A. Khyamyalyainen; Sib. branch RAS, KemSC. – Novosibirsk: SB RAS publishing, 2009. – 260 p.
4. Khyamyalyainen, V.A. Antifiltering screens creation around water-resistant bridges / V.A. Khyamyalyainen, G.S. Frankevich, V.A., Zhrebtsov, etc. RANS; Kuzbass state tech. univ. – Kemerovo, 2000. – 119 c.
5. Mayorov, A.E. Filtering flow and density increasing in dispersed phase with rock fractures filling by cement grout / A.E. Mayorov, V.A. Khyamyalyainen // Mining journal. – 2010. – No.4. – P. 105-110
6. Khyamyalyainen, V.A. Development of injection methods of compacting of rock massif in Kuzbass // Vestnik KuzSTU. – 2015. – №.5 (111). – P. 25-32.
7. Zaslavskiy, Y.Z. Rock massif injection hardening / Y.Z. Zaslavskiy, B.A. Lopukhin, E.B. Druzhko. – M.: Nedra, 1984. – 176 p.
8. Khyamyalyainen, V.A. Evaluating of influence of coal preparation wastes on physical and mechanical properties of plugging grouts and parameters of cementation technology / V.A. Khyamyalyainen, M.A. Baev // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2014. – №. 4. – P. 247-253.
9. Kipko, E.Y. Complex method of plugging in mine building / E.Y. Kipko, Y.A. Polozov, O.Y. Lushnikova, V.A. Lagunov. – M.: Nedra, 1984. – 280 p.
10. Khyamyalyainen, V.A. Experimental researches of physical and mechanical properties of plugging grouts based on cement and coal preparation wastes / V.A. Khyamyalyainen, M.A. Baev // Vestnik KuzSTU. – 2013. – №6. – P. 12-19.
11. Uglyanitsa, A.V. Fractured rocks grouting in conditions of pre-excavations / A.V. Uglyanitsa, V.V. Pershin. Kuzbass state tech. univ. – Kemerovo, 1998. – 220 p.
12. Khyamyalyainen, V.A. Destruction and plugging of rock at seismic active conditions of methane-coal fields / V.A. Khyamyalyainen, V.V. Ivanov, V.I. Murko, etc.; KuzSTU. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2014. – 256 p.
13. Parfenov, A.P. Hydroisolating bridges constructing in potassium mines of Prikarpatye // Mining construction. – 1989. No.7. – P. 24-25.
14. Nurgaliev, E.I. The technology of fast construction of extra strength bridges with using of special cement mixtures / E.I. Nurgaliev, A.E. Mayorov, G.N. Rout // Coal journal. – 2014. – No.6. – P 20-23.
15. Instruction for prevention and firefighting of underground breeding fire on Kuzbass coal mines // FSUC RusSRIMD, FSUC EastSRI. – Kemerovo, 2007. – 77 p.
16. Glauzberg, E.I. Theoretical basics of prognosis and prevention of breeding fire. – M.: Nedra, 1989. – 160 p.
17. Egoshin, V.V. Prevention and firefighting of underground breeding fire on Kuzbass coal mines / V.V. Egoshin, E.V. Kukharensko, I.F. Alexandrovich. – Kemerovo: Kemerovo book publishing, 1994. – 355 p.