

В.А. Уварова

ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УГЛЕДОБЫЧИ

Аннотация. Рассмотрены экологические, гигиенические аспекты применения полимерных материалов в составе новых технологий угледобычи. Установлено, что использование синтетических полимерных материалов в этих целях ведет к расширению круга потенциально вредных и опасных веществ для работников шахт и представляет экологическую опасность для окружающей среды. Исследованы токсичные газовыделения в процессе смешивания и отверждения химических растворов композиций полимерных смол на основе результатов лабораторных экспериментов и с использованием литературных данных. Установлено, что при использовании полимерных технологий в рудничную атмосферу выделяются как исходные компоненты полимерного состава, так и вещества, образующиеся при их взаимодействии. Это вредные вещества 1—4 классов опасности, в том числе аллергены — вещества острого действия на организм. Применены современные методы анализа: газохроматографический, фотоколориметрический, спектрофотометрический, а также эксперименты с проведением процессов смешивания и отверждения компонентов растворов полимерных композиций в лабораторных условиях. Изучен процесс миграции и динамика газовыделения вредных веществ в воздух рабочей зоны. Предложены меры обеспечения безопасности горнорабочих при применении полимерных технологий и намечены перспективы использования полимеров в подземном горном производстве.

Ключевые слова: полимерные материалы, экологичность, безопасность, токсичность, газовыделение, вредные вещества, технологии угледобычи, испытания, угольная шахта.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-54-60

Введение

Одним из перспективных направлений повышения эффективности добычи полезных ископаемых и промышленной безопасности является использование новых технологий с применением синтетических материалов.

Особенно результативными за последние годы были работы, связанные с внедрением быстротвердеющих композиций на основе полимерных и неорганических химических материалов для упрочнения трещиноватых горных пород, закрепления анкеров в шпурах угольных и породных массивов, заполнения закрепного пространства и пустот

подготовительных выработок, выкладки опорных околоштрековых полос и других целей [1—5].

Скрепляющие составы нагнетают в предварительно пробуренные шпуры или скважины. Состав проникает в трещиноватый массив, распространяется по трещинам, заполняя и скрепляя его. Для создания искусственной кровли составы закачивают за крепь, заполняя породу и связывая отдельные куски в жесткую корку.

В результате проведенного физико-химического воздействия горный массив в общей сложности может содержать внутри себя десятки тонн полимер-

ных материалов. Например, один кубический метр возводимого купола при упрочнении кровли может вмещать 45–50 кг смолы на основе полиуретана. В технологиях анкерного крепления на каждые 100 м выработки приходится более 500 кг полимерной смолы, а общая длина укрепляемого пространства — десятки и сотни километров. При закачке смол в трещины угольного пласта масса нагнетаемого состава достигает 40–60 кг/м.

Как правило, химические растворы на основе полимерных смол с добавлением стабилизаторов, отвердителей, наполнителей, связующих компонентов поступают в горную выработку в жидком виде и процесс их смешивания и отверждения происходит непосредственно там же. При этом в рудничную атмосферу выбрасываются вредные газы, испаряющиеся в процессе смешивания химических компонентов.

Проблема заключается в том, что использование полимерных материалов на основе синтетических смол в новых технологиях угледобычи, наряду с неоспоримыми преимуществами, ведет к увеличению числа потенциально вредных и опасных веществ для работников шахт и представляет экологическую опасность для окружающей среды. В настоящее время большинство этих газов не контролируются службами аэрогазового контроля (далее — АГК) шахты. Кроме того, полимерные смолы весьма пожароопасны и склонны к повышенному дымообразованию [6–9].

Цель исследований состояла в выявлении номенклатуры потенциально опасных в экологическом и гигиеническом аспектах вредных веществ, образующихся в результате деструкции компонентов полимерных композиций, определение их качественного и количественного состава, динамики газовой выделенности.

Методы исследования

Для определения качественного и количественного состава смеси при газовой выделенности был применен комплекс физико-химических методов, включающий газохроматографический фотокориметрический, спектрофотометрический анализы, аналитические методы, а также эксперименты с проведением процессов смешивания и отверждения компонентов растворов полимерных композиций в лабораторных условиях, моделирующих условия проветриваемой горной выработки и т.д.

Проведение исследований

На основании литературных данных и результатов лабораторных экспериментов опытно-промышленных испытаний в условиях шахты [10] были исследованы особенности выделения и распространения токсичных газовой выделенности при деструкции полимерных смол.

В комплексе лабораторных испытаний установлено, что при использовании полимерных технологий в рудничную атмосферу выделяются как исходные компоненты полимерного состава, так и вещества, образующиеся при их взаимодействии. Это вредные вещества 1–4 классов опасности. Среди них: аллергены, вещества острого действия на организм (таблица).

Кроме того в числе этих веществ зарегистрированы индикаторные газы (водород, угарный газ), служащие признаками ранних стадий возникновения пожаров. Это может исказить значения фоновых параметров индикаторных газов, контролируемых службами АГК шахты и затруднить выводы о возможном начале пожара.

Исследования показали, что степень загазованности рудничной атмосферы токсикантами зависит от химического состава смолы, периода ее отверждения, массы материала, скорости движения

Газы, образующиеся при смешивании и отверждении полимерных смол, применяемых в новых технологиях угледобычи
Gases formed under mixing and solidification of polymer resins in new coal mining technologies

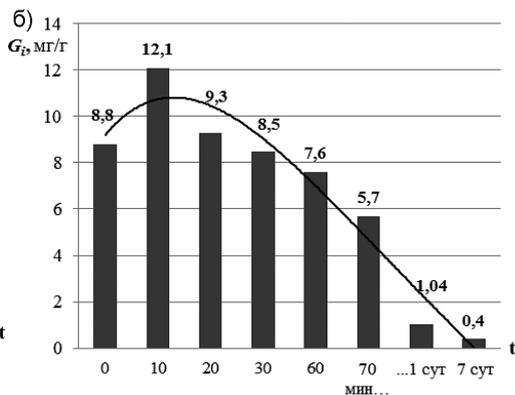
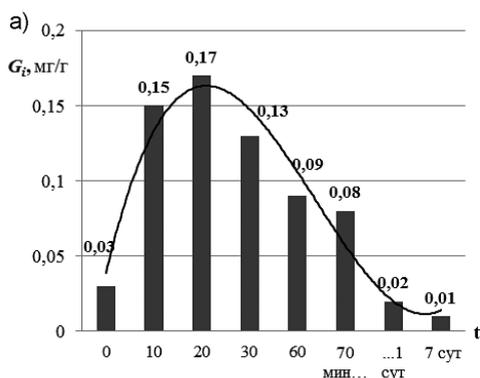
№ п/п по ГН 2.2.5.1313-03	Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
1210	Метан	CH ₄	7000	п	4	
2057	Углерод оксид (угарный газ)	CO	20	п	4	О
7	Углерода диоксид (углекислый газ)	CO ₂	27000/ /9000	п	4	
2108	Формальдегид	CH ₂ O	0,5	п	2	О, А
592	Гидроцианид	CHN	0,3	п	1	О
525	Гидроксibenзол (фенол)	C ₆ H ₆ O	1/0,3	п	2	
—	Водород	не нормируется				
166	Аммиак	NH ₃	20	п	4	
1270	1,1'— Метиленбис (4—изоцианатбензол)	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	0,5	п+а	2	А
2320	Этиленбензол (стирол)	C ₈ H ₈	30/10	п	3	
976	Три(проп—1—енил)амин* (триэтиламин)	C ₉ H ₁₅ N	2	а	3	
1569	2,2'—Оксидиэтанол (диэтиленгликоль)	C ₄ H ₁₀ O ₃	10	п+а	3	
2175	(Хлорметил)оксиран* (эпихлоргидрин)	C ₃ H ₅ Cl ₀	2/1	п	2	А
1226	Метилбензол (толуол)	C ₇ H ₈	150/50	п	3	
1211	Метанол*	CH ₄ O	15/5	п	3	
2136	Фур—2—илметанол* (фуриловый спирт)	C ₅ H ₆ O ₂	0,5	п	2	
2295	1,2—Эпоксипропан (пропилена оксид)	C ₃ H ₆ O	1	п	2	
197	Ацетальдегид*	C ₂ H ₄ O	5	п	3	

Примечание. Если в графе «Величина ПДК» приведены два норматива, то это означает, что в числителе максимальная разовая, а в знаменателе — среднесменная ПДК; О — вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе; А — вещества, способные вызывать аллергические заболевания в производственных условиях; п — пары и/или газы; а — аэрозоль.

воздуха в горной выработке, ее линейной протяженности и сечения.

Моделирование процесса газовой выделенности на основе лабораторных экспериментов с использованием программы «Токсика Q» [10—11] позволило рассчитать ожидаемое количество вредных

веществ в рудничной атмосфере при заданных параметрах технологического процесса с учетом параметров проветривания, геометрических размеров подземной горной выработки (ПГВ) и количества полимерного материала на 1 м ее пространства.



Динамика газовой выделения при отверждении фенолформальдегидной смолы: выделение формальдегида (а); выделение метанола (б)

Gas emission dynamic during the phenolformaldehyde resin baking: formaldehyde release (a); methanol release (b)

На рисунке показан пример определения динамики газовой выделения при отверждении фенолформальдегидной смолы. Концентрации таких вредных веществ, как фенол, формальдегид, стирол, эпихлоргидрин, изоцианаты, толуол, диметилэтаноламин (ДМА), метанол; оксид пропилен, ацетальдегид, диэтиленгликоль могут превышать соответствующие ПДК в воздухе рабочей зоны в 1,2–30,0 раз. Процесс миграции вредных веществ в воздух рабочей зоны может происходить до 7 суток.

Результаты этих и других исследований [10, 12] свидетельствуют, что наиболее опасными в экологическом и гигиеническом аспектах являются подготовительные операции, процесс нагнетания химических составов в массив и первые 60–90 мин после окончания нагнетания. В это время возможен контакт работающих с исходными компонентами этих составов и отмечается наиболее интенсивная миграция вредных веществ в атмосферу. Вместе с тем при интенсивной вентиляции происходит достаточное разбавление вредных веществ, и их концентрация в рудничном воздухе не превышает предельно допустимую.

Следует отметить, что при длительном использовании синтетических материалов на основе фенолформальдегида и полиуретана были отмечены жалобы рабочих на покраснение и зуд кожи, мелкие высыпания в местах попадания компонентов смолы на кожу.

Предлагаются следующие меры обеспечения безопасности горнорабочих при применении полимерных технологий:

- Разработка паспорта на производство работ с применением полимерных смол, в котором указываются параметры технологического процесса, химический состав и свойства ингредиентов, как входящих в состав исходного вещества, так и продуктов, выделяющихся в атмосферу.

- Наличие средств пожаротушения на рабочем месте.

- Наличие средств индивидуальной защиты (респираторы, противогазы, перчатки, крем для рук защитный).

- Обоснование параметров вентиляции и максимального расхода материала с учетом норм его предельно-допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны.

- Применение механизированных средств нагнетания и распыления химических составов.

- Контроль состава воздуха рабочей зоны, в том числе и тех компонентов, которые не предусмотрены существующими нормативами АГК.

Заключение

Использование полимерных материалов на основе синтетических смол в новых технологиях угледобычи, наряду с неоспоримыми преимуществами, ведет к увеличению номенклатуры потенциально вредных и опасных веществ для работников шахт, представляющих экологическую опасность для окружающей среды. Кроме того, полимерные смолы весьма пожароопасны.

При ведении полимерных технологий в рудничную атмосферу выделяются вредные вещества 1—4 классов опасности при превышении их предельно-допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны в 1,2—30,0 раз. Среди них: аллергены, канцерогены, вещества острого и раздражающего действия на организм.

В числе этих веществ зарегистрированы индикаторные газы (водород, угарный газ), служащие признаками ранних стадий возникновения пожаров, что может искажать результаты замеров, проводимых АГК шахты.

Процесс миграции вредных веществ в воздух рабочей зоны может происходить до 7 суток.

Кроме того, полимерные смолы в случае последующей разработки горного массива могут входить в состав добытого полезного ископаемого и вновь начать выделять вредные газы, например в процессе транспортировки. Токсичное газовыделение из содержащейся в перемычках смолы также может начаться при нагреве угольного пласта вследствие эндогенного пожара.

Эти данные необходимо учитывать при внедрении на шахтах новых технологий с использованием полимерных веществ, регламентируя их предельную массу в горной выработке и при разработке мер защиты от загазованности.

В то же время перспективы применения синтетических полимеров и продукции на их основе весьма широки. Это разработка инновационных технологий физико-химического воздействия на горные породы, создание новых полимерных материалов для горных предприятий с улучшенными свойствами путем изменения рецептуры и ввода в состав антипирогенов, стабилизаторов, модификаторов, минеральных добавок и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В. В., Левченко В. И.* Технология физико-химического упрочнения горных пород. — М.: Недра, 1991. — 266 с.
2. *Климчук И. В., Маланченко В. М.* Опыт применения полимерных технологий на горнодобывающих предприятиях России // Горная промышленность. — 2007. — № 4. — С. 22—25.
3. *Щатилов С. В., Васильев В. В.* Меры предупреждения обрушений пород в горных выработках угольных шахт // Безопасность труда в промышленности. — 2014. — № 1. — С. 26—28.
4. *Васильев В. В.* Полимерные композиции в горном деле. — М.: Наука, 1986. — 294 с.
5. *Уварова В. А., Фомин А. И.* Экологическая безопасность химических ампул анкерного крепления // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2014. — № 2. — С. 174—176.
6. *Уварова В. А.* Полимерные материалы на предприятиях подземной угледобычи и их пожарная и экологическая безопасность / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции 18—19 декабря 2013 г.; под ред. Н.И. Черкасовой. — Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2013. — С. 50—52.
7. *Stec A. A., Hull T. R.* Assessment of the fire toxicity of building insulation materials / Energy and Buildings., 43 (2011), pp. 498—50.

8. *Stec Anna A., Hull Richard T.* Fire toxicity assessment: comparison of asphyxiant yields from laboratory and large scale flaming fires *Fire Saf. Sci.*, 11 (2014), pp. 404–418.

9. *Feng Changgen, Li Shengcai, Xu Zhisheng, Yan Long, Liu Yong*, 2014 International Symposium on Safety Science and Technology Study on Correlations between the Flammability and Dynamic Smoke Properties of Four Decorative Materials // *Procedia Engineering*. Vol.84, 2014, pp. 498–505.

10. *Уварова В. А.* Методологические основы контроля пожароопасных и токсических свойств шахтных полимерных материалов: дис. ... докт. техн. наук: 05.26.03. — М., 2016. — 300 с.

11. *Уваров В. Е. Уварова В. А.* Программа для ЭВМ № 2014616116 Российская Федерация. Токсика Q; заявитель и правообладатель ОАО «Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности» — № 2014613399; заявл. 11.06.14; опубл. 20.06.14, Бюл. № 7(93).

12. *Суханов В. В., Путилина О. Н., Гаджиев Г. П. и др.* Синтетические и полимерные материалы в угольной промышленности и гигиена труда при их использовании. — М.: ЦНИЭИуголь, 1988. — 42 с. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Уварова Варвара Александровна — доктор технических наук, заведующая отделом подготовки и аттестации научных кадров, АО «Научный центр ВостНИИ по безопасности работ в горной промышленности (АО «НЦ ВостНИИ»), e-mail: uvarova.v.a@mail.ru.

ISSN 0236-1493. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018. No. 7, pp. 54–60.

Ecological properties of polymers involved in new coal mining technologies

Uvarova V.A., Doctor of Technical Sciences, Head of Department, Joint-stock company «Scientific Center VostNII of work safety in mining» (JSC «NC VostNII») 650002, Kemerovo, Russia, e-mail: uvarova.v.a@mail.ru.

Abstract. Discussion is focused on ecological and hygienic aspects of using polymers in new coal mining technologies. It is found that in this case, synthetic polymers will expand the range of toxic and hazardous matters for miners, and will endanger environment. Toxic gas emissions during mixing and solidification of chemical solutions composed of polymeric resins are studied using the lab test data and scientific literature. It is determined that with the polymer-based technologies, both initial components of a polymeric mixture and substances resulted from reactions enter mine air. These are toxic substances belonging to hazard classes 1–4, including allergens which are agents of acute health effect. The studies involved modern methods of gas chromatographic, photocolometric and spectrophotometric analyses, as well as lab-scale testing of mixing and solidification of polymeric composition solutions. Migration and release dynamics of hazardous substances in working zone air are studied. Miner safety measures for application of polymer technologies are proposed, and prospects for using polymers in underground mining are specified.

Key words: polymers, ecological properties, safety, toxicity, gas emission, toxic substances, coal mining technologies, tests, coal mine.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-54-60

REFERENCES

1. *Vasil'ev V.V., Levchenko V.I.* *Tekhnologiya fiziko-khimicheskogo uprochneniya gornykh porod* [Technology of physicochemical reinforcement of rocks], Moscow, Nedra, 1991, 266 p.

2. *Klimchuk I.V., Malanchenko V.M.* Opyt primeneniya polimernykh tekhnologiy na gornodobyvayushchikh predpriyatiyakh Rossii [Experience of polymer technologies in mines in Russia]. *Gornaya promyshlennost'*. 2007, no 4, pp. 22–25. [In Russ].

3. *Shatirov S.V., Vasil'ev V.V.* Mery preduprezhdeniya obrusheniy porod v gornykh vyrabotkakh ugol'nykh shakht [Measures to prevent rock falls in coal mines]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014, no 1, pp. 26–28. [In Russ].

4. *Vasil'ev V.V.* *Polimernye kompozitsii v gornom dele* [Polymeric compositions in mining], Moscow, Nauka, 1986, 294 p.

5. Uvarova V.A., Fomin A.I. Ekologicheskaya bezopasnost' khimicheskikh ampul ankernogo krepleniya [Ecological safety of chemical capsules of rock bolt grout]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, no 2, pp. 174–176. [In Russ].

6. Uvarova V.A. Polimernye materialy na predpriyatiyakh podzemnoy ugledobychi i ikh pozharnaya i ekologicheskaya bezopasnost' [Polymers in underground coal mines, and their fire and ecological safety]. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: problemy, sostoyanie i perspektivy. Materialy III Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, 18–19 December 2013. Rubtsovsk, RII, 2013, pp. 50–52. [In Russ].

7. Stec A.A., Hull T.R. Assessment of the fire toxicity of building insulation materials. *Energy and Buildings*, 43 (2011), pp. 498–50.

8. Stec Anna A., Hull Richard T. Fire toxicity assessment: comparison of asphyxiant yields from laboratory and large scale flaming fires *Fire Saf. Sci.*, 11 (2014), pp. 404–418.

9. Feng Changgen, Li Shengcai, Xu Zhisheng, Yan Long, Liu Yong, 2014 International Symposium on Safety Science and Technology Study on Correlations between the Flammability and Dynamic Smoke Properties of Four Decorative Materials. *Procedia Engineering*. Vol. 84, 2014, pp. 498–505.

10. Uvarova V.A. *Metodologicheskie osnovy kontrolya pozharoopasnykh i toksicheskikh svoystv shakhtnykh polimernykh materialov* [Methodological framework of control over hazardous and toxic characteristics of polymers in mines], Doctor's thesis, Moscow, 2016, 300 p.

11. Uvarov V.E. Uvarova V.A. *Computer program RU 2014616116*, 20.06.14.

12. Sukhanov V.V., Putilina O.N., Gadzhiev G.P. *Sinteticheskie i polimernye materialy v ugol'noy promyshlennosti i gigiena truda pri ikh ispol'zovanii* [Synthetic materials and polymers in coal mining industry and labor health], Moscow, TsNIElugol', 1988, 42 p.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕКУЩЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ
НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

(№ 1127/07-18 от 24.04.2018 г.; 8 с.)

Хакулов Виктор Алексеевич¹ — доктор технических наук, зав. кафедрой, e-mail: vkh21@ya.ru, директор НОЦ Автоматизации геотехнологических систем Института горного дела СО РАН, Шогенова Залина Асланбековна¹ — старший преподаватель, e-mail: shogenova.88@mail.ru, Аль-Мутавакел А.И.¹ — аспирант, e-mail: Abbasyem89@gmail.com,

¹ Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова.

Горное оборудование большой единичной мощности в значительной степени уязвимо от неэффективного оперативного и текущего проектирования и планирования горных работ. Попытка компенсировать неэффективное текущее проектирование горных работ усложнением системы диспетчеризации ведет только к удорожанию производства. Горное производство характеризуется непредсказуемостью изменчивостью условий, от которых зависит эффективность производства. Поэтому для повешения текущего проектирования горных работ необходимо внедрить систему дистанционного мониторинга технического состояния оборудования и условия эксплуатации.

Ключевые слова: эффективность, проектирование горных работ, дистанционный мониторинг, техническое состояние.

**IMPROVEMENT OF CURRENT DESIGNING OF MINING WORKS
BASED ON REMOTE MONITORING TECHNICAL CONDITION OF MINING EQUIPMENT**

Khakulov V.A.¹, Doctor of Technical Sciences, Head of Chair, e-mail: vkh21@ya.ru, Director of REC Automation of geo-technological systems of the Institute of Mining of SB RAS, Shogenova Z.A.¹, Senior Lecturer, e-mail: shogenova.88@mail.ru, Al-Mutavakel A.I.¹, Graduate Student, e-mail: Abbasyem89@gmail.com,

¹ Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, 360004, North Caucasian Federal district, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Russia.

Mining equipment of large capacity is largely vulnerable to inefficient operational and planning of mining works. An attempt to compensate for inefficient current mining planning by complicating the dispatching system leads only to a rise in the cost of production. Mining production is characterized by unpredictability of the variability of the conditions on which production efficiency depends. Therefore, for improving current mining operations, it is necessary to implement a system based on remote monitoring for equipment's technical and operating conditions.

Key words: efficiency, mining design, remote monitoring, technical condition.