

УДК 532.517.4+532.13+678.744.7

**Н.В. БЫКОВСКАЯ** (канд. тех. наук, доцент)  
Донецкий национальный университет

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

*Приведены результаты исследований по использованию водорастворимых полимерных композиций (ВПК) для повышения эффективности работы противопожарного оборудования, применяемого для тушения пожаров в угольных шахтах. Показано, что применение таких композиций в централизованных и мобильных установках пожаротушения позволяет: за счет снижения гидродинамического сопротивления трения в трубопроводах увеличить в 1,5 – 2,0 раза количество подаваемой в очаг пожара огнетушащей жидкости; улучшить огнетушащие свойства воды в 1,3 – 6,0 раз (в зависимости от природы горящего материала); увеличить дальность струй, сформированных в ручных пожарных стволах на 15 – 30%; улучшить работу оборудования, используемого для возведения изолирующих пожар перегородок из гипса.*

**Ключевые слова:** подземные пожары, угольные шахты, водорастворимые полимерные композиции, снижение гидравлических потерь, огнетушащие свойства, изолирование очага пожара, гипсовые перегородки.

*Постановка проблемы.* Подземные пожары и пожары, возникающие на поверхности земли, как неконтролируемые процессы горения различных материалов и полезных ископаемых, уничтожают значительные материальные ценности, создают угрозу для жизни людей, наносят большой ущерб окружающей среде.

Подземные пожары в угольных шахтах возникают в подземных выработках или в массивах полезных ископаемых. При этом такие пожары подразделяют на экзогенные (причиной возникновения которых являются внешние тепловые воздействия) и эндогенные, которые образуются в результате самовозгорания угольного массива [1, 2].

Ежегодно в Украине происходит от 50 до 80 подземных пожаров, которые приводят к гибели шахтеров, наносят экономический ущерб угольным предприятиям Министерства топлива и энергетики в размере от 20 до 40 млн. гривен. При этом из технологической цепи шахт на длительное время выводятся горные выработки, которые оснащены дорогостоящим оборудованием и подготовлены к добыче угля.

Для тушения экзогенных пожаров в их начальной стадии обычно используют пожарно-оросительные трубопроводы, огнетушители, различные мобильные устройства, которые обеспечивают подачу воды и других огнетушащих средств в очаг пожара. Эндогенные подземные пожары, очаги которых расположены в труднодоступных местах, а также, принявшие большие масштабы, экзогенные пожары тушат способом их изоляции. Для этих целей в горных выработках устанавливают специальные изолирующие сооружения (перегородки), которые предотвращают доступ кислорода из воздуха в очаг пожара.

В некоторых случаях приходится прибегать к затоплению охваченных пожаром участков водой. При изоляции во время пожаров участков, опасных по выделению метана, с целью предупреждения взрыва, в очаг пожара иногда нагнетают негорючие газы (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) или парогазовую смесь, образуемую выхлопными газами газотрубного двигателя, которые предварительно охлаждают диспергированной водой. Это снижает концентрацию кислорода в воздухе, охваченного пожаром участка, до пределов, которые исключают возможность взрыва метана [1, 2].

Анализ современного состояния противопожарной защиты угольных шахт Украины показывает, что она еще далека от совершенства. Так, например, около 500 км горных выработок не оснащены пожарно-оросительными трубопроводами, почти 10 % действующих трубопроводов требуют замены, а больше 40 % - характеризуются повышенным гидродинамическим сопротивлением из-за обильного солеотложения на внутренней

поверхности труб. Действующие угольные шахты в полной мере не обеспечены также огнетушителями и пожарными рукавами.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Важным резервом повышения эффективной работы систем водяного пожаротушения может быть использование явления снижения гидродинамического сопротивления трения (СГСТ) микродобавками высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА) [3-10].

Эффективность подачи огнетушащих жидкостей по трубопроводам установок противопожарной защиты определяется величинами следующих параметров:  $V$  – средней скоростью движения пожаротушающей жидкости в трубопроводе;  $l, d$  – длиной и внутренним диаметром трубопроводов;  $h = \lambda(1/d)(v^2/2g)$  – потерями напора по длине трубопровода;  $\lambda$  – коэффициентом гидродинамического сопротивления трения;  $g$  – ускорением свободного падения;  $N = \lambda Q^3 d^5 L$  – мощностью насосно-силовых установок, которая затрачивается на преодоление турбулентного трения и транспортировку жидкости по трубопроводу;  $Q = V\pi d^2/4$  – расходом (подачей) пожаротушающей жидкости по трубопроводу. Важную роль при тушении пожаров также играют дальнобойность струй, сформированных в ручных пожарных стволах, и огнетушащие свойства пожаротушающих жидкостей.

Многочисленными исследованиями, выполненными у нас в стране и зарубежом, установлено [3-7], что за счет введения в турбулентный поток жидкости (5-50) г/м<sup>3</sup> ПЭО или ПАА с молекулярной массой  $M = (2,5-6,0) \cdot 10^6$  можно существенно (на 50-80%) снизить гидродинамическое сопротивление трения в трубах промышленных диаметров (50-400) мм с естественной шероховатостью. При этом появляется возможность повысить эффективность работы гидравлических систем по ряду показателей: либо увеличить расход подаваемой по трубопроводу жидкости, либо снизить потребляемую перекачивающими насосами мощность, либо увеличить длину трубопровода, либо использовать трубы меньшего диаметра. Варианты возможного использования явления СГСТ приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Варианты возможного использования явления СГСТ микродобавками высокомолекулярных ПЭО и ПАА

№ п/п	Величина эффекта снижения сопротивления, %	Увеличение длины трубопроводов, кол-во раз	Уменьшение внутреннего диаметра труб, %	Увеличение расхода жидкости, кол-во раз	Уменьшение затрачиваемой насосом на перекачку жидкости мощности, %
1	10	1,11	2	1,05	10
2	20	1,25	4	1,12	20
3	30	1,43	7	1,2	30
4	40	1,43	10	1,29	40
5	50	2,0	13	1,41	50
6	60	2,5	17	1,58	60
7	70	3,33	21	1,82	70
8	80	5	28	2,24	80

Величина эффекта СГСТ (при равных числах Рейнольдса) определяется как отношение разности коэффициентов гидродинамического сопротивления для воды  $\lambda_v$  и полимерного раствора  $\lambda_p$  к коэффициенту  $\lambda_v$ , умноженному на 100%.

Кроме приведенных в табл. 1 вариантов, уменьшающие турбулентное трение добавки оказывают существенное влияние на струйные течения. При этом установлено, что сформированные в насадках и соплах струи отличаются повышенными компактностью и дальнобойностью.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, применение микродобавок ПЭО и ПАА в пожаротушении сдерживается сложностью приготовления из них однородных растворов требуемых концентраций с сохранением первоначальной молекулярной массы. Попытки использовать эти полимеры в виде выпускаемых промышленностью порошков или в виде заранее приготовленных растворов оказались малоэффективными.

В связи с этим в последние годы интенсивно ведутся работы по созданию на основе ПЭО и ПАА быстрорастворимых полимерных композиций, разработки оборудования и технологической оснастки для подачи, растворения и дозированного ввода гидродинамически-активных добавок в трубопроводы [7-10].

*Постановка задачи исследований.* Целью настоящей работы является обоснование применения водорастворимых полимерных композиций на основе высокомолекулярного ПЭО для повышения эффективности работы централизованных и мобильных установок, которые используются для тушения подземных пожаров в угольных шахтах. Кроме этого, возникла необходимость проведения исследований по использованию полимерных добавок на процессы транспортировки гипсового раствора по рукавной линии с целью уменьшения гидравлических потерь при возведении безврубовых перегородок, которые применяются при изоляции крупномасштабных экзогенных и эндогенных подземных пожаров.

*Основной материал и результаты.* В Донецком национальном университете выполнена серия работ, которые посвящены созданию и практическому применению ряда композиций на основе высокомолекулярного ПЭО, для повышения эффективности использования различных гидравлических систем, в т.ч. и систем пожаротушения, за счет снижения в них гидродинамического сопротивления трения [7-10].

В ходе проведенных лабораторных, стендовых, полигонных и натуральных испытаний было установлено следующее: заранее приготовленные однородные растворы высокомолекулярного ПЭО могут использоваться для затворения гипса при возведении перегородок для изолирования подземных пожаров; жидкие водорастворимые полимерные композиции (ЖВПК) – равноплотные суспензии и пасты могут быть применены для увеличения пропускной способности трубопроводов централизованных систем пожаротушения; твердые водорастворимые полимерные композиции (ТВПК), в виде полимерных покрытий, найдут широкое применение в мобильных установках пожаротушения путем использования в проточных кассетах для приготовления полимерных растворов.

Отличительной особенностью применения водорастворимых полимерных композиций (ВПК) является то, что наряду с основным назначением – СГСТ, они, за счет ввода в составы специальных добавок, могут приобретать дополнительные полезные свойства, например, улучшать огнетушащие свойства воды [8, 10]. В ряде случаев это может играть определяющую роль, т.к. локализация и ликвидация очага пожара будет проводиться за меньшие промежутки времени, при значительном уменьшении объемов используемой для этих целей воды.

Снижение гидравлических потерь в трубах и пожарных рукавах. Промышленные испытания гидродинамической эффективности ЖВПК, содержащей 5 мас.% ПЭО и 95 мас.% смеси глицерина с водой, имеющей плотность, равную  $1,23 \text{ г/см}^3$ , проводились на участке трубопровода централизованной системы пожаротушения шахты им. М.И. Калинина общей длиной 710 м. Выбранный участок состоял из труб диаметром 150 и 100 мм, длина которых была равна 230 и 480 метров, соответственно. Перед испытанием, для увеличения скорости растворения, суспензия подвергалась термической обработке при температуре  $t, ^\circ\text{C} = 50$  в течении одного часа.

Для дозированного ввода (по объему) ЖВПК в трубопровод использовалось специальное устройство, состоящее из герметической емкости для ее хранения с мерным стеклом, баллона со сжатым воздухом, редуктора, пробкового крана, соединительных шлангов высокого давления.

Расход воды по трубопроводу изменяли с помощью задвижки, установленной в начале контрольного участка, и измеряли водомером. Потери давления на линейных участках и по всей длине трубопровода измеряли с помощью образцовых манометров.

Результаты испытаний показали (данные эксперимента приведены в табл. 2), что через 5 минут, с момента начала подачи полимерной композиции в трубопровод, гидравлические потери на всем испытываемом участке уменьшились на 12 %, а через 15 минут – на 55 % (при равных расходах воды и испытываемого раствора полимерной композиции). Очевидно, что для получения максимального гидродинамического эффекта на трубопроводе большой длины, в начальные промежутки времени, необходимо вводить ЖВПК одновременно в нескольких местах по его длине.

Таблица 2 – Зависимость величины эффекта СГСТ (Э, %) от времени ввода добавок (τ, мин) в трубопровод. Данные получены на участке трубы диаметром 100 мм и длиной 200 м. Температура испытываемых жидкостей  $t, ^\circ\text{C} = 28,5$

τ, мин	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Э, %)	12	37	55	57	60	59	58	60	59	60	60	60	60	60	59	60

Полигонные испытания ТВПК (ультраслабых полимерных покрытий), которые наносились на армирующие вставки проточных кассет, проводилось с использованием мобильной установки для пожаротушения. В состав этой установки входили: насос для подачи воды, пожарный рукав длиной 260 м и внутренним диаметром 51 мм, ручной пожарный ствол с диаметром формирующего струю жидкости насадка равным 13 мм.

Испытания проводились в два этапа. На первом этапе в качестве пожаротушающей жидкости использовалась водопроводная вода, на втором – водный раствор ПЭО с молекулярной массой  $M = 4,8 \cdot 10^6$ . В ходе испытаний контролировались: расход пожаротушающих жидкостей по рукавной линии, Q, л/с; давление в начале рукавной линии, P, кГ/см<sup>2</sup>; давление в ручном пожарном стволе, P<sub>с</sub>, кГ/см<sup>2</sup>; дальнобойность струи, L, м. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что использование в качестве пожаротушающей жидкости водного раствора ТВПК позволяет значительно увеличить ее расход по рукавной линии и повысить дальнобойность струи.

Таблица 3 – Результаты полигонных испытаний проточных кассет с ТВПК для повышения эффективности работы мобильной пожаротушающей установки

	P, кГ/см <sup>2</sup>	P <sub>с</sub> , кГ/см <sup>2</sup>	Q, л/с	L, м
Огнетушащая жидкость - вода				
	2	1,4	1,3	19
	4	3,0	2,7	21
	6	4,8	3,3	25
	8	6,6	4,4	31
Огнетушащая жидкость – водный раствор ТВПК				
	4	3,0	3,60	27
	6	5,0	4,55	32
	8	7,8	4,60	33

Так например, при давлении в начале рукавной линии  $6 \text{ кг/см}^2$ , за счет применения кассеты с ТВПК, расход пожаротушающей жидкости увеличивается на 39 %, а дальнобойность струи – на 28 % (по сравнению с водой). При этом потери давления в рукавной линии снижаются на 17 %.

Таким образом, следует ожидать, что применение гидродинамически-активных полимерных композиций позволит повысить эффективность работы противопожарных систем за счет увеличения количества огнетушащей жидкости, подаваемой в очаг пожара (в 1,5 – 2,0 раза) и увеличить дальнобойность струи (на 15 – 30 %).

Испытания растворов ВПК на основе ПЭО, в качестве огнетушащих жидкостей, показали, что при тушении шахтной транспортерной ленты, отработанного индустриального масла, поленьев акации время тушения очага пожара уменьшилось в среднем в 1,6 раза, а количество используемой для этих целей воды – в 1,5 раза. Более подробно влияние микродобавок ПЭО из водорастворимых полимерных композиций на огнетушащие свойства воды и водных растворов поверхностно-активных веществ, применяемых в пожаротушении, рассмотрено в работах [8, 10].

Для тушения крупномасштабных экзогенных и эндогенных пожаров в угольных шахтах широкое применение получили комплексы оборудования СНУ "Темп – 200", "Темп – 500" и др. Такие комплексы предназначены для дистанционного возведения безрубровых, взрывоустойчивых и изолирующих перегородок из гипса, которые применяются для изоляции пожаров в шахтах.

При эксплуатации комплексов "Темп" возникают определенные технические трудности, которые в первую очередь, связаны с транспортировкой гипсовых растворов по трубопроводам. Установлено, что за счет быстрого схватывания водогипсовой смеси ее укладка в опалубку идет с низкой скоростью, оборудование работает со значительными перегрузками, а в ряде случаев схватывание гипса происходит непосредственно в подающем водно-гипсовую смесь трубопроводе или в рукавной линии. Кроме этого, возводимые перегородки обладают низкой водостойкостью, высокой ползучестью под нагрузкой, хрупкостью при использовании в тонкостенных элементах, что значительно ухудшает их эксплуатационные качества.

Обычно для возведения перегородок используют быстротвердеющие гипсы, для которых промежутки времени, с момента их затворения до начала и окончания схватывания, соответственно равны 2 и 6 минут. Однако, отсутствие возможности точного дозирования гипса при приготовлении водно-гипсовой смеси, повышенная температура в шахтах значительно увеличивают скорость схватывания гипсовых растворов, что затрудняет их транспортировку по рукавным линиям.

Для замедления схватывания гипсовой смеси в нее рекомендуют добавлять животный клей или сульфатно-спиртовую барду (ССБ) в количестве  $0,1 \div 3,0$  мас. % от массы гипса. Эти вещества, адсорбируясь на зернах полуводного гипса, уменьшают его растворимость и тем самым замедляют процесс схватывания гипсового теста. Однако, широкого применения вышеуказанные добавки не получили, т.к. увеличение промежутка времени с момента затворения гипса до начала его схватывания было незначительным. При этом происходит также ухудшение физико-механических и прочностных свойств получаемого гипсового камня.

Существенно увеличить промежуток времени, с момента затворения до начала схватывания водно-гипсовой смеси, можно за счет ввода в затворяющую гипс воду, микродобавок высокомолекулярных полимеров. При этом за счет снижения добавками полимеров гидравлических потерь в подающих водно-гипсовую смесь трубопроводах, увеличивается ее расход. Это может значительно уменьшить промежуток времени, который необходим для возведения гипсовых перегородок. Очевидно также, что полимерные макромолекулы будут проявлять в гипсовом камне армирующие свойства и тем самым повышать его прочностные характеристики.

В качестве добавок, к затворяющей гипс воде, были выбраны: сульфатно-спиртовая барда (ССБ) (прототип) и водорастворимый высокомолекулярный полимер (ПЭО) с молекулярной массой  $(2,5 \div 4,2) 10^6$ .

Результаты лабораторных исследований показали, что использование ССБ увеличивает промежуток времени с момента начала затворения до начала затвердения гипсового теста в  $1,1 \div 1,2$  раза. При этом, промежуток времени с момента затворения до окончания схватывания гипса возрастает в  $4 \div 5$  раз, а прочностные характеристики гипсового камня ухудшаются.

Известно, что растворение ПЭО в воде сопровождается образованием водородных связей между эфирным кислородом звена окиси этилена и водородом в молекулах воды. Это приводит к большему упорядочению структуры воды. Последнее должно положительным образом отразиться на реологических свойствах водно-гипсовой смеси. Другими словами, за счет применения полимерных добавок должно измениться структурообразование смеси гипс – вода при сдвиге, что улучшит ее транспортировку по трубам.

С целью разработки практических рекомендаций были проведены исследования по влиянию полимерных добавок на следующие характеристики гипсовых растворов и образующегося на них гипсового камня: нормальную плотность, оптимальное соотношение гипс – затворяющая жидкость, которые определяют транспортировку смеси по трубопроводу и обеспечивают формирование гипсового камня требуемой прочности; промежутки времени с момента затворения гипса до времени начала и окончания схватывания гипсового теста; предел прочности при сжатии образовавшегося гипсового камня.

Наряду с этим, была также, проведена оценка влияния добавок полимерных композиций на гидравлические потери при подаче гипсовых растворов по трубопроводам.

Проведенные на вискозиметре Суттарда испытания для трех разновидностей гипса: фосфогипса, шлакогипса и гипса А показали, что нормальная плотность теста достигается при соотношении «гипс-вода» равным 7:3.

Промежутки времени, характеризующие начало и окончание схватывания гипса с момента его затворения в воде и в водных растворах ПЭО, определяли на приборе Вика, масса подвижной части которого вместе с иглой равна  $(120 \pm 1)$  г. При этом за начало схватывания гипса принимали такое состояние его раствора, когда игла начинает не доходить до дна емкости, в которую он залит, а гипсовый камень считается сформированным (окончание схватывания), если игла входит в испытываемый образец не больше, чем на 0,5 мм.

Определение предела прочности образовавшегося гипсового камня проводили по следующей схеме. Первоначально из исследуемого гипса с различными затворяющими жидкостями, изготавливали по три образца в виде кубиков с размерами  $7,07 \times 7,07 \times 7,07$  см. Для изготовления образцов брали навеску гипса, равную 1,2 кг. Гипс в течение 30 сек. засыпали в чашку с водой или полимерным раствором, взятыми в количестве, которое соответствует нормальной плотности теста, и перемешивали в течение 1 мин. до получения однородной массы, которую затем заливали в металлические формы, слегка смазанные машинным маслом. Все формы заполняли одновременно. Образцы вынимали из форм через 1 час и испытывали через 1,5 часа от начала затворения. Грани образца, прилегающие к плитам прессы, должны быть параллельны и не иметь отклонений от плоскости больше, чем на 0,5 мм. Образцы с дефектами не испытывали.

Нагрузка при испытании на прессе должна возрастать равномерно со скоростью  $2-3$  кГ/см<sup>2</sup> в секунду до разрушения образца. Предел прочности при сжатии отдельного образца вычисляли в кГ/см<sup>2</sup>, как частное от деления величины разрушающей нагрузки в кГ на величину площади рабочей грани образца в см<sup>2</sup>. Предел прочности испытываемого гипсового камня при сжатии вычисляли как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов.

Результаты эксперимента для всех трех исследованных образцов гипса показали, что введение в затворяющую жидкость ( $0,00075 \div 0,01$ ) мас. % высокомолекулярного ПЭО позволяет на (10-25) % увеличить прочность гипсового камня при сжатии.

Гидравлические потери при подаче водно-гипсовой смеси и такой же смеси с добавкой ПЭО определяли на гидродинамической установке с постоянным перепадом давления (длина трубы – 3 м, диаметр – 20 мм). Такая установка позволяет определить время истечения определенного объема гипсового раствора в зависимости от его выдержки во времени. При этом с достаточной точностью определяются времена истечения гипсовых растворов самых различных концентраций, несмотря на то, что в них происходит достаточно быстрое изменение физико-химических свойств.

Экспериментальные исследования проводили с использованием образцов фосфогипса и гипса А. Анализ полученных результатов показал, что при концентрации ПЭО в затворяющем гипс растворе меньше 0,0005 мас. %, наряду с уменьшением скорости схватывания гипса происходит уменьшение гидравлических потерь при его истечении по трубе. Так, при концентрации фосфогипса равной 55 мас. % в затворяющей жидкости, которая в свою очередь, содержит 0,0005 мас. % полиэтиленоксида, величина промежутка времени с момента затворения до начала схватывания увеличивается в среднем на 20%, а время истечения уменьшается на 3-ей и 5-ой минутах, с момента начала приготовления смеси, в 1,7 и 2,1 раза соответственно.

Увеличение концентрации ПЭО в затворяющей гипс жидкости выше 0,0005 мас. % приводило к резкому уменьшению продолжительности схватывания гипса, и к росту гидравлических потерь. По всей видимости, при таких концентрациях взаимодействие полимерных добавок с гипсом, приводит к образованию в растворе различных структур, которые и повышают гидродинамическое сопротивление.

Полигонные испытания по определению влияния полимерных добавок на транспортировку гипсовых растворов по трубопроводам были проведены на полигоне 3-го взвода ГВГСС Минуглепрома Украины (г. Макеевка, Донецкая обл.) с использованием комплекса СНУ «Темп-500» и вспомогательного оборудования для растворения и дозированного ввода растворов ПЭО в рукавную линию.

В ходе полигонных испытаний, которые проводились в два этапа, контролировались следующие параметры: время выхода СНУ «Темп-500» на оптимальный режим работы, сек.; давление гипсовой смеси на входе из СНУ,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ; расход воды через гипсосмеситель, л/с; ток, потребляемый электродвигателем гипсосмесителя, А; давление воды, создаваемое подпиточным насосом на входе в СНУ,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ; концентрация полимера в затворяющей гипс жидкости, мас. %; время схватывания гипсовой смеси в процессе формирования блока из гипсовой смеси.

Для подсоединения СНУ к водной магистрали и для подачи гипсового раствора использовали пожарные рукава с внутренним диаметром 51 мм и длиной 140 метров. На конце рукавной линии устанавливали ручной пожарный ствол с внутренним диаметром насадка 18 мм.

На первом этапе испытаний использовали раствор жидкой полимерной композиции, ввод и дозирование которого осуществляли с помощью модифицированного пеносмесителя ПС-1, на всасывающем патрубке которого устанавливали предварительно протарированные шайбы диаметром 1,8; 2,04 и 2,2 мм. Концентрированные растворы полимеров приготавливали непосредственно перед испытаниями.

Контроль расхода концентрированного раствора полимерной композиции производился с помощью мерной емкости и секундомера. Например, при использовании шайбы диаметром 1,8 мм, расход концентрированного раствора, содержащего 0,05 мас. % полимера, при расходе воды по рукавной линии равном 1,45 л/с, составил 2,8 мл/с.

На втором этапе затворяющую гипс жидкость с полимерными добавками приготавливались путем размыва ТВПК в проточной кассете, установленной в рукавную линию. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Из приведенных в таблице данных видно, что введение в воду раствора полимерной композиции на основе ПЭО (эксперимент № 2) приводит к снижению гидравлических потерь в рукавной линии с  $0,5 \text{ кг/см}^2$  до  $0,25 \text{ кг/см}^2$ , т.е. на 50% и уменьшению потребляемого СЧУ тока с 17 А до 14 А, т.е. на 18%.

Следует ожидать, что увеличение длины рукавной линии, по которой подается водно-гипсовая смесь, приведет к еще большему снижению гидравлических потерь и уменьшению потребляемого СЧУ тока за счет увеличения вклада потерь на трение по сравнению с потерями на местных сопротивлениях.

Таблица 4 – Результаты полигонных испытаний

№ п/п	Испытываемая жидкость	Давление в рукавной линии, $\text{кг/см}^2$	Расход воды, л/с	Давление воды создаваемое подпиточным насосом, $\text{кг/см}^2$	Потребляемый ток, А	Содержание ПЭО в затворяющей жидкости, вес. % $\cdot 10^{-4}$	Примечание
I-й этап							
1	Вода	0,5	1,48	3,0	17	0	Затворяющую гипс жидкость приготавливал и путем предварительного растворения полимерной композиции и подачей полученного раствора в рукавную линию ПС-1
2	Раствор полимерной композиции	0,25	1,45	3,0	14	3,5	
3	Гипс А + вода	2,5	1,45	3,0	19,5	0	
4	Гипс А + водный раствор полимерной композиции	1,2	1,45	3,0	16,5	2,3	
II-й этап							
5	Фосфогипс + вода	2,6	1,45	3,0	20	0	Затворяющая гипс жидкость приготавливал и размывом ТВПК в кассете
6	Фосфогипс + водный раствор ТВПК	1,0	1,45	3,0	17	2,0	

Результаты опытов № 3 и № 4 показывают, что использование в качестве затворяющей гипс А жидкости водного раствора полимерной композиции с содержанием ПЭО  $2,3 \cdot 10^{-4}$  мас. % уменьшает давление в рукавной линии с 2,5 до  $1,2 \text{ кг/см}^2$ , а потребляемый СЧУ ток - с 19,5 А до 16,5 А.

Аналогичные данные были получены для фосфогипса (данные опытов №5 и №6) Для приготовления модифицированной микродобавками полимеров затворяющей гипс жидкости использовали проточную кассету с брикетом из ТВПК. Видно, что введение в затворяющую гипс воду  $2,0 \cdot 10^{-4}$  мас. % высокомолекулярного ПЭО уменьшает давление в рукавной линии с 2,6 до  $1,0 \text{ кг/см}^2$ , а потребляемый СЧУ ток с 20 А до 17 А.



Следует отметить, что введение микродобавок полимерных композиций в затворяющую гипс жидкость заметным образом не изменяло время выхода СЧУ на оптимальный режим работы.

Таким образом, использование в качестве затворяющих гипс жидкостей слабоконцентрированных (0,0002 ÷ 0,00075 мас. %) растворов высокомолекулярного ПЭО позволяет в 1,2÷1,5 раза увеличить величину промежутка времени с момента затворения до начала схватывания гипса. Кроме этого, в процессе транспортировки гипсового раствора по рукавной линии гидравлические потери уменьшаются на 45-60%. Введение микродобавок приводит также к увеличению на (10-25) % прочности на сжатие образующегося гипсового камня. При этом время с момента затворения до окончания схватывания гипса практически не изменяется.

*Выводы и направления дальнейших исследований.* Применение гидродинамически-активных ЖВПК (тонкодисперсных полимерных суспензий и паст) и ТВПК (ультраслабых полимерных покрытий в составе проточных кассет) открывает широкие перспективы повышения эффективности работы шахтных централизованных и мобильных установок пожаротушения без привлечения дополнительных мощностей и существенного изменения их конструкции. При этом, для каждого конкретного случая, необходимо подобрать наиболее эффективную гидродинамически-активную полимерную композицию, которая обеспечит максимальное снижение гидравлических потерь в трубопроводах и рукавных линиях, а также улучшит огнетушащие свойства пожаротушащих жидкостей. Кроме этого, использование в качестве затворяющих жидкостей слабоконцентрированных (2,0 – 2,3) 10<sup>-4</sup> мас. % ПЭО, существенным образом улучшает подачу гипсовой смеси по рукавной линии и на (10 – 25) % увеличивает прочность на сжатие образовавшегося гипсового камня.

Дальнейшие исследования по применению ВПК для тушения подземных пожаров в угольных шахтах следует проводить с целью совершенствования состава ТВПК для увеличения времени его эффективной работы в мобильных установках пожаротушения.

#### Список литературы

1. Булгаков Ю.Ф. Тушение пожаров в угольных шахтах / Ю.Ф.Булгаков. – Донецк: НИИГД, 2001. – 280 с.
2. Смоланов С.Н. Основы горноспасательного дела: учебн. пособие [для студ. ВУЗов.] / С.Н.Смоланов, В.И.Голинько, Б.А.Грядущий. – Днепропетровск: Изд-во НГУ, 2011. – 274 с.
3. Хойт (Hoyt J.W.) Влияние добавок на сопротивление трения в жидкости / Хойт (J.W. Hoyt) // Теоретические основы инж. расчетов: труды американского общества инж.-механиков. – 1972. – №2. – С. 1-31.
4. Козлов Л.П. Гідродинамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л.П.Козлов // Вісн. АН УРСР. – 1987. – №1. – С.23-33.
5. Корнилов В.И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) / В.И.Корнилов // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т.12, №2. – С.183-208.
6. Liberman M.W. Shear-induced structure formation is solution of drag reducing polymers / M.W. Liberman, E.J.Pollauf, A.J.J.McHungh // Non-Newton. Fluid Mech. - 2003. – Vol.113. – №2-3. – PP. 193-208.
7. Ступин А.Б. Применение гидродинамически-активных полимерных композиций в пожаротушении / А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, Н.В.Быковская // Бюлетень пожежної безпеки (науково-технічні проблеми та рішення). – 2001. – №2(7). – С. 4-5.
8. Ступин А.Б. Огнетушащие свойства растворов гидродинамически-активных полимерных композиций / А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, Н.В.Быковская // Бюлетень пожежної безпеки (науково-технічні проблеми та рішення). – 2001. – №3 (8). – С. 16-18.
9. Ступин А.Б. Применение гидродинамически-активных полимерных композиций для повышения эффективности работы противопожарной техники / А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, Н.В.Быковская // Вісник Донецького ун-ту. Сер.А: Природничі науки. – 2001. – №1. – С. 264-270.
10. Гидродинамически-активные композиций в пожаротушении / [А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, П.В.Асланов, Н.В.Быковская]. – Донецк: ДонГУ, 2001. – 173 с.

Надійшла до редакції 11.03.2013

Н.В. БИКОВСЬКА

**ЗАСТОСУВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНО-АКТИВНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ**

Наведені результати досліджень з використання гідродинамічно-активних полімерних композицій для підвищення ефективності роботи протипожежного устаткування, яке застосовується при гасінні пожеж у вугільних шахтах. Показано, що застосування таких композицій у централізованих і мобільних установках пожежогасіння дає змогу: за рахунок зниження гідродинамічного опору у протипожежних трубопроводах збільшити у 1,5–2,0 рази кількість вогнегасної рідини, яка подається в осередок пожежі; поліпшити вогнегасні властивості води у 1,3 – 6,0 разів (у залежності від природи матеріалу, що горить); збільшити далькостійність струменів, сформованих у ручних пожежних стволах на 15–30%; покращити роботу устаткування, яке використовується для створення ізолюючих пожежу перегородок із гіпсу.

**Ключові слова:** підземні пожежі, вугільні шахти, водорозчинні полімерні композиції, зниження гідравлічних втрат, вогнегасні властивості, ізолювання осередку пожежі, гіпсові перегородки.

N. BYKOVSKAYA

**APPLICATION OF HYDRODYNAMICALLY ACTIVE POLYMER COMPOSITIONS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FIRE EXTINGUISHING IN COAL MINES**

The results of research of the application of water-soluble polymer compounds (WSPC) for increased efficiency of firefighting equipment used for extinguishing fires in coal mines are presented.

It is determined that pre-mix homogeneous solutions of high molecular PEO can be used for plaster tempering when erecting partitions for the isolation of underground fires; liquid water-soluble polymer compositions (LWSPC) – equitight suspensions and pastes can be applied for increasing of carrying capacity of pipelines in the centralized firefighting systems; solid water-soluble polymer compositions (SWSPC) in the form of polymer coatings, will find a wide use in mobile firefighting installations in flow-through cassettes for preparation of polymeric solutions.

The paper shows that the application of such compositions in centralized and mobile fire-fighting systems allows: to increase 1.5-2.0 times the quantity of extinguishing liquid supplied to the fire seat by reducing hydrodynamic frictional resistance in pipelines; to improve fire extinguishing properties of water 1.3-6.0 times (depending on the nature of burning material); to increase the range of jets, formed in the hand-held fire hose nozzles at 15-30%; to improve the performance of equipment used for construction of the fire insulating partitions made of plaster.

**Key words:** subterranean fire, coal mines, water-soluble polymer compound, reduction of hydraulic losses, fire extinguishing properties, isolation of fire seat, plaster partitions.

© Быковская Н.В., 2013