

УДК 699.81:614.84:536.21

**Беликов А. С.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Рабич Е. В.**, канд. техн. наук, доцент  
(ГВУЗ «ПГАСА»)

**Маладыка Л. В.**, канд. пед. наук, доцент  
(Черкасский институт пожарной безопасности  
имени Героев Чернобыля Национального  
университета гражданской защиты Украины)

**Кирнос Е. А.**, канд. техн. наук, доцент  
(Днепровский государственный  
аграрно-экономический университет)

### **К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ГОРЮЧЕСТИ ДЕРЕВЯННОЙ КРЕПИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

**Беліков А. С.**, д-р техн. наук, професор,  
**Рабич О. В.**, канд. техн. наук, доцент,  
(ДВНЗ «ПДАБА»)

**Маладика Л. В.**, канд. пед. наук, доцент  
(Черкаський інститут пожежної безпеки  
імені Героїв Чорнобиля Національного  
університету цивільного захисту України)

**Кірнос К. А.**, канд. техн. наук, доцент,  
(Дніпровський державний  
аграрно-економічний університет)

### **ДО ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ГОРЮЧОСТІ ДЕРЕВИННОЇ КРЕПИ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

**Belikov A. S.**, D. Sc. (Tech.), Professor,  
**Rabich E. V.**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher  
(SHEI "PSACEA")

**Maladyka L. V.**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher  
(Cherkasy Institute of Fire Safety named after  
Heroes of Chernobyl of the  
National University of Civil Defense of Ukraine)

**Kirnos E. A.**, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher,  
(Dnieper State Agrarian and Economic University)

### **ON THE ISSUE OF DECLINING THE WOODEN SUPPORT COMBUSTIBILITY IN THE COAL MINES**

**Аннотация.** Стаття посвящена дослідженню впливу нових огнезащитних композицій при їх нанесенні на дерев'яну кріп'ю вугільних шахт. Основним об'єктом для розробки нових огнезащитних композицій повинні бути негорючі, недорогі, нетоксичні речовини та відходи виробництва.

На основе теоретических и экспериментальных исследований с использованием методов ДТА, рентгеноструктурного анализа и механизма образования огнезащитного покрытия полистирола для огнезащитных композиций из жидкого стекла был проведен выбор группы материалов, по указанным выше критериям могут быть использованы в качестве основных дисперсных наполнителей (при 20 и более%): зола унос, колошниковая пыль, горелая порода, шамотный песок, асбестоцементные отходы, магнезитовый концентрат, строительная известь и т.д. Однако, как показали исследования двухкомпонентные огнезащитные композиции даже с высокими огнезащитными свойствами обладают рядом недостатков (не технологические, быстрое слипание, окомкования и схватывания, стек с поверхности) и не находят практического применения. Введение в огнезащитную композицию различных добавок (max до 1÷2%) устраняет указанные недостатки, улучшает технологические свойства композиции, расширяет температурную область применения, влияет на формирование структуры огнезащитного покрытия при огневом воздействии.

**Ключевые слова:** горение, температура, тепловой поток, теплопроводность, химические превращения, древесина, пожар

**Постановка проблемы.** Пожары относятся к основным бедствиям человечества, наносят значительный материальный ущерб народному хозяйству [1]. Возникая чаще всего из-за неправильных действий человека, превращаются в непрерывный нерегулируемый стихийный процесс, причиняя кроме материального ущерба моральный и экологический, травмируя людей и вызывая их гибель. Ежегодный материальный ущерб от пожаров в развитых странах составляет два и более процента национального дохода. Особенно возрастает пожароопасность в связи с интенсификацией промышленного производства, возведением объектов повышенной этажности и повышенной взрывопожароопасности.

**Анализ последних исследований, выделение нерешенных ранее частей общей задачи.** Теоретические данные о пожарной опасности материалов и огнестойкости строительных конструкций из-за недостатка экспериментальных данных не позволяют до настоящего времени прогнозировать пожароопасность материалов и огнестойкость конструкций. Поэтому требуется дальнейшее накопление экспериментальных и аналитических исследований и совершенствования в области прогноза.

**Изложение основного материала исследований.** Экспериментальные исследования разработанных огнезащитных композиций показали, что они являются весьма перспективными для огнезащиты строительных конструкций. Для их изготовления в основном применяются не дорогие, доступные компоненты, значительная часть их является отходами производств промышленных регионов. При этом возникла необходимость проверки и изучения эффективности работы огнезащитных покрытий для защиты строительных конструкций в эксплуатационных условиях. Для отработки технологии приготовления и нанесения огнезащитных композиций был принят ряд важнейших объектов, в которых остро стоит вопрос снижения пожарной опасности.

Рост энерговооруженности, повышение механизации производственных процессов, увеличение протяженности подземных электросетей, увеличение

потребности в оснащении шахт горных выработок конвейерными транспортерами является причиной возрастания пожарной опасности на шахтах угольной промышленности. Кроме того, начиная с 80-х годов шахты постоянно испытывают необеспеченность в потребности железобетонной затяжки, что вынуждает руководство шахт идти на нарушение требований пожарной безопасности и крепление выработок главных направлений проводить горючими материалами, в частности – деревом [2-6]. В результате этого возросло число пожаров на шахтах ЗАО "Укрзападуголь", "Павлоградуголь", "Александріяуголь", ЗАО "Павлоградстрой".

Из-за отсутствия необходимого количества железобетонной крепи на шахтах "Укрзападуголь" более 17 тыс. п.м. горных выработок с ленточными конвейерами закреплены деревянной затяжкой, что не отвечает требованиям пожарной безопасности. Опыт показывает, что перекрепление этих выработок на огнестойкое крепление нецелесообразно ввиду устоявшегося горного давления и экономически не выгодно из-за больших трудовых и материальных затрат. Учитывая, что до настоящего времени не производится промышленная огнезащитная обработка шахтной древесины, а также отсутствуют надежные средства огнезащиты горючих материалов в шахтах, были проведены исследования по разработке огнезащитных вспучивающихся композиций для защиты деревянной крепи в Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры кафедрой БЖД.

Проведенные аналитические исследования показали, что огнезащитные свойства вспучивающегося покрытия зависят от величины вспучивания и изменения его теплофизических характеристик. В результате вспучивания покрытия происходит переход от начальной плотной структуры покрытия в пористую дисперсную комбинированную систему с резким изменением физических и теплофизических характеристик. Покрытие на основе жидкого стекла представляет собой как в начальной стадии, так и в конечной многокомпонентную трехфазную систему: твердое тело, жидкая и газообразная фазы. Однако по мере вспучивания их соотношение меняется в сторону увеличения газообразной фазы и снижения жидкой фазы. Это, несомненно, влечет за собой снижение плотности и увеличение пористости структуры. Поэтому представляет интерес при изучении огнезащитных покрытий динамика вспучивания покрытия и изменение плотности, пористости и коэффициента теплопроводности. Проведенные экспериментальные исследования показали, что при испытании покрытия по стандартной температурной кривой развития пожара механизм вспучивания покрытия проявляется при достижении температуры 100-125 °С (рис. 1). С увеличением температуры до 170-210 °С и переходом жидкого стекла в вязко-пиропластическое состояние интенсифицируется процесс вспучивания и продолжается до достижения температуры 540-550 °С.

Условно можно выделить следующие стадии вспучивания покрытия:  $t=110-127$  °С - начало вспучивания за счет парообразования свободной влаги;

$t=170-210^{\circ}\text{C}$  - размягчение жидкого стекла и переход в вязко-пиропластическое состояние, испарение свободной и частично кристаллизационной воды;

$$K_f = \frac{h}{h_0}$$

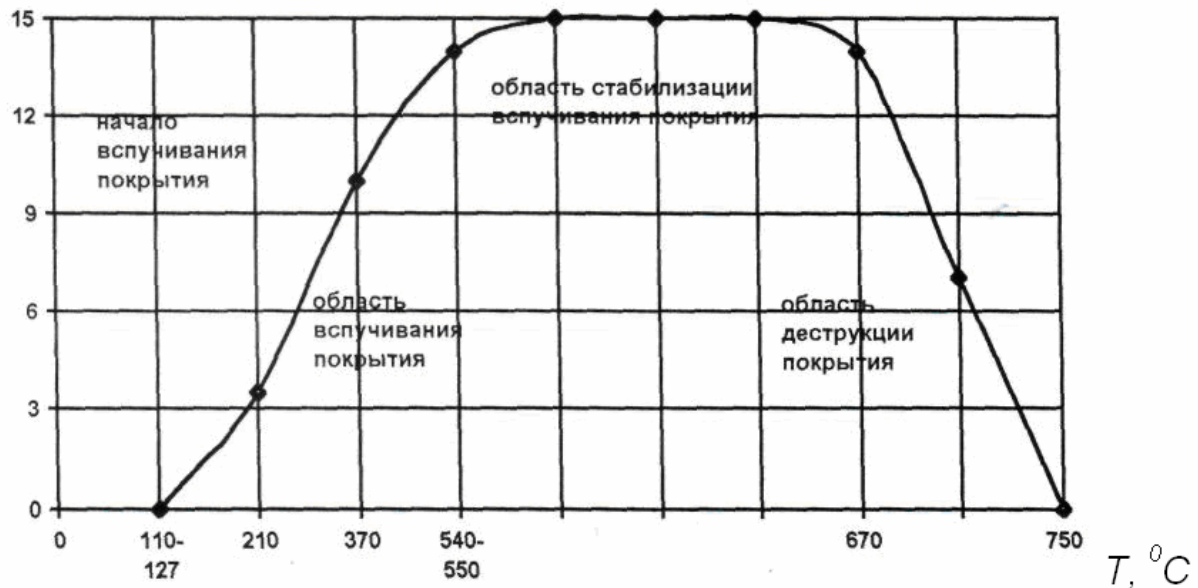


Рисунок 1 – Изменение величины вспучивания покрытия от температуры при стандартном развитии пожара

$t=210-370^{\circ}\text{C}$  - область интенсивного вспучивания за счет испарения кристаллизационной воды;

$t=540-670^{\circ}\text{C}$  - область стабилизации вспучивания покрытия, частичная деструкция покрытия;

$t=650-750^{\circ}\text{C}$  - область деструкции вспученного покрытия за счет постепенного стекания покрытия.

Описанные изменения в жидком стекле хорошо согласуются с рентгено-структурными и дифференциально-термическими исследованиями (рис. 2 и 3).

Так на дифрактограммах образцов жидкого стекла при температурах  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $350^{\circ}\text{C}$ ,  $700^{\circ}\text{C}$  хорошо просматривается полимикроструктуризация и аморфность структуры, причем степень аморфности (стеклообразования) увеличивается с повышением температуры. На дифрактограмме при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  наблюдается широкое аморфное гало ( $20-38^{\circ}$ ) на фоне которого просматриваются пики  $\text{Na}_2\text{SiO}_2 \cdot m \cdot \text{H}_2\text{O}$  с возможным переходом в  $\text{NaOH} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Гидросиликаты кремниевой кислоты под действием углекислоты карбонизируются с образованием  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  с межплоскостными расстояниями  $d=5.27, 4.59, 3.95, 3.53, 3.13, 3.04, 2.94, 2.202, 1.96$  А. Наблюдаются и линии  $\text{SiO}_2$  (а-кварц),  $d=3.38, 2.202, 1.96$  А. Наличие в соединениях значительного количества воды способствует появлению аморфного гало.

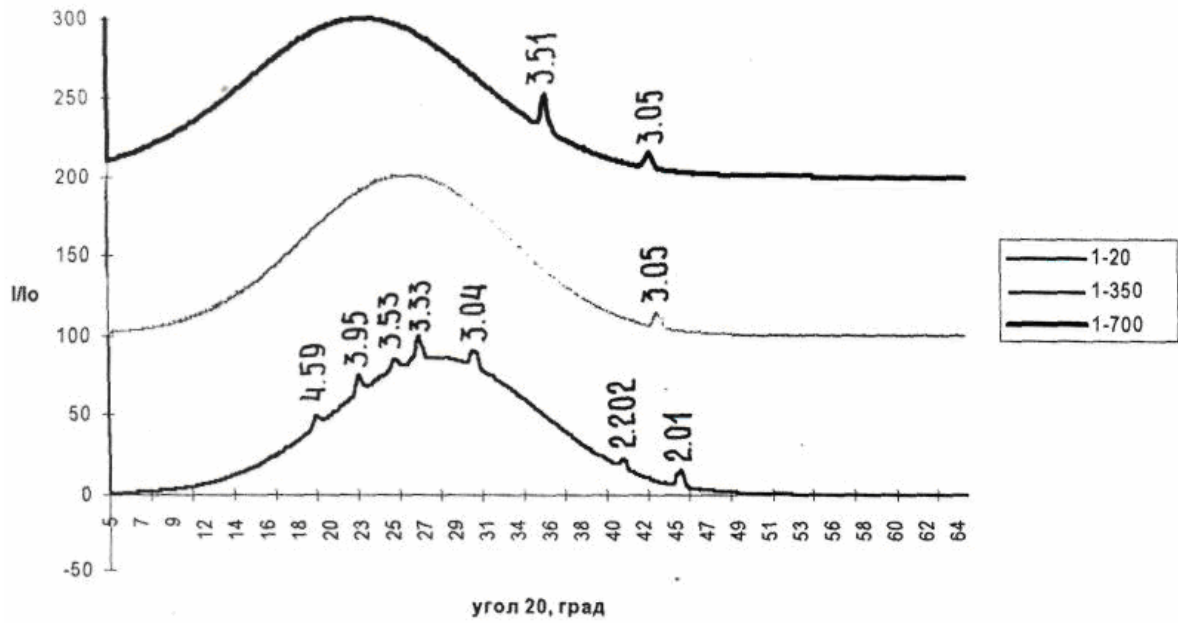


Рисунок 2 – Дифрактограмма образца 1 при 20, 350, 700 °С

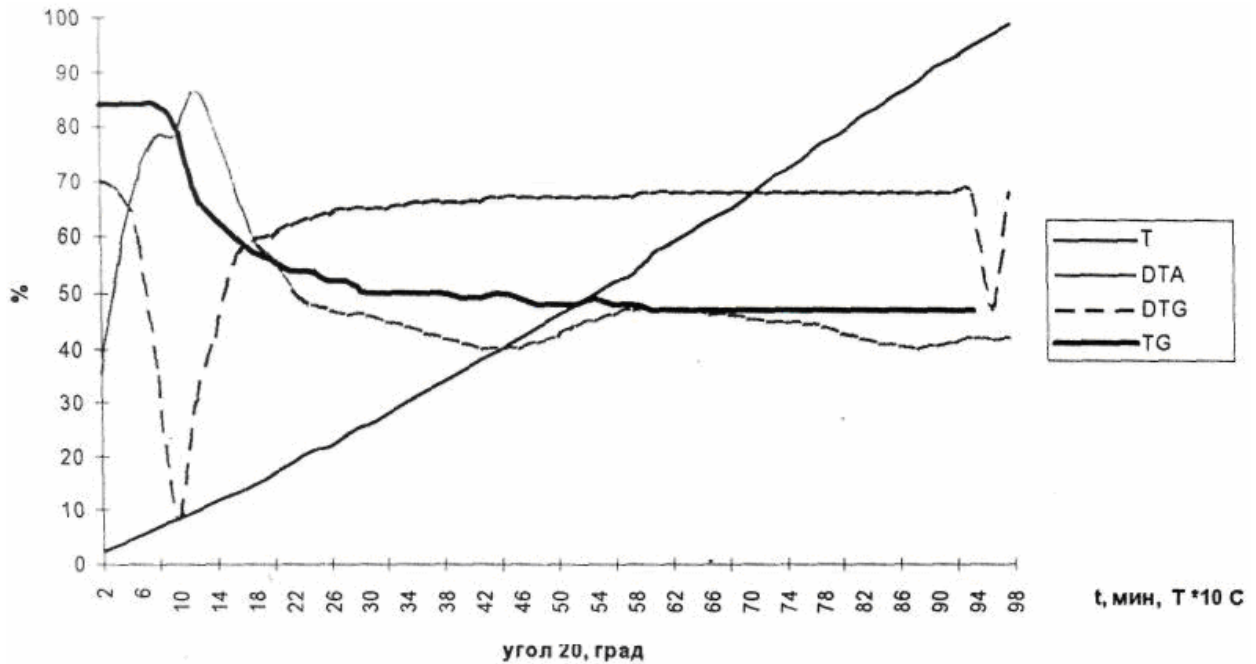


Рисунок 3 – Дериватограмма образца 1 в интервале температур 20-1000 °С

При нагревании до 140 °С происходит потеря адсорбционной воды (дериватограмма-ДТА). При температурах от 210 °С до 370 °С происходит потеря кристаллизационной воды. На дифрактограмме при 350 °С наблюдается увеличение аморфного гало и происходит реакция:  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot m \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Скорость потери массы в интервале температур 40-140 °С аппроксимируется по закону:

$$\frac{dm}{dt} = a + \frac{b}{T},$$

где  $a=51.7153$ ,  $b=6331$ , а коэффициент корреляции  $R=0.984$ ,  
а от  $140^{\circ}\text{C}$  до  $200^{\circ}\text{C}$ :

$$\frac{dm}{dt} = a + \frac{b}{T},$$

где  $a=158.406$ ,  $b= - 4118.851$ , а коэффициент корреляции  $R=0.991$ .  
Скорость нагрева от  $140$  до  $350^{\circ}\text{C}$  описывается формулой:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{a + bT},$$

где  $a= - 0.3308$ ,  $b=0.001084$ , а коэффициент корреляции  $R=0.997$ .  
Скорость нагрева на участке  $360-490^{\circ}\text{C}$ :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{a + bT},$$

где  $a= - 0.3448$ ,  $b=0.01115$ , а коэффициент корреляции  $R=0.994$ ,  
а от  $500$  до  $560^{\circ}\text{C}$ :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{a + be^T},$$

где  $a= - 0.001838$ ,  $b=138575576494008$ , а коэффициент корреляции  $R=0.7895$ .

В структуре происходит перекристаллизация и аморфное гало уширяется, это говорит о том, что наблюдается образование кластеров частиц (очень мелких объединений) разных по величине и структуре. Наблюдается и три небольших пика  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $d=2.51, 2.39, 2.103$ ). Это видно на дифрактограмме при  $700^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $650-780^{\circ}\text{C}$  начинается процесс деструкции жидкого стекла, частичное оплавление с преобладанием аморфного тела.

При  $940^{\circ}\text{C}$  наблюдается явное оплавление образца, на ДТА виден небольшой эндотермический пик.

**Выводы.** В результате проведенных опытно-промышленных испытаний огнезащитных композиций ВЗП-А, ВЗП-9, ВЗП-3, ВЗП-Д, они были приняты в качестве огнезащиты деревянной крепи на угольных шахтах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Охрана труда в строительстве : учебник / Беликов А. С., Сафонов В. В., Нажа П. Н. [и др.] ; под общ. ред. А. С. Беликова. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
2. Корольченко, А. Я. Средства огнезащиты: справочник / А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко. — Москва: Пожнаука, 2006. — 258 с.
3. Повышение огнестойкости деревянных строительных конструкций за счет снижения горючести древесины / А. С. Беликов, В. А. Шаломов, Е. Н. Корж, С. Ю. Рагимов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. –

Днепр, 2017. – Вып. 98 : Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. – С. 38-45.

4. Cadorin J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. - University of Ulster, 2011. - P. 547–557.

5. Dou H. S., Tsai H. U., Khoo B. Ch. Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme // Comb. Flame. - 2012. - Vol. 154. - P. 644-647.

6. Roitman, V. M. Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor.— First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts).— Zurich: ETH, 2005. —P. 135-136.

#### REFERENCES

1. Belikov A. S., Safonov V. V., Nazha P. N., Chalyiy V. G., Shlyikov N. Yu., Shalomov V. A. and Ragimov S. Yu. (2014), *Ohrana truda v stroitelstve* [A labour protection is in building], Osnova, Kiev. UA.

2. Korolchenko A. Ya. and Korolchenko O. N. (2006), *Sredstva ognegaschity* [Means of fire protection], Pozhnauka, Moscow, RU.

3. Belikov A. S., Shalomov V. A., Korzh E. M. and Ragimov S. Yu. (2017), «Increase of fire resistance of wooden building structures due to reduction of flammability of wood», *Construction, materials science, mechanical engineering*, PDABA. Dnepr, no. 98, pp. 38-45.

4. Cadorin J. F., Perez Jimenez C. and Franssen J. M. (2011), «Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time», *Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. University of Ulster, UK, pp. 547–557.

5. Dou H. S., Tsai H. U. and Khoo B. Ch. (2012), «Simulation of detonation wave propagation in rectangular duct using three dimensional WENO scheme», *Comb. Flame*, Vol. 154, pp. 644-647.

6. Roitman V. M. (2005), «Fire testing of Building Materials in View of the Moisture Factor», *First European Symposium of Fire Safety Science (Abstracts)*, ETH, Zurich, pp. 135-136.

#### Об авторах

**Беликов Анатолий Серафимович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Рабич Елена Викторовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» (ГВУЗ «ПГАСА»), Днепр, Украина, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Маладыка Лариса Владимировна**, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры пожарно-профилактической работы, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, Черкассы, Украина, [l.maladyka@gmail.com](mailto:l.maladyka@gmail.com)

**Кирнос Екатерина Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

#### About the authors

**Belikov Anatoliy Serafimovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department Safety of Vital Activity in the State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (SHEI «PSACEA»), Dnepr, Ukraine, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Rabich Elena Viktorovna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the Department Safety of Vital Activity in the State Higher Education Institution «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» (PSACEA), Dnepr, Ukraine, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Maladyika Larisa Vladimirovna**, Candidate of Pedagogical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fire Prevention Work in Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkassy, Ukraine, [l.maladyka@gmail.com](mailto:l.maladyka@gmail.com)

**Kirnos Ekaterina Anatolevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of the Department Safety of Vital Activity in Dnieper State Agrarian and Economic University, , Dnepr, Ukraine, [bgd@mail.pgasa.dp.ua](mailto:bgd@mail.pgasa.dp.ua).

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню впливу нових вогнезахисних композицій при їх нанесенні на дерев'яне кріплення вугільних шахт. Основним об'єктом для розробки нових вогнезахисних композицій мають бути негорючі, недорогі, нетоксичні речовини й відходи виробництва. На основі теоретичних і експериментальних досліджень із використанням методів ДТА, рентгеноструктурного аналізу і механізму утворення вогнезахисного покриття, що спінюється, для вогнезахисних композицій з рідкого скла був проведений вибір групи матеріалів, що по зазначених вище критеріях можуть бути використані в якості основних дисперсних наповнювачів (при 20 і більш %): зола унос, колошниковий пил, горіла порода, шамотний пісок, азбестоцементні відходи, магнезитовий концентрат, будівельне вапно і т.д. Проте, як показали дослідження двохкомпонентні вогнезахисні композиції навіть із високими вогнезахисними властивостями мають низку вад (не технологічні, швидке злипання, грудкування і тужавлення, зтік з поверхні) і не знаходять практичного застосування. Введення в вогнезахисну композицію різноманітних добавок (max до 1÷2%) усуває зазначені хиби, покращує технологічні властивості композиції, розширює температурну область застосування, впливає на формування структури вогнезахисного покриття при вогневому впливі.

**Ключові слова:** горіння, температура, тепловий потік, теплопровідність, хімічні перетворення, деревина, пожежа

**Annotation.** The article is devoted to the investigation of the effect of new flame retardant compositions when applied to the wooden support of coal mines. Main object for developing new flame retardant compositions should be non-flammable, inexpensive, non-toxic substances and production wastes.

Basing on theoretical and experimental studies with using DTA methods, X-ray diffraction analysis, and mechanism for formation of flame retardant coating of polystyrene for flame retardant compositions from liquid glass, a group of materials was selected, which, according to the above criteria, can be used as the main disperse fillers (at 20% and more): fly ash, blast furnace dust, burnt rock, chamotte sand, asbestos cement waste, magnesite concentrate, building lime, etc. However, studies have shown that two-component flame retardant compositions, even with high fire-retardant properties, have a number of drawbacks (they are non-technological; fast sticking, pelletizing and setting, stacking from the surface), and they do not find practical application. Introduction of various additives (up to 1÷2% max) eliminates these drawbacks, improves technological properties of the composition, expands temperature range of application, effects formation of the fireproof-coating structure at the fire action.

**Keywords.** burning, temperature, thermal stream, heat conductivity, chemical transformations, wood, fire

*Стаття постуила в редакцію 2.09.2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько*