

**МИНИСТЕРСТВО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ УКРАИНЫ**

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 31

Свидетельство о государственной регистрации
печатного средства массовой информации
серия КВ № 16673-5245 ПР, выдано
Министерством юстиции Украины 28.05.2010 года

Утверждено к печати ученым советом
НУГЗ Украины
(протокол № 10 от 24.05.2012 г.)

Харьков
НУГЗУ - 2012

УДК 614.8 + 614.84 + 621.3 + 614.841 + 614.842 + 541.678.686.01 +
331.436 + 624.012 + 614.842.6 + 614.841.332 + 521.633 + 662.613.12 +
669.046.44 + 519.85

Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. –
Вып. 31. – 242 с.

Издание основано в 1997 году. Включено в перечень изданий
ВАК Украины (приказ № 1-03/8 от 11.10.2000 г.).

Представлены результаты научных исследований в области по-
жарной безопасности. Рассматриваются организационно-технические
аспекты совершенствования пожарной безопасности, отражающие со-
временные методы повышения эффективности противопожарной защи-
ты и тенденции развития научных исследований в данной области.

Материалы предназначены для инженерно-технических работ-
ников пожарной охраны, научно-педагогического персонала, адъюнк-
тов, слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведе-
ний.

Ил. – 70, табл. – 28.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: д-р техн. наук, проф. *Ю.А. Абрамов*
(отв. ред.), д-р техн. наук, проф. *О.П. Алексеев*, д-р техн. наук, проф.
В.А. Андронов, д-р техн. наук, проф. *О.Е. Басманов*, д-р техн. наук, проф.
В.М. Комяк, д-р техн. наук, проф. *В.И. Кривцова*, д-р техн. наук, проф.
Л.Н. Куценко, д-р техн. наук, проф. *А.Н. Ларин*, д-р техн. наук, проф.
Э.Е. Прохач, д-р хим. наук, проф. *В.Д. Калугин*, д-р техн. наук,
А.Н. Соболев.

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко,
д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко.

Видання засноване у 1997 році. Включене до переліку видань
ВАК України (наказ № 1-03/8 від 11.10.2000 р.).

Наведені результати наукових досліджень у галузі пожежної
безпеки. Розглядаються організаційно-технічні аспекти вдосконалення
пожежної безпеки, що відображають сучасні методи підвищення ефе-
ктивності протипожежного захисту та тенденції розвитку наукових
досліджень в даній галузі.

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників по-
жежної охорони, науково-педагогічного персоналу, ад'юнктів, слуха-
чів та курсантів пожежно-технічних навчальних закладів.

*Ю.А. Абрамов, д.т.н., гл. научн. сотр., НУГЗУ,
С.Н. Бесараб, преподаватель, ЧАПБ им. Героев Чернобыля,
А.М. Тищенко, к.т.н., нач. кафедры, ЧАПБ им. Героев Чернобыля*

МОДЕЛИ НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ

Проведен анализ математического описания начальной стадии пожара в помещении применительно к решению задачи синтеза систем автоматического пожаротушения.

Ключевые слова: пожар в помещении, математическая модель, интегральная модель.

Постановка проблемы. Обеспечение безопасной эвакуации людей в случае возникновения пожара, снижение ущерба от пожара и др. – все это обуславливает необходимость в разрешении проблемы раннего обнаружения опасных факторов пожара. Эта проблема неразрывно связана с созданием комплекса математических моделей, описывающих процессы, имеющие место в начальной стадии пожара.

Анализ последних исследований и публикаций. Все математические модели применительно к описанию пожаров в помещениях можно разделить на интегральные, зонные и дифференциальные (полевые) [1]. Наиболее полное описание состояния вопроса о математических моделях, описывающих процессы, имеющие место во время пожара в помещениях, в том числе и на его начальной стадии, приведено в монографии [2]. Однако в этой работе акцент делается на численные методы моделирования. Совершенствование систем пожарной автоматики обуславливает необходимость в создании математических моделей пожара в терминах теории динамических систем [3]. В [4, 5] с использованием процедуры линеаризации получены математические модели, принадлежащие к классу интегральных, которые описывают изменение усредненной по объему помещения температуры в начальной стадии пожара. Однако в этих работах отсутствуют рекомендации по использованию той или иной модели.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является выбор математических моделей, описывающих процесс пожара в помещении на его начальной стадии, которые адаптированы для решения задачи синтеза систем пожарной автоматики с использованием классических методов теории автоматического управления.

Локальная система уравнений, описывающих температурный режим развития пожара в помещении в его начальной стадии имеет вид [4, 5]

$$\eta\psi FQ_1 - cGT - Q_2 = 0; \quad (1)$$

$$V \frac{d\rho}{dt} = \psi F - G; \quad (2)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{\rho_0 T_0}{T^2} \frac{dT}{dt}, \quad (3)$$

где η – коэффициент полноты горения; F – площадь горения; Q_1 – теплота сгорания; G – расход газов, покидающих помещение через проемы; c – теплоемкость газов; Q_2 – общий тепловой поток, который поглощается ограждающими конструкциями; V – объем помещения; ρ_0 , T_0 – плотность и температура среды перед началом пожара соответственно; ρ , T – плотность и температура среды в рассматриваемый момент времени соответственно; ψ – удельная массовая скорость выгорания.

Тепловой поток Q_2 включает две аддитивные составляющие – Q_{21} , обусловленную процессом лучистого теплообмена между факелом пламени и ограждающими конструкциями, и Q_{22} , обусловленную процессами конвективного теплообмена газовой среды с ограждающими конструкциями. Эти составляющие описываются выражениями [5, 6]

$$Q_{21} = 3,2 \cdot 10^{-9,2} \varepsilon_0 T_\phi^4 F [\eta\psi Q_1^{0,4} F^{-0,1} - 3,6 \cdot 10^{1,2}]; \quad (4)$$

$$Q_{22} = \alpha_{00} F_1 (T_{cp} - T_0)^{1/3} (T - T_0), \quad (5)$$

где ε_0 – приведенная степень черноты; T_ϕ – температура факела пламени; F_1 – площадь поверхности ограждающих конструкций; T_{cp} – температура срабатывания теплового пожарного извещателя; $\alpha_{00} = 1,72(1 - 0,9Z)^{4/3}$; $Z = Bi \cdot Fo^{0,5}$; Bi , Fo – числа Био и Фурье соответственно.

Если учесть, что $Q_{21} = \gamma Q$, где $Q = \eta\psi GQ_1$, то из (1)÷(5) следует, что температура в помещении в начальной стадии пожара описывается дифференциальным уравнением Бернулли

$$\frac{dT}{dt} = AT - BT^2, \quad (6)$$

где

$$A = \frac{\eta\psi FQ_1(1 - \gamma) + \alpha_{00} F_1 (T_{cp} - T_0)^{1/3}}{c\rho_0 T_0 V}; \quad (7)$$

$$B = \frac{\alpha_{00} F_1 (T_{cp} - T_0)^{1/3} + c\psi F}{c\rho_0 T_0 V}. \quad (8)$$

Решение уравнения (6), например, в среде Maple, имеет вид

$$T(t) = T_0 \left[\left(1 - \frac{B}{A} T_0 \right) \exp(-At) + \frac{B}{A} T_0 \right]^{-1}. \quad (9)$$

Если в качестве пожарной нагрузки используется горючая жидкость, то [1, 7]

$$\psi \leq 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}; Q \sim 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1},$$

а также имеет место

$$\begin{aligned} T_{cp} &= 327 \text{ К (для извещателя класса A1);} \\ T_0 &= 293 \text{ К; } c \sim 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}; FF_1^{-1} < 1; \\ \alpha_{00} &\leq 1,82; \eta < 1; \gamma \leq (0,3 \div 0,4), \end{aligned}$$

вследствие чего

$$BA^{-1} \ll 1. \quad (10)$$

С учетом (10) выражение (9) можно упростить и оно примет вид

$$T(t) \cong T_0 \exp(At). \quad (11)$$

В [4] с учетом того, что

$$T(t) = T_c + \Delta T(t); \psi(t) = \psi_c + \Delta\psi(t), \quad (12)$$

где T_c, ψ_c – средние значения температуры и удельной скорости выгорания жидкости соответственно; $\Delta T(t), \Delta\psi(t)$ – приращение температуры и удельной скорости выгорания жидкости соответственно, причем

$$\Delta T(t) \ll T_c; \Delta\psi(t) \ll \psi_c, \quad (13)$$

к уравнению (6) применена процедура линеаризации с использованием разложения в ряд Тейлора и получено дифференциальное уравнение

$$\tau_1 \frac{d(\Delta T)}{dt} + \Delta T = K_1 \Delta\psi_1, \quad (14)$$

где

$$\tau_1 = c\rho_0 V \frac{T_0}{T_c} \left[F_1 \left[c\psi_c \frac{F}{F_1} + \frac{4}{3} \alpha_{00} T_c^{1/3} \left(1 - \frac{T_0}{T_c} \right)^{1/3} \right] \right]^{-1}; \quad (15)$$

$$K_1 = \eta Q_1 F (1 - \gamma) \left[F_1 \left[c\psi_c \frac{F}{F_1} + \frac{4}{3} \alpha_{00} T_c^{1/3} \left(1 - \frac{T_0}{T_c} \right)^{1/3} \right] \right]^{-1}. \quad (16)$$

Если $\Delta\psi = M = \text{const}$, то из (14) следует, что

$$\Delta T(t) = K_1 M \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{t_1}\right) \right]. \quad (17)$$

В [5] с использованием коэффициента теплопотерь φ , выражение для которого имеет вид

$$\varphi = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \frac{Q_2}{\eta\psi F Q_1} d\tau = \text{const}, \quad (18)$$

где t_0 – продолжительность начальной стадии пожара в помещении, температура в помещении описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} + \frac{\psi F}{\rho_0 T_0 V} T = \frac{\eta F Q_1 (1 - \varphi)}{c\rho_0 T_0 V} \psi. \quad (19)$$

использование процедуры линеаризации путем разложения в ряд Тейлора в предположении, что

$$\Delta T(t) \ll T_0; \Delta\psi(t) \ll \psi_0, \quad (20)$$

трансформирует (19) к виду

$$\tau_2 \frac{d(\Delta T)}{dt} + \Delta T = K_2 \Delta\psi, \quad (21)$$

где

$$\tau_2 = \frac{\rho_0 V}{\psi_0 F}; K_2 = \frac{\eta Q_1 (1 - \varphi)}{c\psi_0}. \quad (22)$$

При $\Delta\psi = M = \text{const}$ решение (21) имеет вид

$$\Delta T(t) = K_2 M \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \right]. \quad (23)$$

На рис. 1 приведены графики зависимостей (9), (17), (23), из анализа которых следует, что модель (23) дает завышенную оценку по температуре в помещении.

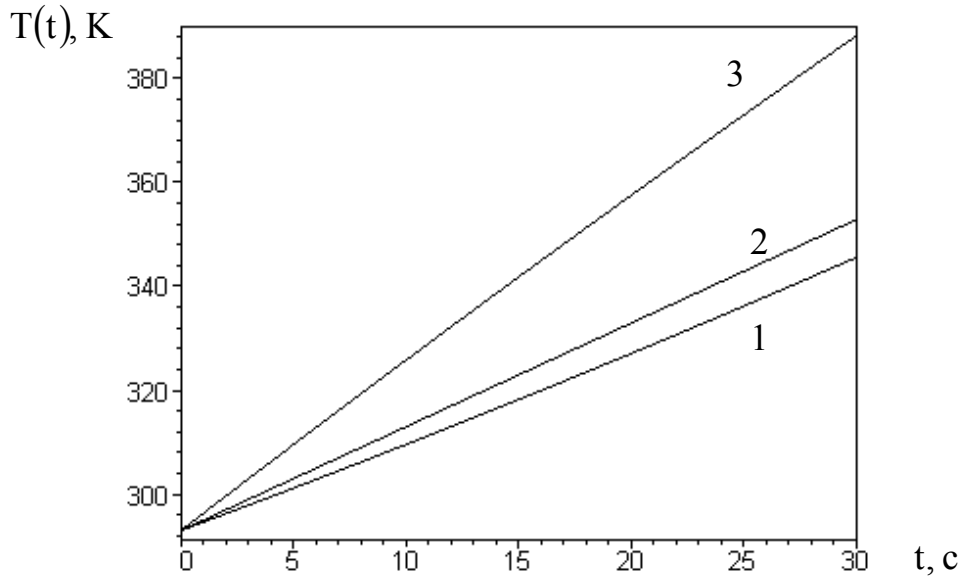


Рис. 1 – Зависимость $T(t)$ в помещении от времени на начальной стадии пожара: 1 – модель (9); 2 – модель (17); 3 – модель (23)

Погрешность рассогласования между моделями (9) и (23) на интервале $t=30$ с составляет около 15%, в то время как погрешность рассогласования между моделями (9) и (17) почти в шесть раз меньше.

На рис. 2 приведены результаты сравнения оценок, полученных с помощью модели (17), с экспериментальными данными, приведенными в [8].

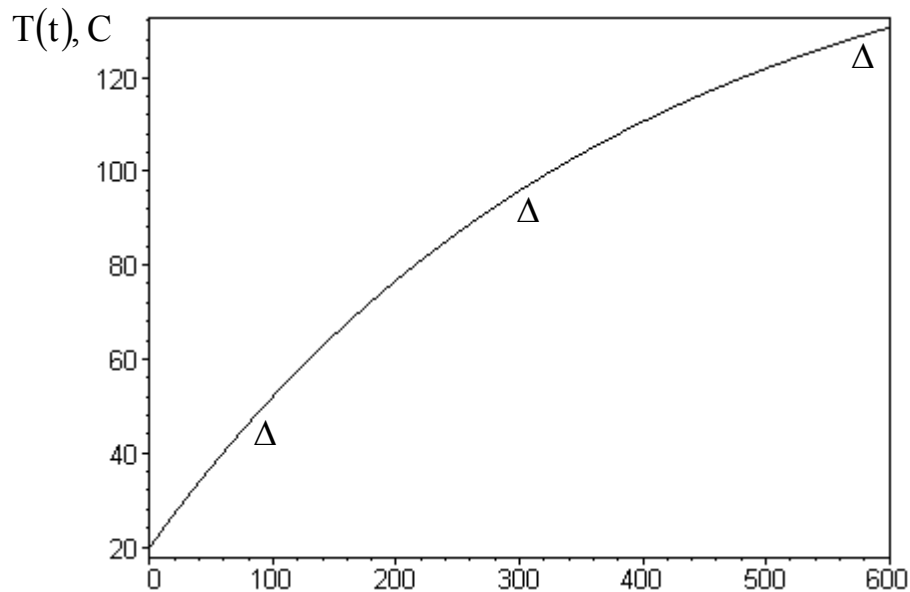


Рис. 2 – Зависимость температуры в помещении от времени на начальной стадии пожара: — модель (17); Δ – эксперимент [8]

Результаты, приведенные на рис. 2, получены при следующих значениях параметров:

$$V = 6,2 \cdot 10^3 \text{ м}^3; F_1 = 3,2 \cdot 10^2 \text{ м}^2; F = 9,0 \text{ м}^2;$$

$$Q_1 = 2,75 \cdot 10^7 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}; \psi = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}; T_c = 237 \text{ К}.$$

Анализ этих зависимостей свидетельствует о том, что при использовании тепловых пожарных извещателей для обнаружения пожара, оценки, полученные с помощью модели (17), обладают погрешностью по сравнению с экспериментальными данными, величина которой не превышает 10%.

Следует отметить, что по своему смыслу модель (17) представляет собой переходную функцию такого динамического объекта как пожар в помещении. Тогда для такого динамического объекта можно записать выражение для передаточной функции, которое будет иметь вид

$$W(p) = pM^{-1}L[\Delta T(t)] = K_1(\tau_1 p + 1)^{-1}, \quad (24)$$

где L – оператор интегрального преобразования Лапласа.

Выводы. Показано, что при выборе математической модели, описывающей пожар в помещении на его начальной стадии, предпочтение следует отдать модели (17). Это обусловлено тем, что:

- по своей структуре эта модель является более простой по сравнению с эталонной, которая получена путем решения дифференциального уравнения Бернулли;
- погрешность рассогласования с моделью, которая выбрана в качестве эталонной, не превышает нескольких процентов (применительно к обнаружению пожаров тепловыми пожарными извещателями класса А1);
- модель такого вида открывает возможности для использования классических методов теории автоматического управления при решении задач синтеза систем автоматического пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: АГПС МВД России, 2000. – 118 с.
2. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач. – М.: АГПС МЧС РФ, 2005. – 336 с.

3. Абрамов Ю.А. Алгоритм синтеза системы автоматического пожаротушения / Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2006. – Вип. 36. – С. 199-202.

4. Абрамов Ю.А. Модели начальной стадии пожара как динамического объекта // Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 76. – С. 399-402.

5. Садковой В.П. Температура в помещении для начальной стадии пожара при воспламенении горючей жидкости / В.П. Садковой // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2007. – Вип. 41. – С. 294-299.

6. Тищенко Е.А. Оценка радиационной составляющей в тепловом потоке при пожаре в помещении / Е.А. Тищенко, В.П. Садковой, Ю.А. Абрамов // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 79. – С. 383-386.

7. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.

8. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при горении жидкостей в помещении: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Башкирцев М.П. – М., 1967. – 226 с.

Ю.О. Абрамов, С.Н. Бесараб, О.М. Тищенко

Моделі початкової стадії пожежі в приміщенні

Проведено аналіз математичного опису початкової стадії пожежі в приміщенні стосовно до розв'язання задачі синтезу систем автоматичного пожежогашіння.

Ключові слова: пожежа в приміщенні, математична модель, інтегральна модель.

Y.A. Abramov, S.N. Besarab, A.M. Tischenko

Models of the fire initial stage in the premises

The analysis of the mathematical description of the initial stage of a fire in the premises in relation to the problem of synthesis of automatic fire extinguishing systems is present.

Keywords: fire in premises, mathematical model, integral model.

*В.А. Андронов, д.т.н., профессор, проректор, НУГЗУ,
Ю.М. Данченко, к.т.н., доцент, зав. кафедрой, ХНУСА,
О.М. Бухман, преподаватель, НУГЗУ*

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРОКОВ СЛУЖБЫ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Предложены обобщающие подходы для определения сроков службы и долговечности огнезащитных полимерных покрытий, которые могут быть основой для разработки единой оценки продолжительности сохранения полимерным покрытием огнезащитной эффективности.

Ключевые слова: огнезащитное полимерное покрытие, чрезвычайная ситуация, долговечность.

Постановка проблемы. Одной из составных частей общей системы мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций техногенного характера в технологических процессах, зданиях и сооружениях различного назначения, является огнезащита строительных конструкций. Огнезащитной обработке подвергаются все виды конструкций независимо от материала, из которого они изготовлены, (стальные, железобетонные, пластиковые, деревянные и др.), формы, условий и сроков эксплуатации. С целью предотвращения преждевременного обрушения или утраты несущей способности во время пожара (несущие железобетонные металлические и деревянные конструкции), возгорания или горения (деревянные материалы и горючие пластики) строительные конструкции обрабатываются различными огнезащитными покрытиями.

Как показала практика масштабного использования огнезащитных покрытий в Украине на протяжении последних 10 – 15 лет, покрытия на основе органических полимеров и плёнкообразователей – это, на сегодняшний день, одно из эффективных средств защиты строительных конструкций от пожаров и связанных с ними чрезвычайных ситуаций [1, 2].

Гарантийный срок службы огнезащитного покрытия в условиях эксплуатации напрямую связан со сроком эксплуатации самих зданий и сооружений. В связи с тем, что сроки эксплуатации строительных конструкций исчисляются десятками лет, возникает вопрос сохранения эффекта огнезащиты покрытий в процессе длительной эксплуатации. Важность и необходимость решения этого вопроса становится очевидной, если учесть, что эффект огнезащиты покрытия может быть утрачен со временем частично или полностью. В научной литературе нет подтверждений большинства указываемых в рекламных материалах

часто «завышенных» сроков службы огнезащитных покрытий [3-5].

Анализ последних исследований и публикаций. На сегодняшний день в Украине отсутствует нормативный документ по определению сроков службы огнезащитных покрытий для строительных конструкций. В 2008 году в рамках совещания представителей департамента пожарной безопасности МЧС Украины УкрНИИПБ и Государственного центра сертификации было решено адаптировать нормативные европейские документы по вопросу определения срока службы огнезащитных покрытий [2].

В Украине нашёл применение ГОСТ [6], в соответствии с которым гарантийный срок службы огнезащитного покрытия, нанесенного на конструкцию должен быть равен расчётному сроку эксплуатации оборудования (до капитального ремонта), но не менее 10 лет и должен подтверждаться методом ускоренных климатических испытаний по [7]. Однако, в редакции [6] речь идет об огнезащитных покрытиях интумисцентного типа, а [7] имеет отношение только к лакокрасочным системам. Этими стандартами не учитывается механизм огнезащитного действия и природа подложки, не говоря уже об учете всего спектра разнообразных условий эксплуатации огнезащитных покрытий.

Постановка задачи и ее решение. Несмотря на актуальность проблемы определения сроков службы или долговечности огнезащитных полимерных покрытий, исследований в данной области явно недостаточно. Представленные в литературе исследования часто не согласуются, направлены на изучение сроков службы конкретного материала в определенных условиях эксплуатации и не имеют общих подходов. Поэтому актуальной является задача создания обобщенного подхода для определения сроков службы полимерных огнезащитных покрытий. Для ее решения необходимо рассмотреть основные закономерности и процессы, протекающие в огнезащитном полимерном покрытии от момента его создания до момента утраты им основных эксплуатационных характеристик.

Механизм огнезащитного действия полимерного покрытия зависит, прежде всего, от компонентного состава и физико-химического взаимодействия между компонентами до и после воздействия высоких температур и пламени. Физико-химическими методами снижения горючести полимерных материалов при введении различных химических соединений (замедлителей горения или антипиренов) достигается целенаправленное изменение структуры полимерной матрицы, состава и соотношения компонентов, что приводит к изменению кинетики и механизма химических реакций термического разложения покрытий, воспламенения и горения горючих продуктов, к ингибированию этих реакций. Вследствие этого получают покрытия с различными механизмами огнезащитного действия

(трудногорючие, трудновоспламеняемые, самозатухающие, теплостойкие, интумисцентные или вспучивающиеся и др.).

Классификация физико-химических методов, представленных в литературе [8, 9], основана на механизме огнезащитной эффективности антипиренов в полимерном покрытии. Если за основу для классификации методов снижения горючести взять химическую природу антипиренов, то их можно разделить на 4 группы:

1. Галоген (хлор-, бром-) содержащие органические и неорганические соединения. Эффективны как ингибиторы горения в поверхностной и предпламенной зонах, кроме того, они выделяют негорючие продукты горения. Обычно разлагаются при сравнительно низких температурах с образованием галогенводородов (HCl, HBr) и/или галогенов (Cl₂, Br₂).

Органические соединения, содержащие хлор, широко применяются в качестве антипиренов в сочетании с соединениями переходных металлов, в первую очередь с оксидом сурьмы Sb₂O₃. Хлорсодержащие антипирены можно условно разделить на несколько групп:

- хлорированные линейные углеводороды – хлорпарафины;
- хлорированные циклоалифатические соединения, в первую очередь
 - производные гексахлорпентациклодиена;
 - хлорированные ароматические соединения;
 - хлорированные полимеры, представляющие собой трудногорючие и негорючие соединения и применяемые в качестве антипиренов-добавок для других полимеров.

Бромсодержащие антипирены представляют собой бромированные ароматические соединения и их производные, бромированные алкены и циклоалифатические соединения. Наиболее известными и широко применяемыми являются гексабромбензол и декабромдифенилоксид.

2. Фосфорсодержащие органические и неорганические соединения облегчают пиролитические реакции элиминирования водорода, воды, галогенводородов, являясь катализаторами этих реакций, а также процессов циклизации, что способствует образованию углеродного каркаса. В большинстве случаев применяется фосфорная кислота, её эфиры и соли, меламинофосфат, полифосфат аммония и др. Фосфорсодержащие добавки при термическом воздействии превращаются в фосфорную кислоту, образующую сплошную стеклообразную плёнку полифосфорной кислоты на поверхности горящего полимера, которая действует как барьер, препятствующий передаче теплоты и кислорода.

Соединения этой группы, кроме фосфора часто содержат (в разных сочетаниях) галогены, азот, металлы, что иногда приводит к синергическому эффекту. В частности, интумисцентные свойства системы за-

висят от соотношения количества атомов углерода, азота и фосфора [10].

3. Азотсодержащие органические и неорганические соединения действуют по принципу поглощения тепла и образования негорючих газов в зоне огня. В качестве таких добавок используются органические и неорганические соли аммония, амиды, выделяющие в условиях высоких температур негорючие газы (CO_2 , N_2 , NH_3 и др.). Меламин, меламинцианурат, гуанидин, глицин, мочевины используют в качестве пенообразователей во вспучивающихся покрытиях [11, 12].

4. Металлсодержащие неорганические наполнители – оксиды, гидроксиды, карбонаты алюминия, цинка, сурьмы, кальция, магния, а также дисперсные минеральные наполнители – цеолит, каолин, пемза, гипс, перлит и др. При их введении снижается доля органической горючей части в покрытии, а при температурах 400 – 500 °С они разлагаются с выделением углекислого газа и паров воды, которые снижают температуру в зоне горения. Во вспучивающихся покрытиях применяют нейтрализованный термически вспучиваемый графит, карбонаты металлов и гидратированные неорганические соли металлов.

В большинстве случаев в огнезащитных полимерных покрытиях вышеуказанные соединения находятся в определённых соотношениях. Синергизм их совместного действия обеспечивает огнезащитную эффективность покрытия при повышенных температурах во время пожара или чрезвычайной ситуации. Однако, до возникновения вышеуказанных условий покрытие долгое время может контактировать с атмосферным воздухом или воздухом рабочей зоны помещений, влагой, солнечным излучением, подвергаться неустойчивому температурному воздействию, а также воздействию различных жидких и газообразных веществ, подвергаясь газовой, химической, электрохимической, биологической и биохимической коррозии. Под действием этих факторов может существенно измениться как качественный, так и количественный состав композиции и полностью утрачивается огнезащитное действие покрытия.

Поэтому одной из важнейших эксплуатационных характеристик, проверяемых особенно тщательно, и от которой, в случае пожара и связанной с ним чрезвычайной ситуации, будет зависеть жизнь людей - является срок службы покрытия в условиях эксплуатации.

Согласно [2] для установления срока службы огнезащитных полимерных покрытий на практике используются два независимых подхода: ускоренные климатические испытания по [7] и в условиях эксплуатации (натурные испытания), которые проводятся обычно в условиях, определённых самим производителем. В связи с трудоёмкостью и большими временными затратами проведения натурных испытаний, на практике чаще используются ускоренные испытания в климатических камерах, моделирующих температурно-влажностные условия, прибли-

женные к реальным условиям эксплуатации. На основе полученных экспериментальных данных определяют скорость уменьшения огнезащитных характеристик и прогнозируется время, по истечении которого покрытие считается недееспособным. Этот временной показатель называют сроком службы покрытия или долговечностью.

Долговечность покрытия характеризуется временем, в течение которого оно сохраняет эксплуатационные характеристики [13]. В случае огнезащитных полимерных покрытий это, прежде всего огнезащитная эффективность, обеспечивающая заявленный разработчиком предел огнестойкости защищаемой конструкции и характеризуется показателями пожарной опасности. Показатели пожарной опасности строительных материалов, в том числе и огнезащитных полимерных покрытий, определяются в соответствии с [14] и характеризуют поведение покрытия на поверхности конструкции при воздействии температуры и пламени. В настоящее время в Украине и России основным документом, регламентирующим номенклатуру показателей пожарной опасности веществ и материалов, является [15], распространяющийся и на полимерные композиционные материалы. Определяемые в соответствии с этими нормативами показатели используются в качестве критериев для определения сроков службы и долговечности покрытий.

В отличие от долговечности пластмасс, резин и других полимерных конструкционных материалов долговечность покрытия в большинстве случаев характеризуется не только изменением свойств и состояния полимерного (органического) слоя, но и состоянием подложки, которое обычно оценивают по степени развития коррозионного процесса на подложке или по изменению адгезионных характеристик покрытия [5,10].

Экспериментальные результаты позволяют выделить следующие основные процессы, приводящие к уменьшению сроков службы покрытий в процессе эксплуатации:

- химические процессы в покрытии, в том числе на поверхности наполнителей, являющиеся результатом диффузии внешних реагентов (кислорода, активных газов, воды, растворов кислот, щелочей и др.) и активизирующих факторов (солнечное излучение, температура и др.); примером таких процессов в огнезащитных покрытиях могут быть реакции гидролиза солей, образованных слабыми кислотами (фосфаты, карбонаты) и слабыми основаниями (соли аммония); растворение с последующим вымыванием растворимых в воде неорганических (сульфаты, фосфаты) и органических (амиды, амины, мочевины и др.) соединений; реакции окисления с участием кислых газов (CO_2 , SO_3 , NO_2 и др.), а также кислорода; реакции замещения и обмена в случае контакта с растворами солей, кислот, щелочей; под воздействием температуры могут протекать реакции термического

разложения неустойчивых органических соединений, например гуанидина ($t_{\text{дестр}} \approx 160^\circ\text{C}$), мочевины ($t_{\text{дестр}} \approx 130^\circ\text{C}$), хлорпарафинов ($t_{\text{дестр}} \approx 160^\circ\text{C}$) с образованием газообразных продуктов разложения аммиака, хлороводорода, углекислого газа, паров воды и др.

- фотохимические процессы, протекающие под воздействием тепла и солнечного излучения; имеют место в покрытиях, содержащих галогенсодержащие антипирены, которые разлагаются по радикальному механизму с образованием газообразных галогенводородов и галогенов;

- физико-химические процессы, приводящие к структурным изменениям в покрытии за счёт активации сегментальной подвижности макроцепей солнечным излучением и температурой;

- электрохимические процессы, протекающие в зоне адгезионного контакта (в случае металлической или железобетонной подложки);

- биохимические процессы (биохимкоррозия), являющаяся результатом биологического повреждения (грибами, бактериями или продуктами их жизнедеятельности) компонентов покрытия, чаще всего полимерного связующего и антипиренов.

Однако, в большинстве случаев к уменьшению огнезащитной эффективности покрытий приводит одновременное протекание нескольких видов процессов. Это в значительной степени осложняет задачу оценки долговечности огнезащитного полимерного покрытия.

Таким образом, можно утверждать, что долговечность и сроки службы огнезащитных полимерных покрытий в процессе эксплуатации будет определяться несколькими факторами:

- физико-химическими и биохимическими процессами в полимерной матрице с потерей технологических, прочностных и др. эксплуатационных характеристик;

- химическими, биохимическими фотохимическими и физико-химическими процессами с потерей огнезащитных характеристик;

- физико-химическими и электрохимическими процессами на границе покрытие-подложка с потерей адгезионных характеристик. Конечный срок службы покрытия будет определяться теми процессами, скорость и интенсивность которых будет преобладать.

Разработчики и производители отечественных покрытий при оценке долговечности покрытия пользуются существующими нормативными документами для ускоренных испытаний лакокрасочных покрытий [7] (в случае металлической подложки) и пропиточных составов [16] (в случае огнезащиты древесины). Как правило, они используются в сочетании с трудоёмкими и требуемыми длительного времени натурными испытаниями [17, 18] с последующим сравнительным анализом.

Алгоритм испытаний обычно основан на определении изменения огнезащитных и других характеристик во время экспозиции образцов в определённых условиях эксплуатации. При этом не учитывается интен-

сивность внешнего воздействия разрушающих покрытие факторов, а также механизмы разрушающего действия. Авторы [13] полагают, что определение предельных (недопустимых) значений эксплуатационных свойств вносит в расчётные методы прогнозирования долговечности наибольшую неопределённость и погрешность; для покрытий различного химического строения и назначения степень разрушения будет, естественно, различной и обычно определяется конкретными требованиями не столько к покрытию, а сколько к защищаемому объекту.

Для учёта всех факторов, влияющих на интенсивность разрушения покрытия необходимо методом укоренных испытаний установить реальное состояние вышедшего из строя покрытия, а также ввести допущение, что относительные скорости различных видов разрушений при ускоренных испытаниях и при испытаниях в натуральных условиях совпадают. Тогда зависимость длительности эксплуатации покрытия τ , зависящая сразу от нескольких факторов: температуры T , относительной влажности воздуха ω и дозы коротковолнового излучения ($\lambda < 400$ нм) H можно рассчитать по формуле:

$$\tau = \frac{\tau_0 \omega^{-\alpha}}{H} \cdot e^{U/T}$$

где τ_0 - «индуктивный период» эксплуатации покрытия, в течение которого изменение огнезащитных и др. свойств незначительно; α и U – константы для данного покрытия, зависящие от химической природы полимера и антипиренов, условий эксплуатации, природы подложки и др.

Выводы. Предложенные общие подходы для определения сроков службы и прогнозирования долговечности огнезащитных полимерных покрытий могут быть основой для разработки единой оценки продолжительности сохранения покрытием огнезащитной эффективности, что напрямую связано с предупреждением возникновения чрезвычайных ситуаций во время пожара. Впоследствии возможно создание нормативного документа, регламентирующего определение сроков службы покрытий в условиях эксплуатации, учитывающего все особенности процессов потери ими огнезащитной эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрижд Л. Об особенностях конкуренции на рынке огнезащитных составов в Украине / Л. Дрижд // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. – 2011. – №6 (48). – С. 21–23.
2. Вахитова Л. Огнезащитные составы для металлоконструкций. Краткий обзор рынка / Л. Вахитова, К. Калафат // Будівництво

України. – 2005. – №4. – С. 25 – 30.

3. Вахитова Л.Н. Срок службы огнезащитных покрытий вспучивающегося типа / Л.Н. Вахитова, М.П. Лапушкин, К.В. Калафат // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. – 2011. – №2 (50). – С. 58 – 61.

4. Баженов С.В. Прогнозирование срока службы огнезащитных покрытий. Проблемы и пути их решения / С.В. Баженов // Пожарная безопасность. – 2005. – № 5. – С. 97 – 102.

5. Еремина Т.Ю. Снижение пожарной опасности строительных конструкций за счет применения эффективных огнезащитных средств: дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 05.26.03 / Еремина Татьяна Юрьевна. – М., 2004. – 328с.

6. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля: ГОСТ Р 12.3.047-98. – [Дата введения 2000-01-01]. – М.: Госстандарт России, 1998. – 88с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).

7. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов: ГОСТ 9.401-91. – [Дата введения 01.07.92]. – М.: Госстандарт Союза ССР, 1991. – 61с. – (Государственный стандарт Союза ССР).

8. Крашенинникова М.В. Тенденции и перспективы в разработке композиций вспучивающихся огнезащитных покрытий для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций / М.В. Крашенинникова // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – №2. – С. 36 – 39.

9. Пахаренко В.А. Переработка полимерных композиционных материалов / В.А. Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко. – К.: Издательская компания «Воля», 2006. – 552 с.

10. Ямщикова С.А. Повышение долговечности интумисцентных покрытий при эксплуатации конструкций в промышленной атмосфере / С.А. Ямщикова, В.В. Кравцов // Коррозия территории нефтегаз. – 2009. – С.14-17.

11. Ненахов С.А. Динамика вспенивания огнезащитных покрытий на основе органо - неорганических составов / С.А. Ненахов, В.П. Пименова // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т.20, № 8. – С.17 -24.

12. Халтуринский Н.А. О механизме образования огнезащитных вспучивающихся покрытий / Н.А. Халтуринский, В.Г. Крупкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т.20, № 10. – С.33 –36.

13. Верховланцев В.В. Методы прогнозирования долговечности покрытий / В.В. Верховланцев // Лакокрасочные материалы. – 1985. – №4. – С. 49-53.

14. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В. 1.1.7 – 2002. – [Чинний від 01.05.2003]. – К.: Держбуд

України, 2003. – 44с. – (Державні будівельні норми України).

15. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (ISO 4589 – 84): ГОСТ 12.1.044 – 89. – [Дата введения 1991-01-01]. – М.: Стандартиформ, 2006. – 100с. – (Межгосударственный стандарт).

16. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств: ГОСТ 16363 – 98. – [Дата введения 01.07.1999]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1998. – 11с. – (Межгосударственный стандарт).

17. Гайковая О.Н. Оценка долговечности огнезащитных покрытий для металлических конструкций, применяемых в условиях морского климата / О.Н. Гайковая // Будівництво та техногенна безпека. – 2007. – вип.22. – С. 14 – 19.

18. Кузнецова Т.А. Определение срока службы огнезащитных покрытий / Т.А. Кузнецова // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2007. – № 2 (16) – С.125 -128.

В.А. Андронов, Ю.М. Данченко, О.М. Бухман

Подходы к определению сроков службы огнезащитных полимерных покрытий

Предложены обобщающие подходы для определения сроков службы и долговечности огнезащитных полимерных покрытий, которые могут быть основой для разработки единой оценки продолжительности сохранения полимерным покрытием огнезащитной эффективности.

Ключевые слова: огнезащитное полимерное покрытие, чрезвычайная ситуация, долговечность

V.A. Andronov, I.M. Danchenko, O.M. Bukhman

Approaches to determining the service life of flame retardant coatings

Summarizing approaches are offered for determination of terms of service and prognostication of longevity of fireproof polymeric coverages which can be basis for development of uniform estimation of duration of polymeric coverage preservation of it's fireproof efficiency.

Keywords: fireproof polymeric coverage, fire emergency, longevity.

А.А. Антошкин, преподаватель, НУГЗУ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ КОММЕНТАРИЙ НОРМАТИВНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

В работе рассматривается задача выбора исходных данных для решения геометрической задачи размещения точечных пожарных извещателей, различия в идеологии постсоветской и европейской нормативной базе по этому вопросу.

Ключевые слова: точечный пожарный извещатель, нормативные расстояния между извещателями.

Постановка проблемы. Формирование подсистемы обнаружения пожара в системах пожарной сигнализации, в основном, сводится к размещению пожарных извещателей (ПИ) на плане помещения. Пожарные извещатели являются чувствительным элементом системы пожарной сигнализации, позволяющим обнаружить пожар на ранней стадии. При размещении ПИ необходимо учитывать как технические характеристики приборов, так и нормативные ограничения на их размещение. Ограничения, связанные с требованиями нормативных документов, в основном, касаются параметров геометрического размещения ПИ, и в разных документах сформулированы по-разному. Это вызывает трудности при выборе исходных данных.

Анализ последних исследований и публикаций. Основными документами, регламентирующими проектирование систем пожарной сигнализации, являются [1,2]. В этих документах в зависимости от типа ПИ и высоты его установки определяются максимально допустимые геометрические параметры размещения. Однако в [1] приводится максимальное расстояние между извещателями и от извещателя до стены, а в [2]- значения рабочих радиусов. Исследования по идентичности этих показателей не проводились.

Постановка задачи и ее решение. Размещение ПИ с учетом требований нормативных документов должно обеспечивать выполнение системой пожарной сигнализации своей основной функции-раннее обнаружение пожара. Выполним сравнение результатов, полученных с учетом требований рассмотренных выше документов.

Для того, чтобы считать результаты сравнения достоверными, рассмотрим один и тот же пример защищаемого помещения с точки зрения [1] и [2]. Допустим, у нас есть помещение высотой 5 м., где

необходимо использовать дымовые пожарные извещатели. В [1] максимальное расстояние между ПИ для такого случая составляет $a_{\max} = 10,5 \text{ м}$, от извещателя до стены $b_{\max} = 5,3 \text{ м}$. В [2] максимальный радиус составляет $r = 7,5 \text{ м}$.

В терминах геометрического проектирования [3] задача размещения ПИ может быть сформулирована как задача покрытия и ее теоретико-множественная модель имеет вид:

$$P \subset \bigcup_{i=1}^n T_i, \quad (1)$$

где P - защищаемое помещение; T_i - область, защищаемая i -м извещателем.

Условие (1) описывает покрытие области P кругами. В этом случае каждая точка области P принадлежит хотя бы одному из кругов T_1, T_2, \dots, T_n .

В случае, если a_{\max} и b_{\max} из [1] меньше чем максимальный реальный радиус контроля конкретной марки ПИ, взятый из его паспорта, то мы имеем картину на рис. 1.

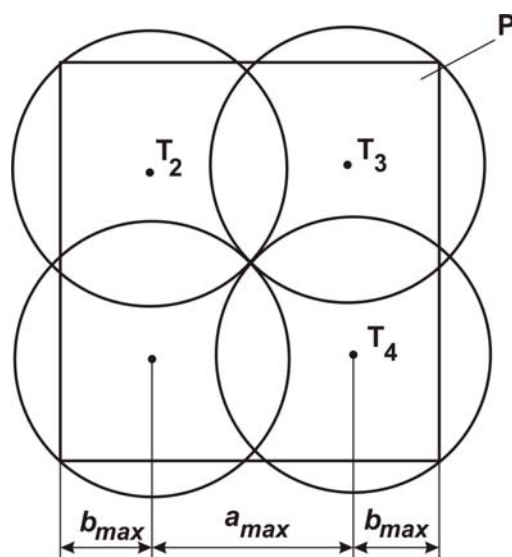


Рис. 1 – Размещение ПИ в соответствии с ДБН В.2.5–56–2010

Таким образом, область P полностью объектами T_i . То есть каждая точка защищаемого помещения находится в зоне действия хотя бы одного ПИ.

В случае, если r из [2] рассматривать как паспортный радиус, защищаемый ПИ, то мы имеем картину на рис. 2.

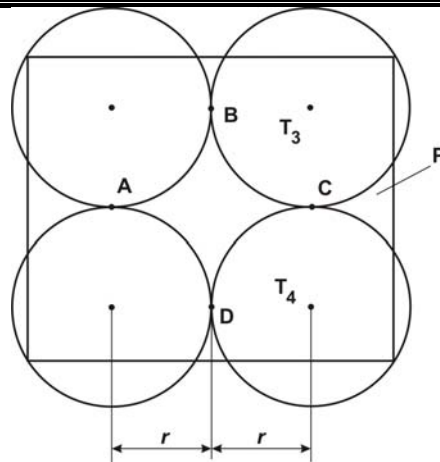


Рис. 2 – Размещение ПИ в соответствии с ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009

Для того чтобы оценить равнозначность величин r и a_{\max} , рассмотрим ситуацию на рис. 3:

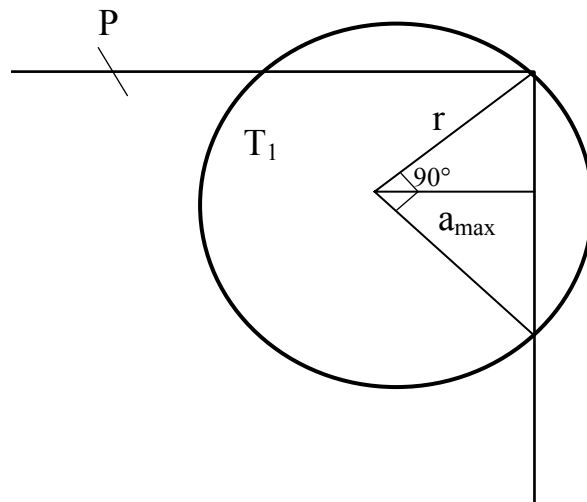


Рис. 3 – Оценка равнозначности величин r и a_{\max}

При таком расположении ПИ расстояние между ним и стеной будет равно a_{\max} . Тогда

$$r = \frac{\sqrt{2}}{2} a_{\max}. \quad (2)$$

Подставляя значения радиусов и максимально допустимых расстояний из примера, рассмотренного выше, мы получаем $r = 7,42 \text{ м}$. Т.е $r \approx r_{\text{табл}}$.

Применение формулировок нормативных требований из [2] удобно лишь при установке первого извещателя, если используется методика из [4], когда извещатель устанавливается на биссектрисе любого из углов помещения на расстоянии r от вершины угла. В ос-

тальных случаях целесообразно использовать нормативные ограничения, сформулированные в терминах [1].

Выводы. Таким образом, можно говорить о приблизительной равнозначности ограничений сформулированных в [1] и [2]. Однако, использование максимальных радиусов r из [2] неудобно, ввиду того, что при размещении соседних ПИ все равно их можно отдалять один от другого только на неполный радиус r .

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5–56–2010 Системи протипожежного захисту/ ДП «Украхбудінформ».– Киев: 2011.– 137 с.

2. ДСТУ-Н CEN/TS 54-14:2009 (CEN/TS 54-14:2004, IDT). Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, введення в експлуатацію, експлуатування і технічного обслуговування/ Держспоживстандарт України.– Київ: 2009.– 68 с.

3. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования.– Киев: Наук. думка, 1986.–268 с.

4. Антошкин А.А., Панкратов А.В., Пацук В.Н., Романова Т.Е., Шеховцов С.Б. Задача покрытия прямоугольной области кругами заданного радиуса // Радиоэлектроника и информатика, № 3, 2001. С. 38-42

О.А. Антошкін

Науково-практичний коментар нормативних обмежень на розміщення пожежних сповіщувачів

В роботі розглядається задача вибору вихідних даних для рішення геометричної задачі розміщення точкових пожежних сповіщувачів, відмінності в ідеології пострадянській і європейській нормативній базі з цього питання.

Ключові слова: точковий пожежний сповіщувач, нормативні відстані між сповіщувачами.

O.A. Antoshkin

Research and practice comment of normative limits on placing of fire detector

The task of choice of basic data is in-process examined for the decision of geometrical task of placing of point fire detector, distinctions in ideology to the post-soviet and European normative base through this question.

Keywords: point fire detector, normative distances between fire detector.

*П.А. Билым, к.х.н., доцент, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, к.х.н., профессор кафедры, НУГЗУ,
А.В. Альбоцкий, к.в.н., зам. нач. кафедры, НУГЗУ,
Ю.В. Калябин, преподаватель, НУГЗУ*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ КОКСУЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРОВ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ НАГРЕВЕ

(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

По результатам исследований термохимических превращений коксующихся полимеров при нарастании температуры в условиях развития стандартного пожара установлено, что повышенные скорости нагрева олигомеров с сопряженными ароматическими фрагментами приводит к протеканию химических реакций с образованием высокомолекулярных продуктов коксования на более ранней стадии нагрева.

Ключевые слова: полимер, термохимические превращения, коксование.

Постановка проблемы. Полимерные материалы широко применяются в строительстве, машиностроении, авиастроении, ракетной и космической технике для изготовления элементов конструкций, подвергаемых тепловым воздействиям различной интенсивности. В условиях экстремальных тепловых воздействий, таких как, например, пожар, полимерные материалы оказываются весьма чувствительными к перепадам температур даже в пределах 30-40 °С, что характерно для начальных стадий его развития [1]. При этом характерными признаками кратковременного нагрева является неравномерность распределения температуры по объему конструкции (детали), возникновение в ней резких градиентов температуры и термических напряжений [2]. Температуры нагреваемой поверхности при этом могут достигать нескольких сотен градусов, а нагрев сопровождается разложением полимерного материала и другими химическими и физическими изменениями. Поэтому вопрос о характеристиках термостойкости указанных материалов, путях их улучшения представляется весьма актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. Термохимические превращения коксующихся материалов, каковыми являются угли, при скоростном нагреве (10^3 - 10^4) достаточно полно освещены в работе [3]. Исследования при скоростях нагрева, соизмеримых со скоростью реализации любого акта первичного разложения органи-

ческого вещества, описаны в работе [4]. Основные причины изменения характера термогравиметрических кривых при увеличении скорости нагрева (при кратковременных испытаниях) приведены в монографии [5]. В большинстве применяемых методов используется довольно условный, искусственный режим нагрева – линейный нагрев образцов по следующему закону изменения температуры во времени: $T=T_0+bt$, что обычно не реализуется на практике. Это относится к методу Мартенса, термогравиметрическому анализу, термомеханическому методу, методам качественной калориметрии. Общие принятые характеристики термостойкости, определяемые этими методами, являются сравнительными и носят качественный характер. Их нельзя экстраполировать ни на длительные, ни на кратковременные тепловые воздействия. Такая экстраполяция лишена физического смысла и может привести к ошибкам. В то же время, ограничиваясь условиями нагрева в узком диапазоне температур и допуская при этом условия линейного нарастания температуры при последующем отключении нагрева, допустимо проводить исследования на термостойкость к условиям, приближенным к натурным испытаниям.

Постановка задачи и ее решение. В связи с характерным поведением коксующихся полимеров при нагреве, что обусловлено образованием различных газообразных, жидких и твердых веществ, в работе поставлена задача оценить интенсивность прохождения термохимических превращений при нарастании температуры в условиях развития стандартного пожара.

В качестве объекта исследования использовали полиэпоксиды, отличающиеся основным структурным фрагментом олигомерной цепи: диановый и на основе нафталенового производного [6]. Испытания проводились на дериватографе системы МОМ с одновременной фиксацией температуры, тепловых эффектов и потери массы на автоматических весах. Образец вносили в предварительно разогретую печь до 750 °С. После закрывания печи нагрев отключали, что давало возможность осуществить температурный режим нагрева навески по режиму стандартного пожара в течение 10 минут до температуры ~ 600 °С.

Анализ термогравиметрических кривых, полученных в условиях нагрева стандартного пожара (на начальной стадии) (рис. 1), свидетельствует о том, что примерно до 400 °С состав полимера практически не влияет на общий выход летучих веществ. Однако в интервале 450 - 510 °С тип полимера начинает оказывать заметное влияние на выход летучих веществ. Причем, для полимера на основе дианового олигомера выход летучих веществ больше. Начиная от 510 и до 600 °С наблюдается обратная зависимость: полимер на основе нафталенового производного имеет более высокий выход летучих веществ. Наблюдаемые различия выхода летучих веществ не связаны с теплотехническими явле-

ниями, поскольку навеска и дисперсность испытуемого материала одинакова, а являются следствием различия механизма термохимических превращений указанных полимеров при идентичных условиях нагрева. Изучению влияния нагрева на поведение кривых разложения высокомолекулярных систем на основе углей различного типа посвящена работа [7], в которой была обнаружена аналогичная картина.

Имеющиеся в литературе данные по термическому анализу [5, 7] свидетельствуют о том, что при высоких скоростях нагрева имеет место большая выраженность экстремальных точек на кривых термогравиметрии. В соответствии с проведенным опытом, повышенный темп нагрева материала влияет на перераспределение жидкоподвижной его части и твердого остатка при термической деструкции коксующихся полимеров. Было установлено, что с переходом от дианового олигомера к нафталеновому производному растворимость полученных продуктов коксования материала несколько снижается, что говорит о том, что образующиеся продукты коксования являются более высокомолекулярными. Это становится понятным, если учесть, что увеличение скорости нагрева инициировало для систем на основе олигомеров с сопряженными ароматическими фрагментами развитие реакций деструкции с более высокими энергиями активации [8].

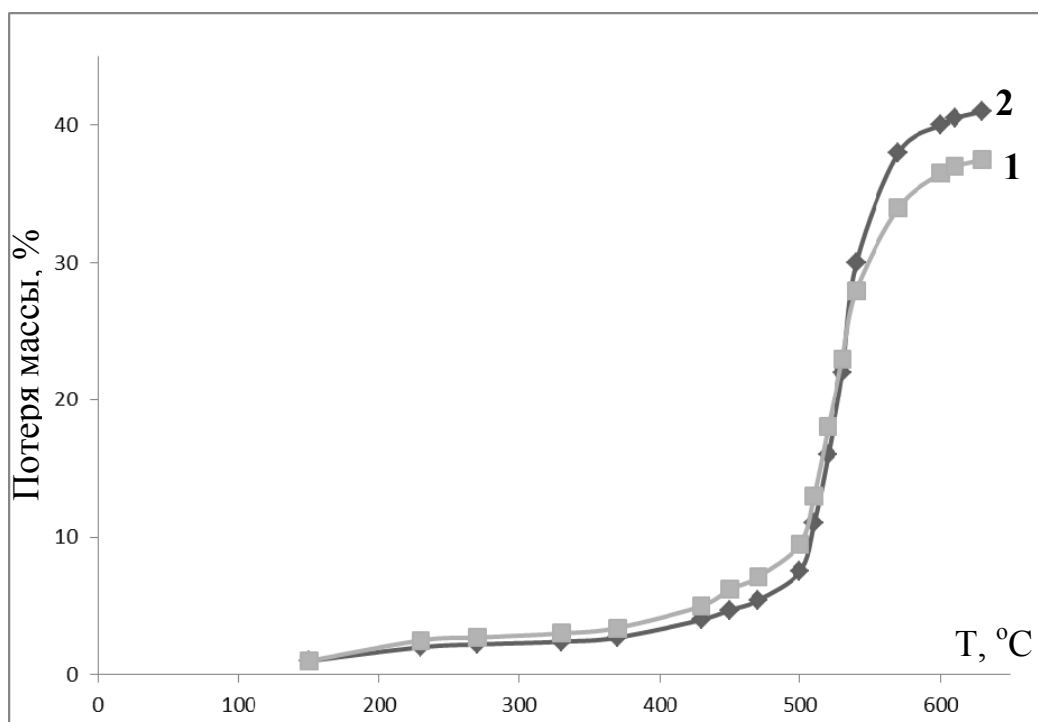


Рис. 1 – Термогравиметрические кривые полимерных образцов на основе эпиксидного олигомера: дианового – 1, нафталенового производного – 2

Таким образом, повышенные скорости нагрева полимера, которые могут быть реализованы в условиях пожара, способны сдвигать протекающие при этом химические реакции в область больших соотношений деструкция – синтез. Это может иметь не только научное, но и большое практическое значение при разработке полимерных материалов с заданными огнезащитными свойствами, позволяющими сохранять их работоспособность (огнестойкость) для несущих элементов конструкций.

Выводы. 1. Природа высокомолекулярных соединений обуславливает при их нагреве одновременное протекание сложных превращений, которые характеризуются деструкцией больших молекул и синтезом новых продуктов (коксование) на основе образующихся фрагментов. Поскольку реакции деструкции сопровождаются большими величинами энергии активации по сравнению с реакциями структурирования, при быстром нагреве, что имеет место в условиях пожара, в реакции деструкции вовлекается большое количество веществ до того, как протекнут или начнут протекать реакции синтеза (коксования).

2. Наличие сопряженных ароматических фрагментов в исходном олигомере обеспечивает увеличение количества жидкоподвижных продуктов терморазложения, которые становятся более высокомолекулярными на более ранних стадиях нагрева в имитируемых условиях пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билым П.А. Изменение прочности и деформирование конструкционных стеклопластиков при нагреве в условиях развития стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 18 - 24.

2. Грачева Л.И. Термическое деформирование и работоспособность материалов тепловой защиты / Людмила Ивановна Грачева. – К. : Наукова думка, 2006. – 294 с.

3. Агроскин А.А. Химическая технология угля/Александр Александрович Агроскин. –М.: Углетехиздат, 1954. – 252 с.

4. Скляр М.Г. Интенсификация коксования и качество кокса/Михаил Григорьевич Скляр. –М.: Металлургия, 1976. – 256 с.

5. Грязнов Н.С. Основы теории коксования/Николай Семенович Грязнов. –М.: Металлургия, 1976. – 312 с.

6. Патент U 200803048, МПК (2006) C08J 5/00. Стеклопластик: 200803048, МПК (2006) C08J 5/00 (Украина), Билым П.А., Афанасенко К.А., Михайлюк А.П., Олейник В.В. УГЗУ. – Заявляя. 11.03.2008. Опубл. 15.08.08.

7. Фитцджеральд Р. П. . Горение слоевых топлив (обзор). 2. Теоретические исследования / Р. П. Фитцджеральд, М. К. Брюстер // Физика горения и взрыва. – 2006, № 1. – С. 3 – 25.

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, О.В. Альбошій, Ю.В. Калябін

Дослідження термохімічних перетворень полімерів, що коксуються, при нерівномірному нагріві

За наслідками досліджень термохімічних перетворень полімерів, що коксуються, при наростанні температури в умовах розвитку стандартної пожежі встановлено, що підвищені швидкості нагріву олігомерів із зв'язаними ароматичними фрагментами приводить до протікання хімічних реакцій з утворенням високомолекулярних продуктів коксування на ранішій стадії нагріву.

Ключові слова: полімер, термохімічні перетворення, коксування.

P.A. Bilym, A.P. Mikhailuk, O.V. Alboshiey, U.V. Kalabin

Investigation of thermochemical conversions of cokings polymer cements at uneven heating

On consequences investigations of thermochemical conversions of cokings polymer cements at the buildup of temperature it is set in the conditions of development of standard fire, that with the attended aromatic fragments brings turbo speeds over of heating of oligomers to flowing through of chemical conversions with formation of high molecular products of coking on more early stage of heating.

Keywords: polymer cement, thermochemical conversions, coking.

*П.А. Билым, к.х.н., доцент, НУГЗУ,
А.П. Михайлюк, к.х.н., профессор кафедры, НУГЗУ,
К.А. Афанасенко, преподаватель, НУГЗУ,
В.В. Христинич, к.т.н., зам. нач. кафедры, НУГЗУ*

**КРИТЕРИИ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ПОЖАРА**
(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

В работе проведены исследования критериев теплостойкости композиционных материалов, для определения которых использовали экспериментальные значения модуля упругости. С помощью критерия кратковременной теплостойкости установлено, что на начальной стадии медленно развивающегося пожара предпочтение следует отдавать олигомерным системам, в состав которых входят сопряженные ароматические фрагменты.

Ключевые слова: полимер, теплостойкость, модуль упругости, нагрев.

Постановка проблемы. Для оценки возможности применения полимерных материалов в конструкциях, подверженных нагреву, служат условные характеристики – теплостойкость и термостойкость. Теплостойкостью оценивается скорость и размер больших деформаций материала, делающих его непригодным в использовании. Термостойкость или, как иногда называют эту характеристику, - жаростойкость (если речь идет о неравномерном нагреве) позволяет оценить скорость процессов высокотемпературного старения образца.

В качестве критерия теплостойкости полимерных материалов при равномерном их нагреве принимается максимальная деформация в определенной точке образца стандартных размеров или зависимость этой деформации от режима повышения температуры. Поэтому широкое распространение в технике получили несколько методик определения теплостойкости, каждая из которых предусматривает различие в количественном отношении критерия теплостойкости, а, следовательно, дает различную оценку свойств. Для оценки теплостойкости полимерных материалов широко используются методы Мартенса и Вика [1].

Помимо приведенных выше критериев теплостойкости полимерных материалов следует отметить и другие критерии, позволяющие оценить возможность применения данного материала в условиях специальной эксплуатации в течение короткого времени (нескольких минут). Это

относится к материалам, которые используют в теплонапряженных узлах летательных аппаратов ракетной и космической техники. К ним относятся критерии теплостойкости полимерных материалов в условиях интенсивной эрозии за счет набегающего высокоэнтальпийного потока газа и прочностные критерии теплостойкости в условиях нестационарных режимов нагрева, возникающих при эксплуатации элементов теплозащитных покрытий и элементов силовых конструкций. Критерии эрозионностойкости определяют в условиях, близких к натурным и они имеют эмпирический характер. Прочностные критерии материалов в условиях кратковременного нагрева тепловыми потоками большой интенсивности определяют, как на основании теории подобия, так и на основании расчетов температурных и силовых полей [2].

Предлагаемый метод, в основу которого положено определение зависимости несущей способности материала от критериев теплового подобия, позволил при единичных испытаниях в условиях развития пожара, сопоставить величины относительной прочности армированных пластиков от их размера. При этом отмечалось, что несущая способность образцов, выполненных на полимерном связующем, представляет собой частный вид функции критериев подобия, рассчитанных по времени и скорости нагрева в условиях режима медленно развивающегося пожара [3].

Анализ последних исследований и публикаций. Критерии кратковременной теплостойкости можно получить и без проведения специальных испытаний по известным физико-механическим и теплофизическим характеристикам. Исторически первым критерием такого рода, по-видимому, является критерий теплостойкости по Винкельману [4]. Этот критерий определяет условия разрушения или возникновения трещин в образцах за счет температурных напряжений. Аналитически он выражается следующим образом:

$$\Delta T = n \frac{\sigma_b a}{\alpha A \sqrt{\dot{a}}} \quad (1)$$

где ΔT – перепад температуры на образце, при котором происходит его разрушение; σ_b – предел прочности материала; E_y – модуль упругости; α – коэффициент температурного расширения материала; a – коэффициент теплопроводности; n – коэффициент, учитывающий условия теплообмена.

Критерий Винкельмана учитывает только напряжения, вызванные температурным воздействием, и может быть определен по результатам простых испытаний ненагруженных образцов, помещаемых в теплоноситель. Обобщенный критерий Винкельмана для случаев, когда помимо температурных напряжений в материале возникают напряжения от внешних нагрузок, был получен Шленским О.Ф.

При этом рассматриваются два режима нагрева: режим А – режим, при котором температура поверхности образца изменяется скачкообразно от начального значения до значения T_c (температуры стеклования); режим В – режим, в котором температура поверхности изменяется по линейному закону $T=T_0+bt$ [5].

Для режима А и В выведены параметры A_n и B_n , которые характеризуют теплостойкость материала при максимальном перепаде температуры, равном $T_c - T_0$ в напряженном состоянии.

$$A_n = \frac{1}{\varphi \sqrt{a}}; \quad (2)$$

$$B_n = \frac{1}{\varphi 2 a^{3/2}}; \quad (3)$$

где φ – коэффициент, определяющий температурную зависимость модуля упругости; a – коэффициент температуропроводности.

Было показано, что с увеличением A_n и B_n , при малых временах теплового воздействия, повышается разрушающее напряжение материала, т. е. растет его относительная прочность.

Из уравнения 4 следует, что значения параметров A_n и B_n может быть рассчитано по экспериментальным значениям модуля упругости.

$$\varphi = \frac{1 - E_y / E_{y0}}{T_c - T_0} \quad (4)$$

где E_y – модуль продольного растяжения при температуре стеклования; E_{y0} – модуль продольного растяжения при нормальных условиях; T_c – температура механического стеклования; T_0 – исходная температура.

Постановка задачи и ее решение. В связи с особым поведением традиционных полимерных связующих при нагреве, обусловленных их размягчением, в работе поставлена задача оценить сохранение конструкционной теплостойкости стеклопластиков на начальной стадии медленно развивающегося пожара.

В качестве связующих стеклопластиков рассматривали смесевые системы на основе эпоксидианового олигомера ЭД-20 и отверждающих агентов кислотного и основного типа: изо-метилтетрагидрофталевого ангидрида (композиция I), комплекса трехфтористого бора с нафтиламином (композиция II), триэтаноламина (композиция III) и мета-фенилендиамина (композиция IV).

Образцы размером 100 x 10 и толщиной до 10 мм вырезали из листов стеклопластика, полученных методом автоклавного формования и подвергали стандартным испытаниям по определению тепло-

физических характеристик.

Для подсчета критериев теплостойкости использовали экспериментальные значения модуля упругости, ранее полученные при проведении динамических механических испытаний композитов при нестационарном температурном нагреве образцов (режим В) и при тепловом ударе (режим А) [6].

Как видно из данных, представленных в таблице, состав связующего оказывает существенное влияние на конструкционную теплостойкость полимерных композитов. Из сравнения показателей A_n и B_n следует, что в режиме В состав исходного связующего оказывает более сильное влияние на скорость разупрочнения стеклопластика, чем в режиме А. Отсюда можно сделать вывод, что при подборе материала конструкционного элемента для режима В (режима медленно развивающегося пожара) следует отдавать предпочтение композициям не только с меньшим коэффициентом температуропроводности, но и с меньшим уровнем снижения его модуля упругости при размягчении.

Расчет критерия теплостойкости показывает, что оптимальным показателем обладает связующее, в состав которого входит компонент на основе сопряженного реакционного инградента – замещенного нафталинового фрагмента. Из этого следует, что при выборе полимера необходимо учитывать его способность к пиролизу с образованием полисопряженных ароматических структур, ответственных за сохранение упругопрочностных характеристик при неравномерном нагреве [7].

Таблица

Композиция	A_n , град·с ^{0,5} /м	B_n , град·с ^{1,5} /м ³
I	$1,19 \cdot 10^7$	$1,41 \cdot 10^{13}$
II	$1,41 \cdot 10^7$	$2,56 \cdot 10^{14}$
III	$1,02 \cdot 10^7$	$3,08 \cdot 10^{12}$
IV	$1,02 \cdot 10^7$	$3,44 \cdot 10^{12}$

Выводы. Предложенный в работе критерий кратковременной теплостойкости позволяет правильно выбрать композиционный материал, обладающий улучшенной несущей способностью. При этом достаточно знать приблизительный режим его эксплуатации. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что в режиме кратковременного неравномерного нагрева (начальной стадии медленно развивающегося пожара) предпочтение следует отдавать олигомерным системам, в состав которых входят сопряженные ароматические фрагменты.

Теплостойкость материала имеет простой физический смысл, так как содержит физико-механические и теплофизические характеристики и характеризует кинетику разупрочнения материала при заданной температуре поверхности.

Приведенные выше соотношения справедливы, строго говоря, только для материалов, подчиняющихся закону Гука. Поэтому, рас-

четная нагрузка на конструкционный элемент из предложенного материала не должна превышать величины, приводящей к его предварительному размягчению перед актом разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Георгий Михайлович Бартенев. - М.: Химия, 1984. - 280 с.
2. Аскадский А.А. Деформация полимеров/ Андрей Александрович Аскадский. - М.: Химия, 1973. - 448 с.
3. Билым П.А. К вопросу масштабного моделирования разурочнения стеклопластика при нагреве на начальной стадии пожара/ П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко// Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. - Харьков: УГЗУ, 2011. - Вып. 28. - С. 25 - 31.
4. Регель В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел/ Вадим Робертович Регель. - М.: Наука, 1974. - 560 с.
5. Шленский О.Ф. Тепловые свойства стеклопластиков/ Орест Федорович Шленский. - М.: Химия, 1984. - 224 с.
6. Билым П.А. Изменение прочности и деформирование конструкционных стеклопластиков при нагреве в условиях развития стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. - Харьков: УГЗУ, 2009. - Вып. 26. - С. 18 - 24.
7. Билым П.А. Закономерности разупрочнения конструкционных стеклопластиков в условиях нарастания температуры в режиме стандартного пожара / П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. - Харьков: УГЗУ, 2009. - Вып. 25. - С. 24 - 29.

П.А. Білим, О.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.В. Христинч

Критерії теплостійкості полімерних композиційних матеріалів на початковій стадії пожежі

У роботі проведені дослідження критеріїв теплостійкості композиційних матеріалів, для визначення яких використовували експериментальні значення модуля пружності. За допомогою критерію короточасної теплостійкості встановлено, що на початковій стадії пожежі, що поволі розвивається, перевагу слід віддавати олігомерним системам, до складу яких входять зв'язані ароматичні фрагменти.

Ключові слова: полімер, теплостійкість, модуль пружності, нагрівачи.

P.A. Bilym, A.P. Mikhailuk, K.A. Afanasyenko, V.V. Khristich

Criteria of thermostability of polymeric composition goods on the initial stage of fire

Investigations of criteria of thermostability of composition goods are in-process conducted, for definition of which utilized the experimental values of the module of elasticity. It is set by the criterion of brief thermostability, that on the initial stage of slowly developing fire it is necessary to give a preference oligomeric collections which the attended aromatic fragments enter in the complement of.

Keywords: polymer cement, thermostability, module of elasticity, warming.

А.Ю. Бугаев, адъюнкт, НУГЗУ

ДОСТОВЕРНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО КЛАПАНА ПРИ НЕТОЧНО ИЗВЕСТНОМ ДАВЛЕНИИ В ОБОРУДОВАНИИ

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Рассмотрена проблема достоверности расчетных характеристик предохранительного клапана и всей линии сброса, связанная с неточностью информации об избыточном давлении в защищаемом технологическом оборудовании. Показан способ, позволяющий количественно определить надежность расчетных характеристик устройств, обеспечивающих взрывобезопасность оборудования, находящегося под избыточным давлением.

Ключевые слова: избыточное давление, предохранительный клапан, авария, чрезвычайная ситуация, модель, объект повышенной опасности, вычислительный эксперимент.

Постановка проблемы. Предохранительный клапан – трубопроводная арматура, предназначенная для защиты от механического разрушения оборудования и трубопроводов избыточным давлением путём автоматического выпуска избытка жидкой, паро- и газообразной среды из систем и сосудов с давлением, сверхустановленного. Клапан также должен обеспечивать прекращение сброса среды при восстановлении рабочего давления. Предохранительный клапан является арматурой прямого действия, работающей непосредственно от рабочей среды, наряду с большинством конструкций защитной арматуры и регуляторами давления прямого действия. От правильности выбора клапана и конструкции всей системы сброса зависит вероятность возникновения аварийной ситуации. Конструкция всей линии сброса определяется расчетным путем и зависит от многих данных защищаемого оборудования. Если какие-либо данные являются неверными, предохранительный клапан свои защитные функции выполнять не будет. Если все исходные данные верны, то степень точности, с которой они заданы, будет влиять на выбор клапана и правильность расчетов всей линии сброса. Для уверенности в правильности работы линии сброса необходимы исследования влияния неточности исходных данных на вычисляемые параметры линии сброса. Иначе говоря, необходимо исследование алгоритма расчета линии сброса, в том числе и предохранительного клапана, на устойчивость к погрешностям исходных данных. Такие исследования производят поэтапно, для каждого параметра отдельно. Данная статья посвящена устойчивости алгоритма расчета клапана и линии сброса от точности в определении давления в защищаемой системе.

Анализ последних исследований и публикаций. Литературные данные о последовательных исследованиях устойчивости алгоритма расчета клапана отсутствуют. Для последовательных исследований устойчивости алгоритма расчета клапана необходима постановка большого количества экспериментов. Дешевле всего произвести подобные исследования методами имитационного моделирования. Аналогичные исследования уже проводились. Имеется опыт и программные средства для их проведения. Так, в области моделирования аварий и чрезвычайных ситуаций начато создание специализированных языков имитационного моделирования [1]. Такой подход делает достижимым решение многих задач. С его помощью были построены обобщенные имитационные модели объектов повышенной опасности (ОПО), сориентированные на оценку опасности этих объектов для людей и окружающей среды [2]. В [3] разработаны языковые средства для оценки опасности ОПО, называемой идентификацией. В [4] подход моделирования с помощью специализированного языка применен к прогнозированию последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. В [5, 6] аналогичный подход применен к исследованию производственных коммуникаций. В работах [7-10] в языковые средства моделирования добавлялись и использовались в модельных исследованиях средства статистики и оптимизации. В работах [11] предложен многошаговый подход к построению имитационных моделей ОПО.

Постановка задачи и ее решение. В работе ставится задача создать способ, позволяющий количественно определить устойчивость расчетного алгоритма и связанную с ней надежность расчетных характеристик устройств, обеспечивающих взрывобезопасность оборудования, находящегося под избыточным давлением. Когда предохранительный клапан закрыт, на его чувствительный элемент действует сила от рабочего давления в защищаемой системе, стремящаяся открыть клапан. С возникновением в системе возмущений, вызывающих повышение давления выше рабочего, клапан открывается и происходит сброс рабочей среды. Если с понижением давления в защищаемом оборудовании, вызываемом сбросом среды, исчезает нежелательная величина давления, запорный орган клапана закрывается. При расчете клапана предполагается знание допустимых пределов изменения давления в защищаемом оборудовании и пределов реального изменения давления при возможном его повреждении [12]. Для сосудов, содержащих газовую (паровую) фазу, пропускная способность предохранительного клапана определяется по формуле [1]:

$$G = \frac{K_n \cdot F_n \cdot (t_r - t_n) \cdot 3,6}{C_p (t_n + 273)} \quad (1)$$

где F_n - полная наружная поверхность аппарата, m^2 ; t_r - температура газо-воздушной смеси, омывающей при пожаре наружную поверх-

ность аппарата, °С, $t_r = 600$ °С; t_n - температура газов (паров) в аппарате при нормальном режиме, °С; C_p - теплоемкость газа (пара) при давлении, Дж/кг·К; K_n - общий коэффициент теплопередачи от окружающего воздуха через стенку аппарата к газу (пару), Вт/м²·К.

Площадь проходного сечения предохранительного клапана следует рассчитывать по формулам (2), (3):

$$\text{для газа} \quad F = \frac{G}{3,16 \cdot B \cdot \alpha_1 \cdot \sqrt{(P_1 + 0,1)} \rho_1} \quad (2)$$

$$\text{для жидкости} \quad F = \frac{G}{5,03 \cdot \alpha_2 \cdot \sqrt{(P_1 - P_2)} \rho_2} \quad (3)$$

где: P_1 - максимальное избыточное давление перед предохранительным клапаном, равное давлению полного открытия клапана, МПа; P_2 - максимальное избыточное давление за предохранительным клапаном, МПа; ρ_1 - плотность реального газа перед клапаном при параметрах P_1 и T_1 , кг/м³; ρ_2 - плотность жидкости перед клапаном при параметрах P_1 и P_2 , кг/м³; T_1 - температура среды перед клапаном при давлении P_1 , °С; α_1 - коэффициент расхода, соответствующие площади для газообразных сред; α_2 - коэффициент расхода, соответствующий площади для жидких сред; B – коэффициент из таблицы приложения 2 [12].

Количество предохранительных клапанов определяется по формуле:

$$n = \frac{F}{f} \quad (6)$$

где f , мм² - площадь проходного сечения седла выбранного клапана.

Особая ценность имитационного моделирования в том, что оно может прийти в помощь не в чисто теоретических исследованиях, а при изучении и оптимизации свойств конкретных проектируемых или изменяемых объектов. Удачно разработанная стратегия моделирования позволяет не создавать новые модели для проверки версий отказов, аварий и т.п., а модифицировать или продолжать развитие уже готовых. Продолжим развитие имитационной модели из [11]. В [11] была создана абстрактная модель с двумя типами установок. Для простоты предполагалось, что в ней отсутствуют коммуникации и линии сброса. Дополним модель этими элементами. Коммуникаций в нашей модели будет 25 метров, 12 колен, расширение потока 4, заслонки 2, предохранительный клапан (СППК-4) 2. Также включим в нее модель прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ, анонсиро-

ванную в [4]. Полностью модель представлена в виде программы в [13] без результатов, представленных в этой статье. Усложним модель, введя в нее возможность отказа предохранительного клапана СППК-4 вследствие ошибки в определении давления, которая является нормально распределенной. Зададим такую ошибку в две атмосферы. Такая модель позволяет, например, выяснить, на каком расстоянии от данного производственного помещения риск поражения человека бутиленом и ацетоном будет социально приемлемым, т.е. ниже 10^{-6} год⁻¹. Расчеты на модели показывают расстояние 11,3 метра.

Выводы. По результатам работы программы ошибка равняется 6,7% от величины пропускной способности предохранительного клапана. Необходимо, чтобы эта ошибка не выходила за пределы возможного изменения максимальной продуктивности аппарата во время аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесленко А.А. О возможности создания обобщенного языка моделирования чрезвычайной ситуации для планирования профилактической деятельности: матеріали науково-техничної конференції // Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС України: науч.-техн. конф., 19 грудня 2007 р. : тезиси докл. - / Х., 2007. – С. 60-62.

2. Тесленко О.О. Досвід застосування імітаційного моделювання до ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки / В.В.Олійник, О.П.Михайлюк // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. – № 7. – С.139-144.

3. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением : ПБ 03-576-03. [Действующий с 11.06.03]— Офиц. изд. — 2003. – 537 с. (Госгортехнадзор России)

4. Тесленко А.А. К вопросу использования имитационного моделирования прогнозирования последствий выброса опасных химических веществ при авариях на промышленных объектах. /В.В.Олійник, О.П.Михайлюк //Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. – №8. – С.194-198.

5. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций./ А.Ю. Бугаёв, Б.И. Погребняк // Коммунальное хозяйство городов. - 2011.- № 99.- С. 157-160.

6. Тесленко А.А. Защита производственных коммуникаций / Б.И. Погребняк // Безпека життєдіяльності в навколишньому та виробничому середовищі: науч.-техн. конф., 20 лютого 2011р : тезиси докл. - Х., 2011.- С. 81-82.

7. Тесленко А.А. Метод мультистарта при поиске экстремума в задаче взрывобезопасности: матеріали науково-техничної конференції // Актуальні проблеми наглядно-профілактичної діяльності МНС

України: науч.-техн. конф., 16 грудня 2009 р. : тезиси докл. - Х., 2009. - С. 131-132.

8. Тесленко А.А. К вопросу об оптимизации параметров и структуры объектов повышенной опасности методами специализированного языка моделирования. / С.А. Дудак // Коммунальное хозяйство городов. -2009.- № 90. - С. 487-491.

9. Тесленко А.А. Оптимизация технологического процесса с точки зрения его взрывобезопасности / С.А. Дудак // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: междунар. науч.-техн. конф., 20 вересня 2010р : тезиси докл. – В., 2010. – С. 347

10. Тесленко А.А. Методы имитационного моделирования при оценке опасности техногенных объектов / В.В.Олійник // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: междунар. науч.-техн. конф., 20 вересня 2010р : тезиси докл. - В., 2010. – С. 235

11. Тесленко А.А. Четырехшаговый подход к оценке опасности объектов. / А.Ю. Бугаёв, А.Б. Костенко // Коммунальное хозяйство городов. - Х. - 2011.- № 99.- С. 135-140.

12. Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности : ГОСТ 12.2.85-2002. – [Действующий с 1983-07-01] - Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации – 2002. - 9 с. - (Межгосударственный стандарт).

13. Создание и исследование модели опасного производства [Электронный ресурс] / В.В. Олейник, А.П. Михайлюк, С.А. Дудак, А.А. Тесленко // 2009. : <http://www.emergencemodeling.narod.ru/>

А.Ю. Бугайов

Достовірність розрахункових характеристик запобіжного клапану при неточно визначених тиску у обладнанні

Розглянута проблема достовірності розрахункових характеристик запобіжного клапана і усієї лінії скидання пов'язана з неточністю інформації про надлишковий тиск в технологічному обладнанні, що захищається. Показаний спосіб, що дозволяє кількісно визначити надійність розрахункових характеристик пристроїв, що забезпечують вибухобезпечність устаткування, що знаходиться під надлишковим тиском.

Ключові слова: показник адіабати, запобіжний клапан, аварія, надзвичайна ситуація, модель, об'єкт підвищеної небезпеки, обчислювальний експеримент.

A.U. Bugaev

Dependence of safety-valve calculation from an error in pressure in equipped

The problem of reliability of safety-valve descriptions calculation, related to inaccuracy of information about overpressure in the protected technological equipment, is considered. The method is allowing numerically to define reliability of calculation descriptions of devices, providing explosion safety of equipment with overpressure.

Keywords: pressure in equipped, safety-valve, accident, emergency, simulation, model, computation experiment.

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
Н.Н. Стец, УМЧС Украины в Кировоградской области*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРОУБЕЖИЩ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

В результате анализа вместимости и времени заполнения пожароубежищ высотных зданий выявлена их концептуальная несостоятельность. Предложена система ступенчатой эвакуации из высотных зданий на основе использования технических средств спасения и пожаробезопасных зон, оборудованных в технических этажах.

Ключевые слова: пожаробезопасная зона, пожароубежище, техническое средство спасения, время эвакуации.

Постановка проблемы. Для высотных зданий характерны быстрое развитие пожара по вертикали и большая сложность обеспечения эвакуации и спасательных работ. Продукты горения заполняют эвакуационные выходы, лифтовые шахты, лестничные клетки. Скорость распространения дыма и ядовитых газов по вертикали может достигать нескольких десятков метров в минуту. Очень быстро здание оказывается полностью задымленным, что создает угрозу жизни, находящихся в нем людей и затрудняет их эвакуацию.

Для высотных зданий характерно пребывание в них большого количества людей, эвакуация которых должна быть своевременной и беспрепятственной. Однако, практика показывает, что при эвакуации из высотного здания часто складывается ситуация, когда оба эти требования не выполняются: из-за скопления большого количества людей в лестничных клетках [1].

Анализ проектных решений и расчет процесса эвакуации людей из высотных зданий [2] обнаруживает, что:

– при эвакуации по лестничным клеткам в результате скопления людей, выходящих с этажей и спускающихся по лестнице, образуются потоки такой величины, что пропускной способности лестниц оказывается недостаточно для обеспечения беспрепятственного движения. В таком случае возможно возникновение давки – продолжительное скопление людей высокой плотности (7-8 чел/м²);

– в связи с повышенной плотностью потока и, вследствие этого, низкой скоростью движения время эвакуации людей увеличивается и может составлять в небоскребах 1 час и более;

– пожарные подразделения не в состоянии помочь эвакуации людей с верхних этажей.

Перечисленные факторы снижают эффективность эвакуационных мероприятий при пожаре и повышают вероятность воздействия на людей первичных и вторичных опасных факторов пожара (ОФП).

Таким образом, спасение людей при пожарах в высотных зданиях на этажах недоступных штатным средствам спасения пожарных подразделений является важной проблемой, требующей решения.

Анализ последних достижений и публикаций. В [3, 4] предложено решить вопрос эвакуации за счёт создания пожаробезопасных зон, в которых люди могли бы находиться до окончания пожара, либо до спасения их пожарными подразделениями.

Например согласно [ru.wikipedia.org], в небоскребе Бурдж-Халифа высотой 828 м (162 этажа) для защиты людей при пожаре через каждые 25 этажей оборудованы особые помещения – пожароубежища, защищенные от огня и имеющие автономную систему кондиционирования. Считается, что люди не сумевшие спуститься вниз смогут в них переждать бедствие.

Подобные требования выдвигаются и нормативным документом "ДБН В.2.2-24:2009. Проектирование высотных жилых и общественных зданий". В нем для укрытия и спасения людей, не успевших воспользоваться основными путями эвакуации из-за их блокирования или по другим причинам, при пожарах в высотных зданиях рекомендуется проектировать пожаробезопасные зоны, расположенные по высоте через каждые 15...25 этажей (45...75 м). Эти пожаробезопасные зоны должны быть оснащены независимой системой вентиляции, средствами связи, средствами оказания медицинской помощи, коллективными и индивидуальными средствами спасения.

Разница между терминами "пожаробезопасная зона" и "пожароубежище" заключается в том, что пожаробезопасная зона – помещение или пространство, где люди могут определенное время находиться в безопасности от ОФП. Пожароубежище, безусловно относясь к пожаробезопасным зонам, имеет концептуальную особенность: его рекомендуют устраивать в небоскребах – это специальное помещение, назначение которого обеспечить *длительное* укрытие от пожара для людей, не имеющих возможности воспользоваться основными путями эвакуации. Причинами, которые обуславливают использование пожароубежищ могут быть:

- блокирование основных путей эвакуации;
- малая мобильность некоторых групп людей;
- психологические факторы.

В этом смысле было бы интересно конкретизировать требования к пожароубежищам и проанализировать их способность к выполнению возложенных на них функций.

Однако единого мнения специалистов по поводу эффективно-

сти таких пожароубежищ в настоящее время нет, поскольку остаётся открытым вопрос о том, пойдут ли в них люди при пожаре, будет ли там фактически (а не формально) обеспечена пожарная безопасность. Кроме того, не принимаются во внимание возможности минимально комфортного пребывания в них людей, в течение несколько часов.

Постановка задачи и ее решение. В связи с тем, что в литературе кроме общих требований к пожароубежищам отсутствуют даже приблизительные расчеты эффективности их использования, задачей данной работы является оценка возможностей пожароубежищ в высотных зданиях по обеспечению спасения и эвакуации людей при пожарах на основе выдвинутой концепции их применения. Для этого необходимо оценить способность пожароубежищ вмещать расчетное количество людей и обеспечивать их безопасность в течение длительного времени; сравнить расчетное время заполнения пожароубежища с временем достижения критических значений ОФП.

В высотных зданиях логично устраивать пожароубежища в промежуточных технических этажах, которые служат как бы границами пожарных отсеков. Понятие "пожарный отсек" для высотных зданий практически стало условным из-за того, что все перекрытия и выходы на незадымляемые лестничные клетки с этажей являются противопожарными, а пределы огнестойкости перекрытий всех этажей по потере несущей способности одинаковы. Действительно, бессмысленно обеспечивать повышенную огнестойкость конструкций пожароубежища, если остальные конструкции здания потеряют стойкость. Поэтому, одним из расчетных параметров конструкций пожароубежищ должен быть предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности.

Вместимость пожароубежища должна быть обусловлена:

– максимальным количеством людей, способных добраться до него с промежуточных этажей;

– наличием внутри него относительного комфорта и безопасности.

Поскольку отсутствуют точные данные о параметрах высотного здания и технических средствах спасения, можно делать только оценочные расчеты.

Учитывая наиболее опасные сценарии развития пожарной ситуации при блокировании путей эвакуации [5], можно предположить, что заполнение пожароубежищ будет происходить, в основном, с вышележащих этажей и, возможно, с нескольких нижележащих этажей. Причем, можно допустить, что общее количество этажей в этом случае будет равно высоте пожарного отсека, т.е. расстоянию по высоте между пожароубежищами. Если предположить, что площадь этажа $S = 2500...5000 \text{ м}^2$, норма площади $N = 10...20 \text{ м}^2/\text{чел}$, а высота пожарного отсека $H = 25 \text{ эт.}$, то максимальное заполнение пожаро-

убежища V можно ожидать

$$V = \frac{S \cdot H}{N} \approx (3000 \dots 6000) \text{ чел.} \quad (1)$$

Время заполнения пожароубежища, оценочно определяемое как время спуска по лестницам на высоту пожарного отсека со скоростью людского потока 1...2 мин/этаж, может составлять (в зависимости от назначения высотного здания, мест расположения пожароубежищ и состояния входов в них, количества людей на этажах и состояния основных коммуникаций) от 20 до 40 мин [2]. При этом достижение критических значений ОФП (по задымлению и токсичным продуктам горения) в лестничной клетке при негативном сценарии может происходить за 4...15 мин [1, 6].

Таким образом, необходимое время эвакуации по лестничной клетке в пожароубежища меньше расчетного, поэтому спасение людей в них является проблематичным.

Для обеспечения относительного комфорта и безопасности людей в пожароубежище необходимо оборудовать его местами для сидения, системой воздухообмена, укомплектовать средствами первой медицинской помощи, устройствами коллективного и индивидуального спасения, устройствами защиты органов дыхания и т.д. Пожароубежище должно быть отделено от остальных помещений противопожарными перекрытиями и перегородками, входами через тамбур-шлюзы с противопожарными дверями.

Если принять норму площади для пожароубежищ как для противорадиационных укрытий согласно [7] $p = 0,6 \text{ м}^2/\text{чел}$, то расчетная площадь пожароубежища для пожарного отсека $S_{ПУ}$ без учета площади лестничных клеток, инженерного оборудования, лифтовых шахт и холлов составит

$$S_{ПУ} = p \cdot V \approx (1800 \dots 3600) \text{ м}^2. \quad (2)$$

Эта площадь сравнима с общей площадью этажа. Т.е. оценочная формула (2) показывает, что для организации пожароубежища в объеме технического этажа вряд ли хватит места, и потребуются дополнительный этаж.

Из вышеизложенного видно, что, если следовать начальной концепции, то:

– время заполнения пожароубежища превышает время достижения критических значений ОФП;

– для организации пожароубежища с требуемыми условиями комфортности необходимо выделять отдельно целый этаж, не со-

вместимый с техническим этажом;

– такие пожароубежища, помимо того, что должны находиться в состоянии постоянной готовности, что требует больших расходов, занимают большой объем здания, снижая эффективность использования его площадей.

Выводы. Таким образом, оценка возможности использования пожароубежища показывает, что кроме экономической неэффективности оно не соответствует своему концептуальному назначению. Действительно, для того, чтобы расчетное время заполнения пожароубежища не превысило необходимого, пожароубежища должны располагаться по высоте примерно через каждые 5 этажей. Однако, и в этом случае, несмотря на меньший требуемый объем помещения, пожароубежище не обеспечит достаточный уровень безопасности, т.к. не гарантируется свободное перемещение к нему по лестничной клетке.

Выдвинутая концепция назначения пожароубежища не выдерживает критики и является неработоспособной. Пожароубежища в том виде, в котором они задуманы, в случае необходимости их использования не обеспечат безопасности людей.

Взамен можно предложить систему безопасности высотных зданий, в которой:

1. Каждый этаж высотного здания разделяется на противопожарные участки противопожарными перегородками с противопожарными дверями.

2. Внутри каждого противопожарного участка размещается расчетное количество индивидуальных тросовых технических средств спасения.

3. Фасад высотного здания оборудуется приспособлениями для удобства использования технических средств спасения при пожаре.

4. Технические этажи располагаются по высоте через 10...15 этажей и оборудуются как пожаробезопасные транзитные зоны для ступенчатой эвакуации [7]:

– перекрытия технических этажей оборудуются повышенной теплозащитой, а выходы в лестничные клетки – тамбур-шлюзами с противопожарными дверями;

– по периметру технических этажей предусматриваются балконы, на которые люди могут эвакуироваться с вышележащих этажей с помощью технических средств спасения;

– на технических этажах в разных концах необходимо размещать не менее двух устройств коллективного спасения (специальные лифты или рукавные устройства), защищенных от ОФП, на случай невозможности эвакуации по лестничным клеткам;

– коллективные средства спасения должны связывать технические этажи друг с другом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холщевников В.В. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин, И.Р. Белосохов, Р.Н. Истратов и др. // Пожаровзрывобезопасность. – Том 20. – № 3. – 2011. – С. 41-51.
2. Холщевников В.В. Анализ процесса эвакуации людей из высотных зданий / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин // Жилищное строительство. – № 8. – 2008. – С. 2-4.
3. МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
4. Мешалкин Е.А. Пожарная безопасность высотных зданий: проблемы и некоторые решения / Е.А. Мешалкин, В.Г. Баралейчук // Стройпрофиль. – №5(67). – 2008. – С. 15-20.
5. Васильченко О.В. Визначення часу евакуації людей з верхніх поверхів висотних будівель за допомогою індивідуальних технічних засобів / О.В. Васильченко, М.М. Стець // Сб. науч. трудов УГЗ Украины «Проблемы пожарной безопасности». – Вып.20. – Харьков: Фолио, 2006. – С. 33-36.
6. Васильченко А.В. Расчет фактического времени спасения людей из высотного здания с помощью технических средств / А.В.Васильченко, Н.Н.Стец // Сб. науч. трудов «Проблемы пожарной безопасности». – Вып. 25. – Харьков: УГЗУ, 2009. – С. 34-37.
7. ДБН В.2.2-5-97. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони.

О.В. Васильченко, М.М. Стець

Аналіз ефективності пожежосховищ висотних будівель

В результаті аналізу часу заповнення та вмісту пожежосховищ висотних будівель визначено їх концептуальну неспроможність. Запропоновано систему ступінчатої евакуації з висотних будівель на основі використання технічних засобів рятування та пожежобезпечних зон, обладнаних в технічних поверхах.

Ключові слова: пожежобезпечна зона, пожежосховище, технічний засіб рятування, час евакуації.

A.V. Vasilchenko, N.N. Stets

The analysis of efficiency of fire refuges of high-rise buildings

As a result of the analysis of capacity and filling time of fire refuges of high-rise buildings their conceptual inconsistency is revealed. The system of step evacuation from high-rise buildings on the basis of a use of rescue devices and the fireproof zones equipped in technical floors is offered.

Keywords: fireproof zone, fire refuge, rescue devices, evacuation time.

И.А. Горпинич, нач. УПСЧ, НУГЗУ

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДИ РАЗЛИВА ГОРЮЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ АВАРИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Проведен обзор существующих моделей оценки площади разлива и толщины слоя при растекании горючей жидкости на горизонтальной поверхности

Ключевые слова: горючая жидкость, растекание, площадь разлива

Постановка проблемы. Аварии на железнодорожном транспорте, сопровождающиеся разливом и горением горючих жидкостей, являются одними из наиболее опасных. Основную сложность при их ликвидации представляет угроза распространения пожара на технологические сооружения и подвижной состав. Поэтому важной задачей является оценка предельного времени ввода сил и средств для охлаждения подвижного состава или его эвакуации. Тепловой поток от пожара будет определяться видом горючей жидкости и параметрами разлива. При этом наибольшую сложность для оценки представляет форма и размеры разлива, т.к. они зависят от рельефа, характера поверхности и вида жидкости.

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [1, 2] построена математическая модель теплового воздействия пожара разлившейся горючей жидкости на железнодорожную цистерну, в которой предполагается, что разлив имеет форму круга известной площади. При этом зависимость площади разлива, толщины слоя и времени горения от вылившегося объема жидкости не рассматриваются.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является обзор существующих моделей растекания жидкостей на горизонтальной поверхности, предназначенных для оценки площади разлива.

Для оценки площади разлива используется критериальное уравнение [3, 4]

$$R/\ell = A Ga^n No^m, \quad (1)$$

где R – радиус растекания жидкости; ℓ – определяющий размер; A , m , n – экспериментально определяемые постоянные; $Ga = \frac{g\ell^3}{\nu^2}$ –

критерий Галилея; g – ускорение свободного падения; ν – кинематическая вязкость; $Но = \frac{g\tau^2}{\ell}$ – преобразованный критерий гомохронности; τ – продолжительность истечения. На основании (1) в [3] приведены формулы для определения радиуса разлива

$$\frac{R}{\sqrt[3]{\nu}} = 0,58 \left(\frac{g\nu}{\nu^2} \right)^{0,08} \left(\frac{g\tau^2}{\sqrt[3]{\nu}} \right)^{0,06}, \quad (2)$$

$$\frac{R}{\sqrt[3]{V}} = 0,46 \left(\frac{gV}{g\nu^2} \right)^{0,08} \left(\frac{g\tau^2}{\sqrt[3]{V}} \right) \quad (3)$$

для мгновенного и непрерывного истечения соответственно, где ν – скорость истечения жидкости, м/с; V – объем вылившейся жидкости, м³. Недостатком приведенных зависимостей является их нефизичность: в формуле (2) отсутствует зависимость от объема вылившейся жидкости. Кроме того, неясно, как оценить скорость и время при мгновенном разливе ($\tau \rightarrow 0$). Из формулы (3) следует, что при одинаковом объеме вылившейся жидкости V , больший радиус разлива будет при меньшей скорости вытекания (при большем времени вытекания).

В [4] для оценки площади разлива при аварии трубопровода или разгерметизации резервуара принималось, что толщина слоя нефтепродукта на грунте составляет $h_{\min} = (0,1 \div 0,12)$ м. Там же для моделирования динамики растекания использовалась модель гравитационного растекания жидкости, не учитывающая вязкого трения

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{2g[h(t) - h_{\min}]}, \quad (4)$$

где $h(t)$ – толщина слоя нефтепродукта в момент времени t .

В [3] приведены эмпирические формулы, характеризующие разлив горючей жидкости (керосина, бензина, дизельного топлива, масла, нефти) на стандартной поверхности (поверхность стекла):

- удельная плоскость растекания f_0 – площадь разлива единицы объема жидкости на стандартной поверхности при нормальных условиях;
- средняя толщина пленки δ – осредненное значение по всей площади растекания жидкости;
- диаметр приведенного круга d – диаметр круга с площадью, равной площади растекания жидкости;
- относительное изменение поверхности s

$$s = \frac{S_p}{S_{ш}}, \quad (5)$$

где S_p – площадь разлива; $S_{ш}$ – площадь поверхности шара с объемом, равным объему разлитой жидкости;

- относительная удельная площадь растекания ε

$$\varepsilon = \frac{S_p}{S_{p\text{ ст}}}, \quad (6)$$

где $S_{p\text{ ст}}$ – площадь разлива стандартной жидкости (керосин).

Эмпирические данные [3] свидетельствуют, что толщина пленки жидкости на поверхности стекла составляет

- керосин – 0,0534 мм;
- бензин – 0,0581 мм;
- дизельное топливо – 0,285 мм;
- масло – 0,09025 мм;
- нефть – 0,3711 мм.

Влияние структуры поверхности на площадь растекания определяется коэффициентом влияния структуры $K_{вл}$

$$K_{вл} = \frac{S_p}{S_{p\text{ стекло}}}, \quad (7)$$

где $S_{p\text{ стекло}}$ – площадь разлива на стекле. В [3] приведены значения коэффициента $K_{вл}$ для грунта, бетона, плитки и асфальта. В частности, площадь разлива нефти и бензина на грунте составляют 0,6 и 0,1 соответственно от площади разлива этих жидкостей на стекле, что составляет около 6 мм. Здесь следует отметить, что, во-первых, в действительности наблюдаемая толщина слоя будет меньше за счет впитывания жидкости в грунт; во-вторых, наличие даже небольших неровностей на грунте (впадин) приведет к их заполнению и увеличению средней толщины слоя жидкости, а значит и к уменьшению площади разлива.

Выводы. Проведен обзор математических моделей растекания горючих жидкостей на горизонтальной поверхности. Показано, что для оценки площади разлива более целесообразно использовать эмпирические зависимости (5)-(7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О. Математична модель пожежі нафтопродукту на залізничному транспорті / Ю.О. Абрамов, М.Р. Байтала // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – №4. – С. 10-13.

2. Байтала М.Р. Математическая модель нагрева смоченной стенки цистерны с нефтепродуктом / М.Р. Байтала, И.Я. Криса // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 12-17.

3. Иванов Е.Н. Противопожарная защита открытых технологических установок / Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1986. – 288 с.

4. Козлитин А.М. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска. – Саратов: СГТУ, 2005. – С. 135-160.

I.A. Gorpnich

Методи оцінки площі розливу горючої рідини при аварії залізничної цистерни.

Проведено огляд існуючих моделей оцінки площі розливу і товщини шару при розтіканні горючої рідини на горизонтальній поверхні

Ключові слова: горюча рідина, розтікання, площа розливу.

I.A. Gorpnich

Methods of estimation of spill area of flammable liquids on rail accidents

A review of existing evaluation models spill area and thickness of the layer in the spreading of flammable liquid on a horizontal surface.

Keywords: flammable liquids, spill, spill area.

*И.Н. Грицына, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
С.А. Виноградов, преподаватель, НУГЗУ,
Р.В. Пономаренко, преподаватель, НУГЗУ*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ СТРУИ УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ГАЗОВЫХ ФОНТАНОВ

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Проведено имитационное моделирование изменения скорости истечения струи установки импульсного действия для тушения газовых фонтанов в зависимости от ее основных геометрических параметров и массы порохового заряда. Получена имитационная модель. Определено влияние радиуса и длины ствола, радиуса сопла и массы порохового заряда на изменение скорости истечения.

Ключевые слова: установка импульсного действия, скорость истечения, струя, имитационная модель, поверхность отклика.

Постановка проблемы. В [1] обоснована возможность применения установок импульсного действия (УИД) для тушения газовых фонтанов. Это позволит увеличить скорость истечения импульсной струи жидкости до $(1000 \div 1500)$ м/с, что приведет к повышению дальности эффективного тушения.

На скорость истечения высокоскоростной струи УИД оказывают влияние такие параметры, как радиус и длина ствола, радиус сопла и масса порохового заряда. Поэтому знание закономерностей изменения скорости истечения струи УИД от соотношения геометрических размеров ее элементов является основой создания оптимальной УИД для тушения газовых фонтанов.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [2] проведена оценка влияния массы порохового заряда и радиуса сопла УИД на изменение скорости истечения высокоскоростной струи. Однако авторами не определено влияние параметров ствола на скорость истечения высокоскоростной струи УИД и суммарный вес того либо иного параметра на искомый параметр.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определения влияния геометрических параметров УИД и массы порохового заряда на скорость истечения высокоскоростной струи для получения максимально возможной скорости на выходе из устройства.

Анализ изменения скорости истечения струи УИД [2] показал, что выстрел УИД скоротечен. Скорость струи изменяется с большой интенсивностью. Поэтому в качестве функции отклика при проведении вычислительного эксперимента выбираем максимальную ско-

рость истечения струи u_{\max} . Анализ переменных в математических моделях внутренней баллистики [2] показал, что выражение функции отклика влияние параметров УИД на скорость истечения струи можно представить в виде

$$u_{\max} = f(m_{p0}, L_c, r_c, r_s), \quad (1)$$

где m_{p0} - масса порохового заряда; L_c - длина ствола УИД (определяет массу заряда огнетушащей жидкости); r_c - радиус ствола УИД; r_s - радиус сопла УИД.

Пусть модель (1) имеет вид [3]

$$\begin{aligned} u_{\max} = & m_0 + m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4 + \\ & + m_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + m_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + m_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + \\ & + m_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + m_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + m_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + \\ & + m'_1 \cdot x_1^2 + m'_2 \cdot x_2^2 + m'_3 \cdot x_3^2 + m'_4 \cdot x_4^2, \end{aligned} \quad (2)$$

где $m_0, m_i, m_{ij}, m'_i, m'_j, m'_c, m'_s$ - коэффициенты регрессии, которые будут получены в результате численного эксперимента; $x_i, i = \overline{1,4}$ - переменные, связанные с геометрическими переменными m_{p0}, L_c, r_c, r_s следующим образом

$$x_1 = \frac{m_{p0} - m_{p0(0)}}{\Delta m_{p0}}; \quad x_2 = \frac{L_c - L_{c(0)}}{\Delta L_c}; \quad x_3 = \frac{r_c - r_{c(0)}}{\Delta r_c}; \quad x_4 = \frac{r_s - r_{s(0)}}{\Delta r_s}, \quad (3)$$

где $m_{p0(0)}, L_{c(0)}, r_{c(0)}, r_{s(0)}$ - значения факторов на нулевом уровне, представленные в табл. 1; $\Delta m_{p0}, \Delta L_c, \Delta r_c, \Delta r_s$ - интервалы варьирования факторов, указанные в той же таблице.

Таблица 1 - Уровни варьирования факторов

Факторы		Кодовое обозначение	Нулевой уровень $x_i = 0$	Интервал варьирования	Уровень $x_i = 1$	Уровень $x_i = -1$
Масса порохового заряда	$m_{p0}, \text{ г}$	x_1	20	10	30	10
Длина ствола УИД	$L_c, \text{ мм}$	x_2	380	70	450	310
Радиус ствола УИД	$r_c, \text{ мм}$	x_3	16	4	20	12
Радиус сопла УИД	$r_s, \text{ мм}$	x_4	7,5	2,5	10	5

План-матрица эксперимента представлена в табл. 2. Приведенный план позволяет проводить независимую оценку коэффициентов уравнения регрессии. Расчеты проводились с помощью компьютерной программы WaterCannonSimulator [2].

Таблица 2 - Центральный композиционный план полного факторного эксперимента типа 2^4 и результаты опытов

№ п/п	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_1 x_4$	$x_2 x_3$	$x_2 x_4$	$x_3 x_4$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	x_4^2	$u_{max},$ М/с
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	345
2	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	832
3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	337
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	933
5	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	463
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1038
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	484
8	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1103
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	344
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	292
11	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	140
12	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	321
13	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	148
14	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	372
15	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	154
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	395

Обработка экспериментальных данных производилась в пакете программ STATISTICA 6.

В результате расчетов получены следующие значения коэффициентов регрессии

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 366,5; m_1 = 357,7; m_2 = 8,6; \\
 m_3 &= 78,7; m_4 = -396,3; m_{12} = 50,4; \\
 m_{13} &= 55,9; m_{14} = -210,4; m_{23} = 24,6; \\
 m_{24} &= -40,6; m_{34} = -83,6; m'_1 = 85,9; \\
 m'_2 &= 87,9; m'_3 = 70,9; m'_4 = -18.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии выполнялась с помощью критерия Стьюдента [3], которая показала, что не значимыми являются следующие коэффициенты регрессии: m_2 , m_{12} , m_{23} , m_{24} , m'_4 . Тогда модель (1) в кодированных переменных целесообразно представить в виде

$$u_{\max} = 366,5 + 357,7x_1 + 78,7x_3 - 396,3x_4 + 55,9x_1x_3 - 210,4x_1x_4 - 83,6x_3x_4 + 85,9x_1^2 + 87,9x_2^2 + 70,9x_3^2. \quad (5)$$

Адекватность модели (5) проверялась с помощью критерия Фишера [3]. Проверка показала, что модель (5) является адекватной в соответствии с критерием Фишера.

В соответствии с выражением (5) получены уравнения регрессии в натуральных переменных и построены зависимости максимальной скорости истечения струи УИД для диапазона параметров, приведенных в табл. 1 (рис. 1-4).

Анализ поверхности отклика зависимости максимальной скорости истечения струи УИД от длины ствола и массы порохового заряда на рис. 1 показал, что длина ствола практически не влияет на скорость истечения. Влияние массы порохового заряда носит линейный характер. При увеличении массы порохового заряда в 3 раза (с 10 до 30 г) скорость истечения увеличивается в 2 раза.

Полученная поверхность отклика зависимости максимальной скорости истечения струи УИД от радиуса ствола и массы порохового заряда показывает (рис. 2), что при увеличении массы порохового заряда и радиуса ствола максимальная скорость истечения тоже увеличивается. При этом при небольших зарядах пороха (10÷15 г) увеличение радиуса ствола практически не приводит к увеличению скорости истечения, в то время как для зарядов пороха (20÷30 г) увеличение радиуса ствола в 2,5 раза приводит к возрастанию максимальной скорости истечения более, чем в 2 раза

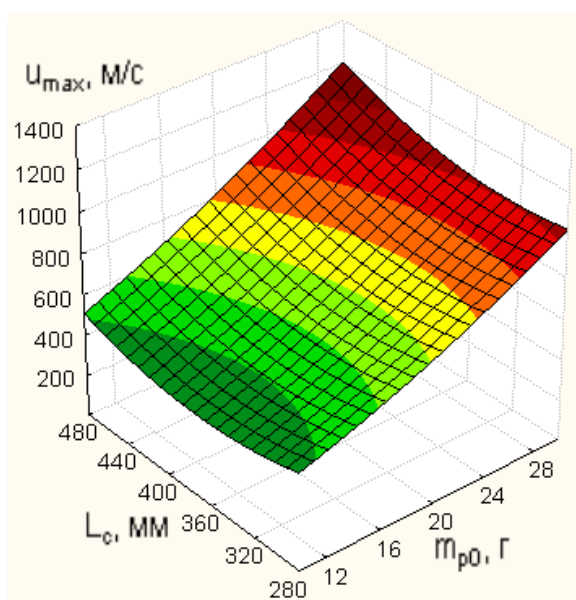


Рис. 1 – Поверхность отклика зависимости максимальной скорости истечения струи (u_{\max}) от длины ствола (L_c) и массы порохового заряда (m_{po}) при радиусе ствола $r_c=20$ мм и радиусе сопла $r_s=5$ мм.

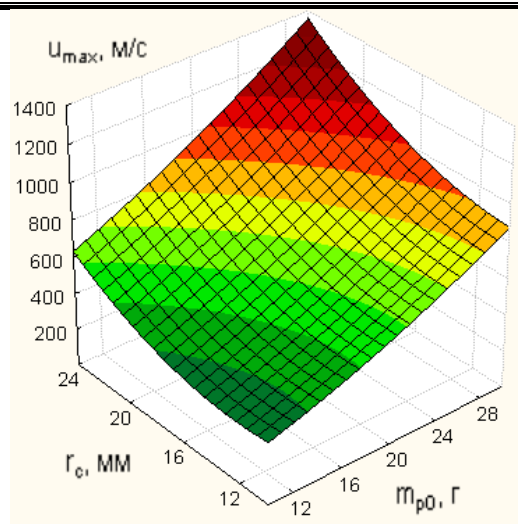


Рис. 2 – Поверхность отклика зависимости максимальной скорости истечения струи (u_{max}) от радиуса ствола (r_c) и массы порохового заряда (m_{p0}) при длине ствола $L_c=450$ мм и радиусе сопла $r_s=5$ мм.

На рис. 3 представлена поверхность отклика изменения максимальной скорости истечения струи от радиуса сопла и массы порохового заряда. Отметим, что скорость увеличивается при увеличении массы порохового заряда и уменьшении радиуса сопла. При этом увеличение массы пороха в 3 раза в случае малой конусности ($\frac{r_c}{r_s}=1,2\div 1,5$) приводит к незначительному (10÷15 %) повышению скорости. При $\frac{r_c}{r_s} \geq 2,5$ наблюдается существенное (100÷200 %) изменение максимальной скорости истечения при увеличении массы порохового заряда в 3 раза.

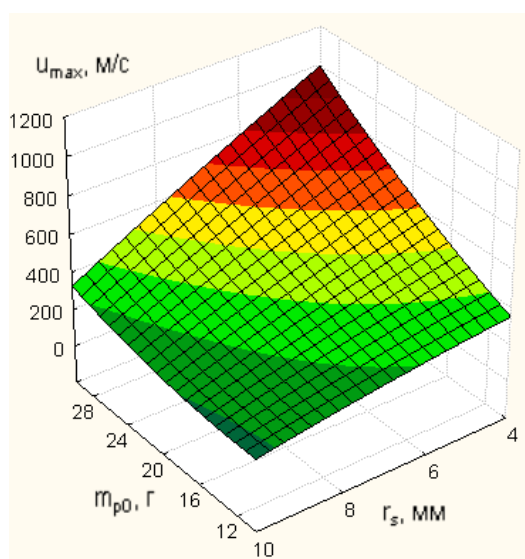


Рис. 3 – Поверхность отклика зависимости максимальной скорости истечения струи (u_{max}) от радиуса сопла (r_s) и массы порохового заряда (m_{p0}) при длине ствола $L_c=450$ мм и радиусе ствола $r_c=12$ мм.

В ходе анализа установлено, что на максимальную скорость истечения струи УИД оказывают малое влияние длина и радиуса ствола (рис. 4). Действительно, при увеличении радиуса ствола в 2 раза максимальная скорость истечения увеличивается не более, чем на 20%. Увеличение длины ствола на 200 мм приводит к увеличению скорости истечения на 10÷15 %.

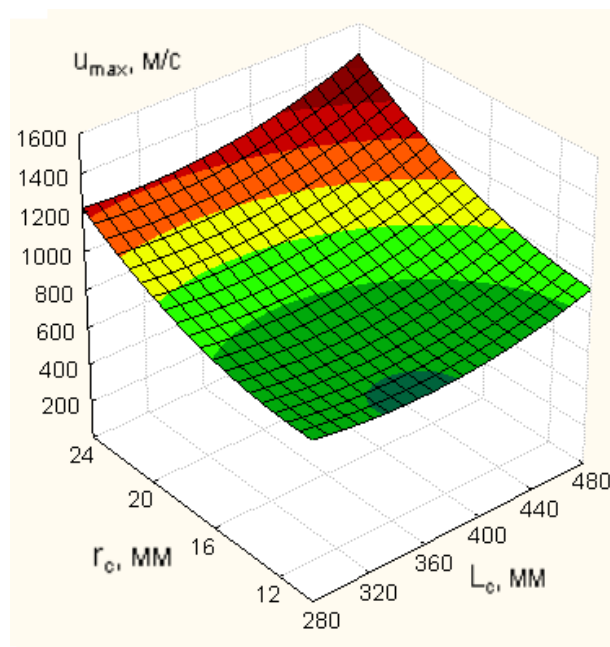


Рис. 4 – Поверхность отклика зависимости максимальной скорости истечения струи (u_{\max}) от радиуса ствола (r_c) и длины ствола (L_c) при массе порохового заряда $m_{p0}=30$ г и радиусе сопла $r_s=5$ мм

Выводы. Таким образом, в работе получена имитационная модель влияния радиуса и длины ствола, радиуса сопла и массы порохового заряда на максимальную скорость истечения струи УИД для тушения газовых фонтанов. Определено, что для получения максимально возможной скорости истечения струи масса порохового заряда должна быть максимальной, а радиус сопла – минимальным. Длина ствола не оказывает существенного влияния на максимальную скорость истечения струи. Влияние радиуса ствола оказывается существенным при соотношении радиальных размеров ствола и сопла $\frac{r_c}{r_s} \geq 2,5$.

ЛИТЕРАТУРА

1. О возможности тушения пожаров газовых фонтанов с помощью высокоскоростных струй жидкости / [Виноградов С.А., Грицына И.Н., Сенчихин Ю.Н., Касьян А.И.] // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – Львов: ЛГУБЖД, 2010. - №17. – С.77-82.

Имитационное моделирование изменения максимальной скорости истечения струи установки 53 импульсного действия для тушения газовых фонтанов

2. Виноградов С.А. Исследование зависимости скорости истечения высокоскоростной струи от параметров импульсного водомета / С.А. Виноградов, И.Н. Грицына, Д.Л. Соколов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – Вып. 28. – С. 12-18.

3. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье – К.: Техника, 1975. – 168 с.

І.М. Грицина, С.А. Виноградов, Р.В. Пономаренко

Імітаційне моделювання зміни максимальної швидкості витікання струменя установки імпульсної дії для гасіння газових фонтанів

Проведено імітаційне моделювання зміни швидкості витікання струменя установки імпульсної дії для гасіння газових фонтанів в залежності від її основних геометричних параметрів і маси порохового заряду. Отримано імітаційну модель. Визначено вплив радіуса і довжини ствола, радіуса сопла і маси порохового заряду на зміну швидкості витікання.

Ключові слова: установка імпульсної дії, швидкість витікання, струмінь, імітаційна модель, поверхня відгуку.

I.N. Hritsyna, S.A. Vinogradov, R.V Ponomarenko

Simulation changes the maximum speed outflow of jet settings of pulse action to extinguish the gas flowing

A simulation speed change outflow of jets pulse action for installation of gas fire fountains according to its basic geometric parameters and mass of powder charge. Try simulation model. The influence of the radius and length of the barrel, nozzle radius and mass of powder charge to change the speed of discharge.

Key words: device of impulse action, rate of discharge, jet, simulation model, the surface response.

*Л.В. Гусева, преподаватель, НУГЗУ,
Е.А. Панина, преподаватель, НУГЗУ*

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОНТУРА ПОЖАРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПАКЕТА ОБУЧАЮЩИХ ПРОГРАММ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.Н.)

Работа посвящена исследованию построения теоретической модели, позволяющей рассчитать контур пожара в различные моменты времени и моделирование зависимости скорости от основных факторов развития пожара.

Ключевые слова: контур пожара, математическая модель, радикальная скорость.

Постановка проблемы. Основными факторами, знание которых определяет тактику тушения пожаров и выбор руководителем тушения пожара способов и средств борьбы с ним, являются контур лесного пожара и его параметры, а также направление его наиболее опасного распространения.

Анализ последних достижений и публикаций. Отталкиваясь от известных усреднённых эмпирических или теоретических значений небольшого числа основных параметров лесных пожаров можно изучать относительно простые модели, которые описывают распространение кромки пожара. Большого успеха можно достигнуть в феноменологических (аналитико – геометрических, геометрических, полуэмпирических) подходах [1-4, 7]. Однако, несмотря на многочисленные и зачастую плодотворные усилия [1-4] в настоящее время не существует достаточно простой, надёжной и практически применимой математической модели развития лесного пожара. Трудности создания такой модели неоднократно обсуждались в литературе [4, 6].

Постановка задачи и ее решение. Проблеме лесных пожаров и пожарной безопасности лесов посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. Существующие теоретические модели для определения факторов распространения пожаров можно весьма условно разделить на два класса: микроскопические и феноменологические модели. В микроскопических моделях [5, 6] попытка учесть большое количество разнородных параметров, влияющих на динамику контура пожара, приводит к необходимости решать труднообозримые дифференциальные уравнения, решение которых еще более затруднено зачастую неопределенными начальными и граничными условиями. Исследование построения теоретической модели, которая позволяет рассчитать контур пожара в различные моменты времени и осуществить моделирование зависимости скорости от основных факторов развития пожара, на наш взгляд, в смысле практического использования, должно удовлетворять рассматриваемым ниже требованиям и решать такую задачу.

Пусть имеем топографическую карту, которая отражает рельеф возможного пожара в данном лесном массиве. По этой карте необходимо найти функцию $F_1(x, y)$, которая описывает данный рельеф, где x, y - координаты плоскости. Пусть далее нам указано (хотя бы приблизительно) распределение горючего материала и его влажность. Эти величины определяют ещё две функции $F_2(x, y)$ и $F_3(x, y)$. Задание места и формы очага пожара описывается функцией $F_4(x, y)$, которая определяет начальное условие. Кроме того, необходимой является информация о направлении и скорости ветра. Именно по этим основным исходным данным [1-5] необходимо с определённой точностью рассчитать наиболее вероятный контур пожара, его периметр и площадь, а также направление его наиболее опасного распространения в любой наперёд заданный момент времени. Такая модель обязана быть достаточно простой для проведения указанных расчётов за реальное время в полевых условиях. Важным фактором должна быть также гибкость модели, которая позволяла бы учитывать оперативную информацию о контуре пожара на текущий момент времени и заменять в расчётах функцию $F_4(x, y)$ некоторой новой функцией.

Прежде всего, отметим, что такой феноменологический подход предполагает решение двух взаимосвязанных задач. Одна из них состоит в построении теоретической модели, позволяющей рассчитать контур пожара в различные моменты времени. Решение этой задачи предполагает использование определённой каким-либо способом скорости движения кромки пожара в каждой заданной точке местности. Поэтому, второй задачей является моделирование зависимости этой скорости от указанных выше основных факторов развития пожара.

Исходя из предположений, что контур пожара является непрерывным, что пожар развивается в однородной среде и, что контур пожара можно рассматривать как изотермическую кривую на плоскости, нами получено следующее уравнение:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \vec{V} \nabla f = 0, \quad (1)$$

где $\vec{V} = d\vec{r} / dt$ – скорость движения контура пожара, а функция $f = f(\vec{r}, t)$ описывает контур пожара в точке \vec{r} в момент времени t . Отметим, что в [4, 5] с привлечением дополнительных гипотез (типа гипотезы Гюйгенса в оптике) получают уравнение (2) в различных формах и делают попытки его решения.

Уравнению (1) можно придать удобный для решения вид. Для этого достаточно в выражении для контура $f(x, y, t) = const$ и в уравнении (1) перейти от декартовых координат x, y к полярным ρ, φ . Тогда для контура получим выражение $\Phi(\rho, \varphi, t) = const$. Решая последнее уравнение относительно ρ , получим $\rho = \rho(\varphi, t)$. Выполняя соответствующие преобразования уравнения (1), вводя понятия радиальной скорости $V_r(\varphi)$ и учитывая связь скоростей V_x, V_y и $V_r(\varphi)$ и

$V_r(\varphi)$, можно получить решение уравнения (1) в виде:

$$\rho(\varphi, t) = \rho_0(\varphi) + \int_{t_0}^t V_r(\varphi, t) dt, \quad (2)$$

где функция $\rho_0(\varphi)$ описывает контур очага пожара в начальный момент времени t_0 (указанная выше функция $F_4(x, y)$). Кроме того, в (2) учтено, что скорость V_r может зависеть от времени t .

Таким образом, для описания геометрии пожара $\rho(\varphi, t)$ достаточно знать контур $\rho_0(\varphi)$ и иметь зависимость $V_r(\varphi, t)$ от полярного угла φ и времени t . Для получения зависимости $V_r(\varphi, t)$ от φ опустим временно зависимость от t и воспользуемся выражениями для скоростей распространения фронтальной $V_{\text{фр}}$, фланговой $V_{\text{фл}}$ и тыловой $V_{\text{мл}}$ кромок пожара относительно направления скорости ветра \vec{V}_e , полученными в [1]. Эти простые выражения зависят от V_e и параметров, связанных с удельной теплоёмкостью горючих материалов, их составом и влажностью.

Исходя из величин $V_{\text{фр}}$, $V_{\text{фл}}$ и $V_{\text{мл}}$, воспользуемся простой геометрической моделью и сделаем естественное [2-5] предположение, что зависимость V_r от φ можно описать эллипсом, который вытянут вдоль направления ветра. Тогда получаем [8]

$$V_r(\varphi) = (V_0 + kV_e) \frac{2\alpha \cos \varphi + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 \varphi + (1 - \alpha^2) \sin^2 \varphi}}{\cos^2 \varphi + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 \varphi}, \quad (3)$$

где φ - полярный угол, отсчитываемый от направления ветра, $\alpha = V_e / \sqrt{V_e^2 + C^2}$, V_0 , k и C - параметры теории, определяемые из эксперимента [1-3]. Отметим, что начало координат в (3) выбрано таким образом, что $V_r(0) = V_{\text{фр}}$, $V_r(\pi) = V_{\text{мл}}$, а малая полуось эллипса (3) равна $V_{\text{фл}}$.

Формулы (2) и (3), в принципе, и решают поставленную задачу в первом приближении.

Дальнейшие направления развития предлагаемой модели видятся нам, прежде всего в следующем. В формулы работы [1] для $V_{\text{фр}}$, $V_{\text{фл}}$ и $V_{\text{мл}}$ и в (3) необходимо ввести явные и в принципе известные зависимости от влажности W (функцию $F_3(x, y)$) и угла θ наклона местности. Далее, для описания особенностей рельефа (холмы, впадины, склоны, подьёмы, лоцины, гряды, водные и другие преграды и т.д.) ввести подходящим образом функции $F_i(x, y)$, чтобы найти $F_i(x, y) = \sum F_i(x, y)$. Знание $F_i(x, y)$ позволит по известному градиенту

$\nabla F_i(x, y)$ – вычислить значение угла θ в каждой точке контура.

Выводы. Продуктом окончательной реализации рассмотренной модели может быть пакет программ, предназначенный для практического использования и обучения сотрудников пожарной охраны лесов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Телицин Г.П. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды. // Сб. трудов Даль НИИЛХ, 1965. – Вып. 7. – С.391-405.
2. Коровин Г.Н. Методика расчёта некоторых параметров низовых лесных пожаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1969.- С.244-265.
3. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Лесн. пром-сть, 1974. – С. 119.
4. Доррер Т.Д. Математические модели динамики лесных пожаров. –М.: Лесн. пром-сть, 1979. – С. 160.
5. Конев Э.В. Анализ процессов распространения лесных пожаров и палов. //Сб. научн. тр. “Теплофизика пожаров”. – Новосибирск: Наука, 1984. – С.99-125.
6. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. – Новосибирск: Наука, 1992.– С.408.
7. Куценко Л.М., Шоман О.В., Васильев С.В. Передбачення кромки вигоряння при лісовій пожежі методом іміджевої екстраполяції.// Сб. научн. тр. “Проблемы пожарной безопасности”.- Харьков: АПБУ, 2001. – вып. 10, - С. 98-102.
8. Басманов А.Е., Созник А.П., Тарасенко А.А. Экспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Сб. научн. тр. “Проблемы пожарной безопасности”. – Харьков: АПБУ, 2002.- Вып. 11. – С.17-25.
9. Никонов, А.Ю. Система для обучения персонала тактике борьбы с лесными пожарами / А.Ю. Никонов, Д.Н. Сучков, Г.А. Доррер // Сложные системы в экстремальных условиях: Тезисы докладов XIII Международного симпозиума. – Красноярск, 2006.- С. 53-54.

Л.В. Гусева, О.О. Панина

До питання про теоретичну модель расчета контура пожежі

Робота присвячена дослідженню побудови теоретичної моделі, що дозволяє розрахувати контур пожежі в різні моменти часу і моделювання залежності швидкості від основних чинників розвитку пожежі.

Ключові слова: контур пожежі, математична модель, радикальна швидкість.

I.V. Guseva, E.A. Panina

To question about the theoretical model of rasscheta of scopes fire

Work is devoted research of construction of theoretical model, allowing to expect the contour of fire in different moments of time and design of dependence of speed from the basic factors of development of fire.

Keywords: contour of fire, mathematical model, radical speed.

О.О. Калашніков, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ НАГЛЯДОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В СФЕРІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

(представлено д-ром техн. наук Соболев О.М.)

Розглянута ефективність діяльності органів наглядової діяльності в сфері пожежної безпеки. Проведено порівняння отриманих результатів з існуючими світовими показниками.

Ключові слова: аналіз ефективності, здійснення наглядової діяльності у сфері пожежної безпеки, ймовірність виникнення пожежі.

Постановка проблеми. В нашій країні діють ті ж самі об'єктивні закони існування суспільства, розвитку промисловості, виникнення небезпек їх переродження та трансформації, як і для більшості країн світу, що обумовлює можливість оцінки ефективності системи забезпечення пожежної безпеки нашої країни в порівнянні з іншими країнами світу. Відповідно існує об'єктивна необхідність у порівняльній оцінці показників пожежної безпеки в країнах світу з метою обґрунтування регулювання в національній системі забезпечення пожежної безпеки країни. Тому в статті було зроблено спробу оцінити вплив роботи органів Державної інспекції техногенної безпеки (на прикладі Харківського районного управління Головного управління Держтехногенбезпеки України в Харківській області) на кількість пожеж і збитків від них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Світова пожежна статистика в останні два десятиліття істотно просунулася вперед [1, 2], в основному завдяки діяльності Міжнародної Асоціації пожежно-рятувальних Служб (СТІФ). В даний час актуальним є застосування методів статистичного аналізу для дослідження багатомірних статистичних розподілів показників пожежної небезпеки.

Існуюча нормативна база здійснення нагляду у сфері пожежної безпеки [3] не відповідає сучасним умовам, так як вже відбулися зміни у законодавстві так в нормативних актах. Порядок і нормування роботи органів Державної інспекції техногенної безпеки відбуваються по застарілим документам [4].

Постановка завдання та його вирішення. Необхідно провести аналіз ефективності здійснення наглядової діяльності у сфері пожежної безпеки, розглянути рівень завантаженості працівників державної інспекції техногенної безпеки, та ефективність їх роботи. На основі отриманих результатів, при необхідності, запропонувати шля-

хи вирішення даної проблеми. Враховуючи світовий досвід та досвід нашої країни щодо здійснення наглядової діяльності органів Державної інспекції техногенної безпеки, в якості критеріїв доцільно обирати: вірогідність виникнення аварій, загорянь на потенційно небезпечних об'єктах або ризик виникнення такої події.

Основним критерієм оцінки ефективності наглядової діяльності приймемо відношення величини збитків до витрат на здійснення наглядової діяльності. За стабільних умов здійснення наглядової діяльності виникнення пожеж є випадковою подією, яка може відбутися або не відбутися, що обумовлюється стохастичною природою виникнення пожеж, та залежить від багатьох випадкових чинників (погодні умови, старіння ізоляційних матеріалів і т. п.). Тому при достатньо великій кількості спостережень вірогідність виникнення пожеж може бути визначена як відношення числа об'єктів, n_p на яких виникли пожежі, до загальної кількості об'єктів n

$$\psi = \frac{n_p}{n} \quad (1)$$

За наявності на практиці обмеженого числа об'єктів по формулі (2) може бути оцінене лише наближене значення вірогідності виникнення пожеж h , що отримало назву частоти. При розгляді частоти виникнення пожеж на об'єктах що належать одній території в різні однакові інтервали часу виходитимуть різні значення частоти h , яка, таким чином, є випадковою величиною [4].

Вірогідність виникнення пожеж є генеральною середньою (математичним очікуванням) частоти виникнення пожеж і знаходиться у функціональній залежності від інтенсивності проведення профілактичної роботи і інших чинників. Це означає, що кожному поєднанню всіх характерних умов відповідає цілком певне значення ймовірності виникнення пожеж.

Точність визначення ймовірності виникнення пожежі залежить від числа об'єктів n і від вимірюваного значення ймовірності. Середньоквадратичне відхилення визначеного значення h (частоти) від дійсного значення Ψ (ймовірність) визначається таким чином [4].

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\psi(1-\psi)}{n}} \quad (2)$$

Згідно формули (2), при збільшенні кількості об'єктів σ_h зменшується, що свідчить про зменшення можливої похибки визначення ψ . Величина h використовується для оцінки довірчих інтервалів ймо-

вірності ψ за статистичними даними. З надійністю 0,9 ймовірність ψ може знаходитися в наступних межах зміни частоти h :

$$h - 1.643\sigma_h \leq \psi \leq h + 1.643\sigma_h \quad (3)$$

Це означає, що ймовірність виходу ймовірності ψ за вказані межі складає не більше 0,1.

Слід відмітити, що формула (3) припускає відомим значення ймовірності ψ і тому оцінка довірчих інтервалів при визначенні σ_h по зміряних значеннях h не точна. Точніше довірчі межі ψ при надійності 0,9 можуть бути отримані за наступною формулою (4).

$$I_b = \frac{h + (0.5 \cdot 1.643^2) / n \pm 1.643 \sqrt{h(1-h) / n + 0.25 \cdot (1.643^2) / n^2}}{1 + (1.643^2) / n} \quad (4)$$

Згідно (3), величина $\varepsilon_\psi = 1,643\sigma_h$ є оцінкою похибки визначення ψ . Цікаво відзначити, що при заданому числі об'єктів n абсолютна похибка визначення ψ зменшується при зменшенні ψ .

Загальна кількість об'єктів в Харківському районі складає 87234. В табл. 1 наведено статистичні данні щодо виниклих пожеж в Харківському районі за останні 7 років та значення статистичних показників обрахованих з урахуванням (1)-(4).

Таблиця 1 – Розподіл пожеж та статистичних показників щодо виникнення пожеж на території Харківського району за 2004-007 рік

Найменування показника	Роки			
	2004	2005	2006	2007
Кількість пожеж	248	269	254	257
h	0,001889754	0,00205	0,001935	0,001958
σ_h	0,000119886	0,000125	0,000121	0,000122
$h+I_b$	0,002086727	0,002255	0,002135	0,002159
$h-I_b$	0,001692781	0,001845	0,001736	0,001758

Розраховані ймовірнісні характеристики представлено на рис.1. Середнє значення ймовірності виникнення пожеж на об'єктах Харківського району за сім років складає 0,002958.

Для оцінки ефективності здійснення наглядової діяльності розглянемо статистичні данні щодо виникнення пожеж на об'єктах нагляду органів державного нагляду у сфері пожежної безпеки Харківського районного управління ГУ МНС України в Харківській області (табл. 2).

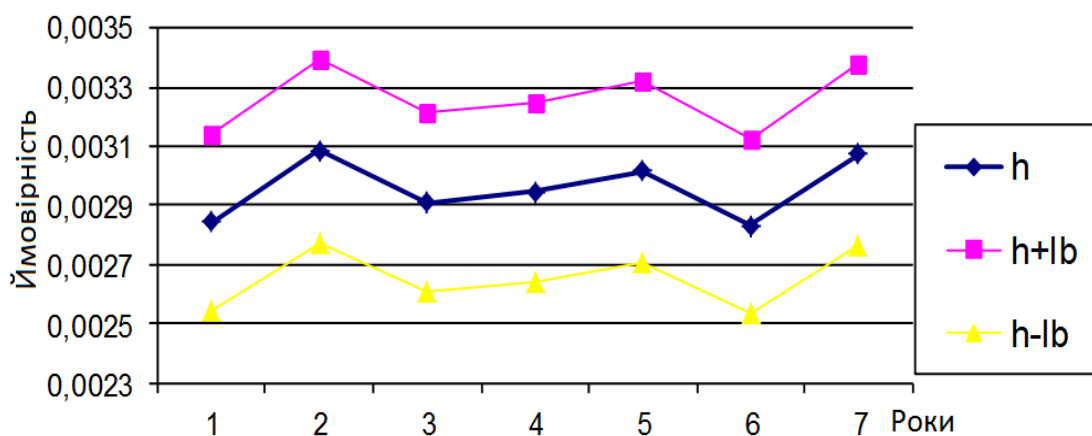


Рис.1 – Графічна залежність зміни ймовірності виникнення пожеж на об'єктах Харківського району

Таблиця 2 – Розподіл пожеж та статистичних показників щодо виникнення пожеж на території Харківського району за 2008-2010 рік

Найменування показника	Роки	Найменування показника	Роки
	2008		2008
Кількість пожеж	263	Кількість пожеж	263
h	0,002004	0,001882	0,002042
σ_h	0,000123	0,00012	0,000125
h+lb	0,002207	0,002079	0,002247
h-lb	0,001801	0,001686	0,001837

Загальна кількість об'єктів високого ступеня ризику Харківського району складає 424, середнього ступеня ризику 1212, низького ступеня ризику 234, об'єктів житлового сектору 85364. На рис.2 представлено розраховані значення частоти виникнення пожеж за місцем виникнення (об'єкти високого, середнього, незначного ступеню ризику та житловий сектор).

Таблиця 3 – Розподіл пожеж за місцем виникнення

Роки	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Високим ступенем прийнятності ризику	1	1	1	2	1	0
Середнім ступенем прийнятності ризику	3	2	3	4	2	3
Незначним ступенем прийнятності ризику	1	0	0	1	0	1
Житловий сектор	264	250	253	266	244	264

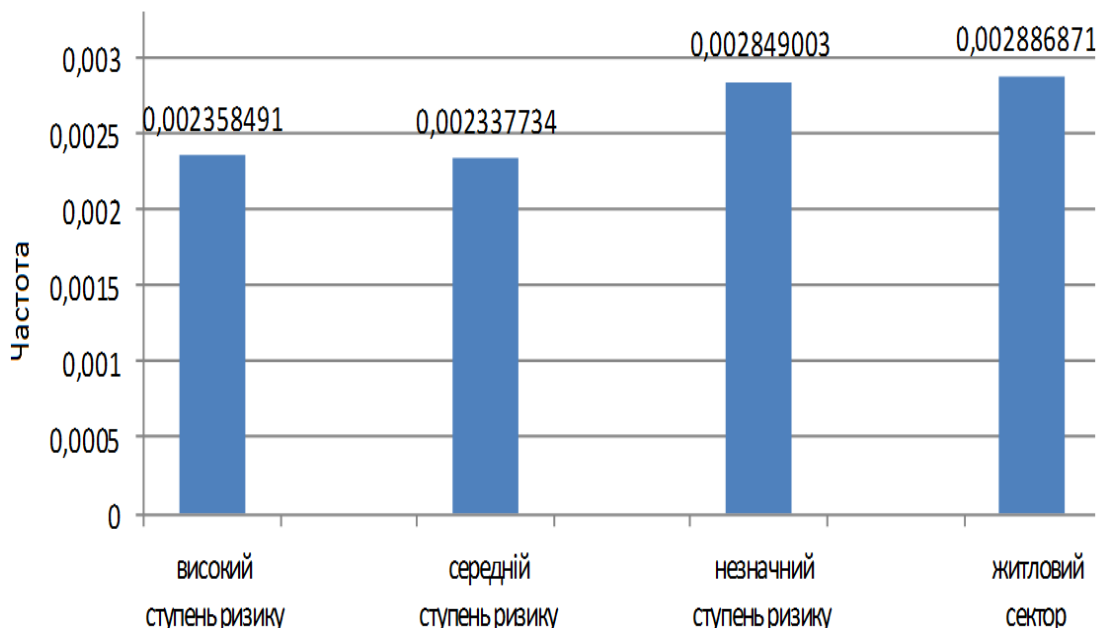


Рис.2 – Значення частоти виникнення пожеж за місцем виникнення

Для оцінки ефективності здійснення наглядової діяльності необхідно оцінити ймовірності виникнення пожеж на об'єктах з різним ступенем ризику якщо б на цих об'єктах наглядова діяльність не проводилась. Зробимо таку оцінку використовуючи статистичні данні щодо об'ємів перевірок об'єктів нагляду. В табл. 4 представлено данні щодо здійснення нагляду за об'єктами з різним ступенем ризику.

Таблиця 4 – Виконання плану перевірок об'єктів з різним ступенем ризику

Роки	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Напрямок						
Виконання плану перевірок об'єктів з високим ступенем прийнятного ризику у відносних одиницях	0,84	0,8	0,84	0,72	0,81	0,88
Виконання плану перевірок об'єктів з середнім ступенем прийнятного ризику у відносних одиницях	0,77	0,83	0,72	0,69	0,75	0,73
Виконання плану перевірок об'єктів з незначним ступенем прийнятного ризику у відносних одиницях	0,35	0,27	0,39	0,28	0,37	0,25

Проведемо кореляційно - регресійний аналіз випадкових величин частоти виникнення пожеж та рівнем виконання плану перевірок. Коефіцієнт кореляції обчислимо за наступними рівняннями:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (5)$$

$$s_x^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2, \quad s_y^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \bar{y}^2, \quad (6)$$

$$s_{xy} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i \right) - \bar{x} \bar{y}, \quad (7)$$

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \quad (8)$$

де x_i – значення, які приймає випадкова величина частота виникнення пожеж; y_i – значення, які приймає випадкова величина виконання плану перевірок об'єктів.

В результаті розрахунків за (5)-(8) отримано наступні значення коефіцієнтів кореляції:

- для об'єктів високого ступеня ризику $r = -0,931$
- для об'єктів середнього ступеня ризику $r = -0,778$
- для об'єктів середнього ступеня ризику $r = -0,812$

Враховуючи що коефіцієнти кореляції мають значення від 0,7 до 0,93 можна вважати що для всіх груп об'єктів існує лінійний зв'язок між випадковими величинами. Визначимо функціонально цей зв'язок, використовуючи метод найменших квадратів. Розрахункове співвідношення визначення параметрів функції для випадку, розглядається отримаємо з рішення системи нормальних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + \hat{a} \cdot \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \hat{a} \cdot n &= \sum_{i=1}^n y_i \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Ця система має єдине рішення:

$$\hat{a} = \frac{s_{xy}}{s_x^2}, \quad b = \bar{y} - a\bar{x}. \quad (10)$$

Розрахунки за наведеними співвідношеннями дали змогу отримати регресійні рівняння зв'язку між випадковими величинами.

На рис.3 представлено результати проведеного регресійного аналізу для об'єктів з високим ступенем ризику

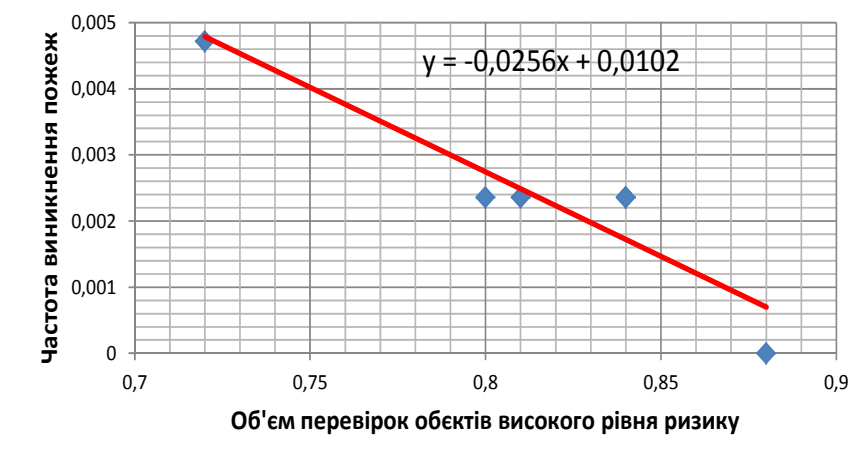


Рис.3 – Графічна залежність частоти виникнення пожеж від об'єму перевірок наглядовим органом

На рис. 4 представлено результати проведеного регресійного аналізу для об'єктів з середнім ступенем ризику.

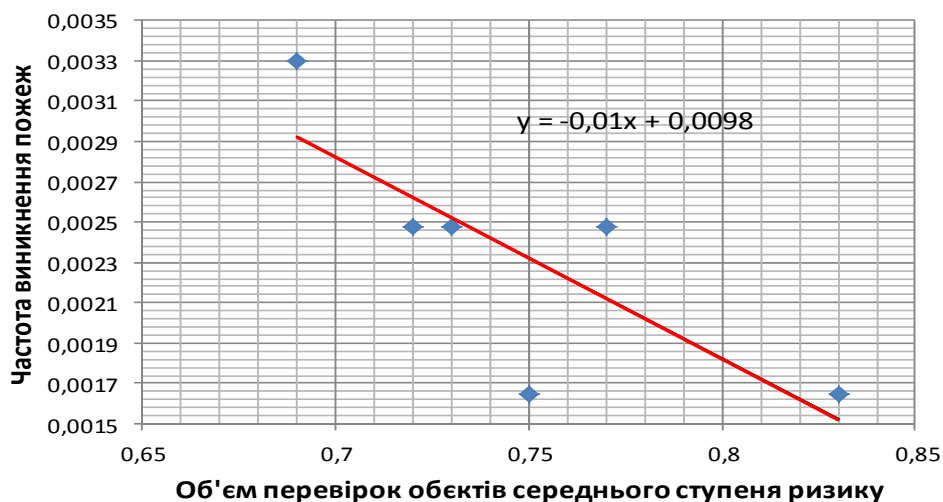
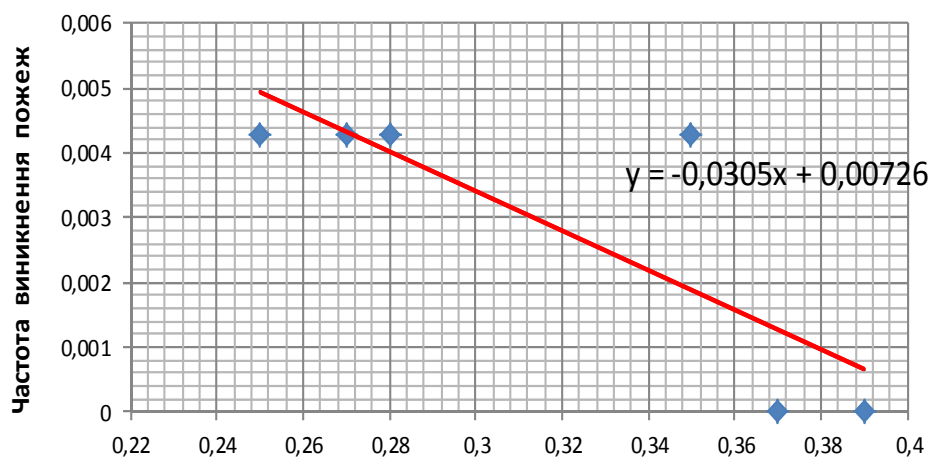


Рис. 4 – Графічна залежність частоти виникнення пожеж на об'єктах з середнім ступенем ризику від об'єму перевірок наглядовим органом.

На рис. 5 представлено результати проведеного регресійного аналізу для об'єктів з незначним ступенем ризику.

Враховуючи результати проведеного регресійного аналізу можемо провести оцінку частоти виникнення пожеж на об'єктах з різним ступенем ризику. Використовуючи отримані рівняння регресії приймаючи, що об'єм перевірок наглядовим органом об'єктів нагляду дорівнює нулю отримаємо:

- для групи об'єктів з високим ступенем ризику $h = 0,0102$;
- для групи об'єктів з середнім ступенем ризику $h = 0,0098$;
- для групи об'єктів з незначним ступенем ризику $h = 0,00726$.



Об'єм перевірок об'єктів з незначним ступенем ризику

Рис. 5 – Графічна залежність частоти виникнення пожеж на об'єктах з незначним ступенем ризику від об'єму перевірок наглядовим органом

Проведемо оцінку ефективності здійснення наглядової діяльності, для чого визначимо збитки які можна очікувати за відсутності нагляду за об'єктами. Визначення збитків здійснимо за наступним розрахунковим рівнянням:

$$\tilde{N} = h_1 \cdot n_1 \cdot C_1 + h_2 \cdot n_2 \cdot C_2 + h_3 \cdot n_3 \cdot C_3, \quad (11)$$

де h_1, h_2, h_3 - частоти виникнення пожеж на об'єктах з високим, середнім та незначним ступенями ризику відповідно;

C_1, C_2, C_3 - середній показник збитків від пожеж на об'єктах з високим, середнім та незначним ступенями ризику відповідно;

n_1, n_2, n_3 - кількість об'єктів з високим, середнім та незначним ступенями ризику відповідно.

В табл. 4 наведені значення $C_1, C_2, C_3, h_1, h_2, h_3, n_1, n_2, n_3$ в залежності від ступеню ризику, що може статися на об'єкті, що охороняється. З урахуванням вихідних даних розрахуємо збитки які можна очікувати за відсутності нагляду за об'єктами:

Таблиця 5 – Розподіл пожеж серед об'єктів різного ступеню ризику

Ризики	частоти виникнення пожеж h_i	середній збиток від пожежі C_i	кількість об'єктів n_i
Високого ступеня ризику	0,0102	9521	424
Середнього ступеня ризику	0,0098	9126	1212
Незначного ступеня ризику	0,00726	8623	234

$$\tilde{N} = 0,0102 \cdot 424 \cdot 9521 + 0,0098 \cdot 1212 \cdot 9126 + 0,00726 \cdot 234 \cdot 8623 = 164220 \text{ грн.}$$

Середні збитки за рік від пожеж на об'єктах нагляду складають 44228 грн.

Відповідно збільшення збитків за умови відсутності наглядової діяльності складатиме 119992 грн.

Затрати на утримання наглядового органу Харківського району складають від 300 до 400 тис. грн. на рік. Обчислимо відносну ефективність використання ресурсів.

$$\hat{E}_{\text{до}} = \frac{119992}{350000} = 0,342834 \quad (12)$$

Враховуючи світову практику [5], де показник ефективності використання ресурсів пожежної охорони відповідає відношенню $0,14/0,16=0,875$, можна зробити висновок про низьку ефективність використання ресурсів на здійснення наглядової діяльності.

Висновки. Проведений аналіз ефективності здійснення наглядової діяльності у сфері пожежної безпеки показав (на прикладі Харківського районного управління Головного управління МНС України в Харківській області), що при завантаженості працівників державного пожежного нагляду ефективність роботи низька. Тому необхідно вносити кардинальні корективи в структуру та принципи функціонування державного пожежного нагляду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Панов С. А. Комплексная оценка эффективности деятельности оперативных пожарных подразделений Федеральной противопожарной службы: Автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах»/ С. А. Панов.- Санкт-Петербург, 2007.-24с.

2. Кривошонок В.В. Информационная система подготовки и принятия решений по управлению подразделениями государственного пожарного надзора МЧС России :на примере Северо-Западного федерального округа: Автореф. дис. на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.25.05 «Информационные системы и процессы, правовые аспекты информатики» / В.В.Кривошонок - Санкт-Петербург, 2007. - 24 с.

3. Ліпінський В. В. Правове забезпечення пожежної безпеки в Україні: монографія. / В. В. Ліпінський. За заг. ред. С. В. Петкова – К. : Дакор, 2011.

4. Інструкція з організації роботи органів Державного пожежного нагляду, затверджена наказом МНС України №59 від 08.02.2006 р.

5. Брушлинский Н.Н. Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы./ Н.Н. Брушлинский – М.: МИПБ МВД России, 1998.

6. Брушлинский Н.Н. Совершенствование организации и управления ПО./ Н.Н. Брушлинский М.: Стройиздат. 1986. – стор. 317-331.

7. Державний департамент пожежної безпеки (Офіційний сайт МНС.) [Електронний ресурс] — Режим доступу до інф.: http://www.mns.gov.ua/content/ddpb_struktura.html.

А.А. Калашников

Анализ эффективности осуществления надзорной деятельности в сфере пожарной безопасности

Рассмотренная эффективность деятельности органов надзорной деятельности в сфере пожарной безопасности. Проведено сравнения полученных результатов с существующими мировыми показателями.

Ключевые слова: анализ эффективности, осуществление надзорной деятельности в сфере пожарной безопасности, вероятность возникновения пожара.

A.A. Kalashnikov

The analysis of efficiency of realization of supervising activity in sphere of fire safety

The considered efficiency of activity of bodies of supervising activity in sphere of fire safety. It is spent comparisons of the received results with existing world indicators.

Keywords: the efficiency analysis, realization of supervising activity in sphere of fire safety, probability of occurrence of a fire.

*Ю.П. Ключка, к.т.н., ст. научн. сотр., докторант, НУГЗУ,
В.И. Кривцова, д.т.н, профессор, НУГЗУ,
В.Г. Борисенко, к.ф.-м.н., доцент, НУГЗУ,
А.И. Ивановский, к.т.н., с.н.с., зам. нач. отд., ИПМаш НАНУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАМЕНИ ПРИ ВЗРЫВЕ ВОДОРОДА ИЗ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ

Проведен эксперимент по определению зависимости объема пламени при взрыве от массы водорода. Полученные экспериментальные значения позволили сделать вывод об адекватности теоретической модели.

Ключевые слова. Водород, гидрид, давление, объем, эксперимент, температура, взрыв, пламя.

Постановка проблемы. Хранение водорода в форме гидридов интерметаллидов является одним из способов его хранения на автотранспорте [1, 2]. При этом параметры системы хранения определяются исходя из характеристик автомобиля, таких как масса автомобиля, потребляемый расход водорода, наличие рекуперационной установки и т.д.

Одним из недостатков использования этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода и самой системой хранения. В связи с этим, определение последствий разрушения этих систем под воздействием внешнего источника тепла, является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций. При авариях различного рода емкостей может образовываться облако газовой среды (ГВС), в котором при определенных условиях может развиваться детонационный или дефлаграционный взрыв, генерирующий взрывную ударную волну (ВУВ) [3, 4].

В работе [5] приводятся результаты исследования развития процессов горения и взрыва в связи с вопросами безопасности работы с реакционноспособной водородо-воздушной смесью. В результате проведения экспериментальных исследований с водородо-воздушной смесью установлено, что последствия нештатных ситуаций, возникающих при утечке водорода в помещении и непредвиденных выбросах в реакционные объемы, необходимо оценивать, моделируя конкретные натурные условия.

В работе [6] описывается установка для исследования процессов горения и взрыва газовых смесей в сферических объемах (до

14 м³), ограниченных податливой оболочкой, и регистрации прохождения ударных волн и распространения фронта пламени по радиусу сферы. Установлено, что при прогнозировании последствий возможных взрывов водородо-воздушных смесей необходимо принимать во внимание натурные условия их возникновения.

Однако, на сегодняшний день отсутствуют сведения о параметрах горения (взрыва) водородо-воздушных смесей, образование которых возможно в результате разрушения гидридных систем хранения водорода, например при пожаре.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является получение экспериментальным путем параметров взрывов облаков водородовоздушных смесей и их сравнение с теоретическими значениями [3, 7].

С этой целью были проведены эксперименты по определению геометрических параметров «огненного шара». Для проведения эксперимента были использованы гидридные патроны выполненные из стали и заполненные интерметаллидом LaNi₅ диаметром 38мм и длиной 240 мм (7,15 г водорода), диаметром 30мм и длиной 360 мм (12 г водорода). На рис. 1 приведена схема экспериментальной площадки и фото взрыва водородо-воздушной смеси в результате разрушения гидридной системы хранения водорода под воздействием внутреннего избыточного давления.

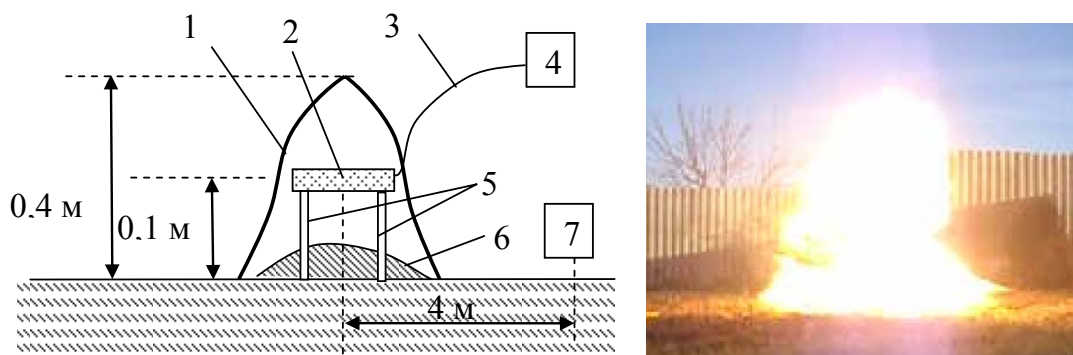


Рис. 1 – Схема экспериментальной площадки и фото взрыва водорода: 1 – пламя костра; 2 – гидридный патрон с насыщенным гидридом; 3 – магистральная линия к манометру; 4 – манометр МТП-160; 5 – металлические опоры для гидридного патрона; 6 – горючее вещество; 7 – фотоаппарат Nikon L10

Примем допущение, что форма пламени симметрична относительно вертикальной оси, тогда форму контура пламени можно описать в виде

$$r_h = f(h) \quad (1)$$

где: r_h – радиус пламени в горизонтальной плоскости на высоте h , $h \in [0; H]$, м; H – высота пламени, м.

Тогда объем пламени будет равен

$$V = \pi \int_0^H (f(h))^2 dh. \tag{2}$$

В табл. 1 приведены размеры пламени водорода на фотографиях. В данной таблице приведены значения для гидридного патрона диаметром 40 мм и длиной 150 мм, при этом в нем находилось 7,15 г водорода.

Таблица 1 – Параметры пламени взрыва водорода на фотографии

№ кадра на видео	Параметры взрыва на фото	
	Высота пламени, см	Диаметр пламени, см
1	11	7,8
2	13,5	9

С целью определения параметров взрыва, рассмотрим фото взрыва с его привязкой к геометрическим параметрам местности и расположению фотоаппарата относительно места взрыва. На рис. 2 приведена геометрическая интерпретация схемы экспериментальной площадки со взрывом.

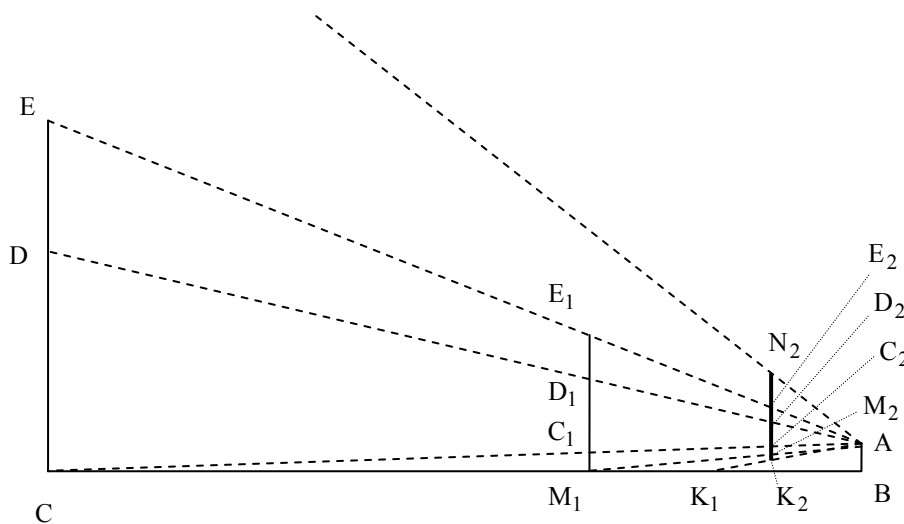


Рис. 2 – Схема экспериментальной площадки со взрывом: $CD=2,5$ м – высота ориентира, $CM_1=10$ м – расстояние от ориентира до центрапламени, $M_1B=4$ м, $AB=0,2$ м, M_1E_1 – высота пламени, $M_2E_2 = 0,135$ м– высота пламени на фотографии, $C_2D_2=0,07$ м – высота ориентира на фотографии, $\angle N_2AK_2$ – угол обзора фотоаппарата.

Из треугольника ABC следует, что $\operatorname{tg}\angle ACB = 0,2/14 = 0,142$. Исходя из того, что $\angle ACB < 1^\circ$, примем допущение $\angle ACE = 90^\circ$. Тогда из треугольников DCA и D_2C_2A можно записать

$$\frac{DC}{AC} = \frac{D_2C_2}{AC_2}. \quad (3)$$

Из треугольников DCA и D_2C_2A можно записать

$$\frac{E_1C_1}{AC_1} = \frac{E_2C_2}{AC_2}. \quad (4)$$

Подставив (3) в (4) получим зависимость для определения C_1E_1

$$E_1C_1 = \frac{DC \cdot E_2C_2 \cdot AC_1}{AC \cdot D_2C_2}, \quad (5)$$

$$E_1C_1 = \frac{2,5 \cdot E_2C_2 \cdot 4}{14 \cdot 0,07} = 10,2 \cdot E_2C_2. \quad (6)$$

В таблице 2 приведены максимальные параметры пламени взрыва водорода для случаев взрыва 7,15 г и 12 г водорода.

Таблица 2 – Максимальные параметры пламени при взрыве водородо-воздушной смеси

№	Параметры взрыва		
	Высота пламени, м	Объем, м ³	Масса водорода, г
1	1,5	1,34	12
2	1,38	0,8	7,15

В соответствии с [7] диаметр пламени для смеси водорода с воздухом можно определить исходя из выражения

$$D_s = 5,33 \cdot m^{0,327}, \quad (7)$$

где m – масса водорода, кг.

Тогда объем огненного шара будет равен

$$V_s = 79,2 \cdot m^{0,981}. \quad (8)$$

На рисунке 3 приведена зависимость (8), а также экспериментальные точки с табл. 3.

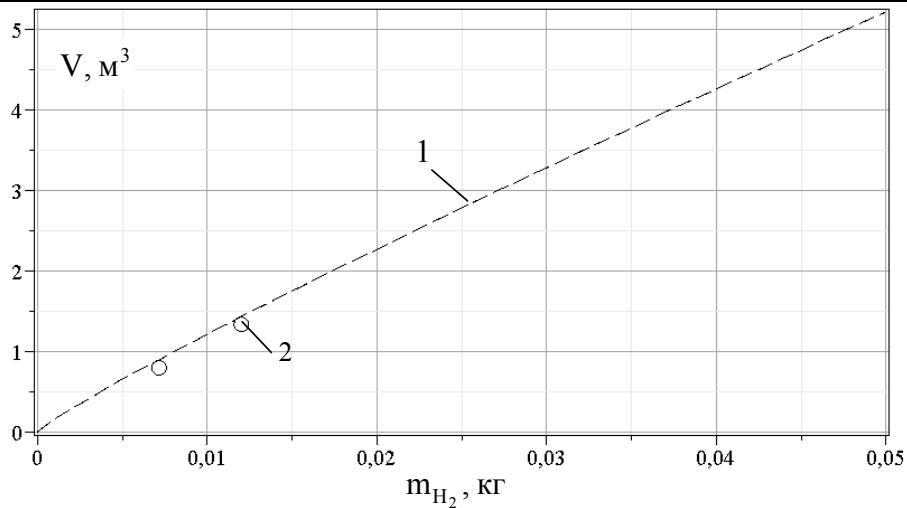


Рис. 3 – Зависимость объема пламени и газо-воздушной смеси от массы водорода: 1 – зависимость объема пламени («огненного шара») от массы водорода; 2 – экспериментальные значения объема пламени от массы водорода

На рисунке 4, в соответствии с (8), приведены зависимости объема пламени от массы гидрида в системе хранения водорода и концентрации водорода в гидриде.

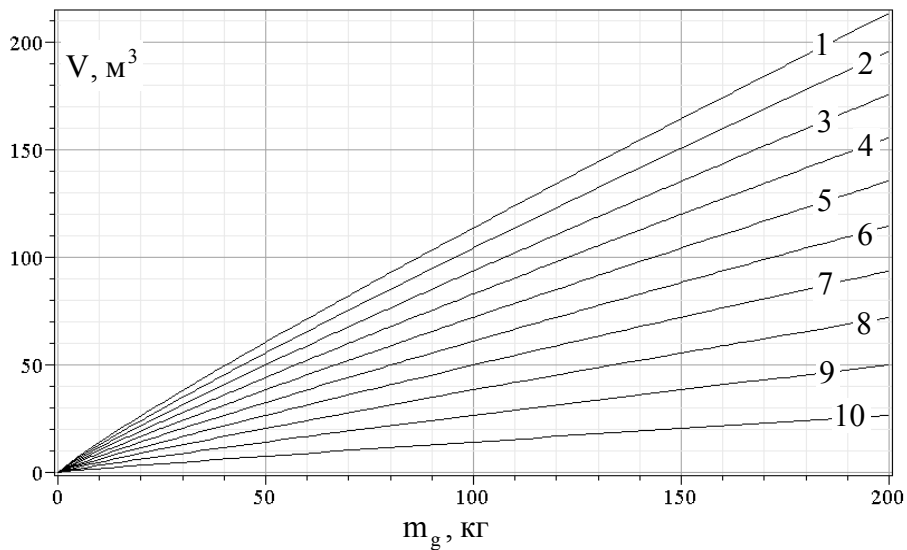


Рис. 4 – Зависимость объема пламени от массы гидрида и концентрации (θ) водорода в гидриде: 1 – $\theta=1$; 2 – $\theta=0,9$; 3 – $\theta=0,8$; 4 – $\theta=0,7$; 5 – $\theta=0,6$; 6 – $\theta=0,5$; 7 – $\theta=0,4$; 8 – $\theta=0,3$; 9 – $\theta=0,2$; 10 – $\theta=0,1$

Из рис. 3 следует, что полученные экспериментальные данные объема пламени, с погрешностью до 12%, совпадают с теоретическими значениями, полученными в соответствии с (8).

Выводы. Проведен эксперимент по определению зависимости объема пламени от массы водорода при его взрыве. Полученные экспериментальные значения позволили сделать вывод об адекватности теоретической модели, приведенной в [7]. Установлено, что интер-

металлид LaNi_5 , находящийся в системе хранения водорода, не оказывает существенное влияние на объем пламени при взрыве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузык Б.Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец; Авт. предисл. С.М. Миронов – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 400 с.
2. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
3. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия РБ Г-05-039-96
4. Архипов В.А., Синогина Е.С. Горение и взрывы. Опасность и анализ последствий: Уч. пособие. Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2008. – 156 с.
5. Набоко И.М., Бублик Н.П., Гусев П.А., Петухов В.А., Солнцев О.И. Горение и взрыв водородно-воздушной смеси в условиях моделирующих элементов объёмов загазованных помещений // Химическая физика. 2009. Т.28, № 5, С.26–33.
6. Исследование развития горения водородно-воздушных смесей в больших объемах, ограниченных податливой поверхностью Набоко И.М., Бублик Н.П., Гусев П.А., Гуткин Л.Д., Петухов В.А., Солнцев О.И. Физико-химическая кинетика в газовой динамике
7. ГОСТ Р12.3.047-98 ССБТ «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля». – М.: Изд-во стандартов, 1998 г.

Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко, О.И. Ивановський

Визначення параметрів полум'я при вибуху водороду з металогідридних систем зберігання

Проведено експеримент по визначенню залежності обсягу полум'я при вибуху від маси водню. Отримані експериментальні значення дозволили зробити висновок про адекватність теоретичної моделі.

Ключові слова. Водень, гідрид, тиск, об'єм, експеримент, температура, вибух, полум'я.

Yu.P. Klyuchko, V.I. Krivtsova, V.G. Borisenko, A.I. Ivanovskiy

Defining the parameters of the flame in the explosion of the conduit metal hydride storage systems

An experiment to determine the dependence of the flame in the explosion of the mass of hydrogen. The experimental values are allowed to make a conclusion about the adequacy of the theoretical model.

Keywords. Hydrogen, hydride, pressure, volume, experiment, temperature, explosion, fire.

*А.Н. Коленов, ст. преподаватель, НУГЗУ,
А.А. Киреев, к.х.н., доцент, НУГЗУ,
Р.Г. Мелещенко, преподаватель, НУГЗУ*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ $Al_2(SO_4)_3 + NaHCO_3$ С
ДОБАВЛЕНИЕМ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ ТЭАС
(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)**

Показано, что подача компонентов ПОС $Al_2(SO_4)_3 + NaHCO_3$ с добавлением пенообразователя ТЭАС на поверхность горящего бензина приводит к образованию устойчивого слоя пены и прекращению горения горючей жидкости. Установлено, что пневматическое распыление компонентов ПОС обеспечивает преимущество в огнетушащих свойствах по сравнению с гидравлических распылением. Определено, что изменение концентрации пенообразователя ТЭАС в пределах 2% – 6% практически не влияет на кратность образуемой пены и её огнетушащие свойства.

Ключевые слова: устойчивость пены, пенообразующий системы, пенообразователи.

Постановка проблемы. Для тушения пожаров класса «В» основным огнетушащим средством являются водопенные огнетушащие вещества. Однако, для них характерен ряд недостатков. Одним из них является невозможность подачи пены на большие высоты и ограниченной возможностью подачи на большие расстояния. Частично эту проблему удалось решить путем применения УКПТ «Пурга». Однако способ подачи пены, реализуемый в установках данного типа, приводит к существенному разрушению пены в ходе ее подачи [1]. Пена средней кратности, которая подается в очаг пожара, с высокой интенсивностью горения, в существенной степени уносится за борт резервуара восходящими конвективными потоками. Еще одним из механизмов разрушения пены в ходе подачи, является её деструкция от прямого воздействия факела пламени, а также интенсивного теплового излучения. Так же немаловажным недостатком принятого способа подачи пены, является необходимость подачи большого избытка пены на небольшую площадь зеркала горячей жидкости. Что является необходимым для обеспечения условий растекания пены по всей поверхности горячей жидкости. Все вышеперечисленные факторы приводят к увеличению расхода огнетушащих веществ.

Анализ последних достижений и публикаций. Большей части этих недостатков лишен, предложенный ранее способ, в котором ис-

пользуются пенообразующие системы (ПОС) с внешним пенообразованием [2,3]. В таких системах осуществляется не подача пены, а подача двух жидких компонентов ПОС в распыленном виде. Попадая на твердую или жидкую поверхность, растворы смешиваются. Состав растворов подобран так, что при их смешивании образуется пена. Поданные с большой скоростью компоненты ПОС быстро, с малыми потерями преодолевают область горения и образуют на поверхности жидкости пену.

Предварительные опыты показали, что большая часть капель компонентов ПОС успевает прореагировать на поверхности углеродородных жидкостей, до момента их погружения.

В работах [4,5] установлено, что на твердой поверхности для ряда ПОС возможно образование пены с кратностью 8-20 и стойкостью до 30 минут.

Постановка задачи и ее решению. Задачей исследования является установление факторов влияющих на огнетушащую способность ПОС с внешним пенообразованием. В качестве горючей жидкости была выбрана система $Al_2(SO_4)_3$ (9%) + $NaHCO_3$ (8,8%) в присутствии пенообразователя ТЭАС (2% и 6% растворы).

Методика эксперимента была описана в работах [6,7]. В качестве очага пожара был выбран модельный очаг 2В [8]. Модельный очаг – сварной стальной цилиндрический противень с вертикальной стенкой. Диаметр основы 280 ± 10 мм, толщина стенки 2,0 мм, высота противня 230 ± 5 мм. В виде горючего вещества использовался бензин А-76.

В противень заливалось 4 литра воды, при этом образовывалось гладкое зеркало. На слой воды наливалось 2 литра бензина.

При помощи факела производилось зажигание горючего в противне. Выдерживалось не менее 60 секунд (рис. 1).



Рис. 1 – Горение горючей жидкости в модельном очаге 2В

Подача огнетушащего вещества проводилась с использованием распылителей, в которых огнетушащее вещество находится под избыточным давлением – до 1,5 атм.

Подача огнетушащих компонентов проводилась из двух распылителей. Таким образом, чтобы мелко распыленные струи пересекались, до попадания огнетушащего вещества в зону горения.

В ходе эксперимента было установлено, что толщина слоя пены обеспечивающей тушение составляет 1,7 – 3 см (рис. 2), что заметно меньше, чем толщина слоя воздушно-механической пены.



Рис. 2 – Пена, образовавшаяся на поверхности бензина после прекращения горения

Кратность пены, на момент тушения пожара, варьировалась от 1,2 до 3. Результаты заметно менялись $\pm 40\%$, в зависимости от способа подачи компонентов ПОС. Использовалось два способа подачи: преимущественно на стенку противня – «мягкий» способ подачи и преимущественно на поверхность жидкости – «жесткий».

Еще одним важным показателем явилась малая зависимость результатов тушения от концентрации пенообразователя ТЭАС в пенообразующих растворах.

Сопоставление полученных результатов по кратности пены на поверхности горючей жидкости и на твердой поверхности позволяют заключить, что в последнем случае кратность в 2 – 3 раза выше. Это можно объяснить тем, что капли огнетушащих жидкостей успевают утонуть в бензине до момента образования пены и часть пены разрушается под воздействием теплового потока от факела пламени. Для уменьшения доли утонувших компонентов ПОС можно увеличить дисперсность распыленных огнетушащих жидкостей и ввести в состав ПОС поверхностно активные вещества с большей поверхностной активностью.

Для увеличения дисперсности распыленных компонентов ПОС была изменена система подачи с гидравлической на пневматическую. Для пневмораспыления были использованы краскопульты. При бли-

зости всех остальных параметров подача компонентов ПОС с помощью пневмораспылителей обеспечила повышение кратности пены в 1,5 – 2 раза а показатель огнетушащей способности на 20 – 30%.

Выводы. Установлено, что подача компонентов ПОС – $Al_2(SO_4)_3$ (9%) + $NaHCO_3$ (8,8%) в присутствии пенообразователя ТЕАС на поверхность горящего бензина приводит к образованию устойчивого слоя пены.

Толщина слоя пены обеспечивающей прекращение горения составляет 1,7 – 3 см.

Кратность пены, образующейся на поверхности горящего бензина, варьируется в пределах 1,2 – 3,0.

Изменение концентрации пенообразователя ТЭАС в пределах 2% – 6% практически не влияет на кратность образуемой пены и её огнетушащие свойства.

Подача компонентов ПОС на стенки противня на 20 – 40% увеличивает огнетушащие свойства пены, по сравнению со способом подачи аэрозоля на поверхность горящего бензина.

Переход на подачу компонентов ПОС с помощью пневмораспыления увеличивает показатель огнетушащей способности на 20-30%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучер В.М. Влияние способа подачи пены на огнетушащую способность пены средней кратности / Кучер В.М., Козлов В.А., Меркулов В.А., Жуков В.В. // Горючесть веществ и химические средства пожаротушения : Сб. науч. тр. -М.: ВНИИПО МВД СССР, 1983, Вып. 4. - С. 49-50.

2. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2008.– вып.24.– С.50-53.

3. Киреев А.А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– вып.25.– С.59-64.

4. Киреев А.А. Исследование кинетики разрушения пен. / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2011.– вып.29.– С.66-69.

5. Киреев А.А. Исследование кинетики разрушения пен, полученных с помощью пенообразующих систем с внешним пенообразованием. / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Матеріали Х Всеукраїнської науково-практичної конференції «Пожежна безпека - 2011», Україна, Харків, 2011 р.

6. Боровиков В.О. Методологія оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин. /

Боровиков В.О., Антонов А.В., Слущька О.М. // Науковий вісник УкрНДіПБ. – 2008.– № 1 (17). – С. 146-154.

7. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробування».

8. НПБ 67-98 «Установки порошкового пожаротушения автоматические. Методы испытания».

О.О. Кіреєв, О.М. Колєнов, Р.Г. Мелешенко

Дослідження вогнегасної здатності піноутворюючої системи $Al_2(SO_4)_3$ + $NaHCO_3$ з доданням піноутворювача ТЭАС

Показано, що подача компонентів ПОС $Al_2(SO_4)_3$ + $NaHCO_3$ з доданням піноутворювача ТЭАС на поверхню палаючого бензину призводить до утворення сталого шару піни і припинення горіння горючої рідини. Встановлено, що пневматичне розпилення компонентів ПОС забезпечує перевагу в вогнегасних властивостях порівняно з гідравлічними розпиленням. Визначено, що зміна концентрації піноутворювача ТЭАС в межах 2% - 6% практично не впливає на кратність утвореною піни та її вогнегасні властивості

Ключові слова: стійкість пін, піноутворюючі системи, піноутворювачі.

A.A. Kireev, A.N. Kolenov, R.G. Meleshenko

Study of foam fire extinguishing ability of $Al_2(SO_4)_3$ + $NaHCO_3$ with adding any foaming agents ТЭАС

It is shown that the presentation component of PIC $Al_2(SO_4)_3$ + $NaHCO_3$ to addem ТЭАС foam on the surface of the burning of gasoline leads to the formation of stable foam layer and the termination of combustion of the combustible liquid. It is determined that air dispersion components of PIC provides pre-extinguishing property in the properties compared to the hydraulic-spray it. It was determined that a change in the concentration of foaming agent ТЭАС within 2% - 6% has almost no effect on the multiplicity of the formed foam and extinguishing properties.

Key terms: foamforming system, foamer, stability of foams.

*В.М. Комяк, д.т.н., профессор, НУГЗУ,
В.К. Мунтян, к.т.н., доцент, НУГЗУ*

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ ВИДЕО-МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

В работе анализируется и ставится задача оптимизации размещения пунктов наблюдения наземного мониторинга лесных пожаров

Ключевые слова: наземные системы видео-мониторинга, оптимизация, покрытие и размещение

Постановка проблемы. Предупреждение и тушение лесных пожаров является одной из наиболее актуальных и важнейших задач в государстве. Пожары охватывают значительные площади, нанося при этом как прямой материальный ущерб, так и косвенный ущерб, проявляющийся в снижении водорегулирующей, почвозащитной, полезащитной, санитарно-гигиенической, эстетической и климатической функций леса.

Возникновению пожаров способствуют: 1) большая интенсивность посещений лесных угодий населением; 2) близость населенных пунктов, рекреационных учреждений, дорог и т.д. 3) длительные засухи; 4) высокая температура воздуха и поверхности грунта; 5) длительный период вероятности загораний в лесу.

Установлена тесная зависимость частоты возникновения и площади пожаров с погодными условиями. Так, в Харьковской области в наиболее засушливые 1992, 1994, 1998, 1999 годы, когда количество осадков составляло всего лишь 358-446 мм, то есть было значительно ниже нормы (525 мм), наблюдались максимальное количество и площадь пожаров (соответственно, 540-814 случаев на год и 113,9-275,5 гектаров на год). Особенно острая угроза возникновения лесных пожаров – в лесах густонаселенных лесостепных, степных районов Украины, горах Крыма.

Увеличивается число больших пожаров, которые приобретает статус чрезвычайных ситуаций. В частности, это пожары в Крыму в 1993г., Луганской, Харьковской, Херсонской областях в 1995 г., Киевской, Донецкой, Луганской, Черниговской областях в 1996г., Луганской в 1998г., Херсонской, Луганской в 1999г., Херсонской области и в Крыму в 2007г., в Харьковской области в 2008г. Аналогичная ситуация и по общей площади пожаров. Наибольшее количество пожаров отмечается в лесах вокруг мегаполисов. Так, если в лесах Харьков-

ской области в 1998 году было зарегистрировано 708 случаев пожаров, то в лесах зеленой зоны Харькова – 416 случаев, т.е. 59 %.

Одним из подходов к раннему выявлению лесных пожаров является их мониторинг [1], как космический [2], так и наземный [3, 4]. Космический мониторинг позволяет оперативно определить очаги пожаров для лесов площадью более 6-8 га на труднодоступных территориях с высокой периодичностью обновления информации и широким охватом района наблюдения. При этом информация, получаемая дистанционно, позволяет не только анализировать текущую ситуацию с лесными пожарами, но и в дальнейшем проводить анализ динамики развития пожара [5-7]. Для обнаружения очагов пожаров для лесов меньших площадей действуют локальные наземные способы с использованием пожарных вышек и матч различных конструкций, промышленные видеосистемы. Данные мониторинга различных уровней (наземного и космического) составляют единую архитектуру информационных слоев геоинформационных систем противопожарного мониторинга лесов.

Одной из проблем проектирования наземных систем видеомониторинга является оптимизация размещения пунктов наблюдения.

Анализ последних достижений и публикаций. Задача оптимального размещения вышек может быть сформулирована как задача покрытия. Оптимальность покрытия кругами одного радиуса при размещении центров кругов в вершинах равностороннего треугольника, разбивающих область, показана в [8]. Один из подходов к решению задачи покрытия кругами разных радиусов изложен в [9]. В работах [3-4] рассматривается задача наземного мониторинга лесных массивов с помощью вышек наблюдения для случая, когда каждая вышка контролирует круговые зоны разных радиусов и задача сводится к задаче покрытия невыпуклого многосвязного многоугольника (лесного массива с областями запрета) кругами разного радиуса. Задача решается эвристически, в основу решения задачи покрытия кругами одного радиуса лежит разбиение области либо квадратами, либо равносторонними треугольниками с последующим размещением центров кругов в вершинах рассмотренных фигур. Центры кругов, которые принадлежат запретным областям или находятся за пределами областей, смещаются в ближайшую точку области. На следующем шаге алгоритма ищутся непокрытые области с целью добавления центров кругов [3]. В работе [4] в основе алгоритма упаковки лежит представление площади контролируемого участка суммой квадратов различных площадей. Это представление основано на задании десятичного числа, определяющего площадь лесного массива, в число в четверичной системе. На основе задания этого числа в четверичной системе осуществляется генерация квадратов, сумма пло-

щадей которых равна площади исходного. В случае, если квадрат пересекает границу покрываемой области, квадрат заменяется на 4 меньших квадрата, с площадью в 4 раза меньшей. Процедура повторяется до тех пор, пока площадь упаковки не приблизится к площади многоугольника. Затем вокруг квадратов описываются круги. Однако непонятно, как размещаются квадраты в области, площади которых определены по изложенному выше алгоритму. Из работы [4] непонятно, как идет прореживание кругов в получаемом покрытии и как предлагаемые алгоритмы [3-4] позволяют учесть практические ограничения (учет разного уровня пожарной опасности участков леса, необходимость полноты и избыточности покрытия, учет рельефа местности), накладываемые на размещение вышек видеонаблюдения, и как ищется вариант наилучшего покрытия. В работах [10-12] предложены методы математического и компьютерного моделирования оптимального покрытия области кругами, но учет перечисленных выше ограничений требует как разработки новых методов моделирования рационального покрытия, так и модификации существующих.

Постановка задачи. На вышках видеонаблюдения устанавливается аппаратура, которая может быть как проводной, так и беспроводной. Каждая вышка контролирует некоторую территорию, которую можно представить в виде круга заданного радиуса. Четкость видеонаблюдения при приближении к границе круга падает, поэтому граница круга может быть “размытой”, т.е. может представляться интервально [13] или с помощью размытых множеств [14]. Вышки не могут быть расположены в областях запрета (водоемах, болотистой территории и т.д.), к вышкам должен быть доступ для профилактических и ремонтных работ, а в случае проводной аппаратуры - проложен минимальной длины провод, доступный с точки зрения профилактического обслуживания. На места размещения вышек влияет также рельеф. Учет рельефа местности влияет на радиус круга обзора территории: размещение на более высокой местности делает круг обзора большей площади. Различные участки леса имеют разную пожарную опасность. Существует пять классов пожарной опасности [15]. На пожарную опасность влияет также близость населенных пунктов и дорог, которые увеличивают ее по мере приближения к границе лесного массива. Очевидно, что участки с большей пожарной опасностью должны иметь большую вероятность обнаружения и контролироваться вышками с меньшей зоной обзора или кругом меньшего радиуса.

Таким образом, возникает следующая задача.

Необходимо разместить минимальное количество вышек видеонаблюдения, позволяющих своими круговыми интервальными зонами полностью покрыть лесной массив при выполнении следую-

щих ограничений (условий):

- неразмещения в областях запрета;
- изменения радиуса круга (обзора с вышки) в зависимости от изменения рельефа и пожарной опасности защищаемого вышкой участка лесного массива;
- минимума длины сети, связывающей вышки видеонаблюдения;
- принадлежность пунктов наблюдения и сети, связывающей вышки видеонаблюдения, области, доступной с точки зрения доставки бригад для профилактических и ремонтных работ.

Выводы. Сформулирована содержательная постановка задачи оптимизации размещения пунктов наблюдения, которая возникает при проектировании наземных систем видео-мониторинга. Построенная модель является основой для построения математической модели размещения пунктов наблюдения путем формализации ограничений и для разработки методов оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.О. Моніторинг надзвичайних ситуацій / Ю.О.Абрамов, Є.М.Грінченко, О.Ю.Кірючкін, П.А. Коротинський, С.М. Миронець, В.О.Росоха, В.В.Тютюнік, В.М.Чучковський, Р.І.Шевченко: Підручник. Вид.-во АЦЗУ.-2005.-530с.

2. Сеть малых космических аппаратов для оперативного обнаружения пожаров / Н.Г. Андрианов, В.Н. Лагуткин, А.П. Лукьянов и др. // Успехи совр. радиоэлектрон. – 2011. - № 8. – С. 42 – 49.

3. Кочкарь Д.А. Оптимальное размещение вышек наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / Д.А.Кочкарь, С.Ю.Мединцев, А.А.Орехов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.-Харків.-2010.- , №7(48).-С.311-314.

4. Бабий С.М. Алгоритм покрытия площади лесного массива кругами видеонаблюдения и контроля / С.М. Бабий, Д.А.Кочкарь, В.В.Чмовж // Радіоелектронні і комп'ютерні системи.-Харків.-2010.- №7(48).-С.272-277.

5. Абрамов Ю.А. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения / Ю.А. Абрамов, В.А.Комяк, В.М.Комяк, В.Е.Росоха. – Харьков: АГЗ Украины.-2004. – 145с.

6. Созник А.П. Глобальная и локальная модели распространения ландшафтного пожара / А.П.Созник, И.К.Кириченко, А.Я.Калиновский, С.В.Гайдым // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: НУГЗУ.– 2010. – Вып. 28. – С. 162 – 166.

7. Куценко Л.Н. Передбачення кромок вигорання при лісовій пожежі методом іміджевої екстраполяції / Л.Н.Куценко, О.В.Шоман,

С.В. Васильев // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 10. Харьков: АО «Фолио».- 2001. - С. 98 – 102

8. Kershner R. The number of circles covering a set / R. Kershner // Amer. J. Mathematics.-1939.-Vol.61, N3.—P.665-671.

9. Кузнецов В.Ю. Задачи покрытия ортогональных многоугольников с запретными участками / В.Ю.Кузнецов // Вестник УГАТУ.-Уфа.-2008.-Т.10, №2(27).-С.177-182.

10. Стоян Ю.Г. Оптимизация покрытий трансляциями ограниченных множеств / Ю.Г. Стоян, С.В. Яковлев // Докл. АН УССР. Сер. А, 1988- № 7.- С.20-23.

11. Стоян Ю.Г., Математическая модель и метод решения задачи упаковки максимального числа равных кругов в невыпуклую область с зонами запрета / Ю.Г. Стоян, А.М. Чугай // Доповіді Національної академії наук України. – 2009. - № 10. – С. 45 – 52.

12. Панкратов А.В. Метод регулярного покрытия прямоугольной области кругами заданного радиуса/ А.В.Панкратов, В.Н.Пацук, Т.Е.Романова, А.А.Антошкин // Радиоэлектроника и информатика. - 2002. - № 1. - С. 50 - 52.

13. Романова Т. Є. Засоби побудови математичних моделей оптимізаційних задач розміщення геометричних об'єктів та їх застосування: Дис. ... д-ра техн. наук: 01.05.02. - К., 2003. - 324 с.

14. Зайченко Ю.П. Исследование операций: нечеткая оптимизация / Ю.П.Зайченко: Учеб.пособие.-Киев: Вища школа, 1991.-191с.

15. Софронов М.А. Пожарная опасность в природных условиях / М.А. Софронов, И.Г. Гольдаммер, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова. – Красноярск: ИЛес. СО РАН.- 2005. – 330 с.

V.M. Komyak, V.K. Muntian

Statement of the problem of placement optimization system for monitoring ground video-monitoring of forest fires.

This paper seeks to analyze and optimize the placement of observation points is ground-based monitoring of forest fires.

Key words: ground-based systems of video-monitoring, optimization-zation, coverage and placement.

В.М. Комяк, В.К. Мунтян

Постановка задачі оптимізації розміщення пунктів спостереження наземних систем відео-моніторингу лісових пожеж.

В роботі аналізується та ставиться задача оптимізації розміщення пунктів спостереження наземного моніторингу лісових пожеж.

Ключові слова: наземні системи відео-моніторингу, оптимізація, покриття та розміщення.

*Н.І. Коровникова, к.х.н., доцент, НУЦЗУ,
В.В. Олійник, к.т.н., нач. кафедри, НУЦЗУ*

ТЕРМІЧНА ТА ТЕРМООКИСЛЮВАЛЬНА ДЕСТРУКЦІЯ ВОЛОКНА НІТРОН

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

Експериментально встановлено склад, кількість та кінетику виділення основних продуктів термічної та термоокислювальної деструкції волокна нітрон в діапазоні температур від 100 до 600°C.

Ключові слова: нітрон, термічна деструкція, зниження горючості синтетичного волокна

Постановка проблеми. Швидкість розкладання і горіння волокнистих полімерів здатна суттєво змінювати потенційну небезпеку від пожежі, впливати на утворення менш токсичних речовин, зменшувати димоутворюючу здатність в приміщенні. Вона визначається швидкостями трьох процесів: швидкістю хімічної реакції або фазового перетворення, швидкістю відводу газоподібних продуктів і швидкістю їх десорбції з зовнішньої поверхні. Швидкість процесу в цілому завжди визначається його найбільш повільною стадією. Попередні знання не тільки структурних перетворень волокна під час пожежі, а й даних з більш повної картини поведінки матеріалу під час підвищення температури є важливими при рішенні проблеми щодо зниження горючості синтетичних волокон за рахунок модифікації їх антипіренами [1-3], які змінюють процес термічного розкладання волокон за рахунок взаємодії з полімерною матрицею [4]. Накопичення таких даних дозволяють прийняти правильне рішення щодо вибору того чи іншого антипірену для конкретного волокна та способу його введення в полімер.

Дана робота продовжує дослідження [4-7] щодо вивчення впливу температури в окислювальному та інертному середовищі на синтетичне волокно нітрон.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням властивостей поліакрилонітрильних матеріалів та проблемою щодо зниження їх горючості займаються давно. У цій галузі накопичено багато експериментальних даних [1-3]. Однак кількість ефективних сповільнювачів горіння для таких волокон недостатня, що зумовлено рядом причин: складністю процесів, що супроводжують термічне розкладання полімеру, токсичністю антипіренів; їх високою вартістю, відсутністю хімічної взаємодії антипіренів з волокном, неможливістю їх промислового випуску внаслідок відсутності сировини [1]. Тому необхідні синтез, дослідження та апробація нових антипіренів та речовин, що впливають на термічні

властивості синтетичного волокна. При цьому дуже важливим є поведінка вивчаемого полімеру під час зміни температури протягом часу. Вищевказане зумовлює необхідність і актуальність продовження досліджень у цій області. Так автори [5,6,8] дослідили, що при нагріванні волокон до 175°C в основному протікають процеси пов'язані з циклізацією молекул поліакрилонітрилу, виділення газоподібних продуктів горіння практично не спостерігається [8]. В інертному середовищі циклізація уповільнюється, а в окислювальному - супроводжується більш глибокими процесами виділення газоподібних продуктів розкладу. Активний процес газоутворення починається при температурі вище 180°C. Основними продуктами розкладу є вода, аміак, синильна кислота. На основі досліджень [5,8] до складу продуктів розкладання поліакрилонітрильних волокон при температурі до 350°C в інертному середовищі крім твердого залишку і рідких продуктів входять ціаністий водень, азот, а на повітрі - ще додатково оксид вуглецю, двооксид вуглецю і вода.

Постановка завдання та його вирішення. В даній роботі досліджено кількісні характеристики термічної обробки волокна нітрон в інертному та окислювальному середовищі. Для дослідження використовували повітряно-сухі зразки волокна нітрон [6, 7]. В роботі використовували метод газової хроматографії. Дослідження проводили на приборі ЛХМ-8МД, який додатково обладнаний спеціальним пристроєм для уловлювання продуктів розкладання в камері згорання. Методика виконання експерименту описана в [5]. Вологість волокна при проведенні експерименту складала 2,0-3,5%, наважка нітрону - 0,5 г, а похибка зважування - 0,01 г. Для одного експерименту використовували не менше 5 зразків волокна, які витримували в лабораторних умовах при температурі 20°C впродовж 48 годин.

Із даних рис.1а видно, що виділення помітної кількості водню починається після температури 350°C, а інтенсивне його утворення спостерігається при піролізі рис.1а (крива 1) за температури 400°C. За наявності кисню повітря (крива 2) при 500°C залежність виходу водню з підвищенням температури є прямо пропорційною.

Під час проведення деструкції волокна азот переважно відщеплюється у вигляді з'єднань з воднем [9]. При дослідженні виходу продуктів горіння за допомогою методу газової хроматографії був виявлений аміак, що утворюється при розкладанні більшості азотовмісних органічних з'єднань, хоча і стійкий при звичайній температурі. Утворення аміаку, ймовірно, є наслідком того, що в нітроні формуються ділянки з полімеризаційною структурою, що мають обмежену довжину і містять на кінцях аміногрупи, які відщеплюються при подальшому піролізі [8]. Присутність в летючих продуктах ціаністого водню вже на ранніх стадіях термообробки може бути наслідком вторинної взаємодії водневих з'єднань азоту з активними атомами вуглеводню.

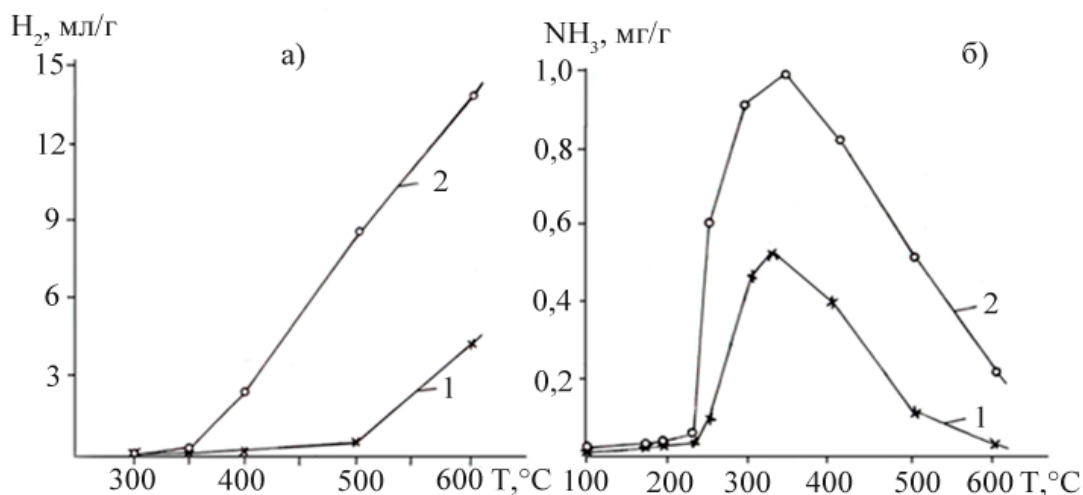


Рис. 1 – Практичний вихід водню (а) та аміаку (б) при розкладанні волокна нітрон в залежності від температури нагрівання в окислювальному (1) та інертному середовищах (2)

Виділення NH_3 в незначних кількостях починається та інтенсивно утворюється зі $100^\circ C$ та $220-230^\circ C$ відповідно. Якщо провести порівняльний аналіз (рис. 1б) між продуктами виділення під час проведення піролізу (в середовищі аргону) та термоокислювання (в середовищі кисню), можна відмітити, що менша кількість аміаку виділяється в першому випадку. Максимум виділення аміаку при піролізі складає 1 мг/г , а при обробці в окислювальному середовищі - майже в два рази менше. При температурі $350^\circ C$ відбувається максимум на кривих 1, 2 (рис.1), після чого йде зменшення концентрації аміаку. Утворення ціаністого водню можна передбачити тільки при наявності неокислювальних ланок ланцюга нітрон [5]. Однак, це не пояснює чому вихід HCN в окислювальному середовищі більший, ніж в інертному. Очевидно при порівняно високих температурах HCN утворюється за іншим механізмом, зокрема, в наслідок глибокого окислення нафтиридинових циклів [7], що підтверджує кореляція між експериментально отриманими даними про виділення газів HCN , CO і CO_2 з підвищенням температури, а також близькістю температурних коефіцієнтів цих реакцій [7]. Експериментальні дані свідчать, що в продуктах перетворення виявлено ціаністий водень у вигляді бром ціану, вміст якого збільшується з підвищенням температурної обробки повітряно-сухого зразка волокна нітрон.

Тенденція щодо збільшенню вмісту ціаністого водню відображена на рис. 2, вона не припиняється і при $600^\circ C$, як і при виділенні аміаку (рис.1б). Це помітно особливо при температурі $250^\circ C$, коли при піролізі та термоокислювальному розкладанні нітрон починає збільшуватись кількісний вміст виявленої речовини. Кількість HCN в окислювальному середовищі майже в два рази більше, це свідчить про те, що в його утворенні активно бере участь кисень повітря. При піролізі наявність ціаністого водню відмічається при $230^\circ C$.

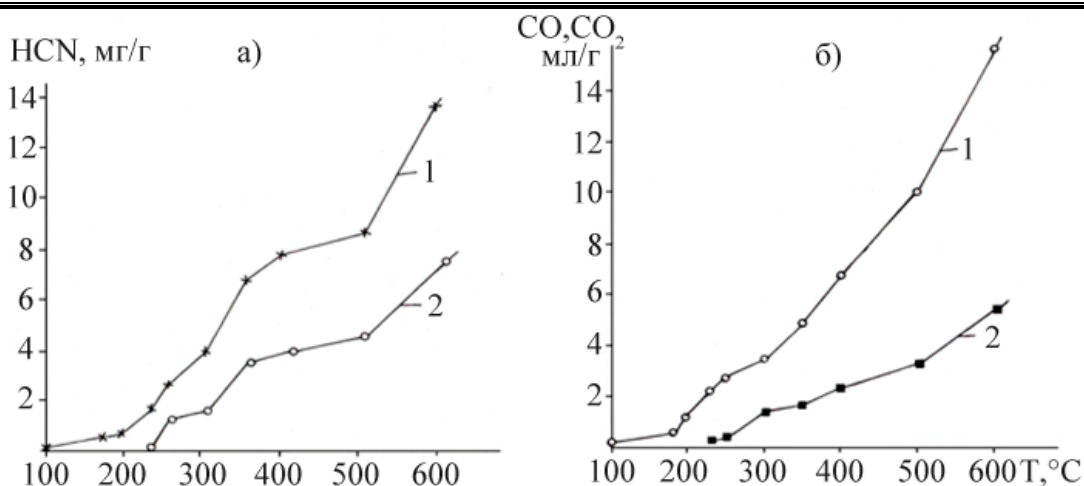


Рис. 2 – Практичний вихід ціаністого водню (а) при розкладанні волокна нітрон в залежності від температури нагрівання в окислювальному (1) та інертному середовищах (2) та окису вуглецю (1) і двоокису вуглецю (2) в окислювальному середовищі - (б)

Результати вивчення залежності концентрації ціаністого водню від швидкості нагріву під час підвищення температури при термоокислювальному розкладанні волокна нітрон свідчать про їх повну залежність від температурної обробки матеріалу (рис. 3) і тривалості процесу нагрівання. При неізотермічних умовах вихід ціаністого водню в процесі термоокислювального розкладання збільшується зі зменшенням швидкості нагріву.

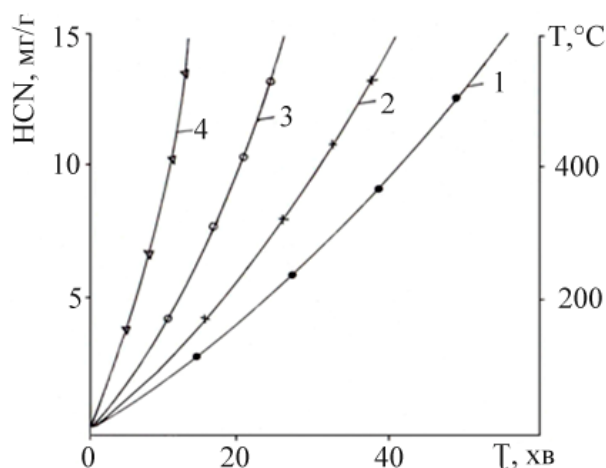


Рис. 3 – Практичний вихід ціаністого водню при розкладанні волокна нітрон при швидкості нагріву: 1 – 50°C/хв; 2 – 30°C/хв; 3 – 20°C/хв; 4 – 10°C/хв.

Відомо, що горіння більшості сполук на повітрі протікає в дві стадії: окислення вихідної речовини до CO і догорання CO до CO₂ [9]. Горіння нітрон у наявності кисню супроводжується утворенням окису і двоокису вуглецю (рис. 2б). Виділення вуглекислого газу спостерігається вже при 100°C, а утворення двоокису при

230°C відповідно. В процесі дослідження було встановлено, що вміст вуглекислого газу майже в три рази більше ніж двоокису вуглецю. Вже при температурі 600°C вміст в продуктах розкладання оксиду вуглецю складає майже 15,5 мл/г, а двоокису вуглецю - 5 мл/г. В летючих продуктах піролізу присутність CO і CO₂ не встановлено. Це можна пояснити відсутністю вторинних процесів взаємодії гідроксилів з активними атомами вуглеводню [8].

При розкладанні нітрону при температурах до 350°C мають місце наступні стадії утворення попередньої структури вуглеводного волокна при перетвореннях поліакрилонітрильного волокна: окислювальне дегідрування з утворенням води (вище 100°C); відщеплення водню і міжмолекулярне диспропорціонування його з утворенням NH₃ (вище 100°C); циклізація і ароматизація (вище 190°C); диполімеризація (вище 200°C); завершення процесу утворення гетероароматичних ланок з 4-5 нафтиридинових циклів (при 250°C) [8]. В інертному середовищі мають місце ті же процеси, крім окислювального дегідрування, але здійснюються при більш високих температурах. В окислювальному середовищі виділяється менше NH₃, більше HCN, максимум утворення HCN зміщено в бік низьких температур. Окислювальне середовище прискорює циклізацію і ароматизацію, подавляє деполімеризацію [8].

В процесі термоокислювальної деструкції суттєво змінюються фізико-хімічні властивості поліакрилонітрильного волокна. Щоб встановити кількісний взаємозв'язок між ними нами були отримані кінетичні криві втрати маси від тривалості термічної обробки волокна в окислювальному (рис.4а) та інертному (рис. 4б) середовищах. З результатів дослідження помітно, що втрата маси волокна збільшується як при збільшенні температури, так і при збільшенні часу витримки. Якщо провести співставлення отриманих даних при обробці зразка в інертному і окислювальному середовищах, то можна відмітити, що окисник сприяє збільшенню втрати маси. Однак помітна втрата маси (більше 2%) починається після 180°C в обох випадках. Ймовірно, це пояснюється початком інтенсивного протікання процесу деструкції полімерного волокнистого зразка, коли виділяються газоподібні продукти розкладання (горіння).

Таким чином, процес термічної обробки представляє собою сукупність гетерогенних хімічних реакцій і фазових перетворень, які супроводжуються звичайним виділенням тепла та виділенням летючих продуктів розкладання і це спричиняє втраті маси зразка волокна. Найбільша їх кількість виникає при термічній обробці волокна в окислювальному середовищі. Отримані дані не суперечать даним роботи [8], де дані кривих диференційно-термічного аналізу волокна представляють з одночасною реєстрацією втрат його маси при постійній швидкості нагрівання. Вони свідчать, що при досягненні тем-

ператури $230\pm 5^\circ\text{C}$ в волокні починається екзотермічний процес, який досягає максимум при $295\pm 5^\circ\text{C}$; одночасно різко зменшується маса зразка. В літературі існують докази того, що екзотермічний ефект є сумарним наслідком реакції циклізації і окислення нітрону [5, 8].

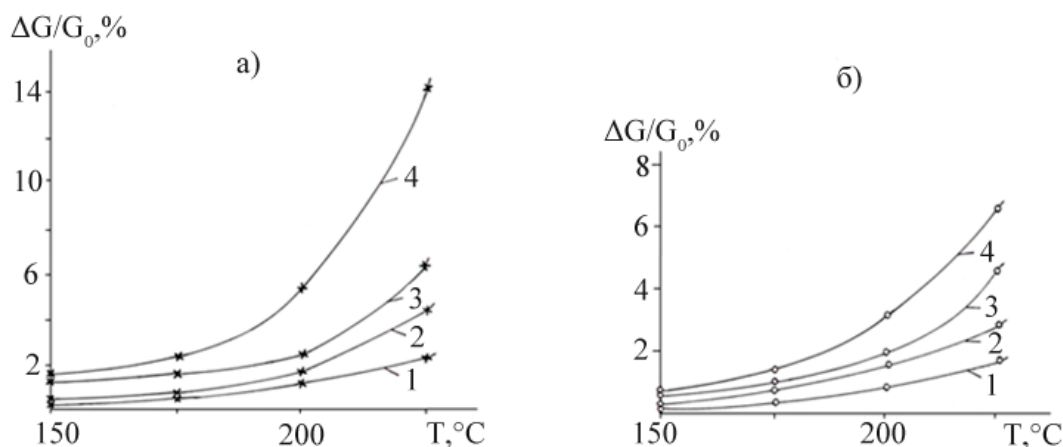


Рис. 4 – Залежність втрати маси зразка волокна від температури термоокислення (а) та піролізу (б) при різній тривалості реакції (в хв.): 1 – 20; 2 – 40; 3 – 30; 4 – 180.

Основними реакціями термоокислювальної деструкції і стабілізації волокна нітрон є [8]: циклізація, окислення циклічних структур до N-оксидів, окислювальне дегідрування з виділенням води і HCN в присутності кисню повітря. Специфіка формування мікроструктури волокна на стадії окислювальної стабілізації полягає в утворенні декількох типів структур з сильно пошкодженою ефективністю сполучень. Згідно наших досліджень ступінь окислення досліджуваної речовини залежить від тривалості його знаходження в зоні окислення. Так в результаті нагрівання при температурах в інтервалі від $150\text{--}175^\circ\text{C}$ в продовж 20 хвилин колір зразка стає рижим, потім, зі збільшенням тривалості перебування – коричневим, що говорить про утворенню проміжних структур, які визначають властивості вуглеводного волокна.

Висновки. В діапазоні температур від 100 до 600°C встановлено склад, кількість та кінетику виділення основних продуктів термічної деструкції волокна нітрон. Отримані дані дозволяють створити оптимальні умови для подальших розробок щодо підбору антипіренів з метою зниження горючості синтетичного волокна нітрон.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зубкова Н.С. Снижение горючести текстильных материалов – решение экологических и социально-экономических проблем / Н.С. Зубкова, Ю.С. Антонов // Российский хим. Журнал. – Т. XLVI. –

2002. - №1. – С. 96-103.

2. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести / А.А. Берлин // Соровский Образовательный журнал. - 1996. - №4. – С. 16–24.

3. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин // Химический журнал. - 2002. - №1. - С. 1–18.

4. Коровникова Н.И. Снижение горючести синтетического волокна нитрон / Н.И. Коровникова, В.В. Олейник, А.А. Ковалева // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2009. - Вып. 26.- С. 44-48.

5. Коровникова Н.И. Влияние термической обработки волокна нитрон на его структурные преобразования / Н.И. Коровникова, В.В. Олейник // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2009.– Вып. 24. - С. 77-81.

6. Коровникова Н.И. Состав и токсичность продуктов горения химических волокон различной природы / Н.И. Коровникова, Н.В. Компаниец // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2006. - Вып. 21.- С. 109-112.

7. Коровникова Н.И. Вплив термічної обробки поліакрилонітрильного волокна на склад продуктів перетворення / Н.І. Коровникова, В.В. Олійник // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2008. – Вып. 24.- С. 75-78.

8. Канович М.М. Превращения полиакрилонитрила в инертных и окислительных средах / М.М. Канович, А.П., Руденко// Химические волокна. - 1982. - №2. - С. 19–22.

9. Коровникова Н.И. Влияние термической обработки волокна нитрон на его структурные преобразования / Н.И. Коровникова, В.В. Олейник // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ.- 2009.– Вып. 24. - С. 77-81.

Н.И. Коровникова, В.В. Олейник

Термическая и термоокислительная деструкция волокна нитрон

Экспериментально установлен состав, количество и кинетика выделения основных продуктов термической и термоокислительной деструкции волокна нитрон в диапазоне температур от 100 до 600°C

Ключевые слова: нитрон, термическая деструкция, снижение горючести синтетического волокна.

N.I. Korovnikova, V.V. Oliynik

Thermal and thermo-oxidative degradation of the fiber nitron

In the temperature range 100-600°C is set up products and kinetics of release of the main products of thermal degradation of fiber nitron.

Keywords: nitron, thermal degradation, reduced flammability of synthetic fibers.

*В.К. Костенко, д.т.н., професор, ДНТУ,
О.Л. Зав'ялова, к.т.н., с.н.с., ДНТУ,
В.В. Колеснікова, асистент, ДНТУ,
А.І. Морозов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

МОДЕРНІЗОВАНА МОДЕЛЬ ОХОЛОДЖУЮЧОГО ЖИЛЕТУ ГІРНИЧОРОБІТНИКІВ ТА РЯТУВАЛЬНИКІВ

На основі дослідження закономірностей розподілу низькотемпературного випромінювання від водо крижаних охолоджувальних елементів у підодежному просторі й удосконалювання на цій основі засобів індивідуального протитеплого захисту запропонована модернізована модель охолоджуючого жилету гірничо робітника (ОЖГ), при цьому вирішено завдання підвищення ефективності ведення робіт у умовах нагрівального мікроклімату.

Ключові слова: нагрівальний мікроклімат, протитепловий одяг, променевідбиваючий шар, повітряний прошарок, охолоджувальний елемент, час захисної дії, коефіцієнт відбиття

Постановка проблеми. В даний час на 30 шахтах Донецької і Луганської областей України видобуток вугілля ведеться на глибинах від 1000 до 1500 м при протяжності виємочних полів 1000 м і більш. При значеннях геотермічного градієнта $(0,029-0,032)^{\circ}\text{C}/\text{м}$, характерних для багатьох шахтних полів, температура гірського масиву на відпрацьовуваних глибоких горизонтах складає $40-50^{\circ}\text{C}$ [1]. У гірничих виробках, що діють, на постійних робочих місцях, де протягом зміни знаходяться робітники, температура повітря повинна відповідати вимогам ДСП 3.3.1.095-2002 и не перевищувати 26°C .

Крім того, аналіз ведення робіт рятувальників в енерговугільній промисловості України показує, що більше половини від їх загального об'єму виконується в умовах нагрівального мікроклімату.

Таким чином, із збільшенням протяжності виємочних полів, а також із зростанням глибини залягання вугленосних пластів збільшується час перебування гірників в зонах підвищених температур і частота падання їх в ці умови, що істотно знижує продуктивність їх праці.

Перебування гірників і рятувальників протягом робочої зміни в умовах підвищених температур приводить до перегрівання організму і теплових ударів. Як показує статистика по гірничодобувній галузі, за останні 5 років в середньому щорік з діагнозом «гострий перегрів» в лікарні потрапляє 33 людини [2]. Це викликає необхідність реалізації ефективних заходів боротьби з високими температурами повітря у виробленнях, що включають заходи щодо зниження до норми основ-

них показників мікроклімату, а також розробку і впровадження індивідуальних засобів протитеплого захисту людини, в основному протитеплого одягу (жилетів, курток, костюмів).

Основними технічними характеристиками одягу є маса і час її захисної дії, яким приділена недостатня увага з точки зору можливості використання сучасних матеріалів з вищими теплоізоляційними характеристиками і управлінням тепловими потоками.

У зв'язку з вищесказаним, вдосконалення засобів індивідуального протитеплого захисту є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого дозволить підвищити ефективність ведення робіт в умовах нагрівального мікроклімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільший вклад в розробку і впровадження засобів індивідуального протитеплого захисту гірників і рятувальників з використанням різних холодагентів внесли вчені І.І. Волохов, В.А. Вольський, І.Я. Землянський, В.В. Карпекин, М.В. Колосніченко, І.Ф. Марійчук, А.А. Мичко, О.О. Онасенко та ін. На зміну старим теплоізоляційним матеріалам прийшли матеріали нового покоління, що дозволяють досягти вищих показників ізоляції, з'явилися нові технології управління тепловими потоками [3,4].

Вказані недоліки існуючих засобів багато в чому знижують ефективність роботи в умовах нагрівального мікроклімату. Тому дослідження закономірностей розподілу низькотемпературного випромінювання від вододільних охолоджувальних елементів в піддежному просторі і вдосконалення на цій основі засобів індивідуального протитеплого захисту є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого дозволить підвищити ефективність ведення робіт в зонах підвищених температур.

Постановка завдання та її розв'язання. Завдання у вдосконаленні ОЖГ полягає в збільшенні часу захисної дії жилета при збереженні його маси.

Функціонально час захисної дії можна описати у вигляді:

$$\tau_{\text{дон}} = f(t, B, V, \delta_i, \lambda_i, \rho_i, c_i, \Phi_m, \varepsilon_{\text{вн}}), \quad (1)$$

де t - температура навколишнього середовища, К; B - вологість повітря, %; V - швидкість повітря, м/с; δ_i - товщина шарів протитеплого одягу, м; λ_i - коефіцієнт теплопровідності шарів одягу, Вт/(м·К); ρ_i - щільність середовища, кг/м³; c_i - теплоємність шарів, Дж/(кг·К); Φ_m - енерговитрати людини, Дж; $\varepsilon_{\text{вн}}$ - коефіцієнт відбиття внутрішнього шару одягу.

Із закону Фур'є виходить, що від значення коефіцієнту теплопровідності залежить щільність теплового потоку, що проходить через теплоізолюючий шар. Використовуючи в протитепловому одязі (ПТО) в якості теплоізоляції матеріали з мінімальним коефіцієнтом теплопровід-

ності (рис.1), можна поліпшити ізоляційні властивості її оболонки в 2 рази, що спричинить збільшення тривалості теплозйому охолоджувальних елементів, а отже, і підвищення часу захисної дії протитеплого одягу.

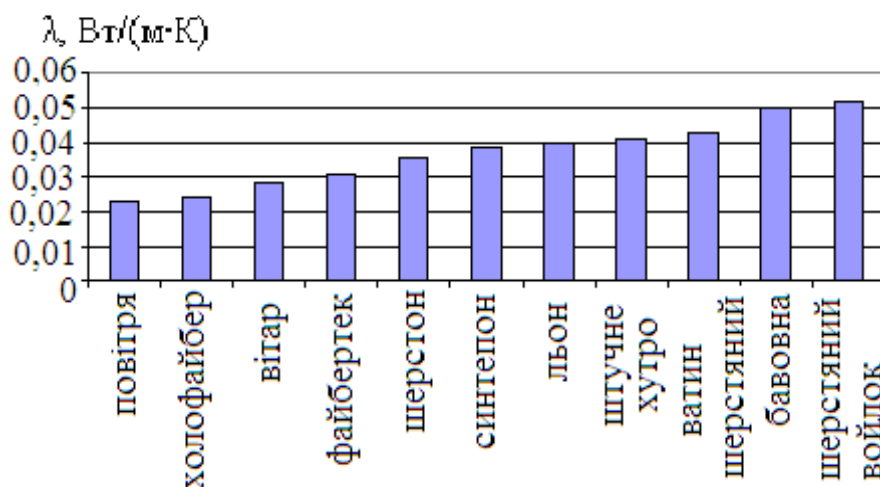


Рис. 1 – Коефіцієнти теплопровідності різних матеріалів

Тепловий потік, що проходить через шари оболонки ПТО з врахуванням повітряного прошарку визначається залежністю:

$$q = \left(\varepsilon_k \frac{\lambda}{\delta} + \alpha_n \right) (t_{c1} - t_{c2}) = \varepsilon_k \frac{\lambda}{\delta} (t_{c1} - t_{c2}) + c_{II} \left[\left(\frac{T_{c1}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{c2}}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

де t_c - температура стінки багат шарової конструкції, К; δ_i - товщина шарів ПТО, м; λ - коефіцієнт теплопровідності шарів одягу, Вт/(м·К); c_{II} - теплоємність прошарку, Дж/(кг·К); ε_k - еквівалентний коефіцієнт теплопровідності.

Звідси витікає, що чим більше товщина повітряного прошарку, тим вище термічний опір даного шару, а отже, менша кількість тепла передаватиметься від внутрішньої поверхні теплоізоляційної частини жилета до теплозйомної, і таким чином збільшиться загальний ресурс охолоджувального жилету.

Відповідно до закону Стефана-Больцмана теоретично встановлено, що заміна внутрішнього шару теплоізоляційної частини, виконаного з бавовни, променевідбиваючим шаром з алюмінієвої фольги, з коефіцієнтом випромінювання (ε), що входить в ε_k , на 19,25 % нижче, ніж в бавовняної тканини, забезпечить скорочення втрат холоду на 20%, що приведе до збільшення ресурсу комплексу охолоджувальних елементів (ОЕ-2).

Таким чином теоретично встановлено, що в результаті заміни внутрішнього шару теплоізоляційній частині жилета на променевідбиваючий шар, а також введення додаткового повітряного прошарку між ізоляційною і охолоджувальною частинами жилету дозволить

збільшити час його захисної дії на 25-30%.

На підставі теоретичних досліджень проведений ряд експериментів, основна мета яких – визначення реальних параметрів розробленої моделі ОЖГ, а також підтвердження адекватності отриманих результатів теоретичних досліджень.

Основні дослідження проводили в лабораторних умовах НДІГС «Респіратор» і на тренувальній базі Національного університету цивільного захисту України (м. Харків).

На першому етапі досліджували динаміку температур на поверхні і в підодежному просторі (ПП) моделі ОЖГ, що розроблялася.

Результати досліджень показали, що в середньому температура на поверхні моделі ОЖГ, що розробляється, на 22 % вище, а ПП – на 25 % нижче, ніж в прототипу (рис.2, 3).

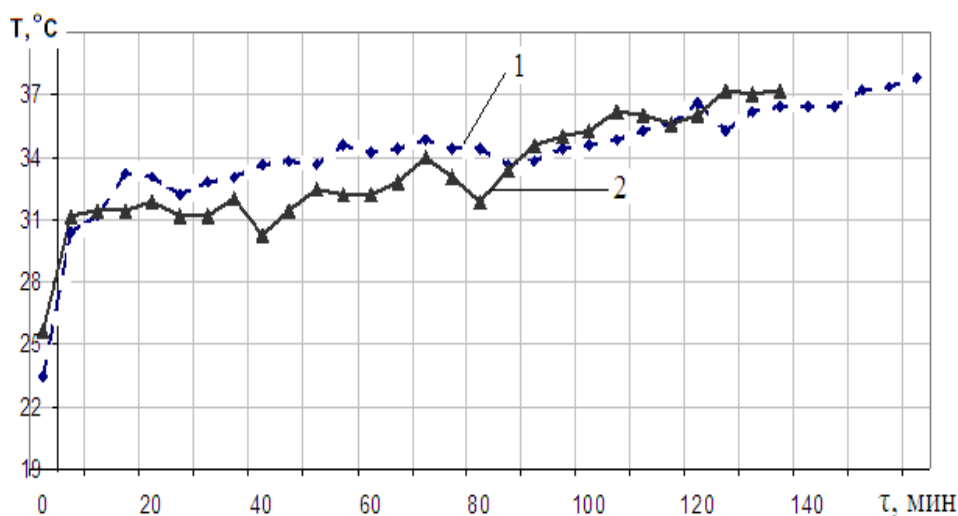


Рис.2 – Динаміка температури на поверхні ОЖГ: 1 – в прототипі, 2 – в моделі, що розробляється

Таким чином, експериментально підтверджена закономірність зниження втрат холоду через оболонку ПТО унаслідок зміни коефіцієнта випромінювання її внутрішнього шару і характеру теплообміну між охолоджувальними елементами і внутрішнім шаром теплоізоляційної частини. Зниження ε від 0,77 (бавовняна тканина) до 0,04 (алюмінієва фольга), а також введення додаткового повітряного прошарку забезпечує скорочення втрат холоду до 25-30%, що дозволяє збільшити час захисної дії комплексу охолоджувальних елементів [5].

На другому етапі досліджували поле поширення низькотемпературного випромінювання від ОЕ-2. Дослідження проводилися на стендах, дублюючих пошарову будову оболонки ПТО, забезпечених двома маркіруючими крапками, що дозволили в подальшому просторово ідентифікувати і об'єктивно проаналізувати отримані результати. Експеримент проводили з використанням тепловізійної техніки в тепловій камері з параметрами, наближеними до нагрівального мікроклімату.

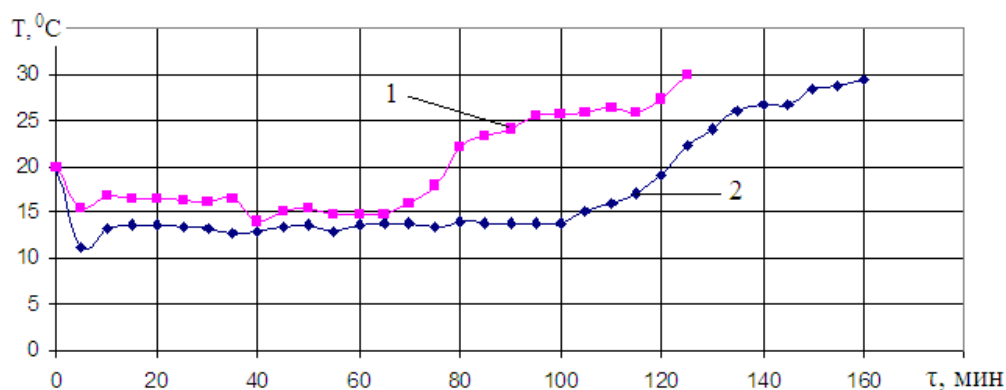


Рис. 3 – Динаміка температури в ПП ОЖГ: 1 – в прототипі, 2 – в моделі, що розробляється.

Результати термографічного дослідження ОЕ-2 на дослідних стендах (рис. 4) показали, що поле поширення низьких температур відносно нанесених міток на другому стенді в 1,5 разів менше, ніж на стенді з променевідбиваючим шаром [6].

На третьому етапі досліджували втрати тепла через елементи конструкції. При цьому оцінювали динаміку зміни температури на поверхні ОЖГ.

З розподілу температур по поверхні лицьової частини жилета, виявлено зниження температури в області передньої планки ОЖГ [7]. Це свідчить про втрати низькотемпературного випромінювання через зазор між полицями жилета, причому одночасно відбувається і проникнення високих температур в ПП, що підвищує фонову температуру в ПП, а отже знижує час теплозйому охолоджувальних елементів. На спинному же боці жилету не виявлено джерела прямої втрати низькотемпературного випромінювання через конструкцію.

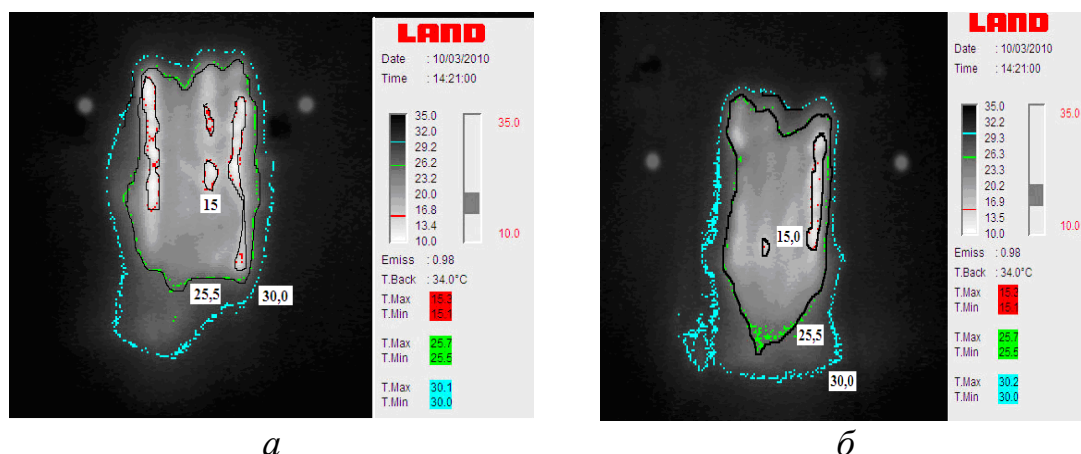


Рис. 4 – Термограми теплових полів від ОЕ-2: а – стенд з шаром, що відбиває, б – стенд без шару, що відбиває

Отже, введення в конструкцію ПТО додаткового променевідбиваючого шару дозволяє збільшити відстань між поліетиленовими кишнями для ОЕ-2 від 5-6 см до 8-9 см, що приведе до зменшення

кількості охолоджувальних елементів в одязі і зниженню її маси при збереженні часу захисної дії.

Дослідження динаміки температури в області серця показали, що за годину після початку експерименту в модернізованому жилеті вона виявилася на 5 градусів нижче, ніж в прототипі (рис.5).

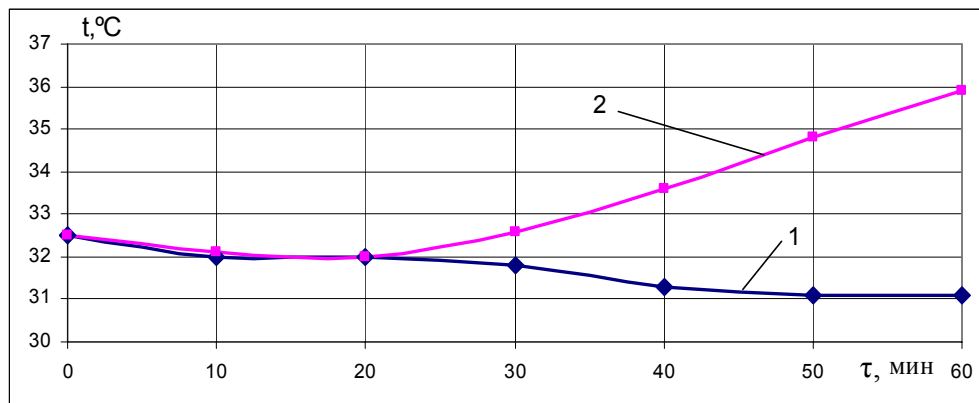


Рис. 5 – Динаміка температури тіла людини в області серця при використанні модернізованої (1) і базової (2) моделі ОЖГ

Таким чином, експериментально встановлено, що наявність зазору між полицями в однобортній конструкції ПТО приводить до нерівномірного розподілу низькотемпературного випромінювання за площею тіла людини, що забезпечує підвищені (на 7-10 °C) теплові втрати і скорочення часу її захисної дії. Перехід до цілісної конструкції передньої планки забезпечить рівномірний розподіл холоду, що дозволить збільшити охолоджувальний ресурс одягу.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень була запропонована модернізована модель ОЖГ, конструктивні особливості якої представлені на рис. 6. ОЖГ-М має відмінності від ОЖГ в пошаровій будові оболонки, в конструкції поліетиленової ґратчастої кишені, а також в цілісності лицьової і спинної частин [8].

Дана конструкція жилету дозволяє використовувати його в двох варіантах. У першому випадку в жилеті скорочена кількість ОЕ-2 з 15 шт. до 10 шт., завдяки чому маса жилету зменшена на 0,85 кг при збереженні часу його захисної дії.

У другому випадку, при збереженні кількості використовуваних ОЕ і отже маси жилета, збільшується час захисної дії конструкції до 25%.

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження ОЖГ-М замість ОЖГ, який складається з економії витрат на придбання охолоджувальних елементів і додаткового устаткування для їх заморожування, зберігання і транспортування, а також від зменшення збитку при ліквідації аварій, унаслідок збільшення часу перебування рятувальників в зонах підвищених температур, складе не менше 90,31 тис. грн.

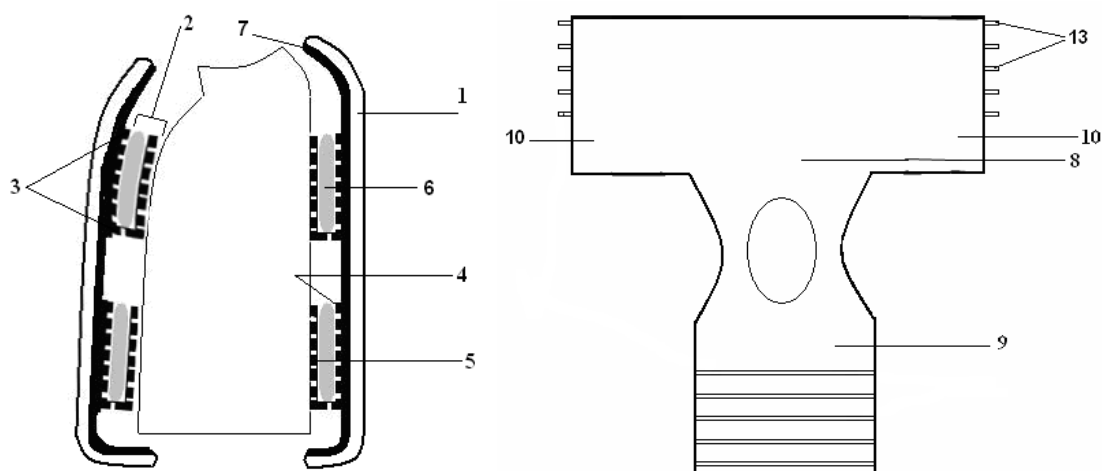


Рис. 6 – Конструкція жилета ОЖГ-М: 1 – теплоізоляційна частина, 2 – теплозйомна частина, 3 – ґратчаста поліетиленова кишеня з двома обмежувачими стінками: задньою (4) і передньою (5), 6 – елемент, що охолоджує, 7 – променевідбиваючий шар; 8 – задня і 9 – передня цільнокройні частини жилету, 10 – подовжені бічні планки задньої частини, 11 – застібка-липучка

Розроблена модель ОЖГ-М може бути використана в металургійній, хімічній, гірничій і інших галузях промисловості, а також в підрозділах МНС України, де працівники знаходяться в умовах нагрівального мікроклімату.

Висновки. Таким чином, розроблено конструктивне виконання і отримані технічні характеристики модернізованих моделей охолоджувального жилету із збільшеним часом захисної дії, меншою масою, більш рівномірним розподілом низькотемпературного випромінювання в ПП від охолоджувальних елементів. Так модель ОЖГ-М1 має меншу на 0,85 кг масу виробу, за рахунок скорочення на 5 шт. кількості ОЕ-2, зберігаючи при цьому час захисної дії базової моделі ОЖГ, а модель ОЖГ-М2 забезпечує збільшення часу захисної дії на 25 % при збереженні маси виробу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колесникова В.В. Об изменении конструкции противотеплового жилета горнорабочих и спасателей / В.В.Колесникова // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. – Донецьк: ДВНЗ „ДонНТУ”, 2010. – №2. – С. 220-224.

2. Клепиков В.Ф. Совершенствование изоляционных свойств противотепловой одежды / В.Ф.Клепиков, Е.М.Прохоренко, В.В.Колесникова, Е.Л.Завьялова // Горноспасательное дело: сб.науч.тр. – Донецк: НИИГД «Респиратор», 2010. – Вып.47. – С.127-133.

3. Петулько В.А. Исследование противотепловых курток ТК-

50 / В.А. Петулько, И.Я. Землянский, Р.М. Новикова, Ф.А. Романчук // Горноспасательная техника и противоаварийная защита шахт: сб. науч. трудов. – Донецк: ВНИИГД, 1986. – С. 19 – 24.

4. Онасенко А.А. Математическое моделирование теплообменных процессов в противогазотепловом костюме с водоледяными охлаждающими элементами / А.А. Онасенко, И.Ф.Марийчук // Форум гірників 2005: Матеріали міжнародної конференції, 12 – 14 жовтня 2005. – Т.3. – Днепропетровск: ГНУ, 2005. – С. 206 – 214.

5. Прохоренко Е.М. Тепловизионная диагностика для контроля поверхности противотеплового оборудования./ Е.В. Прохоренко, В.Ф.Клепиков, В.В.Колесникова, В.В.Литвиненко, А.И.Морозов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий: научный журнал. – Харьков: Технологический центр, 2011. – №2/6 (50). – С.65-68.

6. Морозов А.І. Удосконалення протитеплового одягу гірників та рятувальників /А.І. Морозов, В.В.Колеснікова // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2010. - № 2(22). – С. 81-86.

7. Костенко В.К. Дослідження теплофізичних властивостей протитеплового жилету / В.К.Костенко, В.В.Колеснікова, А.І.Морозов // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – Львів: ЛДУ БЖД. – № 18. – С.81-85.

8. Пат. на корисну модель № 65531 Україна, МПК А62В 17/00. Теплозахисна куртка / В.К. Костенко, О.Л.Зав'ялова, В.В.Колеснікова; заявник і власник ДонНТУ. - № u201105806; заявл. 10.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.

В.К. Костенко, Е.Л. Завьялова, В.В. Колесникова, А.И. Морозов

Модернизированная модель охлаждающего жилета горнорабочих и спасателей

На основе исследования закономерностей распределения низкотемпературного излучения от водоледяных охлаждающих элементов в пододежном пространстве и совершенствования на этой основе средств индивидуальной противотепловой защиты предложена модернизированная модель охлаждающего жилета горнорабочего, при этом решено задание повышения эффективности ведения работ в условиях нагревающего микроклимата.

Ключевые слова: нагревающий микроклимат, противотепловая одежда, лучеотражающий слой, воздушная прослойка, охлаждающий элемент, время защитного действия, коэффициент отражения.

V. Kostenko, E. Zavyalova, V. Kolesnikova, A. Morozov

Modernized model of cooling waistcoat of miners and rescuers

On the basis of research of conformities to law of distributing of low temperature radiation from vodoledyanykh coolings elements in space of subclothes and perfection on this basis of facilities of individual antithermal defence the modernized model of cooling waistcoat of miner is offered, the task of increase efficiency of conduct of works is here decided in the conditions of steam-disengaging microclimate.

Keywords: steam-disengaging microclimate, antithermal clothes, , air layer, cooling an element, time of protective action, koeficient reflections.

О.В. Кулаков, к.т.н., доцент, заст. нач. кафедри, НУЦЗУ

**ПРОБЛЕМА ПРИ КАТЕГОРУВАННІ ЗА
ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ
ЗОВНІШНІХ КАБЕЛЬНИХ СПОРУД**
(представлено д-ром техн. наук Ларіним О.М.)

Показано проблему при категорюванні за вибухопожежною та пожежною небезпекою кабельних естакад та галерей, в яких застосовуються кабельні вироби з пластмасовою ізоляцією та оболонкою. Категорія зовнішньої установки залежить від площі пожежі, яка, зокрема, визначається лінійною швидкістю розповсюдження полум'я та часом вільного розвитку пожежі. Такий висновок свідчить про неоднозначність існуючої методики розрахунку.

Ключові слова: пожежа, категорія, кабельна естакада.

Постановка проблеми. За статистичними даними [1], якщо всі пожежі прийняти за 100 %, то пожежі, що сталися через порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок, становлять щорічно у середньому 20 %. Серед електротехнічних виробів за пожежною небезпекою перше місце посідають кабельні вироби (КВ) – приблизно 60 % пожеж, 20 % загиблих і 70 % прямих матеріальних збитків від пожеж, що сталися через порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок [2].

Збільшення матеріальних збитків від пожеж в Україні свідчить про неналежне виконання системами протипожежного захисту своїх функцій. Тому удосконалення існуючих методів протипожежного захисту споруд є необхідним.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. З набуттям чинності нормативного документу [3] в Україні було введено категорювання зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Визначені категорії слід використовувати для встановлення нормативних вимог щодо забезпечення вибухопожежної та пожежної безпеки зовнішніх установок стосовно планування і забудови, конструктивних рішень, інженерного обладнання, систем протипожежного захисту.

На об'єктах КВ входять до складу кабельних ліній [4], які можуть прокладатись в землі (траншеях), воді та повітрі. Для прокладання кабельних ліній застосовують кабельні споруди.

Кабельна споруда – споруда, що спеціально призначена для розміщення в ній кабелів, кабельних муфт, а також обладнання, необхідного для забезпечення нормальної роботи кабельних ліній [4]. До

кабельних споруд відносять: кабельні тунелі, канали, блоки, шахти, поверхи, подвійні стелі (підвісні стелі), подвійні підлоги (фальшпідлоги), кабельні естакади, галереї, камери, пункти підживлення. Кабельні споруди за способом прокладання КВ можна розділити на такі, що розташовано у приміщеннях, та зовнішні.

За визначенням [3, 4] зовнішня установка – установка, розміщена поза приміщеннями (ззовні будинків), просто неба, або під дахом чи за сітчастими захисними конструкціями. Зовнішніми кабельними спорудами (установками) слід вважати кабельні естакади та галереї. Кабельна естакада – надземна чи наземна відкрита горизонтальна або нахилена протяжна кабельна споруда. Кабельна галерея – надземна чи наземна закрита повністю або частково горизонтальна або нахилена протяжна прохідна кабельна споруда.

Кабельні естакади та галереї з точки зору пожежної небезпеки характеризуються наявністю твердих горючих матеріалів (пластмасова ізоляція та оболонка КВ) та горючих рідин (оливонаповнені КВ з паперовою ізоляцією), тому за вимогами [3] можуть бути віднесені або до пожежонебезпечної категорії В₃ (якщо інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки перевищує 4 кВт·м⁻²) або до невибухонебезпечної категорії Д₃ (якщо, відповідно, інтенсивність теплового випромінювання від осередку пожежі на відстані 30 м від зовнішньої установки не перевищує 4 кВт·м⁻²).

Інтенсивність теплового випромінювання при горінні твердих матеріалів обчислюється за формулою [3]:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \psi, \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}, \quad (1)$$

де E_f – середньо поверхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт·м⁻²; F_q – кутовий коефіцієнт опромінення; ψ – коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу.

Кутовий коефіцієнт опромінення обчислюється за формулою:

$$F_q = \sqrt{F_{\hat{a}}^2 + F_{\bar{a}}^2}, \quad (2)$$

де $F_{\hat{a}}$, $F_{\bar{a}}$ – фактори опромінення для вертикальної і горизонтальної площадок відповідно, які визначаються за допомогою формул:

$$F_{\hat{a}} = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot \operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} - \frac{h}{S} \cdot \left\{ \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{S-1}{S+1}} - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right\} \right],$$

$$F_a = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{B-1/S}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(B+1) \cdot (S-1)}{(B-1) \cdot (S+1)}} - \frac{A-1/S}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{(A+1) \cdot (S-1)}{(A-1) \cdot (S+1)}} \right],$$

$$h = \frac{2 \cdot H}{d}, S = \frac{2 \cdot r}{d}, A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2 \cdot S}, B = \frac{S^2 + 1}{2 \cdot S}, r - \text{відстань від геометричного центру пожежі до об'єкта, що опромінюється, м.}$$

Ефективний діаметр пожежі розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \text{ м,}$$

де F – площа пожежі, м^2 .

Висота полум'я обчислюється за формулою:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{M_V}{\rho_i \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61},$$

де M_V – питома масова швидкість вигорання матеріалу, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\rho_i = \frac{352}{t_i + 273}$ – густина навколишнього повітря при температурі t_i , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

$g = 9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ – прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу обчислюється за формулою:

$$\psi = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0,5 \cdot d)]. \quad (3)$$

Постановка задачі та її розв'язання. Визначимо умови, за яких кабельну естакаду (галерею), слід віднести до зовнішньої установки категорії В₃. Припустимо, що застосовуються КВ з пластмасовою ізоляцією та оболонкою.

Аналіз формул (1)-(3) свідчить, що інтенсивність теплового випромінювання q при горінні пластмасових ізоляційних матеріалів КВ буде визначатися середньо поверхневою густиною теплового потоку випромінювання полум'я E_f , питомою масовою швидкістю вигорання матеріалу M_V , площею пожежі F та температурою навколишнього середовища t_n .

Значення E_f та M_V приймаються на основі наявних експериментальних даних. У разі відсутності даних для твердих матеріалів допускається приймати $E_f = 40 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ та $M_V = 0,04 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [3].

Тому, за нормальних умов (при $t_n=20^{\circ}\text{C}$) величина q буде визначатися площею пожежі F .

Таким чином, необхідно розв'язати задачу: при якій площі пожежі інтенсивність теплового випромінювання q буде перебільшувати $4 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}$ на відстані $r=30 \text{ м}$ від зовнішньої установки. Проведений за формулами (1)-(3) розрахунок свідчить, що дана умова виконується при площі пожежі $F>199,6 \text{ м}^2$.

Площа пожежі розраховується за [5, 6] залежно від лінійної швидкості розповсюдження полум'я $V_{\text{л}}$ та часу вільного розвитку пожежі $\tau_{\text{в}}^{\text{в}} \text{ с}$. У перші 10 хвилин після початку пожежі лінійну швидкість розповсюдження полум'я необхідно приймати половинною від табличного значення. Площа пожежі розраховується за формулою:

$$F = n \cdot a \cdot 0,5 \cdot V_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}}^{\text{в}}, \quad (4)$$

де n – кількість напрямків розповсюдження пожежі, a – ширина споруди.

При $\tau_{\text{в}}^{\text{в}} > 10 \text{ хв}$. площа пожежі розраховується за формулою:

$$F = n \cdot a \cdot (5 \cdot V_{\text{в}} + V_{\text{в}} \cdot \tau_2), \quad (5)$$

де n – кількість напрямків розповсюдження пожежі, a – ширина споруди, $\tau_2 = \tau_{\text{в}}^{\text{в}} - 10$.

Для кабельних споруд лінійна швидкість розповсюдження полум'я $V_{\text{л}}=0,8 \div 1,1 \text{ м/хв}$ (таблиця 1.4 [5]).

Наприклад, при ширині кабельної естакади (галереї) $a=2,0 \text{ м}$ та $V_{\text{л}} \approx 0,95 \text{ м/хв}$. кабельну споруду слід віднести до зовнішньої установки категорії B_3 при часі вільного розвитку пожежі $\tau_{\text{в}}^{\text{в}} > 57,5 \text{ с}$. (занадто велике значення). При меншому часі вільного розвитку пожежі кабельну естакаду (галерею) слід віднести до зовнішньої установки категорії D_3 .

Висновок. З введенням нормативного документу НАПБ Б.03.002 [3] для визначення категорії за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішньої кабельної споруди необхідно розраховувати інтенсивність теплового випромінювання при горінні КВ. Категорія установки залежить від площі пожежі, яка, зокрема, визначається лінійною швидкістю розповсюдження полум'я та часом вільного розвитку пожежі. Такий висновок свідчить про неоднозначність існуючої методики розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистика [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://undicz.mns.gov.ua/content/statistics.html>.

2. Пожежна безпека кабельної продукції: практичний посібник / [І.К. Домніч, Р.І. Кравченко, О.В. Кулаков та ін.]. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 214 с.

3. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://document.ua/normi-viznachennja-kategorii-primishen-budinkiv-ta-zovnishni-nor7322.html> – (Нормативний акт пожежної безпеки).

4. Правила улаштування електроустановок. – Харків: Індустрія, 2008. – 422 с. – (Серія «Довідник енергетика», кн. 6).

5. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – Москва: Стройиздат, 1987. – 288 с. – (Довідник фахівця).

6. Методика розрахунку сил та засобів, необхідних для гасіння пожеж у будівлях і на територіях різного призначення [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://192.168.1.1/firstdep/docs/1804/NMNS_1341_2011.pdf. – (Керівний документ МНС України).

О.В. Кулаков

Проблема при категорировании по взрывопожарной и пожарной опасности внешних кабельных сооружений.

Показана проблема при категорировании по взрывопожарной и пожарной опасности кабельных эстакад и галерей, в которых применяются кабельные изделия с пластмассовой изоляцией и оболочкой. Категория внешней установки зависит от площади пожара, которая, в частности, определяется линейной скоростью распространения пламени и временем свободного распространения пожара, что свидетельствует о неоднозначности существующей методики расчета.

Ключевые слова: пожар, категория, кабельная эстакада.

O.V. Kulakov

Problem at calculation of category of explosion-fire and fire danger of external cable building.

A problem is shown at classification of explosion-fire and fire danger of cable trestles and galleries which cable wares with a plastic isolation and shell are used. The category of the external setting relies on the area of fire which, in particular, is determined by linear speed of distribution of flame and time of free development of fire. Such conclusion testifies to the ambiguousness of existent method of computation.

Keywords: fire, category, cable trestle.

*В.Ю. Купка, зам. нач. курса, НУГЗУ,
А.А. Киреев, к.х.н., доцент, НУГЗУ,
К.В. Жерноклёв, к.х.н., доцент, НУГЗУ*

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ КЛАССА В

(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

Рассмотрены особенности водопенных огнетушащих веществ, как средств тушения пожаров класса В. Для повышения эффективности пенного пожаротушения предложено совместное применение пен и гелеобразующих огнетушащих систем. Установлена возможность тушения горючих жидкостей такими составами.

Ключевые слова: водо-пенные огнетушащие вещества, пожары класса В, гелеобразующие огнетушащие системы.

Постановка проблемы. Водопенные огнетушащие средства нашли широкое применение в практике пожаротушения. По частоте использования они уступают лишь жидкостным огнетушащим веществам. В большинстве развитых стран использование пен при тушении пожаров составляет 5-10 % [1] от общего случая тушения пожаров. При тушении резервуаров с горючими жидкостями пены являются основным огнетушащим средством. Доминирующим механизмом огнетушащего действия пен является изоляция горючего вещества от зоны горения. По этому показателю пены превосходят другие традиционные средства пожаротушения.

Существенным недостатком существующих водопенных огнетушащих средств является низкая устойчивость таких пен. Так известно, что пены быстро разрушаются под действием теплового излучения от факела пламени и при контакте с нагретыми элементами конструкции резервуаров, в которых хранятся горючие жидкости. Другим существенным недостатком пен является их невысокая изолирующая способность. Так при тушении легковоспламеняющихся жидкостей для обеспечения надежной изоляции необходимо обеспечить нанесение по всей поверхности горячей жидкости пены толщиной ~10 см [2].

Частично проблему малой устойчивости воздушно-механической пены и её невысоких изолирующих свойств решает применение низкократных пен на основе пленкообразующих пенообразователей [1]. При использовании таких пенообразователей тушение происходит в основном за счет изоляции поверхности горючей жидкости пленкой водного раствора плёнкообразующего пенообразователя. Такая плен-

ка, несмотря на большую плотность, чем у горючей жидкости за счёт поверхностных эффектов приобретает способность удерживаться на поверхности жидкости.

К недостаткам пленкообразующих пенообразователей относятся их высокая стоимость и токсичность продуктов термодеструкции. В целом можно заключить, что применение плёнкообразующих пенообразователей позволило повысить эффективность пожаротушения горючих жидкостей. Однако опыт практического тушения пожаров класса В показывает, что в значительном числе случаев применение таких пенообразователей не в полной мере отвечает предъявляемым требованиям.

Анализ последних достижений и публикаций. Большой части этих недостатков лишены гелеобразующие огнетушащие составы (ГОС) [3]. Гелеобразные слои, образующиеся на поверхности горючего материала, обладают высокой изолирующей способностью и устойчивостью к действию тепловых воздействий. Однако при подаче компонентов ГОС на поверхность жидкостей большая часть геля быстро тонет в большинстве горючих жидкостей.

Ранее были предприняты попытки совместить процесс гелеобразования и пенообразования путём использования пенообразующих систем с внешним пенообразованием (ПОС) [4-5]. Компоненты системы подбирались так, чтобы при их взаимодействии одновременно образовывался гель и выделялся газ. Таким способом удалось уменьшить долю тонущего геля. При большой интенсивности подачи компонентов огнетушащей системы удавалось получить слой геля на всей поверхности бензина. Однако после прекращения подачи компонентов огнетушащей системы слой геля постепенно разрушался и тонул.

Постановка задачи и ее решение. Задачей работы является исследование условий обеспечения устойчивости гелеобразного слоя при нанесении его на поверхность пены, поданной на поверхность горючей жидкости. В качестве горючей жидкости был использован бензин А-76.

Для проведения экспериментальных исследований была разработана и изготовлена лабораторная установка для генерирования пены сеточного типа. В качестве модельного очага была использована цилиндрическая ёмкость диаметром 28 см и высотой 23 см (модельный очаг 2В). Сначала в ёмкость наливалась 4 л воды, а сверху наливался 2 литра бензина А-76.

Затем из пеногенератора на поверхность бензина наносился слой пены разной толщины. В качестве пенообразователя использовался пенообразователь – ТЭАС. Пеногенератор обеспечивал получение пены средней кратности ($K_n \approx 40$). После этого через 1 минуту на поверхность пены подавались следующие компоненты ГОС:

$\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%) + \text{CaCl}_2(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%) + \text{MgCl}_2(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(5\%) + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(5\%)$, $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2(15\%) + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(15\%)$. Эти ГОС ранее показали наилучшие огнетушащие и огнезащитные свойства [6-7].

После образования сплошного слоя геля на поверхности пены визуально определялось время разрушения сплошного слоя геля. Максимальное время наблюдения составляло 15 минут. Для каждого случая проводились три опыта. Средние значения времен разрушения приведены в таблице.

Таблица 1 – Зависимость времени разрушения слоя геля (τ) нанесённого на поверхность пены высотой ($l_{\text{пены}}$) от толщины слоя геля ($l_{\text{геля}}$)

$l_{\text{пены}}$, см	τ , мин			
	$l_{\text{геля}}$, мм			
	1	2	3	4
1,5	3	11	12	10
2	3	14	>15	>15
3	4	13	>15	>15
4	4	15	>15	>15
5	4	14	>15	>15

Визуальные наблюдения процесса нанесения слоя геля поверх слоя пены позволяют сделать ряд выводов. При нанесении геля поверх слоя пены её верхний слой пены частично разрушается. При толщине слоя пены менее 1,5 см часть слоя геля тонет в течение нескольких секунд. При толщине слоя пены не менее 2 см наблюдается устойчивое удержание слоя геля на поверхности пены в течение времени более 10 минут. При толщине слоя геля менее 2 мм наблюдается проскок воздуха через небольшие дефекты в слое геля. В этих местах гель постепенно тонет. В случае если толщина слоя пены превышает 2 см, а слоя геля 2 мм, гель удерживается на поверхности жидкости более 15 минут.

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать ряд выводов.

Выводы. Экспериментально установлено, что возможно нанесения слоя геля на поверхность жидких горючих веществ, если предварительно на поверхность жидкости нанести слой пены. В случае если толщина слоя пены превышает 2 см, а толщина слоя геля 2 мм, гель сохраняет свою целостность более 15 минут. Это позволяет предложить предложенную технологию нанесения слоя геля на поверхность горючих жидкостей для целей тушения горючих жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шараварников А.С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. / А.С. Шараварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шаравар-ников. – М.: Калан, 2002.– 448 с.
2. Вогнегасні речовини : посібник / [Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. та ін.]. – К. : Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
3. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК⁷ А 62 С 5 / 033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., Киреев А.А., Бабенко А.В. ; заявитель и патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256 / 12; заявл. 23.12.2003; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. №32.
4. Киреев А.А. Пути повышения эффективности пенного пожаротушения / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2008.– вып.24.– С.50-53.
5. Киреев А.А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах. / Киреев А.А., Коленов А.Н. // Проблемы пожарной безопасности.– 2009.– вып.25.– С.59-64.
6. Кіреєв О.О. Вогнезахисні властивості силікатних гелеутворюючих систем / Кіреєв О.О. // Науковий вісник будівництва. – 2006. – Вып. 37. – С. 188-192.
7. Киреев А.А. Исследование огнетушащего действия гелеобразующих огнетушащих составов / А.А. Киреев, С.Н. Бондаренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2008. – Вып. 24. – С. 44-49.

В.Ю. Купка, О.О. Кіреєв, К.В., Жернокльов

Шляхи підвищення ефективності гасіння пожеж класу В

Для підвищення ефективності гасіння пожеж класу В запропоновано сумісне використання пін і гелеутворюючих вогнегасних систем. Встановлено практичну можливість гасіння такими складами рідин, що горять.

Ключові слова: водо-пінні вогнегасні речовини, пожежі класу В, гелеутворюючі вогнегасні системи.

V.Y. Kupka, A.A. Kireev, K.V., Zhernoklov

Ways of increase efficiency of fire extinguishing of class B

For increase of efficiency of a foamy firefighting joint application of foams and gelforming systems is offered. It is established the possibility of firefighting the flame of combustible liquids by the use such composition.

Keyterms: foam fire extinguishing, fire class B, gelforming systems.

*М.В. Кустов, к.т.н., ст. преподаватель, НУГЗУ,
В.Д. Калугин, д.х.н., профессор, НУГЗУ*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ В АТМОСФЕРЕ ПУТЕМ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕЁ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрено влияние ионизации атмосферы в зоне активного осадкообразования на процесс искусственного воздействия на атмосферные аэрозоли с целью обеспечения необходимого количества осадков для ликвидации различных ЧС. Проведена сравнительная оценка различных методов ионизации (воздействия) на атмосферные аэрозоли. Определена необходимая напряженность электромагнитного поля для эффективной ионизации атмосферы.

Ключевые слова: искусственное осадкообразование, ион, ионизация газа, пучки микроволн, СВЧ излучение, интенсивность электромагнитного излучения, напряжённость электрического поля.

Постановка проблемы. При ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) различной природы (тушение лесных и степных пожаров с помощью конденсированной из атмосферы воды, осаждение твёрдых продуктов вулканического извержения, регуляция обводнённости местности и др.) определяющую роль играет наличие или отсутствие атмосферных осадков в зоне ЧС. Поэтому успешное решение задачи искусственного управления процессами осадкообразования в заданном районе существенно повышает эффективность борьбы с целым рядом ЧС как природного, так и техногенного характера. Однако контролируемое управление атмосферными процессами требует использование достаточно сложного оборудования и значительных энергозатрат. В этой связи одной из проблем, подлежащей разрешению, является исследование процесса активного воздействия на атмосферу мощными пучками микроволн.

Анализ последних достижений и публикаций. Вопросам искусственного влияния на атмосферные процессы уделяется большое внимание на протяжении многих лет. На сегодняшний день разработаны и активно применяются такие методы как искусственное охлаждение некоторой зоны атмосферы за счёт распыления жидкого углекислого газа (CO_2) [1], что приводит к интенсификации процесса образования осадков из облаков. Нашел широкое применение метод активизации осадкообразования из облаков путём распыления солей йода [2-3]. Эти реагенты доставляются в зону воздействия либо с

помощью летательных аппаратов, либо баллистическим методом [4]. Однако, данные методы имеют ряд ограничений по своему применению. В работе [5] установлено значительное влияние на скорость каплеобразования в атмосфере присутствия электрически заряженных частиц, в частности ионов и ионных кластеров. Поэтому установление возможности ионизации воздуха в необходимой зоне атмосферы позволит более успешно решить задачу эффективного конденсирования атмосферной влаги.

Постановка задачи и её решение. Целью работы является исследование возможности управления процессами конденсации воды в атмосфере мощными пучками микроволн для обеспечения условий эффективной ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Существенное влияние на процесс ликвидации масштабных пожаров большой площади на открытой местности оказывает наличие осадков в зоне ЧС, поскольку они (осадки) способствуют повышению влажности, снижению температуры и являются мощным источником огнетушащего материала (воды). Существующее на сегодняшний день большое количество научных и практических разработок в области климатологии и метеорологии [6-8] свидетельствует о возможности искусственного управления процессами осадкообразования. В связи с этим дальнейшее изучение данной проблемы является весьма актуальным и перспективным для повышения эффективности борьбы с крупными пожарами на открытой местности.

Среди водосодержащих аэрозольных частиц в атмосфере (облаках) присутствуют, как нейтральные, так и заряженные частицы. При нормальных условиях концентрация заряженных частиц незначительная ($\sim (2 - 3) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$). Основную группу заряженных аэрозольных частиц в атмосфере составляют тяжёлые ионы (радиус от $7 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ мкм), которые образуются путём присоединения ионизированных молекул или свободных электронов к нейтральной акваэрозольной частице. Меньшую концентрацию имеют лёгкие ионы, представляющие из себя ионизированные молекулы, либо части молекул, и ионные кластеры, состоящие из нескольких молекул или атомов ($r \sim 7 \cdot 10^{-4}$ мкм) [9]. Отдельную группу представляют свободные электроны, концентрация которых из-за короткого срока существования в атмосфере незначительна.

Ионы образуются при воздействии на атмосферные газы элементарных частиц с большой энергией и мощного электромагнитного излучения. В природных условиях основными источниками ионизации являются излучение радиоактивных веществ земной коры и космические лучи.

Все ионы характеризуются подвижностью, численно равной скорости движения иона под действием электрической силы в поле

напряженностью, равной единице [9]:

$$u = a \left(\frac{e}{m} \right) \cdot \left(\frac{\lambda_u}{v_T} \right), \quad (1)$$

где a – некоторый численный коэффициент (порядка 0,5 – 1,0); e/m – отношение заряда иона к его массе, Кл/кг; λ_u – средняя длина свободного пробега иона, м; v_T – средняя скорость его теплового движения, м/с.

Оценка подвижности атмосферных ионов по (1) представлена в табл. 1.

Таблица 1 – Подвижность различных классов ионов

Группа ионов	u , см ² /(с·В)	$r \cdot 10^8$, см
Легкие	1 - 3	7 - 10
Средние	0,01 - 0,001	10 - 250
Тяжелые	0,001 - 0,00025	250 - 500
Ультратяжелые	< 0,00025	> 500

При оценке подвижности атмосферных ионов не учитывалось влияние химической природы молекул и присутствие дипольных молекул воды, которые непосредственно влияют на подвижность ионов.

Концентрация лёгких ионов определяется балансом процессов образования и рекомбинации. Учитывая, что концентрация положительно заряженных ионов практически равна концентрации отрицательно заряженных, получим:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha \cdot n^2, \quad (2)$$

где q – число образовавшихся пар ионов; α – коэффициент рекомбинации легких ионов, n – концентрация ионов.

Как уже отмечено выше, в атмосфере легкие ионы исчезают не только за счёт рекомбинации, но и путём оседания (прилипания) на нейтральных частицах и тяжелых ионах, следовательно уравнение (2) примет вид:

$$\frac{dn}{dt} = q - \alpha \cdot n^2 - \eta \cdot n \cdot N_0 - \gamma \cdot n \cdot N, \quad (3)$$

где N_0 , N – концентрации нейтральных частиц и тяжёлых ионов соответственно; η , γ – коэффициенты прилипания.

В работе [9] приведены следующие значения коэффициентов прилипания для безоблачной погоды: $\alpha \approx 1,6 \cdot 10^{-6}$ см³/с, $\eta \approx 4,3 \cdot 10^{-6}$ см³/с, $\gamma \approx 6,5 \cdot 10^{-6}$ см³/с. Исходя из этих данных и учитывая, что концентрации нейтральных частиц и тяжёлых ионов на порядок выше концен-

трации лёгких ионов, можно заключить, что ионизация воздуха приведёт к появлению заряда на твёрдых и жидких аэрозольных частицах.

Процесс заряжения водосодержащих частиц атмосферного аэрозоля вследствие захвата ими ионов зависит от подвижности ионов. Как видно из табл. 1 подвижность лёгких ионов на несколько порядков выше более тяжелых классов ионов, поэтому основной вклад в процесс заряжения аэрозольных частиц дают именно лёгкие ионы. На каплях могут осаждаться как положительные, так и отрицательные ионы, поэтому отличный от нуля заряд атмосферных аэрозольных частиц будет обусловлен различной массой ионов, их различными коэффициентами диффузии ($D^- \approx 0,043 \text{ см}^2/\text{с}$, $D^+ \approx 0,028 \text{ см}^2/\text{с}$), разными по знаку заряда проводимостями воздуха, фрактальной структурой твёрдых водосодержащих образований и с избирательными свойствами поверхности жидких капель, что связано с наличием на поверхности раздела электрического слоя, препятствующего проникновению внутрь капли положительных ионов. Возможность образования электрически заряженных водосодержащих атмосферных аэрозольных частиц дополнительно подтверждает высказанные в работе [5] представления о положительном влиянии ионизации на процесс интенсификации осадкообразования.

Исходя из того, что под понятием «ионизации» понимают отщепление электрона от нейтральной молекулы либо разрыв нейтральной молекулы на несколько заряженных частей, соответственно все методы ионизации основаны на обеспечении в реакционной зоне энергии, достаточной для отщепления электрона либо разрыва молекулы. Из основных компонент атмосферного воздуха самую низкую энергию ионизации имеет кислород (табл. 2) [10], следовательно в дальнейшем будем рассматривать именно этот механизм ионизации воздуха как наиболее вероятный.

Таблица 2 – Потенциалы ионизации основных газов атмосферы

Образовавшийся ион/ первичная молекула	Потенциал ионизации E_i , eV
N_2^+/N_2	15,581±0,008
N^+/N_2	14,5341
O_2^+/O_2	12,0697±0,0002
O^+/O_2	13,6181
$\text{H}_2\text{O}^+/\text{H}_2\text{O}$	12,621±0,002
$\text{CO}_2^+/\text{CO}_2$	13,777±0,001
Ar^+/Ar	15,759±0,001
Kr^+/Kr	13,999±0,00001

Исходя из приведенных выше энергетических оценок проанализируем возможности существующих методов ионизации для реше-

ния поставленной в работе задачи. Ионизаторы работают или при высоком напряжении ($\sim 10^3$ В) в режиме коронного разряда, или от источников электромагнитного излучения различной интенсивности. Ионизаторы на коронном разряде оснащены заострёнными электродами, которые посредством коронного разряда и электростатической эмиссии образуют ионы в непосредственной близости от электродов. Время существования ионов в атмосфере зависит от их энергии диссоциации, подвижности, заряда и др. и составляет порядка $10^{-3} - 10$ с. Следовательно, перемещение ионов с таким временем жизни на высоте активного осадкообразования (1-5 км) невозможно.

Метод ионизации газов с использованием электромагнитного излучения основан на принципе разрушения молекул среды фотонами с высокими уровнями энергии и подразделяется на два подкласса в зависимости от интенсивности излучения – ионизацию при ультрафиолетовом излучении и - радиационном излучении. Метод ионизации на основе электромагнитного излучения позволяет ионизировать газы на значительном удалении от источника электромагнитных волн, что позволяет использовать данный метод для решения поставленной проблемы.

Проанализируем возможность использования ультрафиолетового и радиационного излучения для ионизации воздуха на высоте 1 – 5 км. Интенсивность излучения меняется с расстоянием h по закону Рэлея:

$$I_h = I_0 \cdot e^{-\sigma \cdot h}, \quad (4)$$

где I_h – интенсивность электромагнитного излучения на высоте h ; I_0 – начальная интенсивность излучения; σ – сечение рассеяния, которое определяется как:

$$\sigma = \frac{8\pi^3(n^2 - 1)}{3N \cdot \lambda^4} \cdot \frac{6 + 3\Delta}{6 - 7\Delta},$$

где n – показатель преломления воздуха; N – число частиц, на которых происходит рассеяние; λ – длина волны излучения; Δ - фактор деполяризации рассеянного излучения (для молекул воздуха $\Delta \approx 0,035$).

Анализ уравнения (4) показывает, что интенсивность ультрафиолетового излучения с $\lambda \approx 10^{-7}$ м на высоте 5 км снижается на ~ 73 % (учёт рассеяния излучения на крупных аэрозольных частицах ещё больше увеличат потери интенсивности). Из этого следует, что значительная потеря интенсивности излучения в ультрафиолетовой области не позволяет использовать его для ионизации атмосферы в зоне активного осадкообразования.

Интенсивность радиационного излучения, несмотря на ещё меньшую длину волны ($\lambda = 10^{-14}$ м), из-за большой энергии в импульсе снижается с расстоянием несущественно. По причине того, что радиационное излучение в большей степени проявляет корпускулярные свойства, а волновые свойства проявляются незначительно, коэффициент его ослабления определяется как:

$$\sigma = \tau + \mu + \chi, \quad (5)$$

где τ – коэффициент фотоэлектронного поглощения; μ – коэффициент комптонского рассеивания; χ – коэффициент образования электрон-позитронных пар.

Для излучения с энергией фотона 100 КэВ, в соответствии с (5), коэффициент рассеяния для воздуха будет составлять $\sim 0,1$. Однако отсутствие технических средств фокусировки радиационного излучения и его крайне негативные экологические свойства также не позволяют использовать данный метод для целей искусственного осадкообразования.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о перспективности использования для интенсификации процессов осадкообразования в зоне пожара метода ионизации газов электромагнитным излучением СВЧ диапазона. Излучение данного диапазона ($\lambda = 10^{-2}$ м) оказывает слабое воздействие на экологическое состояние окружающей среды, имеет невысокий коэффициент ослабления ($\sim 26\%$), а также в настоящее время разработаны эффективные технические средства генерации СВЧ излучения.

Использование СВЧ излучения для ионизации газов было предложено ещё в работе [11], однако активная разработка возможностей практического использования этого вида излучения только начинается [12, 13].

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим возможности мощного электромагнитного излучения (МЭМИ) СВЧ диапазона для воздействия на атмосферные аэрозоли.

Ионизируемую область атмосферы будем рассматривать как однородную газовую среду с давлением p и с начальной концентрацией свободных электронов n_{e_0} , которая существенно меньше концентрации нейтральных частиц и нейтральных молекул N_m , на которых происходит рассеяние. Такая модель вполне соответствует реальным условиям состояния атмосферы.

Распространение СВЧ импульса длительностью τ и частотой ω для предлагаемой модели описывается волновым уравнением [14]:

$$\frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} = \frac{4\pi}{c^2} \left[(n_{e_0} + n_e) \frac{\partial \bar{V}_e}{\partial t} + \bar{V}_e \frac{\partial n_e}{\partial t} \right], \quad (6)$$

где n_e – концентрация электронов; V_e – осциляторная скорость электронов; E – напряженность электрического поля.

Если принять плотность тока: $\bar{j} = e\bar{V}_e(n_{e_0} + n_e)$, то изменение концентрации электронов в процессе ионизации частиц газовой среды в электромагнитном поле можно описать уравнением:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = (v_i - v_n)n_e - \text{div} \bar{j}, \quad (7)$$

где v_i – частота ионизации; v_n – частота потерь электронов в результате рекомбинации и присоединения к аэрозольным частицам с образованием тяжёлых ионов.

Частоты v_i и v_n зависят от энергии электронов. Согласно [15] в модели ионизации воздуха предполагается, что за время между столкновениями (при свободном пробеге) электрон под действием поля набирает энергию ε до тех пор, пока она не достигнет величины потенциала ионизации газа E_i . Затем при столкновении электрон всю свою энергию передаёт молекуле, в результате чего происходит следующий этап - ионизация. Данная модель процесса ионизации имеет несколько упрощённый вид, однако она позволяет оценить критическую напряженность поля, при которой происходит рост концентрации ионов (количество образованных электронов (и ионов) выше количества рекомбинированных частиц):

$$E_{\text{кр}}^2 > \frac{4E_i}{e/m} \frac{\omega^2 + \frac{1}{3}v_{\text{me}}^2}{v_{\text{me}}} \frac{1}{\tau} \ln \left(\frac{n_{\text{cr}}}{n_{e_0}} \right), \quad (8)$$

где e и m – заряд и масса электрона; v_{me} – частота соударений электронов с нейтральными частицами; τ – время импульса излучения; n_{e0} – начальная концентрация электронов; n_{cr} – критическая концентрация электронов для частоты падающего СВЧ - излучения ω .

Анализ модели (8) с учётом данных табл. 2, с использованием пакета математических программ Maple, позволил получить значения критической напряжённости электромагнитного поля при различных условиях (рис. 1, 2). Для атмосферы на высоте ~ 5 км $v_{\text{me}} \approx 10^{10} \text{ с}^{-1}$.

Из рис. 1, 2 видно, что при большой частоте излучения длительность импульса несущественно влияет на критическую напряжённость поля. Резкий максимум в области низкой частоты излучения можно объяснить приближением характеристик излучения к ус-

ловиям, когда частота излучения ω за время импульса τ будет стремиться к единице. При достижении этого условия, как видно из рис. 1, достичь критической напряжённости поля невозможно ($E \rightarrow \infty$).

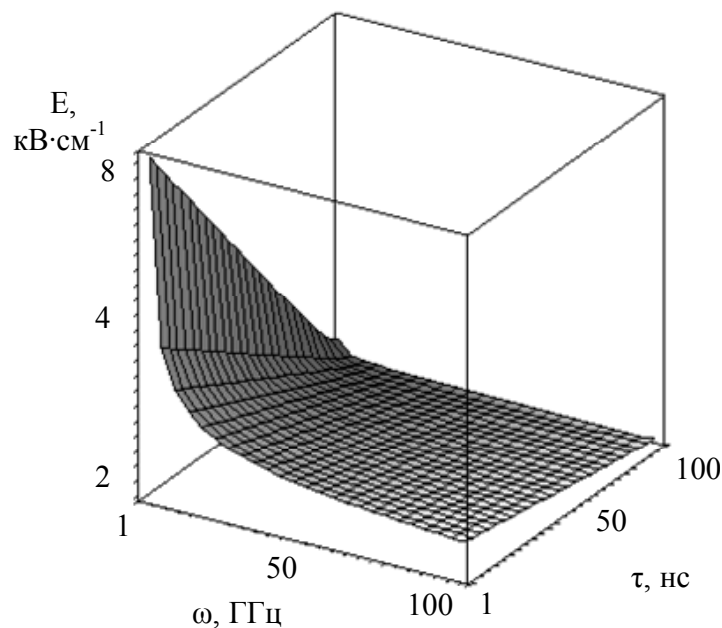


Рис. 1 – Влияние характеристик импульса МЭМИ (ω и τ) на критическую напряженность поля (E)

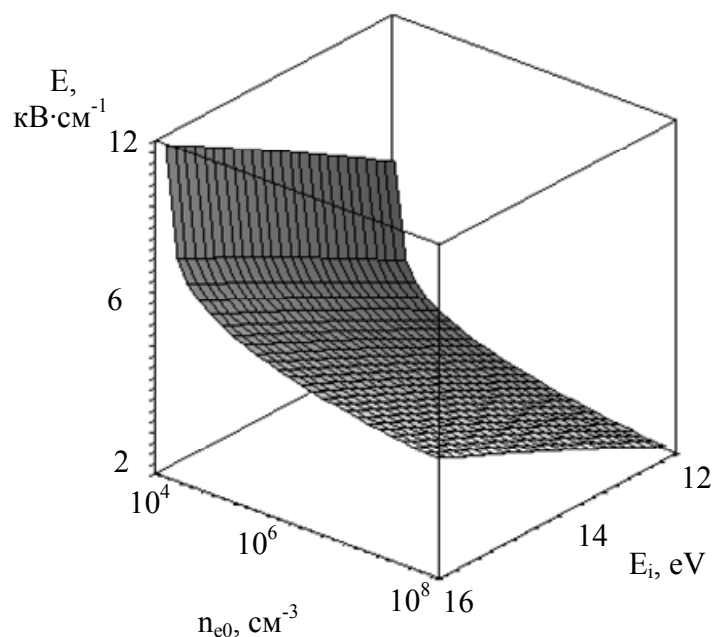


Рис. 2 – Влияние характеристик среды (E_i и n_0) на критическую напряженность поля (E) при ионизации молекул кислорода в воздухе

Из характеристик среды наибольшее влияние на увеличение критической напряжённости поля оказывает концентрация свободных электронов (рис. 2), поэтому необходимо обязательно проводить мониторинг этого параметра при использовании СВЧ-излучения при решении задач искусственного осадкообразования для тушения ландшафтных пожаров.

Полученные данные позволяют определить распределения критической напряженности поля для различных высот атмосферы в безоблачную погоду (низкая концентрация крупных аэрозольных частиц) в зависимости от различных параметров СВЧ импульса (τ , ω) (рис. 3, 4)

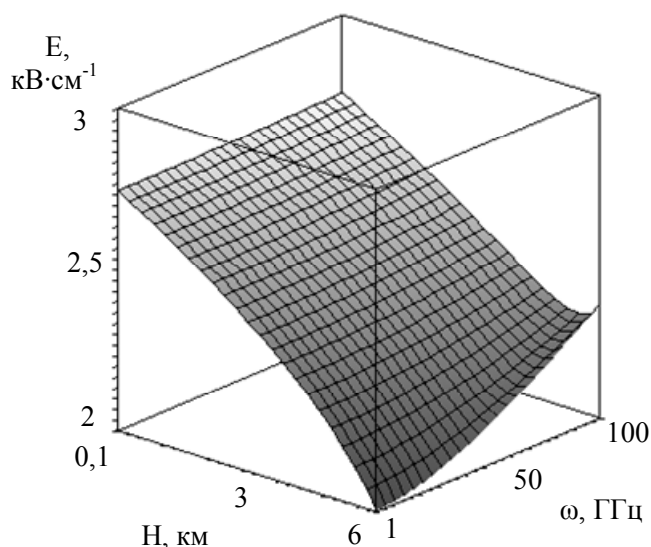


Рис. 3 – Зависимость критической напряженности поля (E) от высоты области воздействия (H) при $\tau = 5 \cdot 10^{-8}$ с

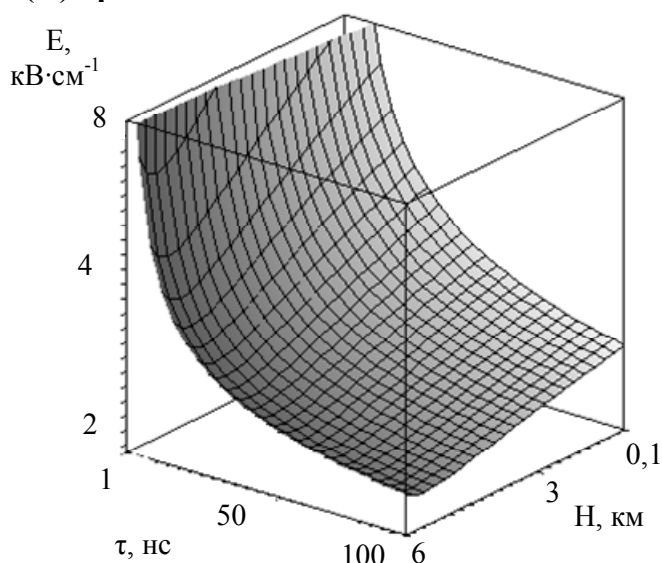


Рис. 4 – Зависимость критической напряженности поля (E) от высоты области воздействия (H) при $\omega = 10^{10}$ с⁻¹

Анализ полученных данных показывает, что критическая напряжённость поля падает с высотой, пока частота соударений не достигнет того же порядка, что и ω . При малых высотах влияние частоты излучения на величину E , из-за высокой частоты соударений электронов с нейтральными молекулами, незначительно. Резкий рост критической напряжённости поля, при малой длительности импульса, объясняется тем, что свободные электроны за такое время воздействия поля не успевают приобрести энергию, достаточную для ионизации. Интенсификация процесса каплеобразования в атмосфере путем активного воздействия на неё мощного электромагнитного излучения

зации нейтральной молекулы, что предполагается в модели (8).

Полученные в работе данные могут быть использованы для определения необходимых характеристик излучателей МЭМИ. Однако, при оценке возможности создания в атмосфере ионизированной области наземными источниками СВЧ излучения существенную роль играет учёт коэффициента ослабления излучения с расстоянием. Приведенная выше зависимость (4) не позволяет в полной мере определить потери мощности излучения, так как не учитывает присутствие в атмосфере твёрдых и жидких аэрозольных частиц, которые вносят существенный вклад в процесс рассеивания и поглощения МЭМИ.

Выводы. В работе рассмотрено влияние концентрации лёгких ионов и свободных электронов на интенсификацию процесса осадкообразования в зоне ЧС. Подтверждено предположение о влиянии ионизации воздуха на процессы конденсации атмосферных водосодержащих аэрозолей. По результатам анализа существующих методов ионизации воздуха наиболее эффективным определён метод воздействия на область ионизации пучков МЭМИ СВЧ диапазона. Результаты проведенных в работе расчётов с дополнительным учётом коэффициента ослабления излучения позволяют оценить характеристики излучателей МЭМИ для образования ионизированной области в атмосфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.С. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат / А.С. Гинзбург, Д.П. Губанова, В.М. Минашкин // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2008. - т. LII, № 5 - С. 112-119.

2. Израэль Ю.А. Метеорология и гидрология / Ю.А. Израэль, 2005. - № 10. - С. 5—9.

3. Ивлев Л.С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей / Л.С. Ивлев // Л., Изд. ЛГУ, 1982. - 366 с.

4. Мейсон Б. Дж. Физика облаков / Б. Дж. Мейсон. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. - 541 с.

5. Кустов М.В. Исследование механизма каплеобразования при тушении пожаров атмосферными осадками / М.В. Кустов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып.. 30. – С. 139-146.

6. Аэрозоль и климат. [Под ред. К.Я.Кондратьева]. Л., Гидрометеиздат, 1991. - 541 с.

7. Кондратьев К.Я. Атмосферный аэрозоль / К.Я. Кондратьев, Н.И. Москаленко, Д.В. Поздняков. // Л., Гидрометеиздат, 1983. - 224с.

8. Janicke R. Aerosol physics and chemistry. // In Landolf-Bernstein,

Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series. Group V, G.Fischer (Ed.), 1988, vol. 4, p. 391-457.

9. Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем / Л.С. Ивлев, Ю.А. Довгалюк. — СПб.: НИИХ СПбГУ, 1999. — 194с.

10. Mallard G., Linstrom P.J. // NIST Standard Reference Database. 2000. Vol. 69.

11. Гуревич А.В. Ионизированный слой в газе / А.В. Гуревич // Успехи физических наук, 1980, Т. 132, в. 4, - С. 685 – 690.

12. Иванов О.А. Физико-химические процессы в плазме наносекундных СВЧ разрядов: дис. ... доктора физ.-мат. наук: 01.04.08/ Иванов Олег Андреевич. – Нижний Новгород, 2007. – 352 с.

13. Гуревич А.В. Искусственная ионизированная область как источник озона в стратосфере / А.В. Гуревич, А.Г. Литвак, А.Л. Вихарев и др. // Успехи физических наук, 2000. – Т. 170, № 11. – С. 1181 – 1202.

14. Гуревич А.В. Нелинейная теория распространения радиоволн в атмосфере / А.В. Гуревич, А.Б. Шварцбург. – М.: Наука, 1973. – 322 с.

15. Барсов В.И. Оценка СВЧ пробоя в атмосфере при распространении в ней СВЧ импульса / В.И. Барсов, Н.С. Антоненко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 9(90). – С. 8-11.

М.В. Кустов, В.Д. Калугін

Інтенсифікація процесу каплеутворення в атмосфері шляхом активного впливу потужним електромагнітним випромінюванням

Розглянуто вплив іонізації атмосфери в зоні активного опадоутворення на процес штучного впливу на атмосферні аерозолі з метою забезпечення необхідної кількості опадів для ліквідації різних НС. Проведено порівняльну оцінку різних методів іонізації газів при впливі на атмосферні аерозолі. Визначено необхідну напруженість електромагнітного поля для ефективною іонізації атмосфери.

Ключові слова: штучне опадоутворення, іон, іонізація газу, пучки мікрохвиль, НВЧ випромінювання, інтенсивність електромагнітного випромінювання, напруженість електричного поля.

M.V. Kustov, V.D. Kalugin

Intensification of drops formation process in atmosphere by active influence of powerful electromagnetic radiation

Influence of ionization of atmosphere in a zone of active formation of deposits on process of artificial influence on atmospheric aerosols on purpose maintenance of a necessary amount of precipitation for liquidation of various emergency situations is considered. The comparative estimation of various methods of ionization of gases is spent at influence on atmospheric aerosols. Necessary intensity of an electromagnetic field for effective ionization of atmosphere is defined.

Keywords: artificial formation of deposits, an ion, gas ionization, bunches of microwaves, the microwave radiation, intensity of electromagnetic radiation, intensity of electric field.

*А.Н. Литвяк, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.А. Дуреев, к.т.н., ст. преподаватель, НУГЗУ*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОДЯНОЙ ЗАВЕСЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Алексеевым О.П.)

Рассмотрены параметры распределительной сети для создания водяной завесы общего назначения.

Ключевые слова: водяная завеса, огнетушащее вещество, удельный расход, глубина завесы, охлаждение.

Постановка проблемы. Водяные завесы (ВЗ) могут выполнять раздельно или в совокупности две основные функции [1, 2]:

- экранирование тепловых потоков и токсичных продуктов горения с целью исключения распространения пожара и его опасных факторов за пределы водяных завес;

- охлаждение технологического оборудования с целью исключения нагрева его конструкций до предельно допустимых температур.

Анализ последних исследований и публикаций. Формальные требования к установкам водяного пожаротушения с ВЗ, представлены в [3]. В [1, 2] приведены методики расчета потребного расхода воды для создания ВЗ, предотвращающих распространения продуктов горения и ВЗ общего назначения, без рекомендаций выбора и размещения оросителей.

Постановка задачи и ее решение. Рассмотрим схему типовой дренчерной завесы, рис. 1.

Основные параметры водяных завес: q_L – удельный расход водяной завесы, расход, приходящийся на один погонный метр ширины завесы в единицу времени; L – ширина завесы, фронтальная протяженность защищаемой площади, в пределах которой обеспечивается заданное значение удельного расхода; B – глубина завесы, перпендикулярная к ширине завесы протяженность защищаемой площади, в пределах которой обеспечивается заданный удельный расход; Sh – шаг размещения оросителей.

Согласно НПБ-87-2001 нормативная глубина водяной завесы, в пределах которой должны выполняться требования по удельному расходу воды $B_H = 250$ мм.

Для обобщения расчетов примем в качестве ширины завесы наибольший размер (диаметр) эсперы орошения $L = 2R$, а интенсивность орошения на защищаемой одним оросителем площади равна

среднему значению.

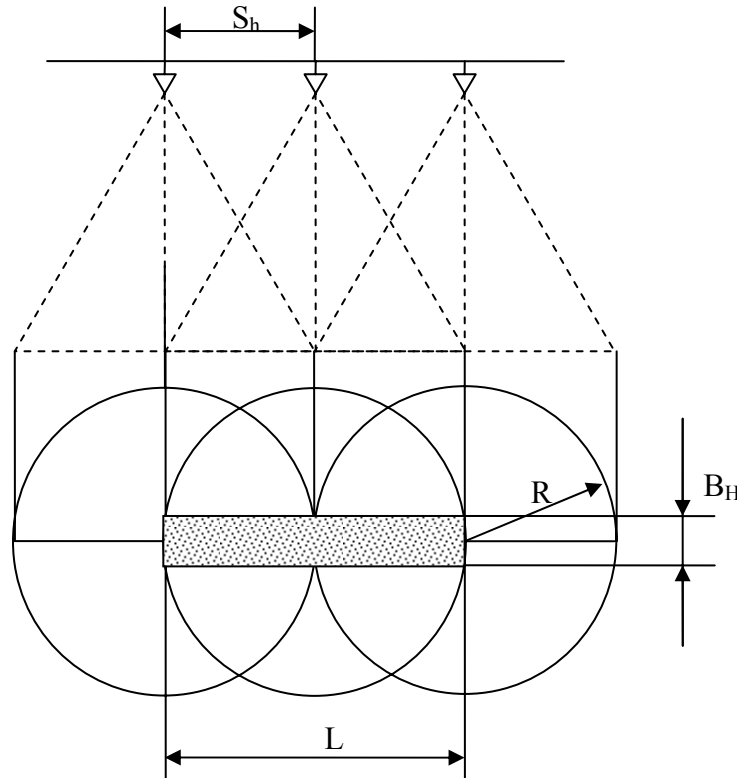


Рис. 1 – Основные параметры водяной завесы

Средняя интенсивность орошения одним оросителем будет:

$$I_{\text{ND}} = \frac{K\sqrt{P}}{S}, \quad (1)$$

где I_{CP} – средняя интенсивность орошения, $\text{л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$; K – коэффициент расхода оросителя, $\text{л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{бар}^{-0,5}$; P – свободный напор перед оросителем, бар.; S – площадь, защищаемая одним оросителем, м^2 .

На участке L удельный расход воды составит:

$$q_L = \frac{I_{\text{ND}} \cdot L \cdot B_H \cdot n_{\text{AC}}}{L} = I_{\text{ND}} \cdot B_H \cdot n_{\text{AC}}, \quad (2)$$

где q_L – удельный расход воды $\text{л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$, $n_{\text{BЗ}}$ – число оросителей для создания водяной завесы на участке L .

Согласно [3] нормативный удельный расход $q_{\text{LH}} = 1 \text{ л}\cdot\text{с}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$.

Для создания водяной завесы с величиной q_{LH} в крайней точке не менее нормативного, она должна орошаться числом оросителей:

$$n_R = \frac{q_{\text{LH}}}{q_L} = \frac{q_{\text{LH}}}{I_{\text{ND}} \cdot B_H}. \quad (3)$$

Тогда минимальное число оросителей для создания водяной за-

весы с требуемым удельным расходом будет:

$$n_{\dot{A}G_{\dot{E}i}} = \frac{q_{L.H}}{q_L} = \frac{q_{L.H}}{I_{\dot{N}D} \cdot B_H}. \quad (4)$$

Полученное значение необходимо округлить вверх до целого значения.

Шаг размещения оросителей будет равен:

$$n_{\dot{A}G_{\dot{E}i}} = \frac{2 \cdot R}{n_{\dot{A}G_{\dot{E}i}} - 1}. \quad (5)$$

Выводы. Рассмотрен подход для выполнения расчетов водяных завес общего назначения. Показано, что эффективность создания водяной завесы зависит от типа выбранного оросителя. Получены простые зависимости для расчета расположения оросителей в распределительной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвяк А.Н. Параметры водяных завес для предотвращения распространения продуктов горения / А. Н. Литвяк, В. А. Дурев // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ. 2011. № 30 – С. 27 – 29.
2. Антошкин А. А. Об обеспечении требуемого расхода дренчерными оросителями водяных завес // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. 2008. № 25 – С. 6 – 9.
3. ДБН В.2.5–13–98* Пожарная автоматика зданий и сооружений / Госстрой Украины. – Киев: 2006. – 80 с.

О.М. Литвяк, В.О. Дурев

Визначення параметрів розподільної мережі для створення водяної завіси загального призначення

Розглянуті параметри розподільної мережі для створення водяної завіси загального призначення.

Ключові слова: водяна завіса, вогнегасна речовина, питома витрата, глибина завіси, охолодження.

A.N. Litvjak, V.A. Dureev

Determination of parameters of distributive network for creation of aquatic curtain of general setting

The parameters of distributive network are considered for creation of aquatic curtain of the general setting.

Keywords: aquatic curtain, to extinguish a fire matter, specific expense, depth of curtain, cooling.

*А.Н. Литвяк, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.А. Дуреев, к.т.н., ст. преподаватель, НУГЗУ*

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОРОСИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УСТАНОВОК ВОДЯНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Представлены простые зависимости, упрощающие выбор оросителей систем водяного пожаротушения.

Ключевые слова: ороситель, диаметр выходного отверстия, коэффициент производительности оросителя, потеря напора.

Постановка проблемы. В методике выполнения гидравлических расчетов систем водяного пожаротушения [1], предлагается использование только пяти номиналов проходных сечений оросителей: 8; 10; 12; 15; 20 мм. В [2] было показано, что требуемый напор насосной станции установки водяного пожаротушения, зависит от выбора проходного сечения оросителя. Таким образом, существует проблема выбора требуемого диаметра оросителя при проектировании распределительных систем водяного пожаротушения с минимальным требуемым напором. Минимальный требуемый напор необходим для снижения массы и стоимости как насосной станции, так и распределительной сети [3].

Анализ последних исследований и публикаций. В [2] предложен подход определения коэффициента производительности оросителей, с учетом диаметра оросителя и конфигурации его выходного канала. В [3] показано, что выбор элементов распределительной сети систем водяного пожаротушения в значительной мере влияет на мощность насосной станции системы. В то же время, не рассматриваются расчеты проходных диаметров оросителей, позволяющих оптимизировать параметры насосной станции систем водяного пожаротушения.

Постановка задачи и ее решение. Для уменьшения требуемого напора насосной станции до минимального значения, необходимо выбрать ороситель, обеспечивающий нормативное значение интенсивности орошения при минимальном напоре.

Запишем уравнение объемного расхода жидкости через ороситель системы водяного пожаротушения [1]:

$$Q = k\sqrt{H_{\min}}, \quad (1)$$

где Q – объемный расход ОВ, л·с⁻¹; H_{\min} – минимальный свободный напор.
Расчет параметров оросителей при проектировании распределительных систем установок
водяного пожаротушения

на оросителе, м.вод.ст; k – коэффициент производительности оросителя.

Коэффициент производительности оросителя с произвольным диаметром проходного сечения можно определить по формуле [2].

$$k = 1000 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{2g}{\zeta}}, \quad (2)$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления оросителя; d – диаметр проходного сечения оросителя, м; g – ускорение свободного падения, м·с⁻².

Потребный расход оросителя определяется по формуле [1]:

$$Q = I \cdot S, \quad (3)$$

где I – потребная интенсивность орошения, л·с⁻¹·м⁻²; S – площадь, орошаемая оросителем, м².

Решая совместно уравнения (1, 3), получим:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot I \cdot S}{1000 \cdot \pi \cdot \sqrt{H}}} \cdot \sqrt{\frac{\zeta}{2g}}. \quad (4)$$

Как было показано в [2] коэффициент гидравлического сопротивления оросителя с достаточной для практических целей точностью можно задавать равным $\zeta = 1,234$.

Таким образом, зная нормативное значение интенсивности орошения, орошаемую площадь и минимальный напор можно оценить и потребный диаметр проходного сечения оросителя.

Значения диаметров оросителей с учетом требований интенсивности орошения для разных групп помещений [1] представлены в табл. 1. Высота помещения принята 3 м.

Таблица 1 – Потребные диаметры оросителей

Группа помещений	1	2	3	4	5	6
Интенсивность орошения I , л·с ⁻¹ ·м ⁻²	0,08	0,12	0,24	0,3	0,24	0,4
$d_{ор}$, м	0,0133	0,0163	0,023	0,0258	0,023	0,0258

Полученные в результате расчетов потребные диаметры проходных сечений оросителей не соответствуют стандартному ряду [1]. Из чего можно сделать вывод о необходимости расширения номиналов диаметров оросителей в диапазоне (8 ÷ 26) мм, с шагом изменения диаметра выходного отверстия оросителя $\Delta_D = 0,1$ мм.

Выводы. Получена простая формула для определения диаметра проходного сечения оросителя обеспечивающего заданную интенсивность орошения при минимальном напоре. Данная формула может быть использована при проектировании распределительной системы для заданной насосной станции.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5–13–98* Пожарная автоматика зданий и сооружений/ Госстрой Украины.– Киев: 2007.– 80 с.

2. Мурин М. Н. Влияние геометрических параметров трубопроводов на потребную мощность подводимого потока жидкого огнетушащего вещества / М. Н. Мурин, А. Н. Литвяк В. А. Дуреев // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. – 2009. – № 26. – С. 65–68.

3. Дуреев В.А. Исследование влияния геометрических параметров элементов распределительной сети на потребную мощность подводимого потока жидкого огнетушащего вещества / В.А. Дуреев, А.Н. Литвяк // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. 2011. – № 30. – С. 110 – 112.

О.М. Литвяк, В.О. Дуреев

Розрахунок параметрів зрошувачів при проектуванні розподільних систем установок водяного пожежегасіння

Представлені прості залежності, що спрощують вибір зрошувачів систем водяного пожежегасіння.

Ключові слова: зрошувач, діаметр вихідного отвору, коефіцієнт продуктивності зрошувача, втрата тиску.

A.N. Litvjak, V.A. Dureev

Calculation of parameters of sprinklers at project of the distributive systems of settings aquatic fire of extinguishing

Simple dependences, simplifying the choice of sprinklers of the systems of aquatic fire of extinguishing, are presented.

Keywords: sprinkler, diameter of the output opening, coefficient of the productivity of sprinkler, loss of pressure.

Ю.В. Луценко, к.т.н., доцент, нач. кафедри, НУЦЗУ,
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ

ОЦІНКА ЗМІНИ ЯКІСНОГО СКЛАДУ І ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

(представлено д-ром техн. наук Кривцовою В.І.)

Наведено аналіз експериментальних даних про вплив деяких технологічних факторів на якісний склад і пожежну небезпеку горючих газів отриманих під час підземної газифікації вугілля.

Ключові слова : газ, вугілля, газифікація.

Постановка проблеми. Є необхідність в проведенні досліджень з більш глибокого вивчення процесів утворення багатокомпонентних горючих газів, визначення ступеня впливу різних технологічних факторів на їх склад і пожежонебезпечні властивості. Отриманий в процесі підземної газифікації вугілля газ повинен мати не тільки вузьку область вибухонебезпечних концентрацій, а й характеризуватися певними технологічними і споживчими властивостями [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведеними раніше дослідженнями [1-3] визначено залежності впливу різних технологічних факторів на склад і концентраційні межі поширення полум'я багатокомпонентних горючих газів підземної газифікації вугілля, однак оптимальних параметрів ведення процесу газифікації визначено не було.

Постановка задачі та її вирішення. Завданням дослідження є аналіз оптимальних параметрів процесу підземної газифікації вугілля.

З метою встановлення залежностей складу багатокомпонентних горючих газів від ряду технологічних була проведена серія дослідів на експериментальній установці по газифікації вугілля [4]. Газифікації піддавалося вугілля марки "Г" шахти ім. Челюскінців ВО "Донецьквугілля".

Необхідно вказати на неоднорідність розв'язуваної задачі. По-перше, генераторні гази, які використовуються для хімічного синтезу, повинні складатися, переважно, з CO і H₂, а гази, призначені для енергетичних цілей - мати досить високу теплотворну здатність, по-друге, повинна забезпечуватися максимально можлива пожежна безпека технологічного процесу виробництва. Крім того, повинні мати місце найбільш повна конверсія реагентів (вуглецю твердого

палива і водяної пари) і високий вихід кінцевого продукту - генераторного газу.

В якості змінних (незалежних) технологічних факторів були прийняті: витрата повітря на дуття при газифікації, витрата пари на дуття при газифікації, температура в реакційній зоні.

В результаті проведених досліджень встановлено, що при збільшенні витрати повітря в складі дуття на газифікацію (витрата пари і температура в реакційній зоні залишаються незмінними) в одержуваному генераторному газі знижується вміст метану (CH_4), збільшується кількість діоксиду вуглецю (CO_2) за рахунок зниження об'ємної частки оксиду вуглецю (CO), зростає вміст азоту (N_2) і залишкового кисню (O_2). В результаті природного розбавлення газу негорючими компонентами знижується його теплотворна здатність і збільшується щільність.



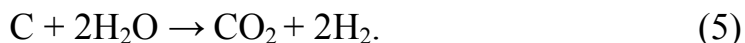
Перша з цих реакцій термодинамічно більш ймовірна, отже, інтенсифікується в першу чергу, але вона ж характеризується вдвічі більшою питомою витратою кисню на одиницю маси вуглецю. Тому знижується ступінь конверсії вуглецю в парогазові продукти навіть при відносно невеликому збільшенні витрати повітря (а значить і кисню) в умовах загального браку останнього, порівняно з стехіометрично необхідним його кількістю (що є характерною рисою процесу газифікації в порівнянні з іншими технологіями переробки твердих вуглецевих матеріалів).

Таким чином, при збільшенні витрати повітря, пожежовибухонебезпека газу знижується (концентраційні межі поширення полум'я (КПП) звужуються) внаслідок зростання вмісту в ньому негорючих (CO_2 , N_2) і зменшення горючих (CH_4) компонентів.

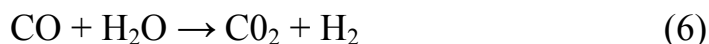
При збільшенні в дуття витрати пари, має місце зниження вмісту в генераторному газі метану - продукту термохімічних перетворень органічної маси без участі компонентів дуття, наприклад,



а також діоксиду вуглецю і водню (H_2) в результаті зниження ступеня конверсії водяної пари інтенсифікуючої реакції, що протікають з поглинанням тепла



У той же час вміст оксиду вуглецю в газі дещо зростає, так як він є продуктом менш ендотермічної реакції (4), а також через зсув вправо хімічної рівноваги реакції у зв'язку зі збільшенням концентрації водяної пари.



При незмінній витраті повітря, що подається до складу дуття і підвищенні витрати пари, в одержуваному газі зменшується вміст залишкового кисню. В результаті зниження ступеня конверсії водяної пари дещо підвищується вологість одержуваного газу, щільність газу залишається практично незмінною. Ступінь конверсії вуглецю збільшується через зростання концентрації реагенту (водяної пари), що підвищує швидкість реакції.

Пожежовибухонебезпека горючого газу дещо знижується через зменшення в ньому CH_4 і H_2 .

Підвищення температури процесу в реакційній зоні не тільки інтенсифікує реакції вуглецю з водяною парою і діоксидом вуглецю



але, перш за все, зрушує вліво рівновагу реакції



В результаті в газі знижується вміст діоксиду вуглецю і водню при одночасному збільшенні частки оксиду вуглецю і водяної пари. Так як теплотворна здатність оксиду вуглецю вище, ніж водню, то і одержуваний генераторний газ має більш високу теплотворну здатність. У свою чергу, це є одним із чинників, що знижують питомий вихід газу. Через збільшення рівнозначної концентрації водяної пари підвищується вологість газу, а також знижується ступінь конверсії пара, що подається на газифікацію в складі дуття.

Результати виконаних досліджень дозволяють рекомендувати температуру в реакційній зоні 900°C . При цьому досягається максимальний ступінь конверсії вуглецю (причому більше 80% утворюються вуглець газів складають горючі компоненти), а також забезпечується досить висока ступінь конверсії водяної пари і теплотворна здатність отриманого генераторного газу.

Висновок. Таким чином, проведені дослідження показали, що процес підземної газифікації вугілля є складним, багатостадійним, що залежать від багатьох технологічних факторів. Зміна одного з них, як правило, викликає зміна ряду інших. Завданням подальших досліджень є визначення оптимального рівня пожежної безпеки тех-

нологічного процесу при забезпеченні задовільних експлуатаційних характеристик багатокomпонентних горючих газів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Луценко Ю.В. Влияние основных технологических факторов подземной газификации углей на воспламеняемость получаемых газов/ Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – №26. – С.113-117.

2. Луценко Ю.В. Влияние основных технологических факторов подземной газификации углей на верхний концентрационный предел распространения пламени/ Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. – 2010. – №27. – С.136-139

3. Луценко Ю.В. Получение горючих газов методом подземной газификации углей / Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. – 2006. – №20. – С.128-132

4. Патент 23505А Україна, МПК 6 С 10 J 3/20. Пристрій для газифікації вуглецевого матеріалу / Кувшинов В.Є., Скляр М.Г., Шульга І.В.; АТЗТ «Коксан» та УХІН.

Ю.В. Луценко, Е.А. Яровой

Оценка изменения качественного состава и пожарной опасности горючих газов подземной газификации в зависимости от технологических факторов

Приведен анализ экспериментальных данных о влиянии некоторых технологических факторов на качественный состав и пожарной опасности горючих газов полученных при подземной газификации угля.

Ключевые слова: газ, уголь, газификация.

U.V. Lutsenko, E.A. Yarovoy

Assessment of changes in quality of fire hazard and combustible gases underground gasification depending technological factors

The analysis of experimental data on the influence of some technological factors on the qualitative composition and fire hazard of combustible gases obtained during underground coal gasification.

Keywords: gas, coal gasification.

*Н.Н. Оберемок, адъюнкт, НУГЗУ,
А.В. Прокопов, д. ф.-м.н., профессор, НУГЗУ*

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ

Статья посвящена разработке методики обоснования выбора оптимального варианта организации метрологических работ (включая мероприятия по оснащению метрологическим оборудованием) в пожарно-спасательном подразделении.

Ключевые слова: модель, оптимизация, пожарная безопасность, метод анализа иерархий.

Постановка проблемы. Одной из важных составляющих деятельности пожарно-спасательных подразделений, является деятельность в сфере метрологии. Без метрологии и измерений невозможен достоверный контроль состояния пожарно-спасательного оборудования и условий в зоне пожара, проверка соответствия установленным требованиям средств защиты личного состава. Учитывая, что мероприятия метрологического характера требуют определенных затрат времени, средств и труда, а результаты ее в значительной мере складываются как на состояние техники и оборудования, так и на организационных принципах их использования, важное значение приобретают методы планирования и оценки результатов метрологических работ в пожарно-спасательных подразделениях. Именно наличие адекватных методов определяет эффективность мероприятий в сфере метрологии. Разработка и исследование подобных методов имеет, таким образом, важное научное и практическое значение.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы оптимального планирования метрологических работ (включая мероприятия по оснащению метрологическим оборудованием), а также оценки результатов таких работ в пожарно-спасательных подразделениях рассматривались в статьях [1, 2]. В [1] предложен алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность. Оптимальный вариант в данном случае определяется по критерию минимума затрат на его реализацию. В [2] рассматривается задача планирования и оценки результатов работ с учетом факторов неэкономического характера. В этом случае оптимальный вариант характеризуется максимумом глобального приоритета, опре-

деляемого согласно методике многокритериальной оптимизации Т. Саати [3] (метод анализа иерархий).

Предложенные в [1, 2] подходы нацелены на решение отдельных частей проблемы. В [1], в частности неучтены факторы неэкономического характера. Это означает, что найденный из условия минимума затрат вариант не всегда может быть наиболее эффективным по другим критериям (техническим, организационным). Метод анализа иерархий (МАИ), примененный в [2] не может гарантировать выбора оптимального по минимуму затрат варианта. Таким образом, вопрос об исчерпывающей методике планирования метрологических работ в пожарно-спасательных подразделениях остается открытым.

Постановка задачи и ее решение. Целью настоящей статьи является разработка методики свободной от недостатков работ [1, 2]. Основной задачей, которую необходимо решить, является обеспечения возможности анализа вариантов метрологических работ, характеризующихся не только минимальными затратами на реализацию, но и наибольшей эффективностью по критериям неэкономического характера. По сути, в решении задачи входит поиск оптимального (максимального) значения отношения выгоды/издержки. Такой подход аналогичен известному методу анализа «стоимость-эффективность», в котором, в соответствии с [3], можно применить элементы МАИ.

Суть предлагаемого подхода формулируется следующим образом. На основе МАИ дважды (в двух случаях) сопоставляются возможные (интересные для анализа) варианты новаций в сфере метрологии. В первом случае это делается с целью определения иерархии выгод (определяемой соответствующей иерархией глобальных приоритетов) от планируемых метрологических новаций. Данная иерархия устанавливается на основе критериев относящихся как к выгодам экономического, так и неэкономического характера. Иерархическая схема для случая, когда рассматривается 4 возможных варианта новаций в сфере метрологии, а выгоды оцениваются по 7 критериям (3 экономического характера и 4 неэкономического) приведена на рис. 1. Отметим, что количество вариантов новаций и количество критериев может быть не равно 4 и 7, необходимое их число, определяется конкретными условиями задачи.

В качестве расчетных соотношений, характеризующих иерархию на рис. 1, можно использовать приведенные в [2] формулы: для глобальных приоритетов по каждому варианту

$$G_n^B = \sum_{i=1}^N A_i^0 A_n^i, \quad n = 1, 2, \dots, 4, \quad (1)$$

где A_i^0, A_n^i - компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов, определяемых по формуле:

$$A_i^k = \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \left(\sum_{i=1}^L \left(\prod_{j=1}^L X_{ij}^k \right)^{\frac{1}{L}} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где величины X_{ij}^k для $k=0; L=7; i, j=1,2,\dots,7$, являются элементами матрицы попарных сравнений критериев а для $k=1,2,\dots,7, L=4; i, j=1,2,\dots,4$ - элементами матриц попарных сравнений вариантов (Вариант 1, Вариант 2, Вариант 3, Вариант 4). Процедуры построения выше указанных матриц описаны в [2]. На этом рассмотрение глобальных приоритетов для выгод заканчивается.

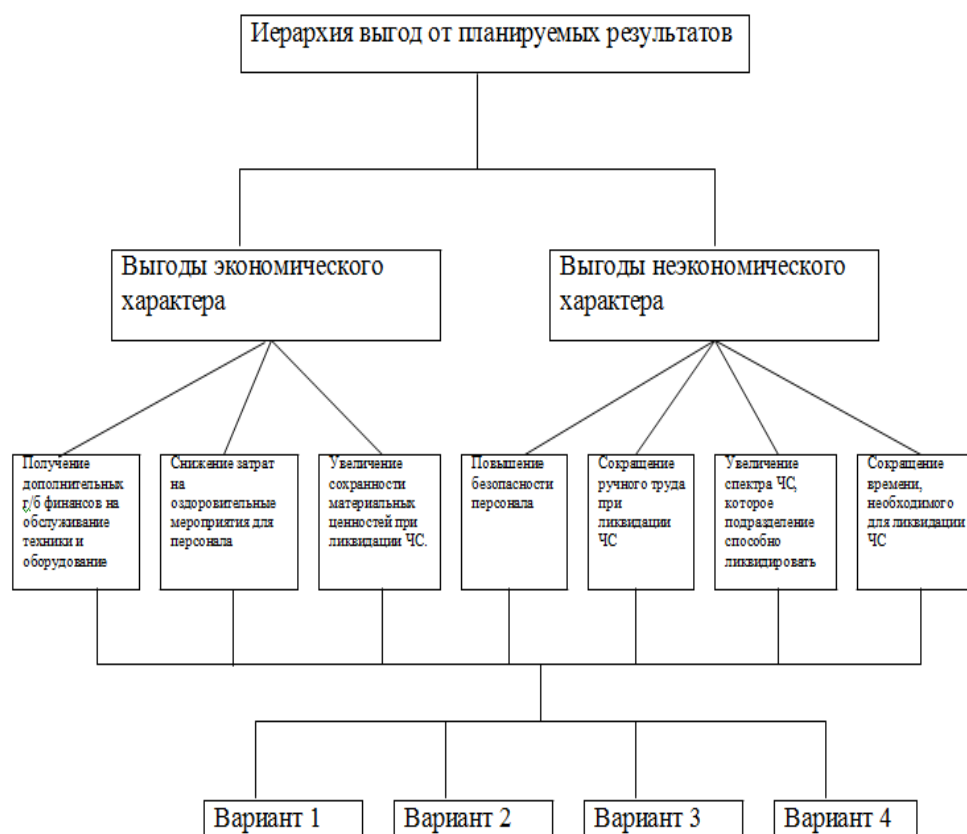


Рис.1 – Иерархия выгод, ожидаемых от различных вариантов новаций в сфере метрологии.

Во втором случае сопоставление возможных вариантов осуществляется с целью определения иерархии издержек, сопровождающих каждый из рассматриваемых вариантов. Иерархическая схема для тех же четырех возможных вариантов новаций, что и на рис.1, приведена

на рис.2. В отличие от схемы рис.1 здесь изменились критерии сравнения вариантов. Теперь они отражают не выгоды, а издержки.

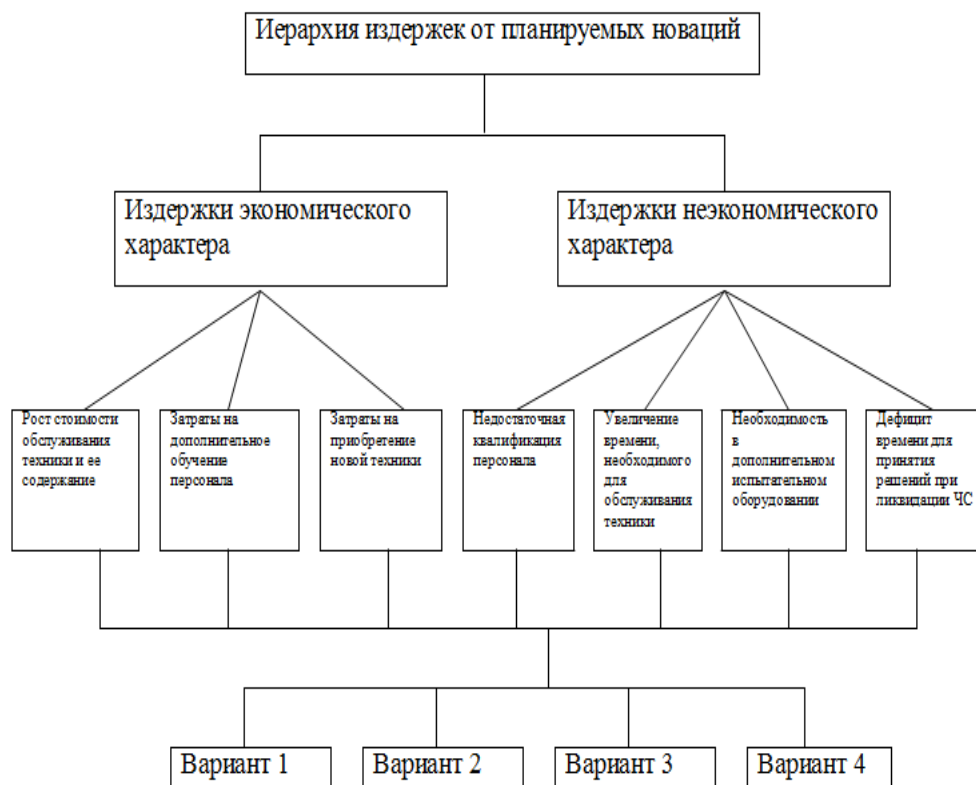


Рис. 2 – Иерархия издержек, ожидаемых от различных вариантов новаций в сфере метрологии

Расчетные соотношения, характеризующие иерархию на рис. 2, имеют вид, с заменой характеристик вариантов и критериев в соответствующих матрицах попарных сравнений на характеристики, отображающие схему рис.2.

Для глобальных приоритетов, в частности, можно записать аналогично (1), следующее соотношение:

$$G_n^H = \sum_{i=1}^7 B_i^0 B_n^i, \quad n = 1, 2, \dots, 4, \quad (3)$$

где B_i^0, B_n^i - компоненты нормируемых собственных векторов локальных приоритетов, определяемых в случае издержек по формуле, аналогичной (2).

Далее по найденным значениям G_n^B, G_n^H (формулы (1) и (2)), вычисляются отношения $\frac{G_n^B}{G_n^H}$ при $n = 1, 2, \dots, 4$, и определяется при каком n

$\frac{G_n^B}{G_n^H}$ будет максимальным. Полученное значение n соответствует но-

меру того варианта новаций в сфере метрологии, который является оптимальным.

Выводы. Разработан количественный алгоритм для выбора оптимального варианта развития метрологической деятельности (оснащения метрологическим оборудованием) в пожарно-спасательных подразделениях МЧС Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оберемок Н.Н. Алгоритм оценки экономической целесообразности инвестиций в метрологическую деятельность пожарно-спасательных подразделений/ Оберемок Н.Н., Прокопов А.В. // Проблеми надзвичайних ситуацій. Зб. наук. пр. НУЦЗ України. – 2010.- Вип 13. – С. 107-112.

2. Оберемок Н.Н. Алгоритм многокритериальной оптимизации для оценки эффективности метрологической деятельности в сфере пожарной безопасности/ Красноха Л.Н., Оберемок Н.Н., Прокопов А.В. // Проблеми пожежної безпеки. Зб. наук. пр. НЦЗУ України. – Вип . – С.

3. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем/ Саати Т., Кернс К. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

М.М. Оберемок, О.В. Прокопов

Оптимізація метрологічної діяльності в пожежно-рятувальних підрозділах

Стаття присвячена розробці методики обґрунтування вибору оптимального варіанту організації метрологічних робіт (включаючи заходи щодо оснащення метрологічним устаткуванням) в пожежно-рятувальному підрозділі.

Ключові слова: модель, оптимізація, пожежна безпека, метод аналізу ієрархій.

N.N. Oberemok, O.V. Prokopov

Optimization of metrological activity in fire and saving divisions

Article is devoted to development of a technique of justification of a choice of optimum option of the organization of metrological works (including actions for equipment by the metrological equipment) in fire and saving division.

Keywords: model, optimization, fire safety, method of analysis of hierarchies.

*І.В. Паснак, ад'юнкт, ЛДУ БЖД,
О.Е. Васильєва, к.т.н., доцент, ЛДУ БЖД,
І.О. Мовчан, к.т.н., нач. факультету, ЛДУ БЖД*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО ВОДОПІННОГО СТВОЛА

(представлено д-ром техн. наук Абрамовим Ю.О.)

Наведено результати експериментальних досліджень ствола комбінованої подачі суцільного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності, проведені на основі методу повнофакторного експерименту. Отримано емпіричну залежність для визначення довжини суцільного струменя вогнегасної речовини та знайдено оптимальні тактико-технічні параметри роботи ствола. Встановлено, що застосування запропонованого ствола дозволяє скоротити час ліквідування пожежі при необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода». Зокрема, час гасіння системи модельних вогнищ 6А – 21В – 6А запропонованим стволом комбінованої подачі скорочується в середньому на 27 % у порівнянні з часом гасіння існуючими «класичними» стволами.

Ключові слова: пожежний ствол, зміна типу вогнегасної речовини, повнофакторний експеримент, час гасіння пожежі.

Постановка проблеми. Провівши аналіз тактико-технічних характеристик ручних (переносних) стволів, які в залежності від свого призначення, можуть подавати на гасіння пожеж як струмінь води, так і струмінь повітряно-механічної піни низької кратності встановлено, що вони мають ряд суттєвих недоліків, пов'язаних з низькими параметрами при потребі зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода» [1]. Водночас ствол РСКУ-50А, який має найкращі показники, є високовартісним.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Для вирішення цієї проблеми була розроблена конструкція комбінованого водопінного ствола [2] (рис. 1, 2), особливістю якого є можливість переходу від подачі суцільного струменя води до подачі повітряно-механічної піни низької кратності та навпаки з забезпеченням кращих параметрів у порівнянні з стволами, наведеними в [1].

Для визначення оптимальних тактико-технічних параметрів роботи ствола та його ефективності під час гасіння пожеж за необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода» була поставлена задача провести його експериментальні дослідження.

Відповідно до сформованих задач необхідно провести такі дос-

лідження:

- провести експериментальне дослідження ствола комбінованої подачі води та повітряно-механічної піни низької кратності для визначення його тактико-технічних характеристик;

- здійснити експериментальні порівняльні дослідження часу ліквідації пожежі запропонованим стволом та існуючими стволами (РС-70, СПП-4) при необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода».

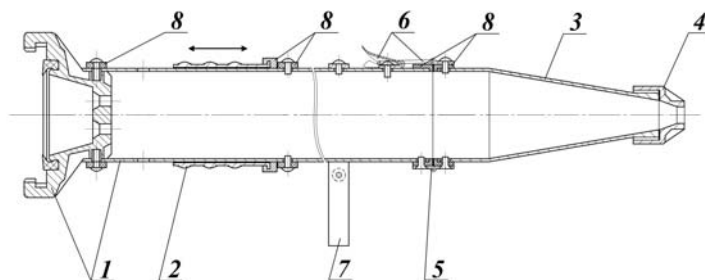


Рис. 1 – Ствол комбінований водопінний СКВП (положення для подачі суцільного струменя води): 1 – корпус (ствол повітряно-пінний типу СПП); 2 – трубчаста заглушка; 3 – конусоподібна частина; 4 – змінна насадка; 5 – рухомий шарнір; 6 – кріплення для з'єднання корпусу та конусоподібної частини; 7 – підтримуючий хомут; 8 – ущільнювачі.

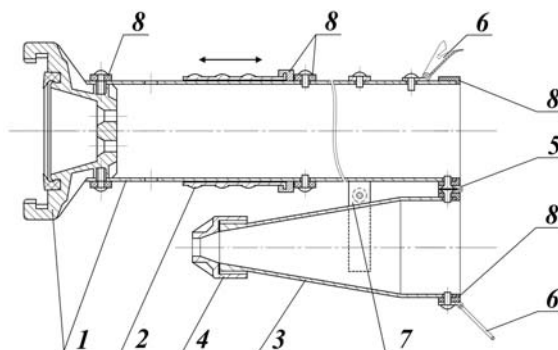


Рис. 2 – Ствол комбінований водопінний СКВП (положення для подачі повітряно-механічної піни низької кратності): 1 – корпус (ствол повітряно-пінний типу СПП); 2 – трубчаста заглушка; 3 – конусоподібна частина; 4 – змінна насадка; 5 – рухомий шарнір; 6 – кріплення для з'єднання корпусу та конусоподібної частини; 7 – підтримуючий хомут; 8 – ущільнювачі.

Постановка задачі та її рішення. На першому етапі експериментальних досліджень визначаємо залежність довжини L суцільного струменя води в залежності від тиску P вогнегасної речовини (води), діаметра d насадка ствола та кута α його нахилу на основі методу повнофакторного експерименту типу 2^3 . Даний тип експерименту передбачає врахування трьох факторів, хоча загальновідомо, що на довжину суцільного струменя впливає ще і ряд інших чинників. Для того, щоб внести елемент випадковості впливу цих факторів на результат експерименту, встановлюємо випадкову послідовність проведення дослідів у часі. Це необхідно для обґрунтованого використання

апарату математичної статистики. Тому експериментальні дослідження згідно [6] проводились у такій послідовності відповідно до план-матриці експериментальних досліджень: 5, 2, 3, 8, 8, 5, 1, 7, 4, 6, 3, 2, 6, 4, 1, 7. Значення параметрів приймаємо в допустимих межах згідно стандартів та вимог.

Проведемо кодування факторів, перевівши натуральні величини в безрозмірні (табл. 1).

Таблиця 1 – Рівні зміни факторів

Рівень факторів		P, кПа		d, мм		α, °	
Назва	Кодоване значення	$\tilde{X}_1 = P$	$\ln \tilde{X}_1$	$\tilde{X}_2 = d$	$\ln \tilde{X}_2$	$\tilde{X}_3 = \alpha$	$\ln \tilde{X}_3$
Верхній	+1	600	6,3969	25	3,2189	45	3,8066
Основний	0	400	–	19	–	25	–
Нижній	-1	200	5,2983	13	2,5649	5	1,6094

Використавши табл. 1, побудуємо матрицю планування та результатів повнофакторного експерименту типу 2^3 , де відображуємо результати досліджень, кожне з яких проведено двічі.

Таблиця 2 – План-матриця експериментальних досліджень

№ дослідю	Фактори						Результати дослідів		
	X ₁		X ₂		X ₃		L _{1, м}	L _{2, м}	$\bar{L}, м$
	код	P, кПа	код	d, мм	код	α, °			
1	+1	600	+1	25	+1	45	20	20,5	20,25
2	-1	200	+1	25	+1	45	12	11	11,5
3	+1	600	-1	13	+1	45	30	29	29,5
4	-1	200	-1	13	+1	45	17	16,5	16,75
5	+1	600	+1	25	-1	5	17	18	17,5
6	-1	200	+1	25	-1	5	7,5	8	7,75
7	+1	600	-1	13	-1	5	25	25,5	25,25
8	-1	200	-1	13	-1	5	10,5	11	10,75

Перетворимо незалежні змінні \tilde{X}_i (табл. 1) в безрозмірні величини за залежністю [3]:

$$X_i = \frac{2 \cdot (\ln \tilde{X}_i - \ln \tilde{X}_{i\max})}{\ln \tilde{X}_{i\max} - \ln \tilde{X}_{i\min}} + 1 \quad (2)$$

Звідси маємо:

$$\begin{aligned} X_1 &= 1,8205 \cdot \ln P - 10,6455 \\ X_2 &= 3,0581 \cdot \ln d - 8,8437 \\ X_3 &= 0,9102 \cdot \ln \alpha - 2,4650 \end{aligned} \quad (3)$$

Запишемо рівняння в кодових змінних з введенням членів, які

враховують взаємодію факторів:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3 \quad (4)$$

Визначаємо коефіцієнти для моделі (4) з врахуванням експериментально отриманих значень:

$$b_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{in} \ln \bar{L}_i \quad (5)$$

де X_{in} – код фактора; \bar{L} – середнє значення результатів експериментальних досліджень за певних значень факторів; N – кількість дослідів.

За результатами експериментальних досліджень були отримані значення коефіцієнтів рівняння регресії (4): $b_0=2,7709$; $b_1=0,3500$; $b_2=-0,1808$; $b_3=0,1425$; $b_{12}=-0,0050$; $b_{13}=-0,0671$; $b_{23}=-0,0073$; $b_{123}=0,0049$.

При однаковій кількості паралельних дослідів r (в нашому випадку $r = 2$) на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність перевіряється за критерієм Кохрена [5]:

$$G = \frac{S_{pi \max}^2}{S_{\delta}^2} \leq G_{(0,05; N; f_r)} \quad (6)$$

де $S_{pi \max}^2$ – найбільше значення дисперсії розсіювання S_{pi}^2 ; N – кількість дослідів (в нашому випадку $N=8$); f_r – кількість ступенів вільності кожної оцінки (в нашому випадку $f_r=r-1=2-1=1$); $G_{(0,05; N; f_r)}$ – табличне значення критерію Кохрена [5].

Дисперсія розсіюваності визначається за залежністю $S_{\delta}^2 = \sum_{i=1}^{16} S_{pi}^2$,

де S_{pi}^2 – дисперсія розсіюваності на кожному досліді; $S_{pi} = \ln L_{i(1,2)} - \ln \bar{L}_i$. В нашому випадку за результатами експериментальних досліджень $S_{\delta}^2 = 0,010127$. Тоді критерій Кохрена буде дорівнювати

$$G = \frac{S_{pi \max}^2}{S_{\delta}^2} = \frac{0,001971}{0,010127} = 0,194628 < G_{(0,05; 8; 1)} = 0,680$$

Отже, згідно [5], для нашого випадку відтворюваність дослідів забезпечується.

Оцінку значущості коефіцієнтів регресії здійснюємо за допомогою критерію Стьюдента [3-5]. Коефіцієнт вважається значущим,

якщо виконується нерівність з урахуванням половини довжини довірчого інтервалу:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f)} S(b_i) \quad (7)$$

де $t_{(0,05;f)}$ – критичне значення критерію Стюдента для $f=N(r-1)$ (для нашого випадку маємо $f=8(2-1)=4$, $\alpha=0,05$; згідно [5] $f=2,31$).

$$S(b_i) = \pm \sqrt{\frac{S_p^2}{N \cdot r}} = \pm \sqrt{\frac{0,010127}{8 \cdot 2}} = \pm 0,025158$$

Отже, половина довжини довірчого інтервалу:

$$\Delta b_i = 2,31 \cdot 0,025158 = 0,058115$$

Встановлено, що значущими коефіцієнтами моделі є $|b_0|=2,7709$; $|b_1|=0,3500$; $|b_2|=0,1808$; $|b_3|=0,1425$; $|b_{13}|=0,0671$, а коефіцієнти $|b_{12}|=0,0050$; $|b_{23}|=0,0073$; $|b_{123}|=0,0049$ – незначущими.

З врахуванням значущих коефіцієнтів, модель (4) набуде вигляду:

$$\hat{Y} = 2,7709 + 0,35X_1 - 0,1808X_2 + 0,1425X_3 - 0,0671X_1X_3 \quad (8)$$

Перевірку адекватності моделі здійснюємо за критерієм Фішера. Стверджувати, що модель є адекватна, можна у випадку, коли виконується нерівність [3]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\epsilon}^2} \leq F_{(0,05;f_1;f_2)} \quad (9)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, визначається за залежністю

$$S_{ad}^2 = \frac{r}{N-m} \sum_{i=1}^N (\ln \bar{L}_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (10)$$

де \hat{Y}_i – розрахункове значення параметра згідно залежності (8) після підстановки значень (-1) та (+1) згідно план-матриці експериментальних досліджень; $F_{(0,05;f_1;f_2)}$ - критичне значення критерію Фішера при $\alpha=0,05$; $f_1=N-m$; $f_2=N(r-1)$.

В нашому випадку маємо $f_1=8-5=3$ (m – число членів апроксимуючого полінома, в даному випадку $m=5$), $f_2=8(2-1)=8$, отож, згідно табли-

чних значень [5] $F_{кр}=4,07$. S_{ϵ}^2 – дисперсія відтворюваності

$$S_{\epsilon}^2 = \frac{S_p^2}{N(r-1)} = \frac{0,010127}{8(2-1)} = 0,0012658$$

За рівнянням (8) знаходимо значення параметра \hat{Y}_i . Маємо $\hat{Y}_1 = 3,0155$; $\hat{Y}_2 = 2,4497$; $\hat{Y}_3 = 3,3771$; $\hat{Y}_4 = 2,8113$; $\hat{Y}_5 = 2,8647$; $\hat{Y}_6 = 2,0305$; $\hat{Y}_7 = 3,2263$; $\hat{Y}_8 = 2,3921$.

За залежністю (10) знаходимо дисперсію адекватності моделі:

$$S_{\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{2}{8-5} \cdot 0,000817 = 0,0005446$$

Знаходимо розрахункове значення критерію Фішера за залежністю (9):

$$F = \frac{0,0005446}{0,0012658} = 0,4302417 < F_{(0,005;3;8)} = 4,07$$

Отже, модель (8) є адекватною.

Для того, щоб встановити точність опису експериментальних даних рівнянням регресії, визначаємо коефіцієнт множинної кореляції за залежністю:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\ln \bar{L}_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\ln \bar{L}_i - \bar{L}^*)^2}} \quad (11)$$

де \bar{L}^* – середнє значення функції $\ln \bar{L}_i$.

Здійснивши необхідні розрахунки, знаходимо коефіцієнт множинної кореляції:

$$R = \sqrt{1 - \frac{0,000817}{1,4408924}} = 0,9997164$$

Як бачимо, коефіцієнт R наближається до 1, а, отже, рівняння (8) майже повністю описує результати експериментальних досліджень.

Для здійснення переходу до моделі в натуральних змінних підставимо (3) в (8) та проведемо обрахунок. В результаті отримаємо кінцеву модель процесу впливу конструктивного виконання та технологічних чинників запропонованого ствола комбінованої подачі води та повітряно-механічної піни низької кратності на довжину суцільного струменя води L

$$L = 0,2304 \cdot P^{0,9383} \cdot d^{-0,5529} \cdot \alpha^{(0,7799-0,1112 \cdot \ln P)} \quad (12)$$

Як видно з залежності (12), основними чинниками, котрі впливають на довжину суцільного струменя води L експериментального взірця ствола комбінованої подачі суцільного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності, є тиск P вогнегасної речовини (води), діаметр d насадка ствола та кут α його нахилу. Розглянемо, як безпосередньо впливає кожен з цих чинників на довжину суцільного струменя води L .

Діаметри насадок приймаємо з врахуванням стандартів. Для встановлення адекватності математичної моделі при використанні середніх значень ($P=400$ кПа, $d=19$ мм, $\alpha=25^\circ$) були виконані контрольні дослідження. На підставі отриманих результатів будемо графічні залежності довжини суцільного струменя води та здійснюємо порівняння результатів з контрольними експериментальними випробуваннями.

Відносну похибку досліду визначаємо за залежністю:

$$\delta = \frac{L_{к.д.} - L_{мод.}}{L_{к.д.}} \cdot 100\% \quad (13)$$

де $L_{к.д.}$ – отримане значення довжини суцільного струменя під час контрольного експериментального дослідження; $L_{мод.}$ – довжина струменя за моделлю.

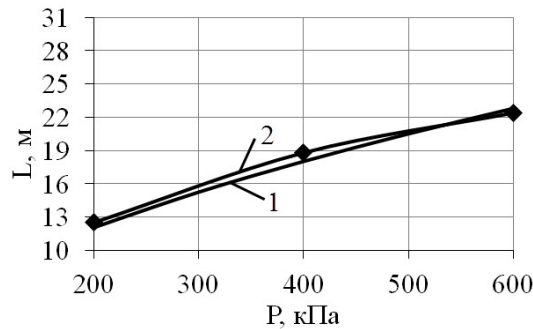


Рис. 3 – Залежність довжини суцільного струменя води L від тиску P при середньому значенні діаметра насадки $d=19$ мм; $\alpha=\text{const}$ (25°): 1 – за моделлю; 2 – контрольне експериментальне дослідження

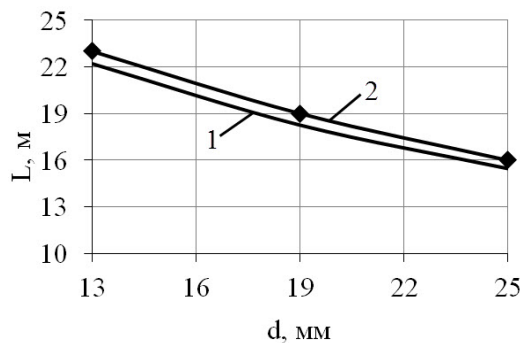


Рис. 4 – Залежність довжини суцільного струменя води L від діаметра насадки d при середньому куті нахилу $\alpha=25^\circ$; $P=\text{const}$ (400 кПа): 1 – за моделлю; 2 – контрольне експериментальне дослідження

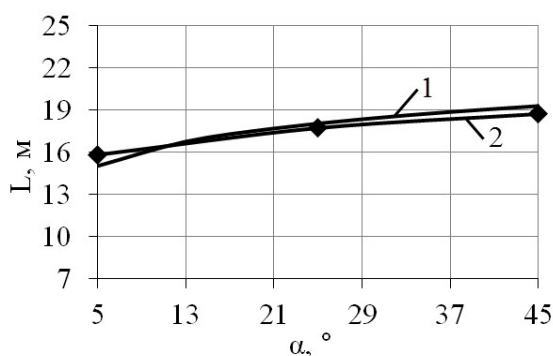


Рис. 5 – Залежність довжини суцільного струменя води L від α при середньому значенні тиску $P=400$ кПа; $d=\text{const}$ (19 мм): 1 – за моделлю; 2 – контрольне експериментальне дослідження

Порівнявши результати графічних залежностей та здійснивши розрахунок відносної похибки досліду було встановлено, що модель процесу впливу конструктивного виконання та технологічних чинників запропонованого ствола комбінованої подачі води та повітряно-механічної піни низької кратності на довжину суцільного струменя води відносно результатів контрольних експериментальних досліджень має похибку в межах від 1,69% до 4,99%.

Проаналізувавши графічні залежності встановлено, що при збільшенні тиску з 200 кПа до 600 кПа (в 3 рази) довжина суцільного струменя ствола комбінованої подачі збільшується в 1,96 раз. При збільшенні діаметра насадки від 13 мм до 25 мм (в 1,92 рази) довжина суцільного струменя зменшується в 1,44 рази. Зміна кута нахилу від 5° до 45° (в 9 раз) призводить до збільшення довжини суцільного струменя в 1,52 рази. Отже, бачимо, що найбільше на довжину суцільного струменя ствола комбінованої подачі впливає тиск вогнегасної речовини.

На підставі математичної моделі було визначено оптимальні значення технічних параметрів роботи комбінованого водопінного ствола, які наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Тактико-технічні характеристики запропонованого ствола

Технічні характеристики	Режим подачі ПМП	Режим подачі води (насадка $d=13$ мм)
Робочий тиск, кПа	600	600
Розхід води, л/с	5,64	4,5
Розхід піноутворювача, л/с	0,36	–
Кратність піни	8	–
Довжина струменя, м	27	29,5

На другому етапі проводимо експериментальне дослідження часу ліквідування пожежі запропонованим стволом комбінованої подачі при необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода» на підставі порівняння з способом гасіння існуючими стволами. Результати експериментальних досліджень часу гасіння

системи модельних вогнищ 6А – 21В – 6А дослідним взірцем ствола комбінованої подачі вогнегасної речовини показали, що $\tau_{\text{сер.}}=118,6$ с. Водночас встановлено, що при послідовному застосуванні стволів типу РС-70, СПП-4 та РС-70 $\tau_{\text{сер.}}=150,2$ с. Кожне експериментальне дослідження часу ліквідування пожежі проводилось 10 разів.

Порівнявши результати експериментальних досліджень встановлено, що застосування ствола комбінованої подачі компактного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності дозволяє скоротити час ліквідування пожежі при необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода». Зокрема, час гасіння системи модельних вогнищ 6А – 21В – 6А запропонованим стволом комбінованої подачі скорочується в середньому на 27 % у порівнянні з часом гасіння існуючими «класичними» стволами. Така різниця в часі зумовлюється, головним чином, затримками процесу ліквідування пожежі у зв'язку з заміною пристрою подачі вогнегасної речовини (пожежних стволів).

Висновки. 1. Отримано адекватну емпіричну залежність для визначення довжини суцільного струменя вогнегасної речовини від тиску P , діаметра d насадка ствола, кута α його нахилу та знайдено оптимальні тактико-технічні параметри роботи запропонованого ствола. Результати контрольних досліджень показали, що найбільша відносна похибка моделі в межах від 1,69% до 4,99%, що є допустимим для досліджень даного характеру.

2. Математична модель повністю описує досліджуваний процес, оскільки коефіцієнт множинної кореляції $R=0,9997164$ наближається до 1.

3. Встановлено, що найбільший вплив на довжину суцільного струменя ствола комбінованої подачі має тиск вогнегасної речовини. При збільшенні тиску з 200 кПа до 600 кПа (в 3 рази) довжина суцільного струменя ствола комбінованої подачі збільшується в 1,96 раз. При збільшенні діаметра насадки від 13 мм до 25 мм (в 1,92 рази) довжина суцільного струменя зменшується в 1,44 рази. Зміна кута нахилу від 5° до 45° (в 9 раз) призводить до збільшення довжини суцільного струменя в 1,52 рази.

4. Встановлено, що застосування ствола комбінованої подачі компактного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності дозволяє скоротити час ліквідування пожежі при необхідності зміни типу вогнегасної речовини «вода – повітряно-механічна піна – вода». Зокрема, час гасіння системи модельних вогнищ 6А – 21В – 6А запропонованим стволом комбінованої подачі скорочується в середньому на 27 % у порівнянні з часом гасіння існуючими «класичними» стволами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васильєва О.Е. Підвищення ефективності гасіння пожеж ручними (переносними) стволами / О.Е. Васильєва, І.В. Паснак, С.З.

Курташ // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Л.: ЛДУБЖД, 2010. – №17. – С. 113-117.

2. Пат. 57620 Україна, МПК (2011.01), А62С 31/00. Ствол комбінованої подачі компактного струменя води та повітряно-механічної піни низької кратності / О.Е. Васильєва, І.В. Паснак. № у 2010 08728; заявл. 13.07.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. №5.

3. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

4. Биндер К., Хеерман Д.В. Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. Пер. с англ. В.Н. Задкова. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 144 с.

5. Семенов С. А. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. Учебно-методическое пособие. М.: ИПЦ МИТХТ, 2001 г., 93 с.

6. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.

І.В. Паснак, Е.Э. Васильєва, І.А. Мовчан

Экспериментальное исследование тактико-технических параметров комбинированного водопенного ствола

Представлены результаты экспериментальных исследований ствола комбинированной подачи сплошной струи воды и воздушно-механической пены низкой кратности, полученные на основе метода полнофакторного эксперимента. Получено эмпирическую зависимость для определения длины сплошной струи огнетушащего вещества и найдены оптимальные тактико-технические параметры работы ствола. Установлено, что применение предложенного ствола позволяет сократить время ликвидации пожара при необходимости изменения типа огнетушащего вещества «вода – воздушно-механическая пена – вода». В частности, время тушения системы модельных очагов 6А – 21В – 6А предложенным стволом комбинированной подачи сокращается в среднем на 26,6% по сравнению с временем тушения существующими «классическими» стволами.

Ключевые слова: пожарный ствол, изменение типа огнетушащего вещества, полнофакторный эксперимент, время тушения пожара.

I.V. Pasnak, O.E. Vasilyeva, I.O. Movchan

Experimental investigation of performance characteristics of compound foam nozzle

The article deals with the results of experimental investigations of nozzle of compound continuous water stream supply and air-mechanic foam of low multiplicity done with full-factorial experiment. Empirical dependence for length definition of continuous stream fire-fighting substances is determined. Optimum performance characteristics of nozzle work are found. Usage of such a nozzle can reduce the time of fire extinguishment changing the kind of fire-extinguishing substance 'water - air-mechanic foam - water' is defined. In particular, the time of extinguishment 6A – 21B – 6A fires with the proposed nozzle of compound supply reduced to 26, 6 % compared to the time of extinguishment with «classical» types of nozzle.

Keywords: nozzle, modification of type of fire extinguishing substance, full-factorial experiment, time of fire extinguishment.

О.А. Петухова, к.т.н., доцент, заст. нач. кафедри, НУЦЗУ

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОДОВІДДАЧУ ВНУТРІШНІХ ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

(представлено д-ром техн. наук Комяк В.М.)

Проведений аналіз причин, за якими результати випробувань на водовіддачу водопровідних мереж не відповідають фактичним витратам води в водопровідних мережах, які можливо забрати на пожежогасіння. Запропонована навчально – тестова програма «Випробування на водовіддачу внутрішніх мереж» для підготовки працівників підрозділів МНС України для визначення фактичних витрат води, що можливо одержати з внутрішніх мереж для фактичного гасіння пожеж.

Ключові слова: водовіддача, навчальна програма.

Постановка проблеми. За статистичними даними, при подачі води під час гасіння пожеж керівникам гасіння пожежі необхідно вирішувати питання з підвозу вогнегасної речовини – води, хоча при слідуванні до місця пожежі керівник вивчає карту вододжерел на якій вказуються всі джерела водопостачання біля об'єкта, де виникла пожежа, та ще при цьому позначається кількість води, яку реально можливо з кожного вододжерела одержати для пожежогасіння. Тобто дані карток вододжерел не відповідають дійсності. Ці дані одержуються за результатами проведення випробувань водопровідних мереж на водовіддачу. Водовіддача - кількість води, яку фактично можливо забрати з водопровідної мережі для цілей пожежогасіння. Мета випробування водопровідних мереж на водовіддачу полягає в тому, щоб визначити фактичний тиск та витрати води, порівняно з нормативними вимогами. За вимогами правил пожежної безпеки України випробування зовнішніх мереж виконуються один раз на рік та при прийнятті в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів, а внутрішніх лише при прийнятті в експлуатацію. Таким чином, питання визначення витрат води, які фактично можливо одержати з вододжерела в будь-який час та в будь-яку пору року є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Визначення фактичних витрат води за результатами випробувань водопровідних мереж на водовіддачу можливо ретельною реалізацією трьох етапів випробувань [1]. Основні прилади, що використовуються на другому етапі це ствол – водомір, трубка Піто, тарована пожежна колонка, пристрій «СВ». За допомогою цих приладів вимірюється тиск в мережі (манометром, що встановлений на корпусі приладів), який перераховується в

витрати [2-3]. На теперішній час існує багато інших приладів, які дозволяють провести вимірювання тиску або витрат в мережі з високою достовірністю, наприклад Meitwin 100/50, LMP 331 БД Сенсорс, «Мокроход» MN QN...XN (Ду 15, 20, 25, 32, 40) Sensus, Honeywell, СВК М10 та інші. Таким чином, саме вимірювання не являється проблемою, яка приводить до невірних даних карток вододжерел. Найважливішою складовою кожного етапу проведення випробувань є людина, що готується до випробувань, проводить їх та оцінює результати. Допомогою при підготовці до проведення випробувань є нормативна література, підручники, програмні навчально – тестові симулятори. Один з таких симуляторів «Водовіддача», що допомагає підготуватися до проведення випробувань зовнішніх мереж, був створений в НУЦЗУ [4]. Апробація цього симулятора за допомогою курсантів НУЦЗУ показала, що ефективність в навчанні за його допомогою збільшується на 15 %.

Постановка задачі та її розв'язання. Випробування на водовіддачу внутрішніх мереж на теперішній час практично не виконуються пожежними підрозділами, в результаті чого системи внутрішнього протипожежного водопостачання, як правило, знаходяться в неробочому стані. Таким чином, підготовка матеріалів, які допоможуть практичним працівникам вивчити основи проведення випробувань внутрішніх мереж, допомогти в підготовці до випробувань та обробці результатів випробувань, при цьому звернути увагу на помилки при проведенні випробувань, які приведуть до неадекватних результатів, може бути виконана у вигляді програмного навчально – тестового симулятора «Випробування на водовіддачу внутрішніх мереж».

Принципи, які необхідно покласти в основу сценарію створення навчально – тестового симулятора є наступні:

- доступність (зрозумілість, зручність) для працівника з будь-яким рівнем попередньої підготовки;
- відповідність вимогам діючих нормативних документів;
- повнота матеріалу;
- підкреслення характерних похибок при проведенні випробувань та напрямки їх недопущення або усунення;
- можливість самостійних дій під час навчання з аналізом їх вірності та розбором помилок;
- демонстрація роботи з приладами, що використовуються при випробуваннях.

Планується програму зорієнтувати на двох користувачів – для навчання та для перевірки вірності підготовки до випробувань та обробці результатів. В симуляторі «Водовіддача» не використовувався цей підхід - він був орієнтований лише на навчання та тестування якості засвоєння матеріалу. Але практика використання симулятора показала, що цей програмний продукт доцільно використовувати

більш широко та паралельно за допомогою нього проводити дослідження, які допоможуть сформулювати нові напрямки з покращення забезпечення водою пожежних підрозділів при гасінні пожеж.

Симулятор планується розділити на наступні розділи:

- постановка завдання та вибір об'єкта, для якого будуть проводитися випробування на водовіддачу (окремо для навчання та реальних випробувань);
- стислий опис проведення першого етапу випробувань та його реалізація тим, хто навчається;
- стислий опис проведення другого етапу випробувань та відео демонстрація його реалізації (в залежності від вибору, зробленого на першому етапі);
- завдання для виконання третього етапу випробувань та його реалізація тим, хто навчається;
- висновок про результати випробування з оцінкою вірності зроблених висновків.

На теперішній час неможливо сказати, які об'єкти найчастіше підлягають випробуванням, тому в симуляторі планується передбачити реалізацію випробування для будь-яких будівель за призначенням (житлові, громадські, виробничі), при цьому в залежності від нормативних витрат води на їх пожежогасіння (відповідно до вимог нормативних документів) розділити кожен групу будівель на декілька підгруп. При написанні сценарію програмного продукту використовується пакет прикладних програм «MAPLE 6».

Основною залежністю між фактичною водовіддачею та тиском, який вимірюється за допомогою спеціальних приладів являється:

$$Q_{\phi} = p\sqrt{H_m}, \text{ л/с}, \quad (1)$$

де Q_{ϕ} – фактична водовіддача з одного пожежного крана, л/с; p – провідність ствола пожежного крана; H_m – показання манометра спеціального приладу, м.

При випробуваннях використовується кількість пожежних кранів, що дорівнює нормативній кількості струменів на кожен точку приміщення. За результатами розрахунків будуються графіки залежності витрат води з пожежного крана від тиску в мережі в порівнянні з нормативними витратами з одного пожежного крана (рис. 1 а) та залежність фактичної водовіддачі внутрішнього протипожежного водопроводу будівлі від тиску в мережі в порівнянні з нормативними витратами води на внутрішнє пожежогасіння (рис. 1 б).

За допомогою симулятора не лише можливо підготуватися до випробувань, визначити фактичну водовіддачу, а і дослідити за допомогою змін яких величин фактична водовіддача з пожежного крана

або з мережі внутрішнього протипожежного водопроводу буде такою, що забезпечить умови успішного гасіння пожежі.

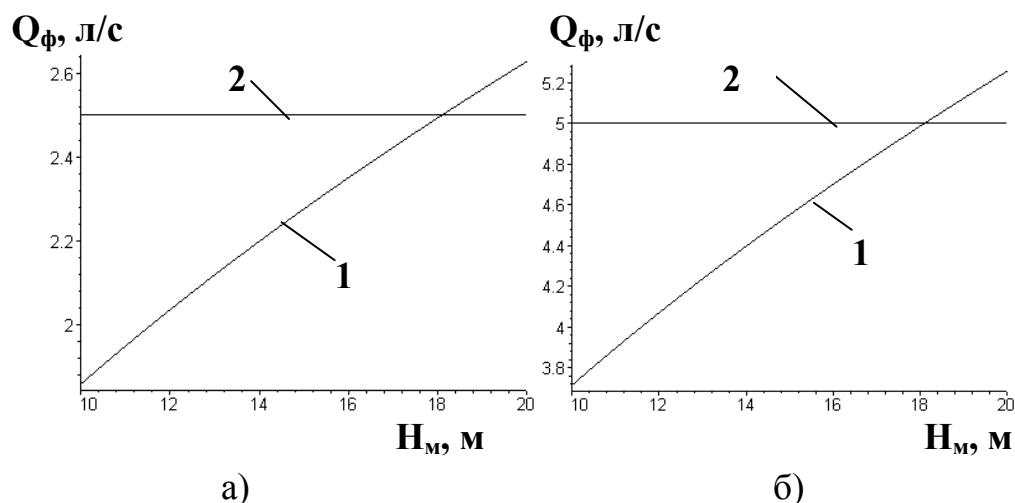


Рис. 1 – Залежність водовіддачі від тиску в мережі (1) в порівнянні з нормативними витратами (2): а) з одного пожежного крана; б) з пожежних кранів, задіяних при випробуваннях

Висновки. Аналізуючи причини, за якими результати випробувань на водовіддачу водопровідних мереж не відповідають фактичним витратам води в водопровідних мережах, можливо сказати, що «технічний» напрямок на сучасному етапі практично вичерпаний. Основною причиною помилок при випробуваннях є невідповідність людини, яка залучається до цих дій. Для забезпечення якісної підготовки особового складу підрозділів МНС України пропонується програмний симулятор «Випробування на водовіддачу внутрішніх мереж», робота з яким дозволить допомогти в підготовці до випробувань та обробці їх результатів, при цьому звернути увагу на помилки при їх проведенні, які приведуть до неадекватних результатів. Таким чином, буде значно підвищена достовірність результатів випробувань мереж на водовіддачу та визначення саме фактичних витрат води, що можливо одержати з внутрішніх мереж для фактичного гасіння пожеж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Антіпов І.А. Протипожежне водопостачання: [підручник] \ Антіпов І.А., Кулешов М.М., Петухова О.А. – Харків: АЦЗУ, 2004. – 255 с.
2. Петухова О.А. Експериментальне визначення опорів сучасних пожежних стволів / О.А. Петухова., Е.В. Цибуля // Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності в МНС: науково-практична конференція, 8 грудня, 2004 р.: тези доповідей. – Харків: АЦЗУ, 2004. - С. 62 - 63.
3. Петухова О.А. Вплив характеристик приладів на визначення

фактичної водовіддачі водопровідних мереж / О.А. Петухова // Проблеми пожежної безпеки. - Х. НУЦЗУ, 2010. - Вип. 27. – С. 158–162.

4. Петухова О.А. Оцінка ефективності застосування нових інформаційних технологій на прикладі вивчення теми дисципліни «Спеціальне водопостачання» / О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Інформаційно – телекомунікаційні технології в сучасній освіті: досвід, проблеми, перспективи: матеріали міжнародної науково – практичної конференції. - – Львів: ЛДУБЖД, 2009 – С. 234 - 236

Е.А. Петухова

Усовершенствование испытаний на водоотдачу внутренних водопроводных сетей

Проведен анализ причин, по которым результаты испытаний на водоотдачу водопроводных сетей не соответствуют фактическим расходам воды в водопроводных сетях, забираемые на пожаротушение. Предложена учебно – тестовая программа «Испытание на водоотдачу внутренних сетей» для подготовки работников подразделений МЧС Украины для определения фактических расходов воды, которые можно получить из внутренних сетей для фактического тушения пожаров.

Ключевые слова: водоотдача, учебная программа.

О.А. Petuhova

Improvement of test fluid loss of internal water supply networks

The analysis of the reasons for the results of tests on water loss of water supply systems do not meet the actual costs of water in water networks takes one fire-fighting. Offered training - test program «Test for water loss of internal networks» for the training of units of Emergencies of Ukraine to determine the actual cost of water, which can be obtained from internal networks to the actual fire fighting.

Keywords: water loss, the curriculum

УДК 614.84

*Е.А. Петухова, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ,
В.М. Халыпа, канд. техн. наук, доцент, НУГЗУ,
В.А. Метелев, магистрант, НТУ «ХПИ»*

ОСЕСИММЕТРИЧНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ УДАРЕ

(представлено д-ром техн. наук Лариным А.Н.)

Предложена методика расчёта напряжённо-деформированного состояния тонкой цилиндрической трубы при гидравлическом ударе в момент включения и выключения пожарных насосов.

Ключевые слова: противопожарный водопровод, гидравлический удар, осесимметричная деформация, давление, окружные напряжения и напряжения изгиба.

Постановка проблемы. Система противопожарного водоснабжения – комплекс инженерных сооружений, основным элементом которого является водопроводные сети, работающие в двух режимах – до пожара (обеспечивают пропуск воды на хозяйственно – питьевые, производственные нужды соответствующих водопотребителей) и при пожаре (обеспечивают дополнительную подачу воды на нужды пожаротушения). Подача дополнительных пожарных расходов воды осуществляется пожарными насосами, установленными в насосных станциях, которые включаются в работу при поступлении сигнала о возникновении пожара. Сооружения, сохраняющие запас воды для первых минут тушения пожара, обеспечивают возможность плавного изменения нагрузки в водопроводных сетях в момент включения пожарных насосов и мгновенного отключения электродвигателей. Но при внезапной остановке насоса в трубопроводе возникает гидравлический удар, который может привести к нарушению нормальной работы трубопровода и даже к разрушению трубы, что негативно скажется на возможности обеспечения подачи воды на пожаротушение [1].

Происходящее при гидравлическом ударе резкое повышение давления ΔP представляет собой весьма опасное явление, поэтому разработаны практические меры борьбы с ним. Существуют конструктивные способы уменьшения ΔP , например установка гидроаккумуляторов или диафрагм, разрушающихся при повышении давления и сбрасывающих жидкость в компенсатор. Однако в последнее время проектировщики предпочитают увеличение прочности трубы, что приводит к необходимости построения расчетных схем, учитывающих все особенности процесса деформирования трубы при гидравлическом ударе.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие методы расчета труб на прочность и жесткость базируются на безмоментной теории деформирования тонких цилиндрических оболочек под действием постоянного давления, равного сумме P – эксплуатационного и ΔP – ударного давлений [2-3]. В такой постановке растягивающие окружные напряжения σ_θ постоянны во всех осевых сечениях трубы, и в этом случае коэффициент запаса прочности n относительно допускаемого напряжения $[\sigma]$ составляет $n = \frac{[\sigma]}{\sigma_\theta}$.

На самом деле во время гидравлического удара одна часть трубы находится под давлением P , а другая под давлением $P + \Delta P$. В предлагаемой работе излагается методика расчета напряженно-деформированного состояния той части трубы, которая находится в окрестности скачкообразного изменения давления.

Постановка задачи и ее решение. Для обеспечения прочности противопожарного трубопровода при воздействии гидравлического удара необходимо рассчитать напряженно-деформированное состояние трубы в зоне скачкообразного повышения давления. Обоснование явления гидравлического удара в трубах и метод его расчета были предложены проф. Н.Е. Жуковским. Его имя в частности носит формула для определения избыточного ΔP ударного давления:

$$\Delta P = \rho V a, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3 , V – средняя скорость жидкости, перекачиваемой по трубе, м/с ; a – скорость распространения ударной волны, м/с , которая определяется:

$$a = \sqrt{\frac{E_g}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E_g}{E_T} \cdot \frac{d}{h}}}, \quad (2)$$

где E_g – модуль упругости жидкости, Па ; E_T – модуль упругости материала трубы, Па ; $\frac{d}{h}$ – отношение внутреннего диаметра трубы к толщине ее стенки.

Для исследования осесимметричной деформации изгиба трубы, которая независимо от величины эксплуатационного давления определяется только величиной ΔP , рассмотрим расчетную схему рис. 1.

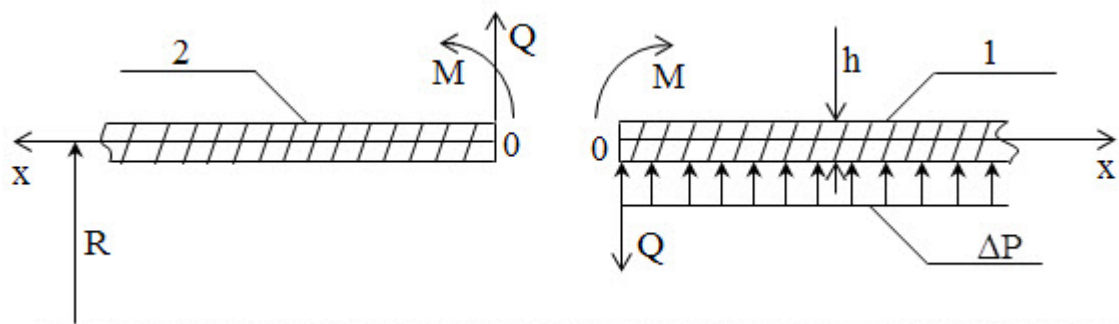


Рис. 1– Расчётная схема изгиба трубы в зоне резкого повышения давления

Разделим трубу на две части: первая в рассматриваемый момент уже подвержена ΔP , вторая еще нет, и для каждой из частей введем свою локальную систему координат OX .

Обе части трубы далее рассматриваются как длинные тонкие цилиндрические оболочки постоянной толщины h , радиусом средней поверхности R и коэффициентом Пуассона материала трубы – μ . Неизвестными краевыми распределенными нагрузками Q – поперечной силой и M – изгибающим моментом заменим силовое воздействие одной части трубы на другую. Эти неизвестные определим из геометрических условий сопряжения обеих частей труб при $x = 0$:

$$W_1 = W_2; \varphi_1 = \varphi_2, \quad (3)$$

где W_1 и W_2 – радиальные перемещения, φ_1 и φ_2 – углы поворота частей труб под действием всех нагрузок.

Формулы для определения этих величин представлены в следующем виде:

$$\begin{cases} W_1 = -\frac{Q}{2\beta^3 D} + \frac{M}{2\beta^2 D} + \frac{\Delta P R^2}{E_T h}; W_2 = -\frac{Q}{2\beta^3 D} + \frac{M}{2\beta^2 D}; \\ \varphi_1 = \frac{Q}{2\beta^2 D} - \frac{M}{\beta D}; \varphi_2 = \frac{Q}{2\beta^2 D} + \frac{M}{\beta D}. \end{cases} \quad (4)$$

где $D = \frac{E_T h^3}{12(1-\mu^2)}$ – цилиндрическая жесткость оболочки

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{R^2 h^2}}.$$

Подставляя (4) в (3) находим $M = 0$, $Q = \frac{\Delta P R^2 \beta^3 D}{E_T h}$.

Поскольку в трубе, кроме ΔP , действует постоянное эксплуатационное давление P , которое создает постоянное по всей длине трубы радиальное перемещение ее стенок, равное $\frac{PR^2}{E_T h}$, то окончательный вид функции распределения радиальных перемещений в обеих частях трубы запишется так:

$$W_1 = \frac{R^2}{E_T h} \left[\Delta P \left(1 - \frac{1}{2} e^{-\beta x} \cos \beta x \right) + P \right]; W_2 = \frac{R^2}{E_T h} \left(\frac{\Delta P}{2} e^{-\beta x} \cos \beta x + P \right). \quad (5)$$

Осевой изгибающий момент M_1 , действующий в первой части трубы определяется выражением:

$$M_1 = D \frac{d^2 W_1}{dx^2} = \frac{\Delta P R^2 h^2 \beta^2}{6(1 - \mu^2)} e^{-\beta x} \sin \beta x. \quad (6)$$

Исследуя эту функцию на экстремум находим, что своего наибольшего по модулю значения изгибающий момент достигает при $x = \frac{\pi}{4\beta}$ и равен:

$$M_{1\max} = \frac{\sqrt{2} \Delta P R^2 h^2 \beta^2}{12(1 - \mu^2)} e^{-\frac{\pi}{4}} \quad (7)$$

Соответствующий момент M_2 , действующий во второй части трубы отличается от M_1 только знаком $M_2 = -M_1$.

При плоском напряжённом состоянии прочность трубы оценивается с помощью главных напряжений σ_θ - действующих в окружном направлении и σ_x - в осевом направлении в сечении трубы, где действует максимальный изгибающий момент $M_{1\max}$. Эти напряжения определяются по следующим формулам:

$$\sigma_\theta = \frac{(P + \Delta P)R}{h} \pm \frac{6\mu M_{1\max}}{h^2}; \sigma_x = \pm \frac{6M_{1\max}}{h^2}. \quad (8)$$

Для обеспечения прочности с коэффициентом запаса n относительно предела текучести σ_T необходимо при проектировании выполнить условие:

$$\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 \leq \left[\frac{\sigma_T}{n} \right]^2. \quad (9)$$

Выводы. Предложена методика расчёта напряжённно-деформированного состояния трубы в зоне скачкообразного повышения давления, вызванного гидравлическим ударом при включении и выключении пожарных насосов. Она позволяет учитывать деформации и напряжения в осевом направлении, указаны сечения, в которых изгибающий момент достигает своего наибольшего значения, что даёт возможность обеспечить прочность на этапе проектирования трубопровода при гидравлическом ударе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антіпов І.А. Протипожежне водопостачання: [підручник] / Антіпов І.А., Кулешов М.М., Петухова О.А. – Харків : АЦЗУ, 2004. – 255 с.
2. Тимошенко С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М : Наука, 1966. - 636 с.
3. Шутенко Л. М. Механіка споруд / Л. М. Шутенко, В. П. Пустовойтов, М. А. Засядько. — Харьков : ХДАМГ, 2001. – 239 с.

О.А. Петухова, В.М. Халипа, В.О. Метельов

Осесиметрична деформація циліндричної труби протипожежного водопроводу при гідравлічному ударі

Запропонована методика розрахунку напружено-деформованого стану тонкої циліндричної труби при гідравлічному ударі у момент включення і виключення пожежних насосів.

Ключові слова: протипожежний водопровід, гідравлічний удар, осесиметрична деформація, тиск, окружні напруження і напруження згину.

O.A. Petuhova, V.M. Chalypa, V.O. Mielielov

Axisymmetric deformation of the cylindrical pipe from hydraulic hammer in a fire-prevention water supply

The method of calculation the stress-strain state of a thin cylindrical pipe with water hammer at the moment of switching on and off fire pumps is offered.

Keywords: fire-prevention water supply, water hammer, axisymmetric strain, pressure, circumferential stress and bending stress.

*Ю.В. Попов, к.т.н., ст. науч. сотр., ХНУСА,
А.Н. Григоренко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.А. Пономарев, преподаватель, НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ДЫМООБРАЗОВАНИЯ ЭПОКСИПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

(представлено д-ром хим. наук Калугиным В.Д.)

На основании результатов проведенных исследований показаны возможные механизмы снижения дымообразования наполненных эпоксиполимерных композиций с добавкой оксида меди (II).

Ключевые слова: наполненный эпоксиполимер, дымообразование, термодеструкция.

Постановка проблемы. Горение и тление полимерных материалов сопровождается, как правило, выделением дыма, что значительно увеличивает опасность при пожарах. Количество дыма при горении полимерных материалов зависит от многих факторов. Основным является структура полимера, определяющая характер и механизм термического разложения при горении и пути превращения продуктов термической и термоокислительной деструкции. Однако до настоящего времени общая теория газофазного воспламенения и горения полимеров не разработана [1]. Поэтому представляют интерес исследования, направленные на изучение механизмов их дымообразования и горючести.

Анализ последних достижений и публикаций. При горении полимерных материалов, помимо внешних факторов, таких как температурный режим и механизм термического разложения, на образование частиц дыма влияет наличие в их составе различных наполнителей и добавок. В работе [2] приведены результаты исследований влияния металлсодержащих добавок на процессы термической и термоокислительной деструкции, воспламеняемость, горючесть, дымообразование и состав продуктов горения эпоксиполимеров. Показано, что введение оксидов переходных металлов в состав наполненных моноаммонийфосфатом эпоксиполимеров, в значительной мере изменяет ход как термической, так и термоокислительной деструкции, влияет на их горючесть и дымообразование. Однако все еще остается невыясненным механизмы снижения дымообразования.

Постановка задачи и ее решение. Установление закономерностей протекания термической и термоокислительной деструкции

наполненных эпоксиполимеров, а также механизмов дымообразования при их горении, является важной научно-практической задачей. Поэтому нами, на основании ранее проведенных испытаний [3], проведены исследования для установления характера протекания процессов горения наполненных моноаммонийфосфатом и металлсодержащими добавками эпоксиполимеров.

В качестве объектов исследования использовались композиции на основе эпоксидного олигомера ЭД-20, отвержденные отвердителем аминного типа. Для снижения горючести использовались минеральные дисперсные наполнители, содержащие азот и фосфор. В результате получили эпоксидную композицию ЭКПГ. Снижение дымообразования достигалось введением в состав ЭКПГ оксида меди (II), оксида цинка (II) и оксида ванадия (V) (10 м.ч.). Как показали предварительные исследования [3], наиболее эффективной с точки зрения пожарной опасности является добавка CuO .

Термоокислительную деструкцию изучали с помощью дифференциально-термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГ) методов анализа в атмосфере воздуха и в инертной среде в интервале температур 20 - 600°C при скорости нагрева 10 град/мин.

Кривые термоокислительного разложения и термической деструкции композиции ЭКПГ с добавкой оксида меди (II) (10 м.ч.) приведены на рис. 1.

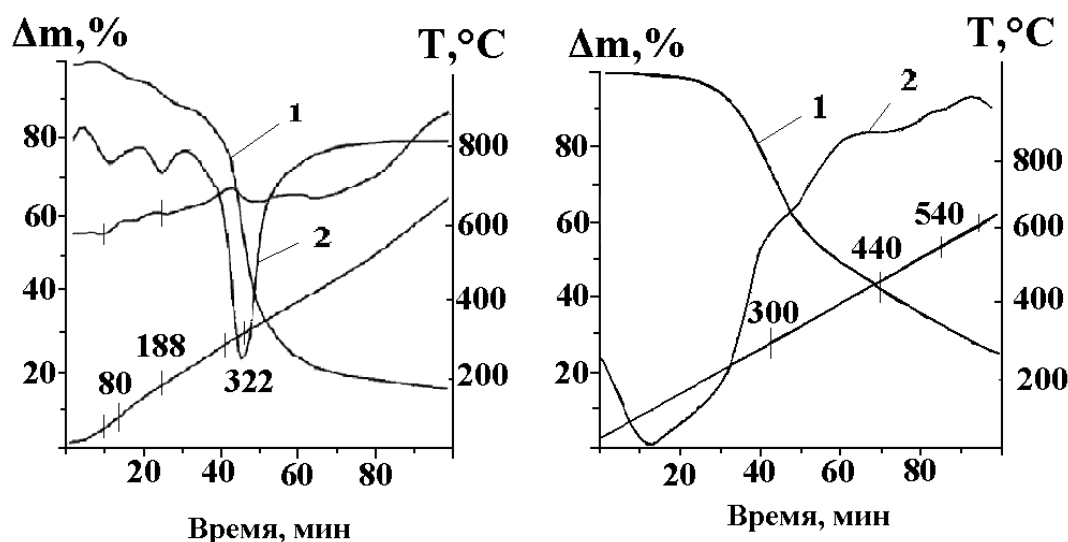


Рис. 1 – Кривые ТГ (1) и ДТА (2) при термической (а) и термоокислительной (б) деструкции эпоксиполимера ЭКПГ с добавкой CuO (10 мас.ч.)

Результаты исследования влияния металлсодержащих добавок в количестве 10 масс.ч. на 100 масс.ч. исходной композиции, на температуру воспламенения и самовоспламенения, коэффициент дымообразования и на величину кислородного индекса представлены в табл. 1. Там же представлены данные о влиянии добавок на скорость разложе-

ния, выход коксового остатка (по данным ТГА) при термической и термоокислительной деструкции и сумма негорючих газообразных продуктов ($\Sigma(N_2+CO_2)$) пиролиза эпоксидных композиций с добавками.

Таблица 1 – Влияние металлсодержащих добавок на показатели пожарной опасности и температурно-массовые характеристики ЭКПГ

Полимер	$T_{в.},$ °С	$T_{с.в.},$ °С	$D_m, \text{ м}^2/\text{кг}$		КИ, %	$T_{1\text{max}},$ (ТОД)		КО, % (ТД)	$\Sigma_{(N_2+CO_2)}$
			При тлении	При го- рении		$\frac{\Delta m}{\Delta t},$ $\frac{\text{мг}}{\text{мин}}$	$E_{\text{эф}},$ $\frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$		
ЭКПГ	305	525	1300	580	31	13,4	62,6	27,1	-
ЭКПГ +ZnO	325	525	1370	710	23	7,0	45,9	6,3	76,5
ЭКПГ +CuO	305	545	1040	480	29	8,9	52,3	16,6	79,6
ЭКПГ +V ₂ O ₅	305	535	1310	600	28	8,3	61,79	6,9	77,1

Примечание: ТОД – термоокислительная деструкция в атмосфере воздуха; ТД – термическая деструкция в атмосфере азота.

Как видно из табл. 1, температура вынужденного воспламенения почти у всех эпоксиполимеров имеет одинаковое значение и мало зависит от химической природы добавок. Исключение составляет эпоксиполимер с ZnO, при введении которого $T_{с.в.}$ возрастает на 20°, что, очевидно, связано с наименьшей скоростью разложения данной композиции при термоокислительной деструкции в низкотемпературной области.

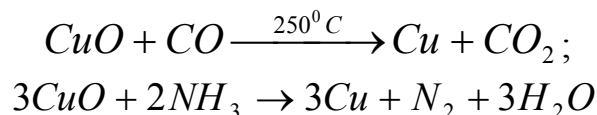
Для осуществления газофазного самовоспламенения большое значение имеет скорость образования горючих продуктов, их диффузия в окружающую среду и скорость их окисления. Как известно, для обычных полимеров с увеличением скорости образования горючих продуктов температура самовоспламенения снижается, однако, как видно из табл. 1, для эпоксидных композиций наполненных металлсодержащими добавками наблюдается противоположная зависимость, а именно с увеличением скорости потери массы и скорости окисления конденсированной фазы при термоокислительной деструкции, температура самовоспламенения композиций возрастает. Так как в исследуемых эпоксиполимерах нет антипирогенных элементов работающих в газовой фазе, то это можно объяснить только изменением соотношения продуктов деструкции в сторону образования большого количества негорючих газов (N_2, CO_2). Как это видно из табл. 1, по эффективности повышения температуры самовоспламенения эпоксидной композиции металлсодержащие оксиды можно расположить в следующей последовательности:



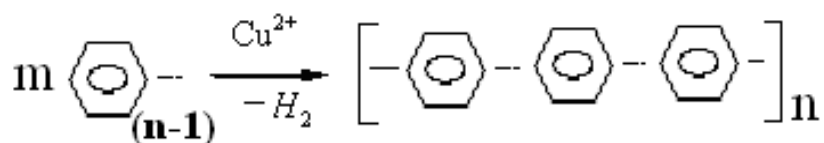
и эта последовательность совпадает с увеличением количества негорючих газов в продуктах термической деструкции.

Эта же последовательность наблюдается по эффективности снижения горючести (по КИ) и дымообразования при тлении и горении. Особенно интересно то, что при термодеструкции эпоксидной композиции, содержащей исследуемые оксиды, наблюдается обратно пропорциональная зависимость между коэффициентом дымообразования и коксовым остатком при пиролизе. Причем в присутствии кислорода воздуха эта зависимость не соблюдается из-за ингибирующего влияния O_2 на термоокислительные процессы.

Снижение дымообразующей способности эпоксиполимерных композиций пониженной горючести в присутствии CuO можно объяснить возможным его влиянием на снижение концентрации бензола в продуктах деструкции эпоксиполимеров. Можно предположить несколько путей уменьшения концентрации бензола, основного дымообразователя, один из путей, описанных в литературе, обусловлен адсорбцией бензола на чистой, неокисленной поверхности меди, с потерей ароматичности бензола [4]. Этот механизм вполне реален в силу того, что CuO легко восстанавливается при повышенных температурах в присутствии CO , NH_3 по следующей схеме:



Другой путь может быть связан с каталитическим влиянием оксида меди в виде иона Cu^{2+} (в кислой среде) на реакцию дегидрополиконденсации бензола с образованием полипарафенилена по схеме:



эти реакции ведут к повышению коксового остатка и уменьшению содержания бензола в продуктах горения и тления

Вывод. Таким образом, по сравнению с другими добавками, наиболее эффективной дымоподавляющей добавкой, не повышающей горючести эпоксиполимера, является CuO . Это связано с тем, что CuO , обеспечивает полноту сгорания летучих продуктов термической деструкции при высоком выходе карбонизированного остатка

ка. Механизм снижения дымообразования эпоксиполимерных композиций в присутствии CuO может быть связан с уменьшением выхода бензола и его гомологов в зону горения вследствие адсорбции бензола на поверхности меди или каталитическим влиянием оксида меди в виде иона Cu^{2+} на реакцию дегидрополиконденсации бензола с образованием полипарафенилена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машляковский Л.Н. Органические покрытия пониженной горючести / Л.Н. Машляковский, А.Д. Лыков, В.Ю. Репкин – Л.: Химия, 1989. – 184 с.

2. Яковлева Р.А. Влияние добавок на процессы термоокислительной деструкции наполненных эпоксиполимеров / Р.А. Яковлева, А.Н. Григоренко, А.М. Безуглый // Вісник КНУТД. – 2005. – Вип. 5 (25). Т.2. – С. 192 – 196.

3. Яковлева Р.А. Пожежна небезпека епоксидних матеріалів, що містять оксиди перехідних металів / Р.А. Яковлева, О.М. Григоренко, А.В. Довбиш // Проблеми пожарной безопасности. – 2006. – Выпуск 20. – С. 266–271.

4. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров / М.Т. Брык – М.: Химия, 1989. – 192 с.

Ю.В. Попов, О.М. Григоренко, В.О. Пономарьев

Вплив металовмісних добавок на механізми зниження дымоутворення эпоксиполімерних композицій

На основі результатів проведених досліджень показані можливі механізми зниження дымоутворюючої здатності наповнених эпоксиполімерних композицій з добавкою міді (II).

Ключові слова: наповнений эпоксиполімер, дымоутворення, термодеструкція.

Y.V. Popov, O.M. Grigorenko, V.O. Ponomarev

Influence of metal-containing additions on smoking decline mechanisms of epoxy compositions

The possible smoke-generation decrease mechanisms of epoxy polymers by means of cuprum oxide (II) is offered on the basis of the conducted researches results.

Keywords: filled epoxy-polymer, smoke-generation, term destruction.

*Б.Б. Поспелов, д.т.н., профессор, вед. научн. сотр., НУГЗУ,
Р.И. Шевченко, к.т.н., с.н.с., нач. лаборатории, НУГЗУ,
А.Е. Басманов, д.т.н., профессор, главн. научн. сотр., НУГЗУ*

ВЫБОР ПОРОГОВ В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА С ГРУППИРОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

В соответствии с обобщенным байесовским критерием решена задача совместной оптимизации порогов для систем обнаружения и тушения пожара с группированием датчиков первичной информации. Исследована взаимная зависимость порогов от условий наблюдения фактора пожара и ожидаемый выигрыш от совместной оптимизации двух порогов в групповом датчике.

Ключевые слова: датчик первичной информации, система обнаружения и тушения пожара, групповой датчик обнаружения пожара, характеристики обнаружения пожара.

Постановка проблемы. Одним из основных направлений сокращения ущерба от пожаров является их своевременное обнаружение и запуск системы тушения пожара. Применение современных технических систем, использующих датчики первичной информации об опасных факторах пожара, сталкивается с проблемой ошибочной работы датчиков - наличия пропусков пожара и ложного срабатывания датчиков при его отсутствии. Одним из конструктивных решений данной проблемы является использование структурной избыточности, реализуемой путем объединения нескольких датчиков первичной информации в единый групповой датчик. При этом решение о наличии или отсутствии пожара в групповом датчике выносится на основе интегральной обработки информации от всех первичных датчиков группы. Отличительной особенностью группового использования датчиков является зависимость результирующего решения от двух порогов. Первый порог используется в первичных датчиках группы, а второй определяется при вынесении решения по результатам интегральной обработки информации первичных датчиков.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] рассмотрено применение структурной избыточности для повышения эффективности систем обнаружения пожара на основе комплексных датчиков и реализации мажоритарного принципа обработки информации от группы датчиков. Однако возможности снижения ошибочных решений там не рассматриваются. В работе [2] для снижения ошибочных решений комплексного датчика предложено использовать критерий максимума разности между вероятностями правильного и ложного срабатывания. Показано, что существует правило, в соответствии с которым имеется определенное число сработавших первичных датчиков

из заданной группы, при котором принятие решения о пожаре комплексным датчиком оказывается оптимальным в смысле выбранного критерия. Получено выражение, позволяющее определять оптимальное число сработавших датчиков первичной информации, но не рассмотрены вопросы выбора порога в первичных датчиках и его зависимость от общего числа первичных датчиков и принятого алгоритма мажоритарной обработки в групповом датчике.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является совместный выбор порогов в групповых датчиках при реализации мажоритарного принципа обработки информации и их оптимизация на основе обобщенного критерия Байеса.

Будем полагать, что датчики первичной информации (рис. 1) подвергаются воздействию некоррелированных случайных факторов $\varepsilon_1(t)$, $\varepsilon_2(t)$, ..., $\varepsilon_n(t)$, вследствие чего их срабатывание носит случайный и независимый характер.

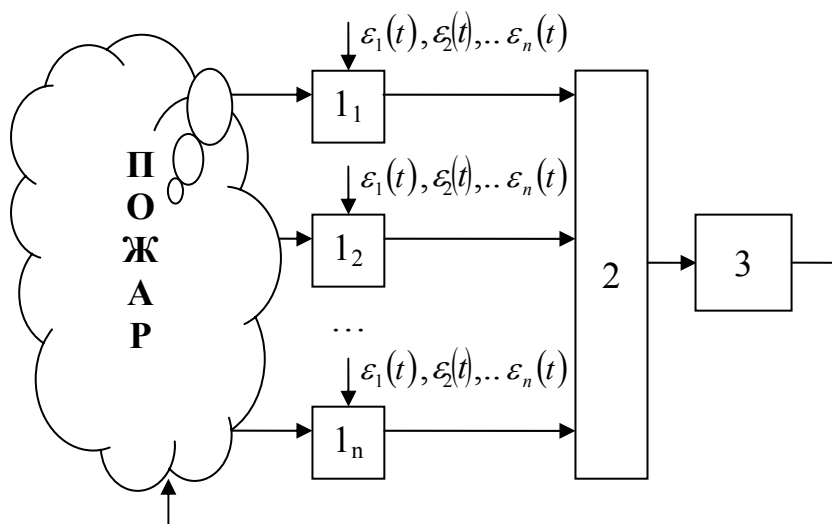


Рис. 1 – Структура группового датчика пожара: $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ – датчики первичной информации; 2 – устройство принятия решения о пожаре, реализующее мажоритарный алгоритм; 3 – система тушения пожара

Устройство принятия решений 2 реализовано таким образом, что при получении информации о срабатывании не менее k из n датчиков первичной информации, выдается сигнал, инициирующий систему тушения пожара.

Случайный характер наблюдаемых факторов пожара первичными датчиками приводит к двум видам ошибок первичной информации:

- ошибке первого рода – пропуск пожара при его наличии;
- ошибке второго рода – ложная тревога при отсутствии пожара.

При этом ошибки первичной информации будут трансформироваться в аналогичные ошибки группового датчика. Пусть для датчиков первичной информации вероятность ошибки первого рода составляет величину α , а вероятность ошибки второго рода - β . Тогда

вероятность p_α ошибки первого рода (пропуск) для группового датчика, характеризуемая отсутствием информации более чем от $n - k$ датчиков, будет определяться величиной

$$p_\alpha = 1 - \sum_{i=k}^n C_n^i (1 - \alpha)^i \alpha^{n-i}, \quad (1)$$

При этом вероятность p_β ошибки второго рода (ложная тревога), характеризуемая срабатыванием не менее k датчиков, будет определяться величиной

$$p_\beta = \sum_{i=k}^n C_n^i \beta^i (1 - \beta)^{n-i}. \quad (2)$$

В общем случае оптимизация числа k сработавших первичных датчиков, необходимых для принятия бинарного решения комплексным датчиком, должна производиться в соответствии с критерием Байеса, который определяет средний риск от ошибочных решений величиной

$$L = Ap_\alpha + Bp_\beta = A - \sum_{i=k}^n C_n^i [A(1 - \alpha)^i \alpha^{n-i} - B\beta^i (1 - \beta)^{n-i}] \rightarrow \min_k, \quad (3)$$

где A, B – обобщенные весовые коэффициенты: $A \geq 0, B \geq 0$. Весовые коэффициенты A, B могут определяться вероятностями сопутствующих ошибкам различных событий, а также стоимостью или ущербом ошибок и произведениями ущерба на вероятности соответствующих сопутствующих событий. Задача минимизации байесовского риска (3) эквивалентна задаче максимизации

$$\sum_{i=k}^n C_n^i [A(1 - \alpha)^i \alpha^{n-i} - B\beta^i (1 - \beta)^{n-i}] \rightarrow \max_k. \quad (4)$$

Пусть вероятность правильного обнаружения пожара первичными датчиками превосходит вероятность ложной тревоги $1 - \alpha > \beta$. Следуя [2], максимум выражения (4) будет достигаться при значении k , равном ближайшему сверху к x_0 целому числу, но не большем n . Искомое значение x_0 определяется выражением

$$x_0 = \frac{\ln \frac{B}{A} + n \ln \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\ln \left(\frac{1 - \alpha}{\beta} \cdot \frac{1 - \beta}{\alpha} \right)}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что выбор числа k сработавших первичных датчиков, необходимых для оптимального решения в групповом датчике в смысле минимума байесовского риска (3), зави-

сит от вероятностей ошибок первичных датчиков информации, а также значений A и B обобщенных весовых коэффициентов. Выбору обобщенных весовых коэффициентов и их влиянию на величину оптимального числа k первичных датчиков при фиксированных значениях α и β посвящена работа [3].

При этом вероятности ошибок α и β первичных датчиков существенно зависят от статистики наблюдаемых факторов пожара с учетом мешающих факторов и выбранного порога. В этой связи представляется интересным принцип совместного выбора порогов в первичных датчиках и для мажоритарной обработки информации.

Пусть статистика произвольного фактора T пожара на входе порогового устройства первичного датчика для фиксированного момента времени описывается гауссовой плотностью вероятности. Тогда в случае пожара на входе порогового устройства будет действовать аддитивная смесь $T = T_p + \varepsilon$ истинного значения T_p фактора пожара и сопутствующих независимых случайных факторов ε , характеризующихся нулевым средним и дисперсией σ^2 . Если пожар отсутствует, то на входе порогового устройства первичного датчика смесь будет действовать смесь $T = \varepsilon$, которая обусловлена только воздействием сопутствующих факторов. Будем полагать, что статистика наблюдаемого фактора T в случае пожара определяется плотностью

$P_1(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(T-T_p)^2}{2\sigma^2}}$, а при его отсутствии - $P_0(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{T^2}{2\sigma^2}}$. Тогда вероятности ошибок α и β первичного датчика при заданном пороге u будут определяться соответственно:

$$\alpha(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(T-T_p)^2}{2\sigma^2}} dT \quad \text{и} \quad \beta(u) = \int_u^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{T^2}{2\sigma^2}} dT. \quad (6)$$

С учетом (6) средний байесовский риск решения для группового датчика будет определяться функционалом

$$L(k, n, u) = Ap_\alpha(k, n, u) + Bp_\beta(k, n, u) \rightarrow \min_{n, k, u}, \quad (7)$$

где $p_\alpha(k, n, u) = 1 - \sum_{i=k}^n C_n^i (1 - \alpha(u))^i \alpha(u)^{n-i}$, а $p_\beta(k, n, u) = \sum_{i=k}^n C_n^i \beta^i(u) (1 - \beta(u))^{n-i}$.

В общем случае оптимизация группового датчика в соответствии с критерием (7) должна производиться совместно по общему числу n используемых датчиков в группе, требуемому числу k сработавших из них и порогу u для первичных датчиков. На практике общее число n первичных датчиков в группе является заданной величиной. Тогда совместной оптимизации подлежат пороги k и u . В качестве примера на рис. 2 приведен примерный вид поверхности в простран-

стве порогов, определяемой функционалом (7), для фиксированного числа $n = 20$ первичных датчиков в условиях статистики наблюдений, характеризуемой фактором пожара $Tr = 30$ (условных единиц фактора) и среднеекватратическим значением $\sigma = 15$ (условных единиц фактора) мешающего фактора пожара.

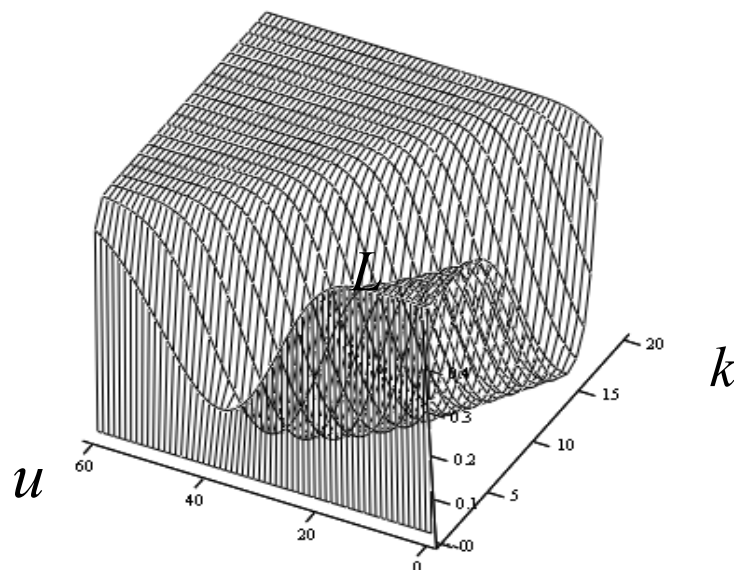


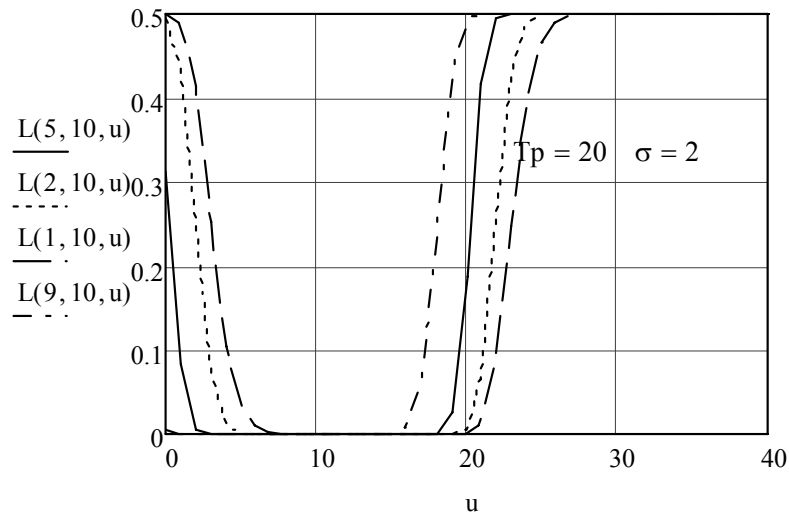
Рис. 2 – Зависимость среднего риска от числа k сработавших датчиков и порога u срабатывания

Приведенные данные свидетельствуют о том, что для группового датчика минимум среднего риска (7) зависит от реализуемого мажоритарного правила « k/n » и величины порога u срабатывания в первичных датчиках. Поэтому оптимизация мажоритарного правила « k/n » в групповом датчике должна сопровождаться выбором соответствующего порога срабатывания для первичных датчиков. При этом, следуя (7), величина порога определяется статистикой наблюдаемого фактора пожара и сопутствующих факторов. В общем случае решение задачи оптимизации параметров группового датчика будет зависеть от статистики наблюдаемого фактора пожара и мешающих наблюдению сопутствующих факторов. На рис. 3 приведены данные, иллюстрирующие этот факт.

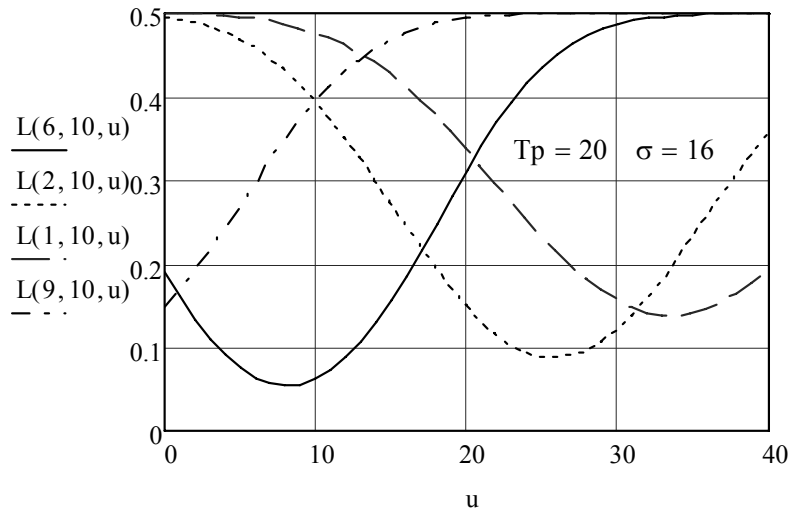
Данные на рис. 3-а соответствуют изменению порога в первичных датчиках при малом уровне мешающих факторов для различных правил « k/n » и общем числе датчиков $n = 10$, а на рис. 3-б при существенном уровне мешающих факторов по сравнению с наблюдаемым фактором пожара.

Приведенные зависимости свидетельствуют о необходимой коррекции порогового уровня срабатывания первичных датчиков и тем существенней, чем выше уровень мешающих факторов. Например, для рассматриваемого оптимального правила « $k = 6/n = 10$ » порог u при уровне мешающих факторов $\sigma = 16$ должен составлять величину порядка $Tr/2$. При выборе порога равного Tr вероятность полной ошиб-

ки решения оказывается почти в 6 раз больше. При меньшем уровне мешающих факторов выигрыш оказывается более существенным.



а)



б)

Рис. 3 – Зависимость среднего риска от величины порога u первичных датчиков для различных правил « k/n » и уровней мешающих факторов в области обнаружения пожара

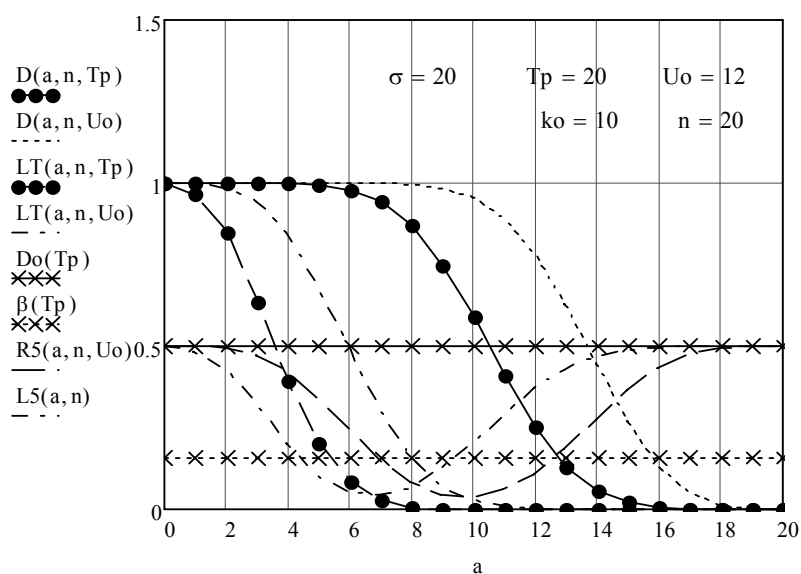
Основные показатели качества обнаружения в различных условиях наблюдения фактора пожара, для двух типов оптимизированных групповых датчиков (оптимизированного только по порогу k и оптимизированного по двум порогам k и $u = a$) при общем числе первичных датчиков, равном 20, приведены на рис.4.

Данные на рис. 4-а соответствуют условиям наблюдения, характеризующимся величиной $Tp/\sigma = 1$, а на рис. 4-б - величиной $Tp/\sigma = 2$. Здесь величина U_0 определяет результат совместной оптимизации (по параметрам k и $a = u$) порога для первичных датчиков, а через $D(\cdot)$ и $LT(\cdot)$ обозначены соответственно функционалы вероятности

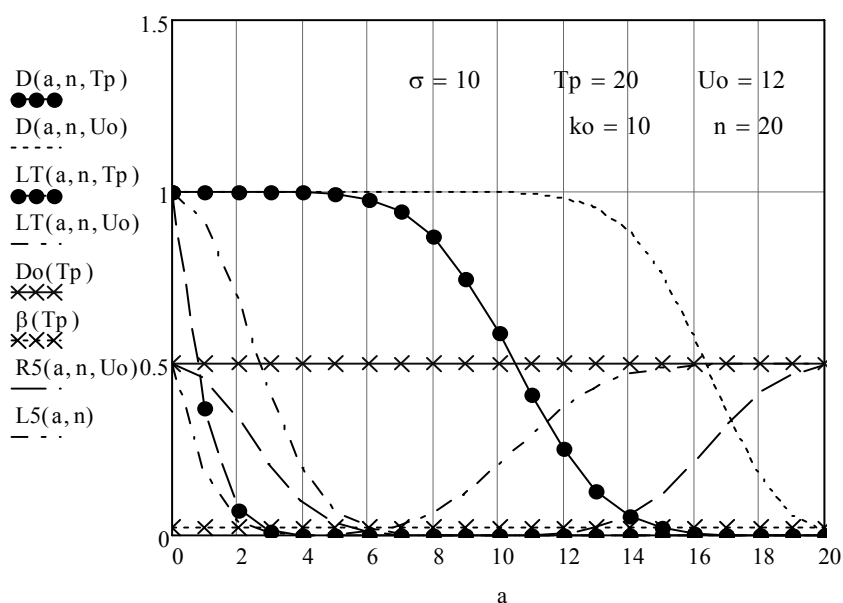
правильного обнаружения пожара и ложной тревоги для рассматриваемых групповых датчиков.

Для сравнения на рис. 4 приведены значения вероятностей правильного обнаружения $D(Tp)$ пожара и ложной тревоги $\beta(Tp)$ для первичного датчика и зависимости функционалов среднего риска $R5(\cdot)$ и $L5(\cdot)$ от параметра $u = a$ для группового датчика с оптимизированным порогом U_0 в первичных датчиках и с фиксированным порогом, соответствующим заданным значениям $D(Tp)$ и $\beta(Tp)$.

Из анализа зависимостей на рис. 4 следует, что показатели качества обнаружения в групповом датчике, оптимизированном по двум порогам, существенно выше.



а)



б)

Рис. 4 – Характеристики обнаружения группового датчика для различных условий наблюдения фактора пожара

При этом имеет место рост показателей обнаружения с увеличением отношения Tp/σ . Например, при отношении $Tp/\sigma = 1$ вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги для оптимизированного по двум порогам группового датчика составляет соответственно 0,954 и 0,026. При этом аналогичные характеристики обнаружения для группового датчика, оптимизированного только по порогу k , составляют соответственно 0,942 и 0,029, а для первичного датчика - 0,5 и 0,159.

При отношении $Tp/\sigma = 2$ вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги для оптимизированного по двум порогам группового датчика уже составляют соответственно 0,999 и $2,504 \times 10^{-5}$, а для группового датчика, оптимизированного только по порогу k , соответственно 0,999 и $9,691 \times 10^{-4}$. Это означает, что оптимизированный по двум порогам групповой датчик обеспечивает на порядок меньшую вероятность ложной тревоги при одинаковой вероятности правильного обнаружения, равной 0,999. При этом увеличение величины Tp/σ приводит к еще большему выигрышу в рассматриваемых показателях качества обнаружения.

Выводы. В соответствии с обобщенным байесовским критерием решена задача выбора оптимального количества датчиков первичной информации, входящих в групповой датчик, при срабатывании которых производится инициация системы тушения пожара. Показано, что выбор оптимального порога в первичных датчиках связан с правилом мажоритарной обработки информации, реализуемым в групповом датчике. Решена задача совместной оптимизации двух порогов в групповом датчике. Исследована зависимость порога первичных датчиков от используемого мажоритарного правила и условий наблюдения фактора пожара. Произведена оценка ожидаемого выигрыша от совместной оптимизации двух порогов в групповом датчике, которая показала ее достаточную эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Повышение эффективности обнаружения пожара по температуре / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь, Е.А. Тищенко. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 129 с.
2. Поспелов Б.Б. Оптимальный выбор количества пожарных извещателей в системе защиты резервуара с нефтепродуктом / Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вып. 30. – С. 12-15.
3. Поспелов Б.Б. Структурный метод повышения надежности датчиков первичной информации в системе ослабления последствий чрезвычайной ситуации / Б.Б. Поспелов, А.Е. Басманов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 129-134.

Б.Б. Поспелов, Р.І. Шевченко, О.Є. Басманов

Вибір порогів у системах виявлення і гасіння пожежі з групуванням датчиків первинної інформації

Відповідно до узагальненого байесовського критерію вирішена задача сумісної оптимізації порогів для систем виявлення і гасіння пожежі з групуванням датчиків первинної інформації. Досліджена взаємна залежність порогів від умов спостереження чинника пожежі та очікуваний вигреш від сумісної оптимізації двох порогів у груповому датчику.

Ключові слова: датчик первинної інформації, система виявлення і гасіння пожежі, груповий датчик виявлення пожежі, характеристики виявлення пожежі.

B.B. Pospelov, R.I. Shevchenko, A.E. Basmanov

Choice of thresholds in systems of detection and extinguishing fire with grouping of sensors the primary information

In accordance with the generalized bayes criterion the task of joint optimization of thresholds is decided for the systems of detection and extinguishing of fire with grouping of sensors of primary information. Mutual dependence of thresholds on the terms of supervision of factor of fire and expected effect is explored of joint optimization two the thresholds in a group sensor.

Keywords: sensor of primary information, system of detection and extinguishing of fire, group sensor of detection of fire, descriptions of detection of fire.

Є.О. Рибка, науковий співробітник, НУЦЗУ

ПОРІВНЯННЯ КОЕФІЦІЄНТУ СПУЧЕННЯ РЕАКТИВНИХ ПОКРИТТІВ ЕНДОТЕРМ ХТ-150, ЕНДОТЕРМ 40202 ТА ОВК ПРИ РІЗНИХ ТЕМПАХ НАГРІВУ

(представлено д-ром. техн. наук Андроновим В.А.)

Реалізовано експеримент та оброблено його результати з дослідження коефіцієнту спучення трьох реактивних покриттів для металевих конструкцій при різних темпах нагрівання.

Ключові слова: реактивне покриття, коефіцієнт спучення, експеримент, темп нагріву, регресійна модель.

Постановка проблеми. Реактивні вогнезахисні покриття являються одним з найперспективніших засобів підвищення вогнестійкості металевих будівельних конструкцій. Вогнезахисний ефект даних покриттів досягається за рахунок спінювання та значного збільшення в об'ємі композиції при відносно низьких температурах та утворення пористого теплоізолюючого шару, товщиною в декілька сантиметрів. Однак трапляються випадки відсутності ефекту спучування даних покриттів при реальних пожежах, що приводить до передчасного руйнування як окремих конструкцій так і всієї будівлі. Однією з причин цього є відсутність даних щодо впливу режимів нагрівання на спучення реактивних покриттів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши багаторічні дослідження розвитку пожеж в будівлях та спорудах [1-4] встановлено, що інтенсивність і тривалість пожежі змінюється в кожному конкретному випадку і відрізняється від стандартної кривої "температура-час" [5], яка застосовується для відтворюваності стандартних експериментальних досліджень.

В існуючих методах [5-7] випробування реактивних вогнезахисних покриттів проводяться в умовах лише стандартного температурного режиму, що приводить до недостовірних даних щодо вогнезахисних властивостей покриттів.

Постановка завдання та його вирішення. Виникає необхідність у встановленні закономірностей впливу режиму нагрівання та товщини покриття на коефіцієнт спучення найпоширеніших реактивних покриттів.

Для побудови математичної моделі зміни коефіцієнту спучення від зазначених факторів застосовано поліном другого ступеня за рахунок конструювання ортогонального центрального композиційного

плану другого порядку [8].

На основі аналізу даних, отриманих під час проведення пошукового експерименту [9], зроблено висновок, що для забезпечення необхідної межі вогнестійкості металевих конструкцій товщина реактивного покриття h змінюється в межах від 1 до 3 мм; а всі температурні режими на етапі розвитку пожежі мають лінійну швидкість зміни температури V (темп нагріву). Для переведення натуральних змінних в кодовані x_i заповнено таблицю кодування змінних (Табл. 1).

Таблиця 1 – Кодування факторів, їх значення та інтервали варіювання при дослідженні коефіцієнту спучення реактивних покриттів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Товщина шару (до спучення) h , мм	Швидкість нагріву V , °C/хв.
Нульовий рівень $x_i=0$	2	25
Інтервал варіювання δ_i	1	15
Нижній рівень $x_i=-1$	1	10
Верхній рівень $x_i=+1$	3	40
Кодове позначення	x_1	x_2

Коефіцієнти спучення покриттів Ендотерм ХТ-150, Едотерм 40202 та ОВК є функціями відгуку y_1 , y_2 , y_3 відповідно. Складання план-матриці експерименту здійснювалось за рахунок чергування рівнів фактора x_2 в кожному досліді, а x_1 – через три досліді.

Експеримент проводився на розробленій лабораторній установці з дослідження вогнезахисних властивостей [10]. В Таблиці 3 представлені результати реалізації плану експерименту.

Таблиця 2 – Результати експерименту з дослідження коефіцієнту спучення покриттів ОВК, Едотерм 40202 та Ендотерм ХТ-150

№досліді	y_1	y_2	y_3
1	4	2,5	1,5
2	4	4	3
3	3	5,5	15
4	2	4	1,8
5	2,5	6	3
6	2,5	10	10
7	3	6	1,8
8	4	8	4
9	5	7	9

Розраховані значення коефіцієнтів регресії представлені в Таблиці 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів регресії

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнтів регресії		
	y_1	y_2	y_3
b_0	2,5	6,778	2,811
b_1	0,167	1,5	<u>-0,783</u>
b_2	0,25	1,667	4,816
b_{11}	1,5	-1,167	<u>0,783</u>
b_{22}	-0,25	<u>-0,167</u>	3,183
b_{12}	0,75	<u>-0,5</u>	-1,575

Перевірку значимості коефіцієнтів регресії проводили за критерієм Стьюдента, адекватність отриманої моделі – за критерієм Фішера.

Статистичний аналіз рівнянь регресії показав, що отримані рівняння регресії адекватні експериментальним даним при рівні значимості 0,05. Проте деякі коефіцієнти регресії являються не значимими, так як накриваються довірчими інтервалами і відповідно рівні нулю:

$$y_1 = 2,5 + 0,167 x_1 + 0,25 x_2 + 1,5 x_1^2 - 0,25 x_2^2 + 0,75 x_1 x_2; \quad (1)$$

$$y_2 = 6,778 + 1,5 x_1 + 1,667 x_2 - 1,167 x_1^2; \quad (2)$$

$$y_3 = 2,811 + 4,816 x_2 + 3,183 x_2^2 - 1,575 x_1 x_2. \quad (3)$$

За допомогою програми «Maple» за отриманими рівняннями регресії були побудовані поверхні відгуків (Рис. 1), що дають можливість зорового сприйняття відповідного геометричного образу.

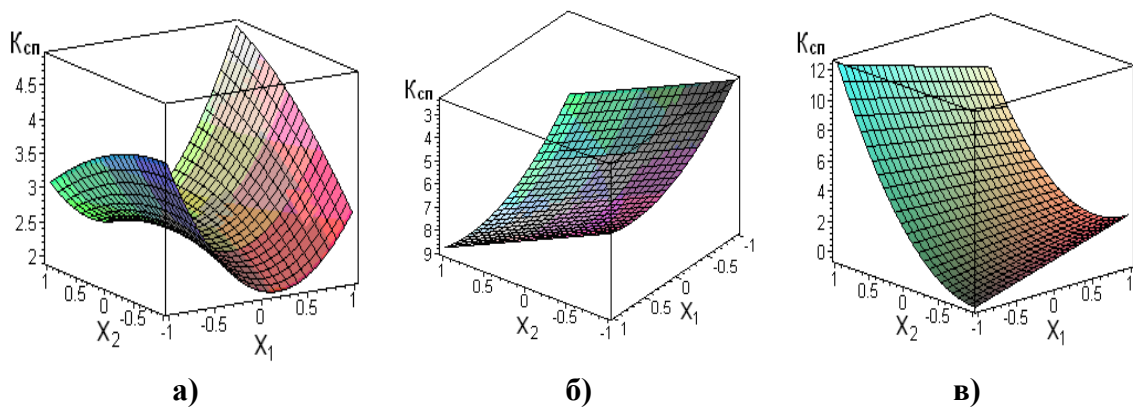


Рис. 1 – Поверхні відгуків залежності від факторів x_1 та x_2 коефіцієнта спучення реактивних покриттів: а) Ендотерм ХТ-150 y_1 , б) Едотерм 40202 y_2 , в) ОВК y_3 .

З отриманих поверхонь відгуків залежності коефіцієнта спучення від товщини покриття та темпу нагрівання (Рис. 1) видно, що

величина спучення від відповідних факторів носить переважно квадратичний характер. Найбільша кратність спучення спостерігається при нагріванні з темпом $40^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ зразка захищеного покриттям ОВК товщиною 1мм в початковому стані.



Рис. 1 – Вигляд зразків з реактивним покриттям ОВК товщиною 1мм в початковому стані (а) та після нагрівання з темпом $40^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ (б).

Висновки. На основі отриманих даних під час реалізації та обробки результатів експерименту, встановлено, що кожне реактивне покриття під час нагрівання поводить себе індивідуально, проте просліджується загальна тенденція незначного спучення при малому темпі нагрівання та різкого покращення властивостей покриттів при нагріванні $30^{\circ}\text{C}/\text{хв.}$ та швидше.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях / М.П. Башкирцев // Труды Высшей школы МВД. – М: НИРЧО, 1966. - № 13.-С. 51-58.
2. Молчадский И.С. Расчет эквивалентной продолжительности пожара для основных строительных конструкций / И.С. Молчадский, А.В. Гомазов, С.В. Зотов // Поведение строительных конструкций в условиях пожара. - М.: ВНИИПО, 1987.- С. 60-68.
3. Lie T.T. Characteristic temperature curves for various fire severities / T.T. Lie // Fire Technol. – 1974 (10). – № 4. - P. 315-326.
4. Rubini. P., SOFIE - Simulation of Fires in Enclosures, V 3.0 Users guide, School of Mechanical Engineering, Granfield University (UK), 2000.
5. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В. 1.1-4-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К. – Державний комітет будівництва, ар-

хітектури та житлової політики України, 1998. – 20 с. – (Національний стандарт України).

6. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ) : ДСТУ Б В 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01] – К.: УКРАРХБУДІНФОРМ, 2009. – XIV, 105 с. – (Національний стандарт України).

7. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности: НПБ 236-97. – [Действующий с 1997-06-01, введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 29 апреля 1997 г. N 25] – М., 1997. – 8 с.

8. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Технпса, 1975. – 168 с.

9. Андронов В.А. Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж/ В.А. Андронов, Є.О. Рибка // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – Вып. 29. – С. 8 – 17.

10. Андронов В.А. Лабраторна установка для визначення вогнезахисних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій / В.А. Андронов, Є.О. Рибка // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 3 – 11.

Е.А. Рыбка

Сравнение коэффициента вспучивания реактивных покрытий Эндотерм ХТ-150, Эндотерм 40202 и ОБК при различных темпах нагрева.

Реализован эксперимент и обработаны его результаты по исследованию коэффициента вспучивания трех реактивных покрытий металлических конструкций при различных темпах нагрева.

Ключевые слова: реактивная покрытия, коэффициент вспучивания, эксперимент, темп нагрева, регрессионная модель.

Е.А. Rybka

Comparison of factor spuchennya reactive coatings Endoterm ХТ-150, Endoterm 40202 and ОБК at different heating rates.

Implemented experiment and processed the results of the study factor spuchennya three reactive coatings for metal structures at different rates of heating.

Keywords: reactive coating, coefficient spuchennya, experiment, heating rate, regression model.

*А.И. Рыженко, д.т.н., профессор, НАКУ «ХАИ»,
Е.Ю. Бетина, преподаватель, НУГЗУ*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЁТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ЗОНЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Исследована принципиальная возможность моделирования полёта беспилотного летательного аппарата в зоне лесного пожара с помощью свободнолетающей динамически подобной модели в условиях Стандартной атмосферы. Определены высоты аэродинамического подобия. Рассчитаны значения основных масштабов.

Ключевые слова: свободнолетающая динамически подобная модель, лесной пожар, Стандартная атмосфера, беспилотный летательный аппарат, масштабы подобия.

Постановка проблемы. Исследования динамики полёта летательных аппаратов (ЛА) (как беспилотных, так и пилотируемых) в зонах лесных пожаров методом моделирования с помощью свободнолетающих динамически подобных моделей (СДПМ) в условиях стандартной атмосферы (СА) представляется наиболее оптимальным. Так как два других метода: продувки в аэродинамических трубах и проведение испытаний на натурном ЛА непосредственно в зоне эксплуатации, – либо не дают полной информации о сложном пространственном движении аппарата, либо сопряжены с повышенным риском и большим материальными затратами.

Анализ последних достижений и публикаций. Представленный в работах [1, 2] математический аппарат показывает теоретическую возможность проведения такого рода исследований. При этом отличия реальной атмосферы в зоне лесного пожара от СА должны быть учтены и при проектировании СДПМ, и при определении условий проведения экспериментов.

Однако существенные отличия параметров атмосферы в зоне лесного пожара от СА, такие как экстремальные температуры и изменение состава воздуха, учтённые при проектировании и определении условий проведения исследований, могут привести к тому, что либо СДПМ с потребными параметрами не может быть получена при существующих технологиях производства, либо условия проведения не достижимы в СА.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является исследование возможности моделирования полёта БЛА в зоне лесного пожара с помощью СДПМ в условиях СА на примере решения реальной проектно-конструкторской задачи.

Исходные данные на физическое моделирование динамики полёта натурального ЛА в зоне возможного верхового лесного пожара

Харьковской области: для определенности будем считать, что высота крон деревьев составляет 20 м, высота местности над уровнем моря – 150 м (выбрана, как средняя высота над уровнем моря Харьковской области), температура невозмущенной среды вне зоны пожара – 20°C (средняя суточная температура пожароопасного периода в Харьковской области). Полет натурального ЛА в рассматриваемом случае происходит на высоте от 10 до 60 м над кронами деревьев, что с учетом высоты местности над уровнем моря и высоты деревьев составит от 180 до 230 м над уровнем моря.

При выполнении расчетов используем приведенные в работе [3] данные о состоянии атмосферы над зоной максимальных температур фронта вершинного верхового лесного пожара.

В табл. 1 и 2 приведены значения параметров воздуха в СА [4] и расчетные значения параметров газовой смеси в зоне верхового лесного пожара на геометрических высотах $H=180\dots 230$ м.

Таблица 1 – Температура T , плотность ρ , давление p , скорость звука a и коэффициент кинематической вязкости ν воздуха в СА на геометрических высотах $H=180\dots 230$ м

H, м	Параметры воздуха в СА				
	T, К	ρ , кг/м ³	p, Па	a, м/с	ν , (м ³ /с)·10 ⁵
180	286,980	1,20398	99181,23	339,602	1,4815
190	286,915	1,20232	99063,22	339,564	1,4827
200	286,850	1,20165	98945,33	339,526	1,4839
210	286,795	1,20049	98827,54	339,487	1,4851
220	286,730	1,19933	98709,87	339,448	1,4863
230	286,665	1,19917	98592,31	339,411	1,4875

В качестве прототипа натурального ЛА примем БЛА "ХАИ-112-3", разработанный и изготовленный в НИИ ПФМ Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "Харьковский авиационный институт" (рис. 1).

Таблица 2 – Температура T , плотность $\rho_{см}$, давление $p_{см}$, скорость звука $a_{см}$ и коэффициент кинематической вязкости $\nu_{см}$ газовой смеси в зоне верхового лесного пожара на геометрических высотах $H=180\dots 230$ м

H, м	Параметры газовой смеси				
	T, К	$\rho_{см}$, кг/м ³	$p_{см}$, Па	$a_{см}$, м/с	$\nu_{см}$, (м ³ /с)·10 ⁵
180	1249,405	0,2801	99181,23	689,09	16,638
190	870,656	0,4135	99063,22	574,08	9,279
200	540,275	0,6499	98945,33	456,76	4,231
210	422,136	0,8402	98827,54	405,01	2,786
220	350,607	1,0001	98709,87	369,67	2,0267
230	302,238	1,1823	98592,31	343,58	1,568

БЛА "ХАИ-112-3" входит в состав беспилотного авиационного

комплекса "Сапсан" для решения широкого круга военных и гражданских задач, включающих разведку контуров пожара в широком диапазоне высот полета.

Запуск в полет БЛА "ХАИ-112-3" осуществляют по самолетному с полосы, а посадку – либо по самолетному, либо с помощью парашютно-амортизационной системы.

БЛА "ХАИ-112-3" оснащен видеоаппаратурой для круглосуточного наблюдения. Видеоинформация с борта БЛА, вместе с телеметрической информацией об основных параметрах полета и состоянии бортовых систем, передается по радиолинии в реальном масштабе времени на наземную станцию управления, где отображается и регистрируется средствами станции.



Рис. 1 – Беспилотный летательный аппарат "ХАИ-112-3" на стартовой позиции (а) и в полете (б)

Каркасы агрегатов БЛА "ХАИ-112-3" выполнены из металлических сплавов Д16 и сталь 45, а панели обшивки – из стеклопластика холодного отверждения на основе стеклоткани Т10-80 со связующим из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ПЭПА и пластификатора ДБФ (компоненты связующего применены в следующем соотношении: ЭД-20/ ПЭПА/ ДБФ = 1/ 0,12...0,16/ 0,1...0,12). При этом необходимо иметь в виду, что в конструкции БЛА "ХАИ-112-3" около половины массы составляет указанный стеклопластик.

Упруго-геометрические и прочностные характеристики конструкционных материалов БЛА "ХАИ-112-3" зависят от температуры, причем в наибольшей степени это касается материала обшивки – стеклопластика. Так, уже при температуре в 70 С указанный стеклопластик теряет половину своих несущих свойств и его использование для решения целого ряда задач, связанных с нагревом конструкции БЛА "ХАИ-112-3", является проблематичным [5, 6].

Поэтому для разведки контуров пожара на некотором удалении от зоны верхового лесного пожара БЛА "ХАИ-112-3" в его существ-

вующем виде вполне пригоден. Однако для выполнения полетов в зоне верхового лесного пожара на планируемых высотах от 10 до 60 м над кронами деревьев необходима определенная модификация БЛА "ХАИ-112-3". В первую очередь это касается используемых конструкционных материалов, двигателя и бортового оборудования.

Заменяя в проектировочных расчетах стеклопластиковые элементы обшивки и каркаса БЛА "ХАИ-112-3" на металлические (из дюралюминиевого сплава Д16Т – обшивку, стенки, пояса нервюр и шпангоутов, а из стали 45 – пояса лонжеронов в первом приближении получаем следующие параметры моделируемого натурального ЛА: масса $m_H=81$ кг, осевые моменты инерции $I_{xH}=4,52$ кг·м², $I_{yH}=9,76$ кг·м², $I_{zH}=7,13$ кг·м², коэффициент безопасности $f_H=1,5$ и максимальная эксплуатационная перегрузка $n_{y_{maxH}}^3=4$. При выполнении расчетов использованы формулы и методические рекомендации, приведенные в работах [7, 8].

Анализ результатов расчётов и построения высотно-скоростных ограничений области режимов полёта модификации БЛА "ХАИ-112-3" показал, что представляющие наибольший интерес режимы полета модификации БЛА "ХАИ-112-3" находятся в зоне автомодельности по критерию М, то есть существует необходимость в удовлетворении условий подобия по критериям Fr и Re.

В этом случае масштаб линейных размеров определяется соотношением [1]

$$k_\ell = 3 \sqrt{\frac{v_{H,CM}^2 \cdot g_M}{g_H \cdot v_M^2}}, \quad (1)$$

а масштабы масс и моментов инерции

$$k_m = k_p k_\ell^3; \quad k_I = k_p k_\ell^5 \quad (2)$$

Эти соотношения в неявном виде связывают масштабы k_ℓ , k_m и k_I с высотами аэродинамического подобия H_H и H_M .

В этом варианте заданной для моделирования высоте полета натурального ЛА (при фиксированном значении масштаба линейных размеров k_ℓ) соответствует единственное значение высоты полета СДПМ, т.е. существует лишь одна пара (H_H , H_M) высот аэродинамического подобия. Немаловажно и то, что в пределах зоны автомодельности по критерию М представляется возможным моделировать либо определенный режим полета ($V_H = \text{Const}$ при $H_H = \text{Const}$), либо заданный маневр с изменением скорости ($V_H = \text{Var}$ при $H_H = \text{Const}$) [8].

Используя соотношение (1), для исследования зависимости вы-

соты полёта СДПМ H_m от высоты полёта натурального ЛА H_n , а также для определения характера изменения масштабов масс k_m и моментов инерции k_I от высот аэродинамического подобия выполним необходимые расчеты для случая, когда СДПМ и натуральный ЛА имеют одинаковые размеры (масштаб $k_\ell=1$). Результаты расчёта зависимости высот аэродинамического подобия H_m от H_n представлены на рис. 1. Их использование для возможных пар (H_n, H_m) позволяет определить значения масштаба k_p , а, в соответствии с (2) и значения масштабов $k_m=k_I=k_p$ (табл. 3).

Таблица 3 – Высоты аэродинамического подобия и масштабы k_p, k_m, k_I при $k_\ell=1$ и удовлетворении условий подобия по критериям Fr и Re (при автомодельности по критерию M)

$H_n, \text{ м}$	$H_m, \text{ м}$	k_p, k_m, k_I
210	7536	1,5007
215	5622	1,34
220	3986	1,2214
225	2353	1,117
230	892	1,0339

Равенство масштаба линейных размеров k_ℓ единице экономически наиболее выгодно, так как в этом случае в качестве СДПМ может быть использован один из образцов БЛА "ХАИ-112-3". Результаты расчётов, приведённые на рис. 2 и в табл. 3, а также дополнительных расчетов по [8] показывают, что это технически осуществимо, но требует незначительной корректировки и перекомпоновки оборудования и комплектующих для доводки моментов инерции.

Например, при $H_n=220$ м потребная высота полета СДПМ равна $H_m=3986$ м, что на 4 м ниже практического потолка БЛА "ХАИ-112-3". Для этой пары высот $k_m=k_I=k_p=1,2214$ и при исходных данных на натуральный ЛА (масса $m_n=81$ кг и осевые моменты инерции $I_{x_n}=4,52$ кг·м², $I_{y_n}=9,76$ кг·м², $I_{z_n}=7,13$ кг·м²) не трудно получить, что потребные масса и моменты инерции СДПМ имеют следующие значения: $m_m=66,32$ кг, $I_{x_m}=3,7$ кг·м², $I_{y_m}=7,99$ кг·м², $I_{z_m}=5,836$ кг·м².

Для пары $H_n=215$ м и $H_m=5622$ м масштабы $k_m=k_I=k_p=1,34$. При этом потребные значения массы СДПМ $m_m=60,45$ кг и моментов инерции $I_{x_m}=3,37$ кг·м², $I_{y_m}=7,28$ кг·м², $I_{z_m}=5,32$ кг·м² близки к значениям аналогичных параметров БЛА "ХАИ-112-3". Однако для достижения высоты полета $H_m=5622$ м БЛА "ХАИ-112-3" необходимо

предусмотреть одно из возможных решений: использование носителя или другой силовой установки.

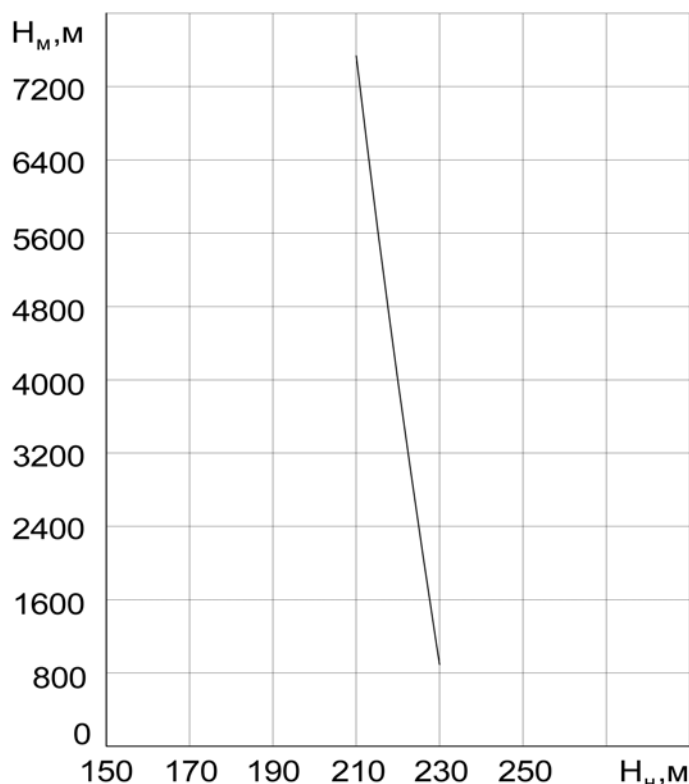


Рис. 2 – График зависимости высоты аэродинамического подобия H_m от H_n при $k_\ell=1$ и удовлетворении условий подобия по критериям Fr и Re (при автомодельности по критерию M)

Дальнейшее уменьшение исследуемой высоты полёта натурного ЛА обуславливает такое снижение потребной по условиям аэродинамического подобия массы СДПМ, что использовать в качестве СДПМ образец БЛА "ХАИ-112-3" становится проблематичным. При этом потребная высота полёта СДПМ может быть достигнута только сбрасыванием ее с пилотируемого носителя.

Выводы. На примере решения реальной проектно-конструкторской задачи показано, что моделирование динамики полёта ЛА в зоне лесного пожара с помощью СДПМ в условиях СА возможно, то есть может быть создана модель с потребными значениями параметров способная выполнять полёт на высоте аэродинамического подобия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетина, Е.Ю. Влияние лесных пожаров с различным типом контура на определение масштабов подобия [Текст] / Е.Ю. Бетина // Проблемы пожарной безопасности: сб. науч. тр. УГЗУ – Харьков, 2010. – Вып. 27. – С. 18 – 25.

2. Бетина, Е.Ю. Масштабы подобия основных параметров экспериментального воздушного судна для моделирования полёта натурного летательного аппарата в зоне лесного пожара [Текст] / Е.Ю. Бетина // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”. – Вып. 1 (57). – Х., 2009. – С. 94 – 101.

3. Гришин, А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения [Текст] / А.М. Гришин // Успехи механики: сб. науч. тр. Томского гос. ун-та. – Т. 1, №4. – Томск., 2003. – С. 41 – 89.

4. ГОСТ 4401-81. Стандартная атмосфера. Параметры. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 107 с.

5. Конструкционные материалы [Текст]: справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше, Ю.А. Быков. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.

6. Панин, В.Ф. Конструкции с заполнителем [Текст]: справочник / В.Ф. Панин, Ю.А. Гладков. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.

7. Авиационные правила: нормы летной годности гражданских самолетов [Текст]. – М.: Международный авиационный комитет, 1992. – Ч. 23. – 531 с.

8. Определение размеров и массово-инерционных параметров свободнолетающих динамически подобных моделей самолетов [Текст]: учеб. пособие / А.И. Рыженко, А.В. Бетин, В.И. Рябков, О.Р. Черановский; Мин-во просвещения Украины, Харьк. авиац. ин-т. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1992. – 101 с.

О.І. Риженко, О.Ю. Бетіна

Моделювання польоту літального апарату в зоні лісової пожежі

Досліджено принципову можливість моделювання польоту безпілотного літального апарату в зоні лісової пожежі за допомогою вільно літаючої динамічно подібної моделі в умовах Стандартної атмосфери. Визначено висоти аеродинамічної подібності. Розраховано значення основних масштабів

Ключові слова: вільно літаюча динамічно подібна модель, лісова пожежа, Стандартна атмосфера безпілотний літальний апарат, масштаби подібності.

O.I. Rizhenko, Y.U. Betina

Modeling the flight of the aircraft in the forest fire zone

Investigated the principal possibility of modeling the flight of an unmanned aerial vehicle in the area of forest fire with the help of free flying dynamically similar model in the conditions of the Standard atmosphere. Defines the height of the aerodynamic similarity. Calculated values of the main scale.

Keywords: free flying dynamically similar model, forest fire, Standard atmosphere, unmanned aerial vehicle, scale of similarity.

*О.В. Савченко, к.т.н., с.н.с., заст. нач. кафедри, НУЦЗУ,
О.О. Острроверх, к.пед.наук, доцент, нач. кафедри, НУЦЗУ,
О.М. Семків, к.т.н., с.н.с., проректор, НУЦЗУ,
С.В. Волков, к.психол.н., заст. нач. факультету, НУЦЗУ*

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОЛУМ'Я ПО ПОВЕРХНІ ЗРАЗКІВ ДВП, ОБРОБЛЕНИХ ГУС

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

В роботі експериментально визначено ефективність гелеутворюючої системи (ГУС) $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ до протидії поширенню полум'я поверхню твердого горючого матеріалу. Встановлено, що при нанесенні на ТГМ гелевої плівки товщиною 2 мм не відбувається займання зразка.

Ключові слова: гелеутворююча система, поверхнева густина теплового потоку, час займання.

Постановка проблеми. Як відомо, реальні пожежі досить рідко обмежуються зоною їх виникнення. Прогнозування обставин на пожежі, якщо в зоні горіння знаходяться неоднорідні горючі речовини та матеріали, – дуже складна задача [1]. Її вирішення, в значній мірі, залежить від наявної інформації стосовно закономірностей поширення полум'я по поверхні різноманітних будівельних матеріалів та конструкцій. Задача ускладнюється, у випадку, коли склад горючих матеріалів не регламентується і заздалегідь не відомий. Це стосується в першу чергу пожеж у житлових будівлях, офісах та ін.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В літературі наведені дані, що питома пожежна навантага сучасних житлових будівель складає 528-577 МДж/м². Найбільшу частку горючих матеріалів складає деревина та вироби на її основі – 47,1% [2]. Тому при визначенні характеристик вогнегасних речовин дослідження доцільно проводити саме на цьому виді горючих матеріалів.

З метою скорочення часу пожежогасіння у будівлях, в якості вогнегасної речовини було запропоновано використовувати гелеутворюючі системи (ГУС) [3].

В роботах [4,5] визначено вогнегасну ефективність різних концентраційних складів ГУС на стандартизованому модельному вогнищі пожежі класу 1А. Показник вогнегасної здатності склав 1,39 кг/м².

Також проведено ряд досліджень по визначенню ефективності ГУС для захисту приміщень, яким загрожує полум'я. Експериментально встановлено, що час займання зразків із целюлозовмісних матеріалів оброблених ГУС у 7-10 разів перевищує час займання зразків оброблених водою методом занурення [6].

Ефективність ГУС до протидії займанню твердого горючого матеріалу при попередній дії на зразок теплового потоку була визна-

чена в роботі [7]. Встановлено – використання ГУС дозволяє збільшити час займання зразків ДСП у 2-3,2 рази більше, ніж використання ПАР при поверхневій густині теплового потоку (ПГТП) 30 кВт/м^2 та у 2-3,3 рази при ПГТП 20 кВт/м^2 .

В наведених роботах не розглядалось питання поширення або протидії поширенню полум'я по поверхні зразків, захищених ГУС.

Постановка задачі та її розв'язання Виходячи з наведеного аналізу була поставлена задача визначити ефективність протидії поширенню полум'я по поверхні зразків, захищених ГУС.

Основою досліджень було обрано метод випробувань за ДСТУ Б В.2.7-70-98 (ГОСТ 30444-97) “Метод випробування на розповсюдження полум'я”, який встановлює метод випробування на розповсюдження полум'я по матеріалах поверхневих шарів конструкцій підлог та покрівель, а також класифікацію їх за групами розповсюдження полум'я.

Суть методу полягає в визначенні критичної поверхневої густині теплового потоку, величину якого встановлюють по довжині розповсюдження полум'я по зразку.

Враховуючи великий обсяг експерименту, дослідження проводились на двох складах, які проявили себе більш ефективно при проведенні досліджень на визначення займистості зразків, оброблених ГУС [7]. Були обрані склади з наступними концентраціями:

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 6,41%, CaCl_2 – 9,33%;

$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 16,56%, CaCl_2 – 2,76%.

Гель наносились на зразки з витратою, яка забезпечувала нанесення шару товщиною 1 та 2 мм. Товщина шару гелю визначалась гравіметричним методом. Зразки виготовлялись з ламінованих дерево-волокнистих плит з густиною 1100 кг/м^3 , розмірами $1100 \text{ мм} \times 250 \text{ мм}$, середньою товщиною 3 мм. Зразки матеріалу закріплюються на негорючу основу (азбестоцементний лист завтовшки 10 мм) розмірами $1100 \text{ мм} \times 250 \text{ мм}$. Перед початком експерименту зразки кондиціонувались 72 години при температурі $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ та відносній вологості $(65 \pm 5)\%$. На одну з поверхонь досліджуваного зразка методом набризкування з пневмомеханічних розпилювачів ОП-301 наносився ГУС $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ у кількості, яка відповідала плану експерименту. Перед початком експерименту у димоході встановлювалась швидкість потоку повітря від 1,1 м/с до 1,34 м/с. Вмикалась радіаційна панель, вимірювальна камера прогрівалась до досягнення теплового балансу (температура у камері не повинна змінюватися більше, ніж на $7 ^\circ\text{C}$, протягом 10 хв). У контрольній точці установки встановлювався датчик густини теплового потоку ФЛА 005-01, показники якого складали $5,0 \pm 0,4 \text{ кВт/м}^2$.

Дверцята камери відкривались, газовий пальник запалювався та розташувався таким чином, щоб відстань між факелом полум'я та експонованою поверхнею складала не менше 50 мм. Зразок встановлювався в утримувач, фіксувався за допомогою пристосувань для кріп-

лення, утримувач із зразком поміщався на платформу та вводився у камеру.

Дверцята камери закривалися, вмикався секундомір. Після витримки зразка протягом 2 хв. полум'я пальника приводилось у контакт із зразком, розташований по центральній вісі зразка. Факел полум'я залишався в цьому положенні протягом $(10 \pm 0,2)$ хв. Після закінчення цього часу пальник повертався у вихідне положення.

При відсутності спалахування зразка протягом 10 хв. дослід вважався закінченим. У випадку спалахування зразка дослід закінчувався при припиненні полум'яного горіння або після закінчення 30 хв. від початку впливу на зразок газового пальника шляхом спонукального гасіння. У процесі дослідів фіксувався час спалахування зразка. Після закінчення дослідів дверцята камери відкривались, платформу висувалась, зразок витягувався.

Дослідження на кожному наступному зразку проводилось після охолодження утримувача зразка до кімнатної температури та перевірки відповідності ППТП у контрольній точці значенню $5,0 \pm 0,4$ кВт/м².

Довжина пошкодженої частини зразка вимірювалась по його поздовжній вісі з точністю до 1 мм. Пошкодженням вважалось вигорання та обвуглювання матеріалу зразка в результаті розповсюдження полум'яного горіння по його поверхні. Оплавлення, жолоблення, спікання, спучування, усадка, зміна кольору, форми, порушення щільності зразка (розриви, сколювання поверхні тощо) пошкодженнями не вважались.

Дослідження кожної концентрації з нанесеною кількістю ГУС проводилось на трьох зразках. Результати порівнювались з необробленими зразками, а також із зразками, що обробляються водою та робочим розчином піноутворювача Снежок-1 (ТУ У 24.5-00230668-006-2001) методом занурення (час занурення – 1 хвилина).

Отримані результати засвідчили низьку ефективність води та водного розчину ПАР для протидії поширенню полум'я по поверхні ТГМ (табл. 1).

Значення КППТП для необроблених зразків склало 4,3 кВт/м², що відповідає групі розповсюдження полум'я РП 4 – значно поширюють полум'я. Для води значення КППТП збільшилось лише на 0,2 кВт/м², 0,4 кВт/м² для розчину ПАР та склало 4,5 та 4,7 кВт/м² відповідно. Ці значення також відповідають групі розповсюдження полум'я РП 4 – значно поширюють полум'я. Час займання зразків, в середньому, збільшився у 1,4 рази для води та у 1,5 рази для ПАР. В усіх випадках при займанні зразків відбувалось інтенсивне горіння з висотою полум'я більше 250 мм.

Для зразків, оброблених ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ –6,41%, CaCl_2 – 9,33%, при нанесенні шару гелю 1 мм КППТП становило 8,6 кВт/м², що відповідає групі розповсюдження полум'я РП 2 – локально поширюють полум'я.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень поширення полум'я розповсюдження полум'я по поверхні зразків ДВП

Вид РЗП	№ точки	1	2	3	Середній час, $\tau_{ср}$, с	Дисперсія, S_u^2	КПГ ТП	РП
Необроблений	Час займання τ , с	120	124	110	118,00	52,00	4,30	РП4
	Пошкодження, мм	438	420	442	433,33	137,33		
Оброблений водою	Час займання τ , с	160	154	166	160,00	36,00	4,50	РП4
	Пошкодження, мм	422	431	411	421,33	100,33		
Оброблений розчином Снежок-1	Час займання τ , с	170	181	166	172,33	60,33	4,70	РП4
	Пошкодження, мм	414	405	420	413,00	57,00		
Na ₂ O·2,95SiO ₂ – 6,41%, CaCl ₂ – 9,33% - 1мм	Час займання τ , с	480	478	492	483,33	57,33	8,60	РП2
	Пошкодження, мм	225	249	233	235,67	149,33		
Na ₂ O·2,95SiO ₂ – 6,41%, CaCl ₂ – 9,33% - 2мм	Час займання τ , с	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає	15,17	РП1
	Пошкодження, мм	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає		
Na ₂ O·2,95SiO ₂ – 16,56%, CaCl ₂ – 2,76% - 1мм	Час займання τ , с	392	374	380	382	84,00	7,60	РП3
	Пошкодження, мм	262	281	270	271	91,00		
Na ₂ O·2,95SiO ₂ – 16,56%, CaCl ₂ – 2,76% - 2мм	Час займання τ , с	Немає	Немає	Немає	Немає	Немає	15,17	РП1

При концентрації ГУС Na₂O·2,95SiO₂ – 16,56%, CaCl₂ – 2,76% КПГТТ становило 7,6 кВт/м², що відповідає групі розповсюдження полум'я РП 3 – помірно поширюють полум'я. В середньому, час займання зразків становив 483 с та 382 с відповідно. Займання зразків відбувалось локально, у точці безпосереднього впливу полум'я пальника, повільно поширюючись поверхнею. При нанесенні на зразки ГУС з товщиною 2 мм виявилось: через 10 хвилин дії на поверхню полум'я пальника загоряння не виникає, отже КПГТТ становило 15,17 кВт/м² (максимальна густина теплового потоку, яка зафіксована на установці під час калібрування), що відповідає групі розповсюдження полум'я РП 1 – не поширюють полум'я (рис. 1-3).

**Рис. 1 – Зовнішній вигляд зразка ДВП до випробувань**



Рис. 2 – Зовнішній вигляд зразка ДВП що занурювався у воду (КПГТП 4,5 кВт/м²) після випробувань

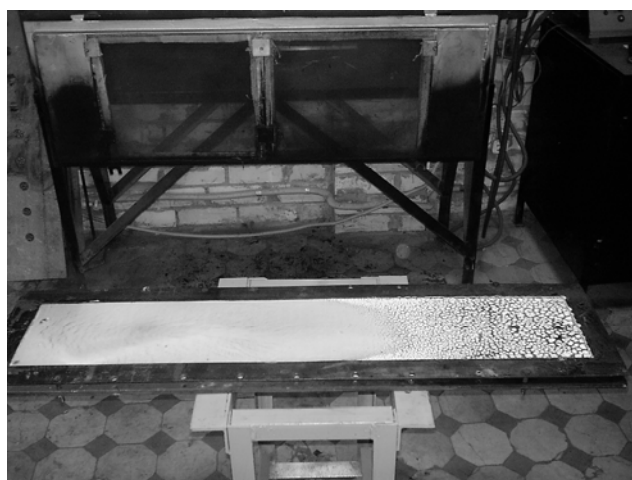


Рис. 3 – Зовнішній вигляд зразка ДВП обробленого ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2$ – 16,56%, CaCl_2 – 2,76% товщина шару 2 мм (КПГТП 15,17 кВт/м²) після випробувань

Під дією теплового випромінювання шар ГУС інтенсивно випаровував воду, що у перші 5-7 хвилин дослідів приводило до гасіння пального. З боку радіаційної панелі утворювалися тріщини які досягали у довжину 300-400 мм.

Висновки. Одержані результати засвідчили: використання ГУС з витратою, достатньою для утворення 2 мм шару гелевої плівки, дозволяє припинити розповсюдження вогню по поверхні ТГМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров // М.: ВИПТШ МВД СССР. 1980. – 256с.
2. Ми Зуи Тхань Горючая загрузка в современных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. Т. 14, №4 – С. 30-37.
3. Киреев А.А. Пути совершенствования методов тушения

пожаров в жилом секторе / А.А. Киреев, А.В. Савченко, О.Н. Щербина // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2004. – Вып 16. – С. 90 – 94.

4. Кіреєв О.О. / Определение показателя огнетушащего способности гелеобразующих огнетушащих составов при тушении модельного очага пожара 1А / О.О. Кіреєв, К.В. Жернокльов, О.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2010. – Вып. 28. – С.74 – 80.

5. Савченко О.В. / Визначення показника вогнегасної здатності оптимізованого кількісного складу гелеутворюючої системи $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ на стандартизованому модельному вогнищі пожежі / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, О.О. Островерх // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2011. – Вып. 29. – С.149 – 155.

6. Савченко О.В. Дослідження вогнезахисної дії гелевих плівок на матеріалах, розповсюджених у житловому секторі / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, В.М. Альбоций, В.А. Данільченко // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. АГЗ Украины – Харьков, 2006 – Вып. 19. – С. 127 – 131.

7. Савченко О.В. / Дослідження часу займання зразків ДСП, оброблених гелеутворюючою системою $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95 \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ / О.В. Савченко, О.О. Островерх, Т.М. Ковалевська, С.В. Волков // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. – Харьков, 2011. – Вып. 30. – С.209 – 215.

А.В. Савченко, О.А. Островерх, О.М. Семків, С.В. Волков

Исследование распространения пламени по поверхности образцов ДВП, обработанных гелеобразующими системами.

В работе экспериментально определена эффективность гелеобразующей системы $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ к противодействию распространению пламени по поверхности твердого горючего материала. Установлено, что при нанесении на ТГМ гелевой пленки толщиной 2 мм не происходит воспламенение образца.

Ключевые слова: гелеобразующая система, поверхностная плотность теплового потока, время воспламенения.

O.V. Savchenko, O.O. Ostroverx, O.M. Semkiv, S.V. Wolkov

The study of flame propagation on the surface of the fiberboard samples treated with gel-forming sistemaim.

In the work of experimental opredelena Efficiency heleobrazuyuschy system $\text{CaCl}_2 - \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ k protyvodeystvyu plan to spread-Mena on solid surfaces horyuchehomaterial. Determined that the at nane-Seine on TGM helevoy Skin tolschynoy 2 mm is going on vosplamenenye sample.

Keywords: gel-forming system, the surface density of those pilaf-stream time of ignition.

*В.О. Самарін, викладач, НУЦЗУ,
О.І. Камардаш, викладач, НУЦЗУ*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ В КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ТЕПЛООБМІНУ

(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.М.)

Вирішено двовимірну задачу теплопровідності для тришарового кабелю в зоні з обмеженим тепловідведенням. Проведено оцінку пожежної небезпеки режиму перевантаження кабельних ліній в умовах обмеженого теплообміну.

Ключові слова: Кабельні лінії, електричні перевантаження, температурне поле, пожежна небезпека, чисельне моделювання.

Постановка проблеми. Щорічно в Україні від електротехнічних виробів відбувається близько 20...25% пожеж від загального їх числа.

Традиційно найбільш пожежонебезпечними з року в рік (понад 60% від загального числа пожеж від електроустановок) є кабельні вироби [1], для яких характерно несприятливе поєднання наявності горючих матеріалів з виникненням в аварійних режимах експлуатації джерел запалювання: електричних іскор; дуг; контактних з'єднань і струмоведучих жил, нагрітих до температур, що перевищують допустимі. Пожежна небезпека перегріву струмоведучих жил полягає в займанні ізоляції, а також горючих матеріалів, що знаходяться в безпосередньому контакті з електричним кабелем.

«Першість» кабельних виробів з пожежної небезпеки серед всіх електротехнічних виробів особливо наочно підтверджує інтегральний показник - ранг пожежної небезпеки, який включає три основних статистичних показника: кількість пожеж, величина матеріального збитку й кількість загиблих на пожежі людей [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До теперішнього часу оцінка пожежної небезпеки кабельних виробів проводилася при допущенні, що температура по перетину провідника не змінюється і важливим є лише зміна температури поверхні кабелю в часі [2].

Розв'язання типової задачі [2] зведено до вирішення рівняння теплопровідності з урахуванням тепловиділення в жилі та термічного розкладання ізоляції кабелю у вигляді:

$$(\rho_1 c_1 S_1 + \rho_2 c_2 S_2) \frac{dT}{dt} = \frac{I^2 \gamma}{S_1} - \alpha F(T - T_0) + q \frac{dm}{dt}, \quad (1)$$

де $\frac{dm}{dt} = mk^0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$. Тут ρ_1, ρ_2 - щільність матеріалу жили й оболонки, c_1, c_2 - питома теплоємність матеріалу жили і оболонки, S_1, S_2 - перетин жили й оболонки; T - температура провідника; t - час; I - сила струму; γ - питомоелектричний опір жили; α - коефіцієнт теплообміну; F - довжина кола ізоляції; T_0 - початкова температура; q - теплота газифікації матеріалу ізоляції; m - маса ізоляції для одиниці довжини провідника; k^0, E - предекспонента й енергія активації хімічної реакції термічного розкладання оболонки; R - універсальна газова стала.

Модель [2] є занадто спрощеною й використовується для визначення тимчасових характеристик піролізу і займання ізоляції при перевантаженні кабельних ліній. Вона не враховує умов, коли теплообмін з навколишнім середовищем ускладнений (кабель замуrowаний в стіну або поміщений в короб).

Постановка задачі та її розв'язання. З метою прогнозування пожежної небезпеки кабельних ліній в умовах обмеженого теплообміну й перевантаження потрібно створити математичну модель температурних полів в кабельних лініях й провести оцінку пожежної небезпеки режимів їх перевантаження в умовах обмеженого теплообміну.

Для вирішення поставленого завдання був обраний одножильний кабель з двома шарами ізоляції. Вибір обумовлений тим, що наявність декількох жил не може значно вплинути на зміну температури через високу теплопровідності металів, з яких вони виготовляються. Багатошарова ізоляція може бути представлена одним шаром при вирішенні задачі, тому що більшість ізоляційних матеріалів мають близькі за значенням теплофізичні характеристики.

Розв'яжемо двомірну задачу теплопровідності для одножильного тришарового електричного кабелю, частина якого знаходиться в повітряному середовищі, а інша замуrowана в стіну, так як загоряння найчастіше відбувається на межі контакту кабелю з електроустановкою або на ділянках з обмеженим тепловідведенням [4]. Геометрія області рішення задачі приведена на рис. 1.

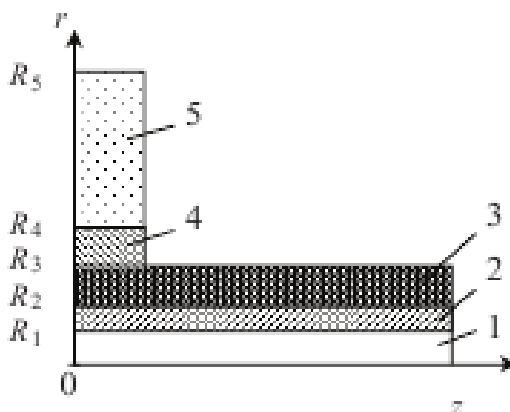


Рис. 1 - Схема області рішення задачі: 1) жиля, 2) ізоляція; 3) оболонка кабелю, 4) кабельна проходка, 5) перебірка (стіна)

Математичне моделювання досліджуваного процесу зведено до вирішення системи рівнянь теплопровідності для системи «струмопровідна жила - ізоляція - оболонка - кабельна проходка - стіна» з нелінійними граничними умовами.

Температурне поле в кожному шарі описується диференціальним рівнянням теплопровідності. Так як кабелі в більшості випадків являють собою багат шарові циліндри, система рівнянь теплопровідності записується в циліндричних координатах.

Термічне розкладання матеріалу оболонки кабелю та герметика, яким кабель закріплений у стіні, описується рівнянням Ареніуса [3]. Розкладання полімерів протікає з помітною швидкістю лише при досягненні характерною для кожного матеріалу температури, близької до температури займання [2]. У зазначеному діапазоні температур енергія активації термічного розкладання залишається незмінною. Не будемо враховувати зміну теплофізичних властивостей матеріалів в процесі термічного розкладання. Математична постановка задачі:

$$c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) + \frac{I^2 \gamma}{S}, \quad 0 < r < R_1, \quad 0 < z < L; \quad (2)$$

$$c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right), \quad R_1 < r < R_2, \quad 0 < z < L; \quad (3)$$

$$c_3 \rho_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_3}{\partial z^2} \right) + q_3 \rho_3 \frac{d\varphi_3}{dt},$$

$$R_2 < r < R_3, \quad 0 < z < L; \quad (4)$$

$$-\frac{d\varphi_3}{dt} = \varphi_3 k_3^0 \exp\left(-\frac{E}{RT_3}\right), \quad (5)$$

$$c_4 \rho_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = \lambda_4 \left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_4}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_4}{\partial z^2} \right) + q_4 \rho_4 \frac{d\varphi_4}{dt},$$

$$R_3 < r < R_4, \quad 0 < z < Z; \quad (6)$$

$$-\frac{d\varphi_4}{dt} = \varphi_4 k_4^0 \exp\left(-\frac{E}{RT_4}\right), \quad (7)$$

$$c_5 \rho_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} = \lambda_5 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_5}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_5}{\partial z^2} \right), \quad R_4 < r < R_5, \quad 0 \leq z \leq Z. \quad (8)$$

Тут ρ_i , λ_i , c_i - щільність, коефіцієнт теплопровідності та питома теплоємність матеріалу i -го шару системи; R_i - радіус i -го шару системи; S - перетин жили; Z - товщина стіни; L - довжина кабелю; T_i - пото-

чне значення температури ; k_i^0 , E_i - предекспонента й енергія активації хімічної реакції термічного розкладання і-го шару системи; q_i - теплота газифікації матеріалу і-го шару системи; φ_i - поточне значення об'ємної частки компонента, що піддається термічному розкладанню.

Початкові і граничні умови:

$$t = 0 : T_i = T_0, 0 \leq r \leq R_5, 0 \leq z \leq L; \quad (9)$$

$$r = 0 : \frac{\partial T_1}{\partial r} = 0, t > 0; \quad (10)$$

$$z = 0 : \frac{\partial T_i}{\partial z} = 0, 0 < r \leq R_5, t > 0; \quad (11)$$

$$z = L : \frac{\partial T_i}{\partial z} = 0, 0 < r \leq R_3, t > 0. \quad (12)$$

Тут φ_0 – об'ємна частка компонента, здатна термічно розклас-тися; T_0 - початкова температура системи.

На поверхні кабелю й стіни відбувається теплообмін з навколишнім середовищем, який описується граничними умовами третього роду:

$$r = R_3 : -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = \alpha(T^e - T_3), Z < z < L, t > 0; \quad (13)$$

$$r = R_5 : -\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial r} = \alpha(T^e - T_5), 0 < z < Z, t > 0; \quad (14)$$

$$z = Z : \begin{cases} -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial z} = \alpha(T^e - T_4), R_3 < r < R_4, t > 0; \\ -\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial z} = \alpha(T^e - T_5), R_4 < r < R_5, t > 0. \end{cases} \quad (15)$$

Тут T^e – температура навколишнього середовища.

Теплова взаємодія між шарами даної системи описується граничними умовами четвертого роду:

$$\begin{cases} T_1(t, r, z) = T_2(t, r, z), \\ -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}, \end{cases} \text{ при } r = R_1, 0 < z < L; \quad (16)$$

$$\begin{cases} T_2(t, r, z) = T_3(t, r, z), \\ -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}, \end{cases} \text{ при } r = R_2, 0 < z < L; \quad (17)$$

$$\begin{cases} T_3(t, r, z) = T_4(t, r, z), \\ -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} = -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial r}, \end{cases} \text{ при } r = R_3, 0 < z < Z; \quad (18)$$

$$\begin{cases} T_4(t, r, z) = T_5(t, r, z), \\ -\lambda_4 \frac{\partial T_4}{\partial r} = -\lambda_5 \frac{\partial T_5}{\partial r}, \end{cases} \text{ при } r = R_4, 0 < z < Z. \quad (19)$$

Система диференціальних рівнянь з відповідними початковими і граничними умовами вирішена методом кінцевих різниць. Крок за часом $\tau = 10^{-3}$ с, крок по просторовим координатам $\Delta r = 10^{-4}$ м, $\Delta z = 10^{-3}$ м. Отримані різниці рівняння вирішені методом прогонки з використанням неявної чотириточкової схеми.

Були проведені чисельні дослідження для кабелю з перетином мідної жили $0,5 \text{ мм}^2$, порцеляною ізоляцією й оболонкою з фторопласта-4 [2]. Матеріал стіни - сталь. Кабельна проходка, за допомогою якої кабель закріплений в перегородці (стіни), також виконана з фторопласта-4. Температурне поле перегородки розраховувалося для ділянки, що дорівнює 4-м радіусам оболонки кабелю, оскільки на більшій відстані від поверхні кабелю температура перегородки практично не змінюється.

Дослідження проводилися для струмового навантаження в 20 А, що є значним перевантаженням.

Теплофізичні характеристики шарів даної системи [5]:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 384 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \lambda_2 = 1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \lambda_3 = 0,25 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \\ \lambda_4 &= 0,25 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \lambda_5 = 46 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}, \\ \rho_1 &= 8800 \text{ кг/м}^3, \rho_2 = 2300 \text{ кг/м}^3, \rho_3 = 2200 \text{ кг/м}^3, \rho_4 = 2200 \text{ кг/м}^3, \\ \rho_5 &= 7800 \text{ кг/м}^3, \\ c_1 &= 381 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}, c_2 = 1200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}, \\ c_3 &= 1 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}, c_4 = 1 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}, c_5 = 460 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}. \end{aligned}$$

Геометричні розміри кабелю і перегородки:

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,0004 \text{ м}, R_2 = 0,0007 \text{ м}, R_3 = 0,0019 \text{ м}, \\ R_4 &= 0,0025 \text{ м}, R_5 = 0,01 \text{ м}, Z = 0,05 \text{ м}, L = 0,25 \text{ м}. \end{aligned}$$

Параметри термічного розкладання фторопласта-4 [2]:

$$\begin{aligned} k^0 &= 3 \cdot 10^{19} \text{ 1/с}, q = -1,86 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}, \varphi_0 = 0,4, \\ R &= 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}, E = 347 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

Умови теплообміну з навколишнім середовищем:

$$T_0 = 300 \text{ К}, T^e = 300 \text{ К}, \alpha = 5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}.$$

Тривалість перевантаження: $t = 3600$ с.

Згідно [4], для проводів з гумовою ізоляцією допускається тривала температура нагріву жил, що не перевищує 338 К, а для прово-

дів з пластмасовою ізоляцією - 343 К. В аварійних режимах роботи (при перевантаженні) допустиме значення температури проводів становить 363 К.

Встановлено, що для типових значень параметрів, що характеризують роботу кабельних ліній, можливі досягнення температур, які істотно перевищують зазначені вище гранично допустимі значення. Результати чисельних досліджень у вигляді полів ізотерм наведено на рис. 2.

Струмове навантаження, що допускається, за умовами пожежної безпеки для провідника такого перетину становить 11 А. При номінальному значенні сили струму 10 А температура кабелю залишається в допустимих межах. Максимальне значення температури становить 321 К.

Розподіл температури в даній системі при силі струму 20 А наведено на рис. 2.

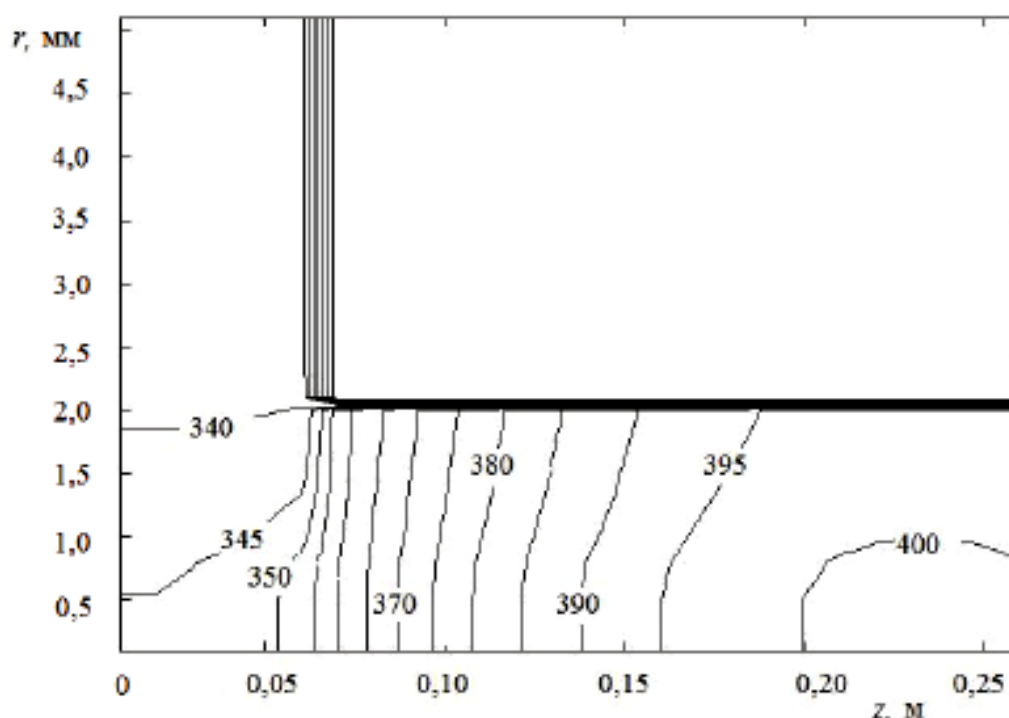


Рис. 2 - Розподіл температури в досліджуваній системі при струмове навантаженні 20 А

Видно, що всі допустимі температурні межі істотно перевищені.

Результати чисельного аналізу показують, що максимальний нагрів кабелю спостерігається на деякій відстані від перегородки. Це пояснюється тим, що ділянки кабелю знаходяться в різних умовах теплообміну.

Висновки. Вирішено двовимірну задачу теплопровідності для тришарового силового кабелю в умовах обмеженого теплообміну. Запропоновано математичну модель температурних полів в кабельних лініях в умовах перевантаження і обмеженого теплообміну.

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение вероятности пожара от кабелей и проводов электрических сетей / Методические рекомендации. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. – 40 с.
2. Болодьян И.А. О термической деструкции полимерной изоляции электрического проводника при токовой перегрузке / И.А. Болодьян, В.А. Третьяков // Вопросы горения полимерных материалов в обогащенных кислородом средах. Сборник трудов ВНИИ ИПО, вып. 1. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981. – С. 75–80.
3. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Д.А. Франк-Каменецкий. – М.: Наука, 1987. – 502 с.
4. Кабели и провода электрические. Показатели пожарной опасности. Методы испытаний : НПБ 248-97 [Действующий от 1998-01-01]. – М.: ГУ ГПС МВД России, 1998. – 31 с. – (Нормы пожарной безопасности)
5. Григорьева М.М. Тепломассоперенос в условиях электрической перегрузки кабельных линий. / М.М. Григорьева, Г.В. Кузнецов // Известия Томского политехнического университета. – Томск: НИТПУ, 2010. - Т. 316. № 4. - С.34-38.

В.А. Самарин, А.И. Камардаш

Математическая модель температурных полей в кабельных линиях в условиях ограниченного теплообмена

Решена двумерная задача теплопроводности для трехслойного кабеля в зоне с ограниченным теплоотводом. Проведена оценка пожарной опасности режима перегрузки кабельных линий в условиях ограниченного теплообмена.

Ключевые слова: Кабельные линии, электрические перегрузки, температурное поле, пожарная опасность, численное моделирование.

V.O. Samarin, O.I. Kamardash

Mathematical model of temperature fields in cable lines in the heat exchange limited

The two-dimensional heat conduction problem for a three-layer cable in an area with limited heat sink is solved. The evaluation of fire danger by overloading of mode cables with limited heat is held.

Key words: Cable lines, electrical overload, temperature field, fire danger, numerical modeling.

УДК 614.841; 621.838.4

Ю.М. Сенчихін, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
Ю.Ю. Дендаренко, к.т.н., доцент, зав. каф., АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
В.В. Сировий, к.т.н., професор, НУЦЗУ

**МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ
«ПАЛАЮЧИЙ РЕЗЕРВУАР – РАДІАЛЬНИЙ ВОДЯНИЙ
СТРУМІНЬ (ТЕПЛОВИЙ ЕКРАН) – СУСІДНІЙ РЕЗЕРВУАР»**
(представлено д-ром техн. наук Куценко Л.М.)

Розроблено математичну та фізичну моделі взаємодії елементів системи «палаючий резервуар – радіальний водяний струмінь – сусідній резервуар», що дозволяє визначити ефективність роботи водяної завіси з використанням насадки радіального струменя.

Ключові слова: радіальний струмінь, теплове випромінювання, резервуар з ЛЗР або ГР, водяна завіса, температура стінки резервуара.

Постановка проблеми. В практичній діяльності підрозділів пожежної охорони важливо вміти обчислювати основні характеристики системи «палаючий резервуар – радіальний водяний струмінь – сусідній резервуар» в цілому, зокрема – визначити, наскільки ефективною буде робота водяної завіси.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Результати експериментів в полігонних умовах підтверджують, що насадки розпиленіх струменів (НРС) є ефективними пристроями для створення водяних завіс і можуть бути задіяні при захисті сусідніх РВС від теплового випромінювання палаючих. Температура в зоні теплової дії знижується з 300-350°C до 20-25°C, що виявляється безпечним за умовами експлуатації РВС, що заповнені ЛЗР або ГР. При цьому, отримані моделі нагрівання ємності з нафтопродуктом під впливом випромінювання дають можливість оцінити температуру матеріалу стінки резервуара в кожний момент часу, за умови, що задано значення густини теплового випромінювання [1-3].

Постановка задачі та її розв'язання. На підставі результатів лабораторних і полігонних випробувань НРС, враховуючи початкові температурні умови, що доводить майже повну екранно-поглинаючу здатність радіального водяного струменя, потрібно вирішити задачу ефективності роботи водяної завіси.

Розглянемо випромінювання точкового джерела та його вплив на матеріал резервуара з ЛЗР або ГР (рис. 1) (нижче буде встановлено зв'язок між впливом реальної пожежі та модельним випадком точкового джерела).

Основна мета створення водяної завіси – захистити від впливу

теплового випромінювання об'єкт, що захищається. При цьому густина потоку енергії випромінювання $q(X, Y, Z, t)$ є досить складною функцією координат X, Y, Z та часу t , однак в нашому випадку, коли розглядається точкове джерело, поле q є сферично симетричним:

$$q = \frac{Q}{4\pi\{(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2 + (Z - Z_c)^2\}} \quad (1)$$

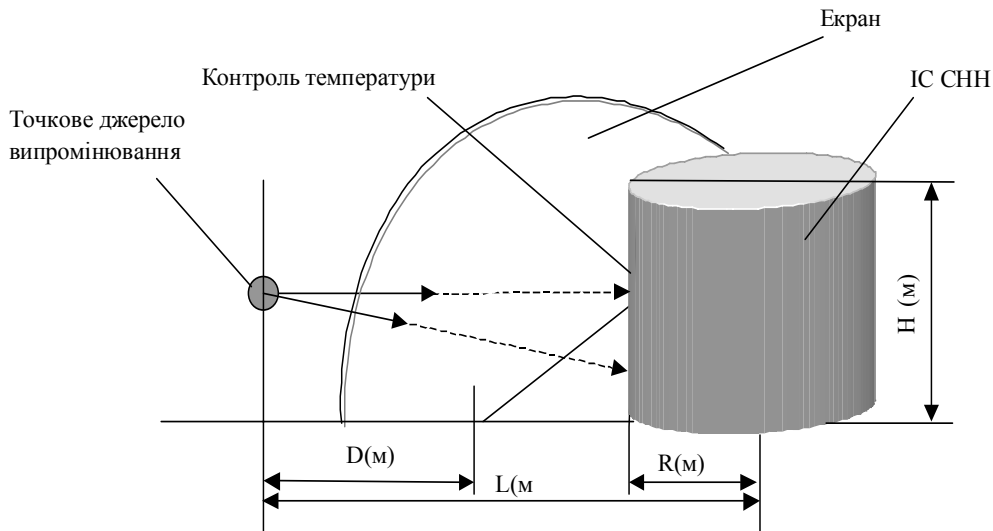


Рис. 1 – Вплив точкового джерела випромінювання на інженерну споруду (ІС) складів нафти та нафтопродуктів (СНН)

У даному випадку Q – частина теплового ефекту пожежі, яка йде на випромінювання; в практичних обчисленнях можна прийняти $Q = 0,4Q_0$, де Q_0 – загальний енергетичний ефект пожежі, Вт.

Під час розроблення математичної моделі системи будемо використовувати принцип ННВ [4] – найбільш небезпечний варіант розвитку подій (принцип «оцінки зверху»).

Виконаємо «оцінку зверху» значення густини потоку енергії випромінювання на поверхні резервуару з ЛЗР (ГР) з урахуванням впливу ослаблення випромінювання під час перетинання водяної завіси:

$$q_{\max} = \frac{Q}{4\pi(D - R)^2} \gamma, \quad (2)$$

де γ – коефіцієнт ослаблення впливу випромінювання [5].

Далі, також виходячи з принципу ННВ, будемо вважати, що бокова поверхня ємності знаходиться під впливом випромінювання q_{\max} , випромінювання падає по нормалі до поверхні та повністю поглинається. Температура тонкої стінки визначається співвідношенням

$$\frac{C\Delta}{\rho} \frac{dT}{dt} = -\varepsilon\sigma T^4 + q_{\max}, \quad (3)$$

де C – питома теплоємність металу, з якого виготовлена ємність, Дж/кг; Δ – товщина стінки, м; ρ – густина металу (кг/м³); ε – коефіцієнт чорноти поверхні; σ – стала Больцмана.

Коефіцієнт ослаблення випромінювання визначається емпіричною моделлю [6, 5], причому емпіричні співвідношення зв'язують коефіцієнт ослаблення випромінювання γ з секундною витратою води G , що необхідна для створення одного квадратного метра водяної завіси:

$$G = \frac{1}{\tau} \left\{ \frac{2}{3} r_0 \rho_v 2,303 \lg \gamma \right\} = \frac{1}{\tau} \{0,67 r_0 \ln \gamma\}, \quad (4)$$

де r_0 – радіус частинки води ($r_0 = 7 \cdot 10^{-10}$ м. [58]); ρ_v – питома густина води, кг/м³; $\tau \approx 0,5$ с – час перебування крапель у водяній завісі [7]. Загальна витрата води дорівнює

$$G_0 = S \frac{1}{\tau} \{0,67 r_0 \ln \gamma\}, \quad (5)$$

де S – площа, яку необхідно захистити, м². Звідси

$$\gamma = \frac{Q}{4\pi(L-R)^2 q_{\max}} = \exp \left\{ \frac{G_0 \tau}{0,67 r_0 S} \right\} \Rightarrow q_{\max} = \frac{Q}{4\pi(L-R)^2} \exp \left\{ -\frac{G_0 \tau}{0,67 r_0 S} \right\}. \quad (6)$$

Рівняння (5), доповнене співвідношенням (6) та початковою $T(0) = T_0$ (T_0 – температура навколишнього середовища) є звичайним диференціальним рівнянням першого порядку, яке можна розв'язати аналітично методом послідовних наближень. Перепишемо (3) у вигляді

$$\frac{dT}{dt} = \delta T^4 + B. \quad (7)$$

Розв'язання рівнянь (6), (7) можна також виконати в квадратурах [8], однак результати в загальному випадку не дають можливості отримати аналітичну залежність температури на поверхні ємності від часу, тому скористаємося тією обставиною, що рівняння (7) містить малий параметр – величину $\delta = \frac{\varepsilon\sigma\rho}{C\Delta}$, тому природно виконати розкладення по малому параметру δ [8]. Будемо шукати розв'язання у вигляді

$$T(t) = T_0(t) + \delta T_1(t) + \delta^2 T_2(t) + \dots \quad (8)$$

У першому наближенні

$$\frac{dT_0}{dt} = B; \quad \frac{dT_1}{dt} = \delta T_0^4. \quad (9)$$

Звідси з урахуванням початкових умов

$$T(t) = T_n + Bt + \frac{\delta}{5B} \left\{ (T_n + Bt)^5 - T_n^5 \right\}. \quad (10)$$

Перепишемо співвідношення (10) з урахуванням (1) – (4):

$$T(t) = T_n + \frac{q_{max} \rho}{C\Delta} t + \frac{\sigma \varepsilon}{5} \frac{4\pi(L-R)^2}{Q} \exp\left\{ \frac{G_0 \tau}{0,67 r_0 S} \right\} \times \left\{ \left(T_n + \frac{Q}{4\pi(L-R)^2} \exp\left\{ -\frac{G_0 \tau}{0,67 r_0 S} \right\} t \right)^5 - T_n^5 \right\} \quad (11)$$

Формула (11) дає можливість «оцінити зверху» значення температури стінки ємності в кожний момент часу, і, відповідно, – можливий момент загоряння нафтопродукту в ємності. Площу водяної зависи S можна оцінити як

$$S = 4RH [1]. \quad (12)$$

Тепер аналітична формула (11) дає однозначну залежність максимальної температури на поверхні ємності від часу.

Для того, щоб використати на практиці формулу (11) необхідно знати теплову витрату реальної пожежі. В нашому випадку відбувається горіння рідини в ємності, тому загальна енергетична витрата пожежі незначною мірою залежить від часу [9] (швидкість вигорання $v_f = \text{const}$), тому

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} H_c v_f, \quad (13)$$

де H_c – питома теплота згоряння рідини, Дж/кг; v_f – швидкість вигорання рідини, см/год.

На рис. 2 наведені в графічній формі результати обчислення температури стінки ємності для випробувань в полігонних умовах. Експериментально отримані значення відповідають температурі ємності на висоті 0,5 Н від поверхні землі (рис. 1).

Отримані дані порівняння результатів випробувань та теорети-

чних обчислень мають досить щільну збіжність на якісному рівні; крім того, важливою є та обставина, що температура, отримана в результаті теоретичного обчислення, перевищує експериментально отримані дані, тому можна стверджувати, що застосування розробленої моделі в практичній роботі підрозділів пожежної охорони дає можливість оцінити ефективність роботи водяної завіси „зверху”. Відповідно, під час реальної пожежі не відбудеться загоряння резервуара раніше, ніж передбачено обчисленням.

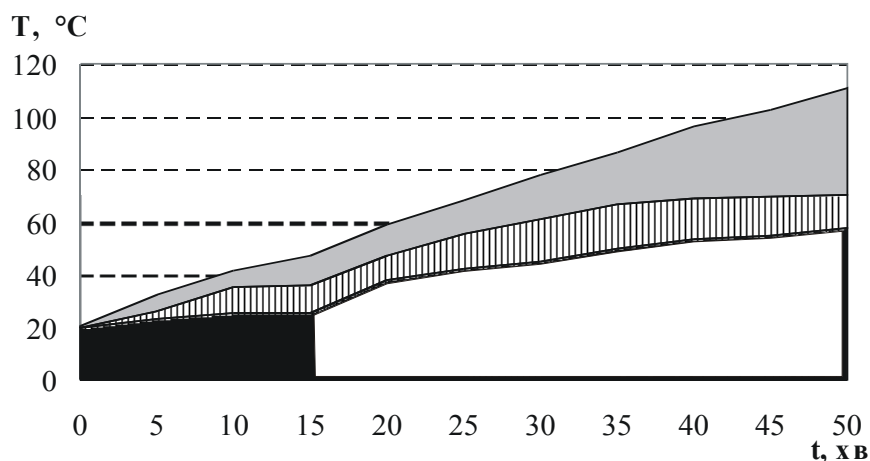


Рис. 2 – Температура на поверхні стінки резервуара під час пожежі: ■ – обчислення “0”; ▨ – обчислення “1”; ■ – експеримент

Проаналізуємо наведене вище ствердження з точки зору структури рівнянь, що описують процес. $\forall t: T_0(t) > T_1(t) > T_e(t)$, що цілком природно, тому що „нульове наближення” відповідає ситуації, коли не враховується випромінювання ємності з ЛЗР, відповідно її обчислена температура буде вищою; „перше наближення”, коли враховується випромінювання ємності, передбачає більші, ніж під час реальної пожежі, значення густини потоку енергії випромінювання, яке падає на стінку ємності. Отже обчислена температура буде меншою, ніж у „нульовому наближенні”, але більшою, ніж температура, отримана в результаті експериментів.

На рис. 3 зображено отримана під час експерименту в полігонних умовах залежність зміни температури в зоні теплової дії до водяної завіси (радіального водяного струменя) і за нею в часі. Показані графіки дають можливість оцінити ефективність захисту сусідніх РВС від впливу НФП за допомогою радіального водяного струменя.

Висновки. Результати лабораторних і полігонних випробувань НРС мають достатню подібність з теоретичними розрахунками і продемонстрували ефект зниження температури в зоні теплового впливу до і після радіального водяного струменя з 468°C до 21°C при лабораторних випробуваннях і з 350°C до 20-25°C при полігонних, що,

враховуючи початкові температурні умови, доводить майже повну екранно-поглинаючу здатність радіального водяного струменя.

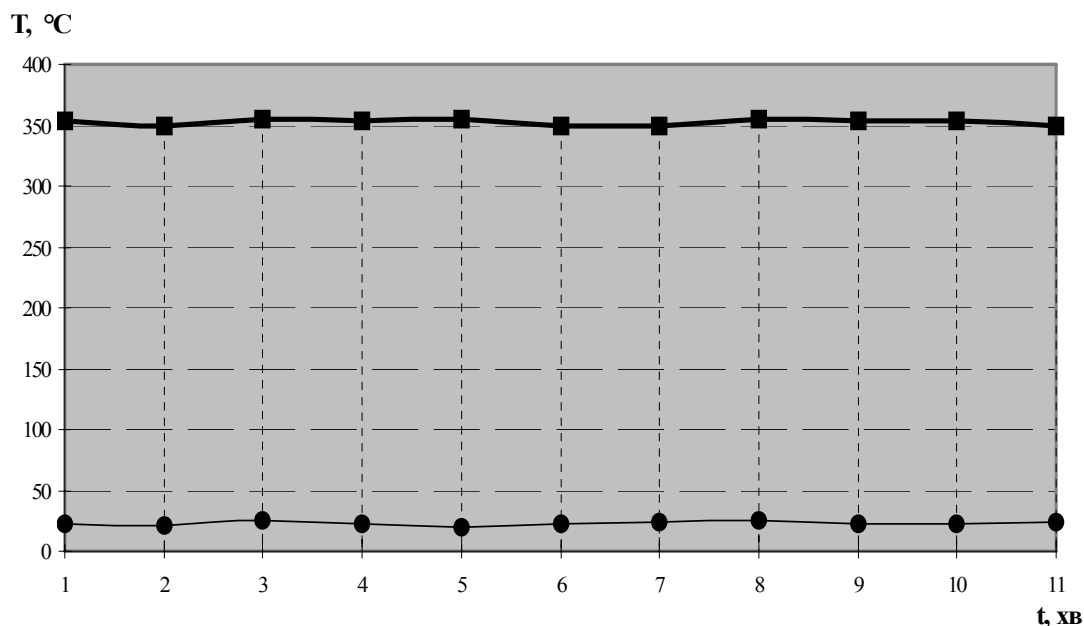


Рис. 3 – Залежність зміни температури в зоні теплової дії до і за радіальним водяним струменем у часі: **■** температура до радіального водяного струменя, °C; **●** температура за радіальним водяним струменем, °C

Розроблено математичну та фізичну моделі взаємодії елементів системи „палаючий резервуар – радіальний водяний струмінь – сусідній резервуар”. Результати обчислень характеристик ефективності роботи радіального водяного струменя близькі до експериментально отриманих даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дендаренко Ю.Ю., Виноградов А.Г., Дядченко О.І., Шеренков І.А. Новий підхід до охолодження резервуарів з нафтою і нафтопродуктами під час пожеж: Матеріали наук.-практ. конф. // Науковий збірник. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – С. 134-139.

2. Сенчихин Ю.Н., Дендаренко Ю.Ю. Насадок для создания радиальных водяных струй, снижающих воздействие теплового потока // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. „Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация”, – Мн.: Изд. центр БГУ, 2003. – С. 327-329.

3. Голендер В.А., Сенчихин Ю.М., Сировой В.В., Дендаренко Ю.Ю. Про сучасний підхід до рішення задач пожежної тактики: Науковий збірник. – Вип. 1. – Кн. 1. – Черкаси: ЧПБ, 1998. – С. 57-60.

4. Волков О.В., Проскураков Г.А. Пожарная безопасность на

предприятиях транспорта и хранения нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1981. – 256 с.

5. Зарубин В.С. Инженерные методы решения задач теплопроводности. – М.: Энергоатомиздат, 1983- 85 с.

6. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1982.- 132 с.

7. Исследование процессов водопенного тушения пожаров / М.И. Четвертаков, И.Ф. Безродный, А.Н. Корневский, С.Н. Артюнов. – М.: Наука, 1987. – 252 с.

8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1966.- 148 с.

9. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.

Ю.Н. Сенчихин, Ю.Ю. Дендаренко, В.В. Сировой

Моделирование взаимодействия элементов системы «горящий резервуар – радиальная водяная струя (тепловой экран) – соседний резервуар»

Разработана математическая и физическая модели взаимодействия элементов системы «горящий резервуар – радиальная водяная струя – соседний резервуар», что позволяет определить эффективность работы водяной завесы с использованием насадки радиальной струи.

Ключевые слова: радиальная струя, тепловое излучение, резервуар с ЛВЖ или ГЖ, водяная завеса, температура стенки резервуара.

Y.N. Senchukhin, Y.Y. Dendarenko, V.V. Sirovoy

Design of co-operation of elements of the system a «conflagrant reservoir is a radial waterjet (afterheater) – nearby reservoir»

Developed mathematical and physical models of vza^omodeystviya elementov sistemi a «conflagrant reservoir is a radial waterjet is a nearby reservoir», that allows to define efektivnost' raboti of aquatic curtain with the use of attachment of radial stream.

Keywords: radial stream, caloradiance, reservoir with a flammable or combustible liquid, aquatic curtain, temperature of wall of reservoir.

*В.М. Сирих, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
О.В. Тарахно, к.т.н., доцент, НУЦЗУ*

ЕКСПЕРТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРСІЇ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖІ ВНАСЛІДОК ТЕПЛООВОГО САМОЗАЙМАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

Наводяться основні положення методики експертного дослідження версії виникнення пожежі внаслідок самозаймання при проведенні пожежно-технічних експертиз.

Ключові слова: пожежно-технічна експертиза, самозаймання, температура самонагрівання, період індукції.

Постановка проблеми. Визначення причини пожежі є основною складовою дослідження, яке проводиться у рамках судової пожежно-технічної експертизи або експертного дослідження. При визначенні причини пожежі розглядаються ймовірні версії її виникнення з метою встановлення однієї, яка підтверджується комплексом наявних фактичних даних. При цьому дослідженню підлягають, насамперед, обставини, динаміка та розвиток небезпечної події.

На об'єктах агропромислового комплексу досить поширеною причиною пожежі є самозаймання. Горіння внаслідок самозаймання, як правило, виникає за відсутності людей та технічних засобів фіксації, що і обумовлює відносно тривалий період розвитку пожежі до моменту її виявлення. Це обумовлює той факт, що ряд даних щодо обставин виникнення та поширення пожежі взагалі не фіксуються. Іноді у подібних випадках вихідними даними, які надаються на дослідження експерту, є вид горючого матеріалу (речовини), його кількість та час виявлення горіння.

На сьогоднішній день в Україні відсутня нормативно затверджена методична база для дослідження версії виникнення пожежі внаслідок самозаймання. У зв'язку з чим, стає актуальною задача визначення основних положень методики експертного дослідження версії виникнення пожежі внаслідок самозаймання. Вирішення цієї задачі дозволить у подальшому при встановленні причини пожежі підтвердити або спростувати вказану версію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Предметом теорії самозаймання є вивчення поведінки твердих дисперсних і волокнистих горючих матеріалів при протіканні в системі екзотермічних реакцій. Теорія теплового самозаймання формується на основі спільного розглядання рівнянь теплопереносу та хімічної кінетики і описується в

межах теплової теорії, закладеної в 30-х роках минулого століття роботами М.М. Семенова, Я.Б. Зельдовича, Д.А. Франк-Каменецкого та ін. [1]. Певний вклад в дослідження процесів самозаймання при зберіганні і транспортуванні горючих матеріалів внесли наші сучасники С.І. Таубкін, О.Я. Корольченко, Я.С. Кисельов [2], [3]. Теоретичні положення процесу теплового самозаймання речовин та матеріалів найшли прикладне застосування в роботах І.Д. Чешко, О.І. Федотова, Б.В. Мегорського, які присвячувалися дослідженню пожеж при виконанні пожежно-технічних експертиз [4]-[6]. Проте, в наведених вище роботах не розглядаються в достатній мірі питання експертного дослідження версії виникнення пожежі внаслідок самозаймання. Існуюча методика дослідження причин пожеж [6] не вирішує дану проблему.

Постановка задачі та її розв'язання. Задачею даної роботи є розробка основних положень методики експертного дослідження версії виникнення пожежі внаслідок теплового самозаймання. При цьому передбачається, що до функціональної структури даної методики буде входити аналітична, розрахункова та експериментальна компоненти. Це дозволить систематизувати вихідні дані, які надаються на дослідження, а також структурувати сам процес дослідження версії виникнення пожежі внаслідок теплового самозаймання.

Так, на підставі положень аналітичної складової методики виконується аналіз обставин та ознак виникнення пожежі, що характерні для самозаймання речовин та матеріалів. Вихідними даними для дослідження в цій частині методики повинні бути:

- номенклатура, кількість та агрегатний стан речовин і матеріалів, що знаходилися в осередку пожежі;
- параметри, що характеризують схильність матеріалів і речовин до самозаймання (критичні температури самонагрівання, самоспалахування, тління, час індукції, тепловий ефект реакції окислення);
- просторове розташування та форма і розміри скупчення матеріалу;
- температура середовища, в якому знаходилися речовини та матеріали при нормативно визначених параметрах функціонування об'єкту, а також при нештатній ситуації;
- час, протягом якого місце, де виникла пожежа, знаходилося без нагляду, а також час виявлення ознак самозаймання (характерний запах, утворення певних газів-індикаторів в достатній концентрації, підвищення температури матеріалу, яке супроводжується зміною кольору, цілісності скупчення тощо);
- наявність ознак дії високих температур (термічних руйнувань) речовин, матеріалів, будівельних конструкцій та обладнання в зоні утворення осередку пожежі;

- факти виникнення пожежі внаслідок самозаймання на даному та подібних об'єктах;

- зафіксовані факти невиконання вимог пожежної безпеки, що можуть знаходитися у причинному зв'язку з виникненням пожежі.

Визначення кількісних параметрів, які характеризують процес самозаймання, виконується відповідно до положень розрахункової складової методики. При цьому передбачається розрахунок критичної температури середовища, часу індукції та критичного розміру матеріалу. Для проведення відповідних розрахунків застосовуються емпіричні рівняння, які описують процес теплового самозаймання даного матеріалу:

$$\begin{aligned} \lg t_c &= A_p + n_p \lg S_{\text{пит}}; \\ \lg t_c &= A_b - n_b \lg \tau_{\text{інд}}, \end{aligned}$$

де t_c – критична температура середовища ($^{\circ}\text{C}$), за якої можливе теплове самозаймання скупчення матеріалу даних форми та розміру; $\tau_{\text{інд}}$ – час нагріву матеріалу до моменту виникнення теплового самозаймання, год.; $S_{\text{пит}}$ – питома поверхня тепловіддачі, що залежить від форми скупчення матеріалу чи апарату та умов теплоізоляції, м^{-1} ; A_p , A_b , n_p , n_b – емпіричні коефіцієнти теплового самозаймання, які визначають експериментально для даного типу речовини чи матеріалу; для деяких речовин та матеріалів наводяться у довідниках [7].

За відсутності експериментальних даних по температурі самонагрівання та тління матеріалу ці параметри теплового самозаймання можна розрахувати за формулами:

$$\begin{aligned} \lg t_{\text{сн}} &= A_p; \\ \lg t_{\text{тл}} &= A_p + 2,18n_p. \end{aligned}$$

Якщо фактична температура середовища t_c перевищує критичну температуру самонагрівання, але менше температури тління матеріалу, необхідно виконувати розрахунок часу індукції як мінімально необхідного часу теплового впливу теплоносія на скупчення матеріалу заданого розміру:

$$\lg \tau_{\text{інд}} = (A_b - \lg t_c) / n_b.$$

Якщо у довідниковій літературі відсутні емпіричні коефіцієнти теплового самозаймання A_p , A_b , n_p , n_b для даної речовини чи матеріалу, необхідно виконувати експериментальну складову методики. Ця складова включає в себе алгоритм проведення експериментального дослідження процесу самозаймання речовин та матеріалів, який наведено у нормативному документі [8].

Основні положення даної методики були апробовані під час

виконання експертного пожежно-технічного дослідження пожежі, яка виникла в пташнику (Чернівецька обл.) через 36 год. після дезінфекції даного приміщення із застосуванням генератору гарячого туману «PulsFOGK-3020BIO».

Відповідно до аналітичної частини методики, що пропонується, було визначено, що основною горючою речовиною на даному об'єкті була соснова тирса, яка знаходилася на підлозі у вигляді шару товщиною близько 0,5 м. Згідно технічній характеристиці генератору гарячого туману при його штатній роботі температура газопаропоітряної суміші на виході із розпилювача складає близько 60 °С. Проте, якщо витрата надходження рідкої фази не відповідає регламенту застосування генератору, температура теплоносія може досягати 180 °С. Під час огляду місця пожежі було виявлено локальну ділянку вигорання шару тирси в зоні роботи установки, а також сліди термічного ураження стіни пташника у вигляді конуса.

У розрахунковій частині дослідження необхідно визначити, чи може виникнути самонагрівання та самозаймання соснової тирси за температури середовища, що створюється генератором гарячого туману за нормативного функціонування та при нештатній роботі.

Розрахунок проводився у декілька етапів.

1. Визначалися емпіричні константи теплового самозаймання соснової тирси за довідником [7]: $A_p = 1,855$; $n_p = 0,219$; $A_b = 2,296$; $n_b = 0,096$.

2. Розраховувалася температура самонагрівання соснової тирси, як мінімальна температура середовища, за якої може виникнути процес горіння матеріалу за найбільш сприятливих умов акумуляції тепла:

$$\lg t_{\text{сн}} = 1,855;$$

$$t_{\text{сн}} = 10^{1,855} = 71,61 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

3. Розраховувалася температура тління соснової тирси, як температура теплоносія, за якої горіння матеріалу гарантовано виникає:

$$\lg t_{\text{тл}} = 1,855 + 2,18 \cdot 0,219 = 2,33;$$

$$t_{\text{тл}} = 10^{2,33} = 213,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахунок показав, що за нормальних умов роботи генератору фактична температура гарячого аерозолю не досягає температури самонагрівання, а отже горіння внаслідок самозаймання у цьому випадку виникнути не могло. Проте, за нештатного функціонування установки температура теплоносія може знаходитися в межах від мінімальної до максимальної температури, необхідної для виникнення горіння. Таким чином необхідно було з'ясувати критичні температури

середовища та час, необхідні для теплового впливу на скупчення матеріалу заданих розмірів до виникнення горіння. Було прийнято, що шар горючої речовини можна представити як нескінчений плоскопаралельний паралелепіпед.

1. Розраховувалася питома поверхня тепловіддачі для нескінченного плоскопаралельного паралелепіпеду заданої товщини h :

$$S_{\text{пит}} = \frac{2}{h} = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ м}^{-1}.$$

2. Розраховувалася критична температура середовища (t_c), за якої можливе виникнення горіння для скупчення матеріалу заданого розміру:

$$\begin{aligned} \lg t_c &= A_p + n_p \lg S_{\text{пит}} = 1,855 + 0,219 \lg 4 = 1,986; \\ t_c &= 10^{1,986} = 97 \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Таким чином, розрахунок показав, що за нештатної ситуації роботи генератору самозаймання соснової тирси можливе, якщо час впливу теплоносія буде не менше періоду індукції.

3. Розраховувався час індукції за даних умов нагріву шару тирси ($\tau_{\text{інд}}$), за яких могло виникнути теплове самозаймання

$$\begin{aligned} \lg \tau_{\text{інд}} &= (2,296 - 1,986)/0,096 = 3,229; \\ \tau_{\text{інд}} &= 10^{3,229} = 1694 \text{ год}. \end{aligned}$$

Розрахований час індукції значно більший, ніж фактичний час виникнення горіння. Проте необхідно враховувати, що при збільшенні температури теплоносія час теплового впливу, необхідний для виникнення горіння, зменшується.

4. Розраховувався час індукції за температури середовища $180 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned} \lg \tau_{\text{інд}} &= (2,296 - \lg 180)/0,096 = 0,42; \\ \tau_{\text{інд}} &= 10^{0,42} = 2,6 \text{ год}. \end{aligned}$$

Отже, розрахунок показує, що за умови порушення штатного режиму роботи генератору гарячого туману протягом близько 3 годин теплове самозаймання соснової тирси у вигляді шару товщиною 0,5 м могло відбутися.

Висновок: запропоновані у даній роботі основні положення методики експертного дослідження версії виникнення пожежі внаслідок теплового самозаймання дозволяє систематизувати надану інформацію щодо обставин виникнення та поширення горіння, а також за оп-

тимальний термін підтвердити або спростувати версію її виникнення внаслідок саме самозаймання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Математическая теория горения и взрыва / [Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М.]. – М.: Наука, 1980.
2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность промышленных пылей. М.: Химия, 1986. 213 с.
3. Таубкин С.И. Пожаро- и взрывоопасность пылевидных материалов и технологических процессов их перевозки / Таубкин С.И., Таубкин И.С. – М.: Химия. – 1976. – 264 с.
4. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / Под науч. ред. канд. юр. наук Н.А. Андреева. – 2-е изд., – СПб.: СПБИБП МВД России. 1997. – 562 с.
5. Федотов А.И. Пожарно-техническая экспертиза / Федотов А.И., Ливчиков А.П., Ульянов Л.Н. – М.: Стройиздат, 1986. – 271с.
6. Мегорский Б.В. Методика установления причин пожаров / Мегорский Б.В. – М.: Стройиздат, 1966. – 348 с.
7. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х книгах / [Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н и др.]; под ред. Баратова А.Н. – М.: Химия, – 1990. – 650 с.
8. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. ГОСТ 12.1.044–89. ССБТ. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 67 с.

В.Н. Сырых, Е.В. Тарахно

Экспертное исследование версии возникновения пожара вследствие самовозгорания на объектах агропромышленного комплекса

Приводятся основные положения методики экспертного исследования версии возникновения пожара вследствие самовозгорания при проведении пожарно-технических экспертиз.

Ключевые слова: пожарно-техническая экспертиза, самовозгорание, температура самонагрева, период индукции.

V.N. Syrykh, E.V. Tarachno

Expert research version of fire as a result of spontaneous ignition objects of agriculture

Presentation of the main techniques of expert research version of a fire as a result of spontaneous ignition during the fire and technical expertise.

Keywords: fire and technical expertise, spontaneous ignition, the temperature of self-heating, the induction period.

*А.А. Тесленко, канд. физ.-мат. наук, доцент, НУГЗУ,
А.Ю. Бугаев, адъюнкт, НУГЗУ*

РАСЧЕТНЫЕ И ПРОВЕРОЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО СЛИВА ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА

(представлено д-ром техн. наук Басмановым А.Е.)

Рассмотрена проблема надежности алгоритма определения расчетных характеристик аварийного слива. Предложены более точные алгоритмы расчета параметров слива, позволяющие достичь большей надежности и избежать избыточности защитного оборудования. Впервые опробован обобщенный численный алгоритм определения условий обратного движения сливаемой жидкости в случае нескольких аппаратов, подключенных к одному трубопроводу.

Ключевые слова: аварийный слив, пожарная безопасность технологических процессов, абсолютная ошибка, время опорожнения технологических аппаратов, авария, чрезвычайная ситуация, модель.

Постановка проблемы. Масштабы пожара зависят от количества горючего вещества, находящегося в области воспламенения и областях, на которые пожар распространяется. Для уменьшения наносимого пожаром ущерба необходимо уменьшить объем горючего вещества, постоянно находящегося в зоне производства. Сущность технологического процесса не всегда позволяет такое уменьшение. Если производственная необходимость заставляет хранить значительные объемы опасных веществ в зоне возможной аварии, проблему уменьшения масштаба аварии часто удается решить удалением горючего вещества из опасной зоны после того, как аварийная ситуация началась или непосредственно перед началом аварии, когда очевидно, что аварийная ситуация наступит. Удаление жидкого горючего вещества из области охваченной аварией по трубопроводу самотеком или посредством перекачивания называется аварийным сливом.

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на тот факт, что установка аварийного слива является важной проблемой, постановка которой сделана значительный период времени назад [1-3], решение задачи расчета параметров слива нуждается в дополнительном исследовании.

Постановка задачи и ее решение. Необходимость таких исследований обусловлена отсутствием данных о достоверности и надежности таких расчетов. Неизвестно, как скажутся нарушения технологиче-

ского режима и (или) неточность исходных характеристик защищаемого оборудования на способность аварийного слива выполнять свои функции. Как будет показано ниже, решение задачи определения параметров слива приводит к использованию как прямой задачи расчета скорости жидкости и времени слива по известным напорам и параметрам трубопровода, так и обратной, когда требуется определять параметры трубопровода. В случае приводимых ниже итерационных вычислений, прямая и обратная задачи используются в одном алгоритме. Если прямые задачи характеризуются устойчивостью своих алгоритмов, то обратные являются, как правило, неустойчивыми. Как следствие, незначительные изменения технологического режима аппаратов или свойств смеси веществ в них находящиеся могут привести к неприемлемым изменениям в расчетных параметрах аварийного слива.

В данной статье поставлена цель исследовать свойства расчетных алгоритмов аварийного слива. Задача аварийного слива в краткой форме описана, например, в [1, 2]. Главный параметр аварийного слива – время аварийного слива ($\tau_{\text{аварийного слива}}$).

$$d\tau_{\text{аварийного слива}} = \frac{dV}{Q(H)} \quad (1)$$

где V – объем жидкости в аппарате; H – напор (высота уровня жидкости над сливным отверстием в аварийной емкости); Q – расход жидкости во время аварийного слива.

Полное время аварийного слива определится формулой

$$\tau_{\text{аварийного слива}} = \int_{H_2}^{H_1} \frac{S(H)dH}{Q(H)} \quad (2)$$

где H_1 – напор непосредственно перед началом слива; H_2 – напор в конце слива; $S(H)$ – площадь поверхности жидкости в аппарате при напоре H (S не зависит от H , если аппарат имеет форму вертикального цилиндра). Q всегда является функцией H , скорости жидкости в трубопроводе w (как следствие, функцией критерия Рейнольдса Re , диаметра трубопровода d , вязкости μ и плотности ρ сливаемой жидкости).

Формула для w имеет нелинейную зависимость от H

$$w = 4.42945 \cdot \varphi_{\text{нелинейная}} \sqrt{H} \quad (3)$$

В предлагаемых алгоритмах [1, 2] используется усредненное значение скорости $w_{\text{среднее}}$ (среднее арифметическое значение скоро-

сти в начале и конце слива).

$$w_{\text{среднее}} = 2.21472 \cdot \varphi_{\text{н\grave{e}н\grave{o}} \left(\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2} \right) \quad (4)$$

где $\varphi_{\text{н\grave{e}н\grave{o}}$ - коэффициент расхода системы аварийного слива, который в свою очередь от скорости w [3] (такая циклическая зависимость приводит к необходимости применения итерационного алгоритма расчета трудоемкого в случае счета «вручную», в котором возникают вопросы сходимости и устойчивости, не обсуждаемые в этой статье), H_1, H_2 – напоры в начале и конце слива. Как следствие, в вычислительных алгоритмах [1-3], скорость w считается постоянной, равной среднему арифметическому от своих значений в начале и конце аварийного слива. Коэффициент расхода трубопроводной системы $\varphi_{\text{н\grave{e}н\grave{o}}$ считается во время слива тоже постоянным и соответствующим скорости $w_{\text{среднее}}$.

Исследования алгоритма [1, 2] показывают нелинейный характер зависимости $\varphi_{\text{н\grave{e}н\grave{o}}$ от H рис. 1.

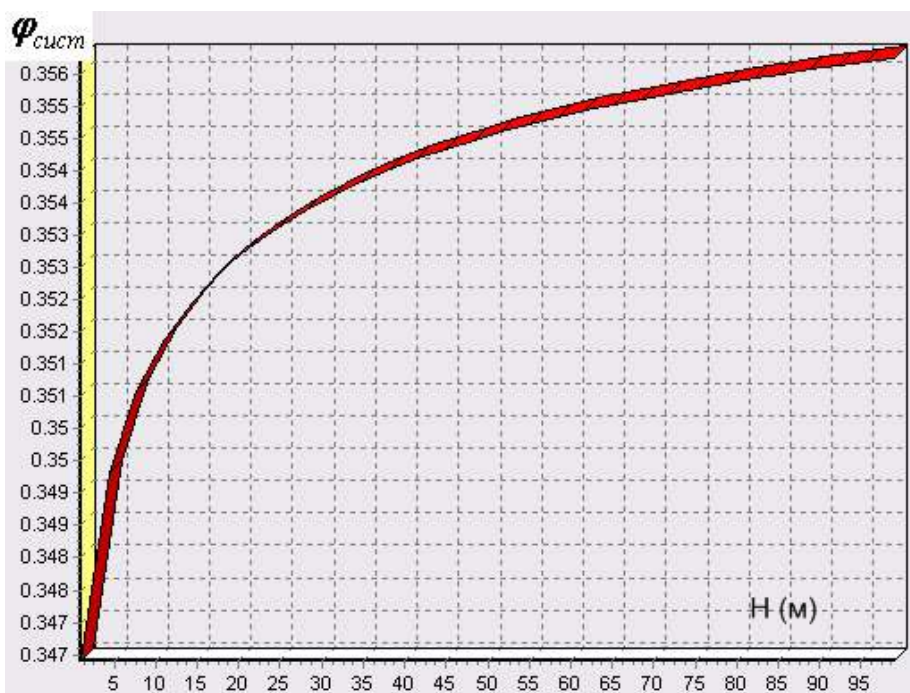


Рис. 1 – Зависимость коэффициента расхода трубопроводной системы $\varphi_{\text{н\grave{e}н\grave{o}}$ от напора H (м).

Учитывая нелинейный характер зависимости, показанный на рис. 1, усреднение, сделанное в формуле (4), некорректно, но может

служить приближенной оценкой реального значения. Можно найти верное $w_{\text{среднее}}$, но это потребует численных расчетов для каждого варианта трубопроводной системы. В работе предлагается подход, состоящий в численном интегрировании (2), при Q , выраженном через точное значение скорости.

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot w = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot 4.42945 \cdot \varphi_{\text{н\ddot{e}н\ddot{o}}} \sqrt{H} \quad (5)$$

где d – диаметр трубопровода.

Данный подход дает более точное значение времени аварийного слива, позволяет сделать конструкцию трубопровода менее избыточной.

Полные и надежные численные результаты, характеризующие достоверность расчетов, можно получать только для конкретных применений аварийного слива в имитационных экспериментах. Методы и некоторые результаты этих экспериментов представлены в [1,2]. Для схемы «один аппарат – одна аварийная емкость» и ограниченного количества случаев реализации этой схемы получены оценки погрешности в получаемых результатах. Для времени аварийного слива и диаметров труб погрешности не превышают 2-4%. Учитывая некоторую избыточность в защитных свойствах (например, выбираются для использования трубы большего диаметра, чем расчетный, из числа промышленно выпускаемых и доступных), принятую при постановке и реализации задачи расчета аварийного слива, данная погрешность является приемлемой.

Подход без усреднений (прямой записью численного вычисления (2) с использованием (3), (5)) позволяет решить более общую задачу защиты произвольного количества аппаратов. Для случая двух аппаратов такая задача решена в [3]. Для трех и более аппаратов в [3] предлагается использовать графический подход, который даже в случае трех аппаратов является громоздким. Впервые предлагаемый в данной статье численный подход решения задачи аварийного слива значительно менее трудоемок в применении. В [3], для случая двух аппаратов, указывалось, что возможен перелив жидкости из одного аппарата в другой (обратное движение жидкости по трубопроводу) вместо слива в аварийную емкость. Такая возможность является дополнительным источником опасности и должна быть полностью исключена. В численных исследованиях, представленных в [2], показаны случаи, когда это происходит. Имитационное моделирование позволяет предсказать возможность возникновения обратного движения жидкости и подобрать надежную схему трубопровода.

Выводы. Имитационные эксперименты с расчетным алгоритмом из [3] показывают приближенный характер расчетов. Алгоритм на основе численного интегрирования (2) успешно решает задачу расчета параметров аварийного слива. С его помощью удастся предсказать и разработать изменения к конструкции аварийного слива для предотвращения обратного течения сливаемой жидкости. Имитационное моделирование аварийного слива позволяет численно определить надежность расчетов, связанных с неустойчивостью численного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание и исследование модели опасного производства [Электронный ресурс] / В.В. Олейник, А.П. Михайлюк, С.А. Дудак, А.А. Тесленко // 2009 // <http://www.emergencemodeling.narod.ru/>
2. Modeling for fire overflow [Электронный ресурс] / А.А. Тесленко // 2012 // <http://www.fire-overflow.narod.ru/>
3. 3. Алексеев М.В. Пожарная профилактика технологических процессов производств/ М.В. Алексеев, О.М. Волков, Н.Ф. Шатров - Москва: //Высшая инженерно-техническая школа МВД СССР. - 1986. – С. 111-119.

О.О. Тесленко, А.Ю. Бугайов

Розрахункові і перевірочні алгоритми визначення параметрів аварійного зливу небезпечної речовини

Розглянута проблема надійності алгоритму визначення розрахункових характеристик аварійного зливу. Запропоновані точніші алгоритми розрахунку параметрів зливу. Алгоритми дозволяють досягти більшої надійності і уникнути надмірності захисного устаткування. Уперше випробуваний узагальнений чисельний алгоритм визначення умов зворотного руху зливної рідини у разі декількох апаратів, підключених до одного трубопроводу.

Ключові слова: показник адіабати, запобіжний клапан, аварія, надзвичайна ситуація, модель, об'єкт підвищеної небезпеки, обчислювальний експеримент.

A.A. Teslenko, A.U. Bugaev

Calculation and verification algorithms of determination of parameters of emergency weathering of hazardous substance

The algorithm problem of reliability of calculation parameters determination of safety-valve is considered. More exact algorithms of calculation are offered. Algorithms allow to obtain greater reliability and avoid excess of protective equipment. The generalized numeral algorithm of determination of conditions for reverse motion liquid is first tested.

Keywords: pressure in equipped, safety-valve, accident, emergency, simulation, model, computation experiment.

УДК 614.8:521.633

Д.Г. Трегубов, к.т.н., ст. преподаватель, НУГЗУ,
Е.В. Тарахно, к.т.н., доцент, нач. кафедры, НУГЗУ

СВЯЗЬ СКЛОННОСТИ МАТЕРИАЛОВ К САМОВОЗГОРАНИЮ СО ВЗРЫВООПАСНОСТЬЮ ПЫЛЕЙ

(представлено д-ром техн. наук Андроновым В.А.)

Рассмотрено состояние вопроса относительно самовозгорания углей и взрыспособа выбора степени заполнения вращающегося барабана при испытании зернистых проб разной кажущейся плотности. Произведены обоснование и выбор способа отбора пробы для заполнения реакционной камеры барабанного типа в рамках методики определения склонности твердых материалов к тепловому самовозгоранию.

Ключевые слова: проба, масса, объем, самовозгорание.

Постановка проблемы. С самовозгоранием сталкиваются в разных отраслях народного хозяйства, в их число входят угледобывающая и углеперерабатывающие отрасли промышленности. Эта проблема требует непрерывного контроля для предотвращения возникновения пожаров.

Многие виды углей и их пылей самонагреваются при хранении и обладают высокой пожаровзрывоопасностью [1]. Это усложняет их добычу, переработку, транспортирование, использование. Тепловые проявления окисления углей приводят к их саморазогреву, что снижает потребительские свойства и создает опасность возникновения пожара. 7 % объема добычи бурого угля теряется в результате его самовозгорания, а атмосферу загрязняют продукты разложения, полного и неполного сгорания [2]. При подготовке и переработке углей часто образуются взрывоопасные концентрации пылей.

Анализ последних исследований и публикаций. Поведение материалов при нагреве исследуют с помощью термических методов анализа. Установки термического анализа реализуют принципы термогравиметрии, термодилатометрии, калориметрии, термомеханического анализа и др. [3]. Почти все они имеют собственную погрешность из-за разрушающего характера термического, механического и химического воздействия при испытании. Исследование стадий термодеструкции материалов проводят: по изменению массы, размера, механических, диэлектрических характеристик, термодинамических параметров (теплоемкости, энтальпии и др.).

В работе [4] показана возможность применения тепловой теории самовоспламенения для прогноза самовозгорания каменных углей и

полукоксов различных модификаций. Соответственно, определены температуры, при которых тепловыделение реакции компенсирует теплотери в условиях опыта для углей и полу коксов, то есть начинается их самонагревание. Установлено также, что самовозгорание и возникновение взрыва пыли бурого угля имеют схожие механизмы тепловых процессов, поэтому возможно оценить по склонности бурого угля к самонагреванию и взрывоопасные свойства его пыли [2].

Постановка задачи и ее решение. Пожароопасные свойства углей даже одной стадии метаморфизма сильно отличаются, поэтому необходимо определять их для каждой партии угля. Способность материала вступать в химические реакции показывает его реакционная способность. Однако, независимо от промежуточных процессов в материале, опасность самовозгорания определяется общим количеством выделяемого тепла с учетом неполноты протекания реакций окисления. Поэтому считаем, что склонность материалов к самовозгоранию целесообразно оценивать не по степени конверсии кислорода или изменению массы пробы, а по количеству тепла, которое выделяется при контакте кислорода с пробой в условиях низкотемпературного окисления.

Исходя из вышесказанного, нами предложена оригинальная установка термического анализа с использованием метода компенсации электрической мощности и исследованы некоторые углеродистые материалы [5]. Данный электротермический метод использован для определения склонности твердых материалов к самовозгоранию. Материал фракции 6-10 мм подвергается воздействию тепловых нагрузок при диссипации электрической энергии в электропроводном наполнителе и химическом взаимодействии с имеющимся в реакционной камере газообразным реагентом. В качестве активного агента окислительной среды эффективнее использовать кислород, поскольку это моделирует практические процессы самовозгорания и взрыва аэрозоля, а также позволяет проводить термоокислительные испытания при меньшей температуре, чем в случае использования углекислого газа или перегретого пара.

Одним из показателей метода является удельный расход энергии на поддержание заданного режима нагрева. Чем меньше этот показатель, тем более интенсивным было тепловыделение пробой, тем больше данный материал склонен к самовозгоранию, а его пыль к взрыву. Для испытанных образцов получили в порядке возрастания следующие данные (табл.1.), Вт·ч·кг⁻¹: уголь К - 0,108, уголь Ж - 0,112, уголь СС - 0,126, антрацит - 0,314, антрацит окисленный - 0,32, полукокс - 0,43, осина - 0,44, кокс лаб. - 0,552, кокс металлургический - 0,71.

Одновременно фиксировали температуру начала тепловыделения, которое возникает как следствие окисления летучих продуктов

разложения (свойства первичных летучих продуктов разложения представлены в таблице 2), и температуру возгорания пробы твердого зернистого материала в опыте. Таблица 1 показывает, что температура возгорания крупнозернистого углеродистого материала в опыте близка к температуре самовоспламенения его аэрозоля. Температура начала тепловыделения в опыте близка к температуре тления материалов. Расхождения объясняются отличием испытываемых проб от приведенных в справочной литературе [6], где, следует отметить, данные приведены для проб разной дисперсности.

Таблица 1 – Сравнение результатов калориметрических испытаний углеродистых материалов [5] с данными для температур тления и самовоспламенения их аэрозолей [6]

Материал	Удельный расход энергии, Вт·ч·кг ⁻¹	Температура тления, К	Температура начала тепловыделения, К	Температура возгорания, К	Температура самоспалахования аэрозолю, К
Древесина	0,440	500	533	653	643
Уголь СС	0,126	573	573	613	708
Полукокс	0,430	425	603	713	623
Антрацит	0,314	673	793	853	773
Кокс мет.	0,710	-	873	1093	1073

Таблица 2 – Температура начала выделения и самовоспламенения горючих летучих продуктов разложения (ЛПР)

Летучие продукты разложения	Температура начала выделения ЛПР, К	Температура самовоспламенения ЛПР, К
СО	353 - 573	883
СН ₄	373 - 673	918
Н ₂	673 - 873	783

Выводы. В ходе проведенного эксперимента установлено, что критические температуры в опыте для крупнозернистых углеродистых материалов близки к известным температурам тления аналогичных материалов и самовоспламенения их аэрозолей. Поэтому калориметрические исследования по предложенному методу позволяют определять как склонность твердых материалов к самовозгоранию, так и пожароопасность их аэрозолей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Окисление и самовозгорание твердого топлива [Саранчук В.И., Русчев Д., Семенов В.К.] – К.: Наукова думка. 1994. – 264 с.
2. Амелчугов С.П. Особенности теплофиз. процессов при добыче, хранении, транспортировке, использ. бурого угля: автореф. дис. на соиск. н. ст. д.т.н.: спец. 01.04.14 / С.П. Амелчугов – Красноярск, 2002.

– 30 с.

3. Бубнова Р.С. Термический анализ и фазовые равновесия / Бубнова Р.С., Филатов С.К., Фотиев А.А. - Пермь: Изд. ПГУ. 1988. - 155 с.

4. Беляк А.Л. Снижение эндогенной пожароопасности малометаморфизированного каменного угля и полукокса при хранении: автореф. дис. на соиск. н. ст. к.т.н.: спец. 05.26.03 / Беляк А.Л. — Кемерово, 2004. – 26 с.

5. Трегубов Д.Г. Моделирование процессов теплового самовозгорания / Трегубов Д.Г., Бондарчук М.Г. // Проблемы пожарной безопасности. - Харьков: УГЗУ.-Вып.25. - 2009. – С. 185-189.

6. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2-х книгах / [Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н и др.]; под ред. Баратова А.Н. - М. : Химия, - 1990. – 272 с.

Д.Г. Трегубов, О.В. Тарахно

Аспекти методики визначення схильності твердих матеріалів до самозаймання

Розглянуто стан питання щодо способу вибору ступеня заповнення обертового барабана при випробуванні зернистих проб різної уявної щільності. Зроблено обґрунтування й вибір способу відбору проби для заповнення реакційної камери барабанного типу в рамках методики визначення схильності твердих матеріалів до теплового самозаймання.

Ключові слова: проба, маса, об'єм, самозаймання.

D.G. Tregubov, O.V. Tarahno

Aspects of the methodology for determining the propensity to spontaneous combustion of solid materials

The state of the question concerning the method of choice for the degree-filled rotating drum test samples of different grain apparent density. Made the rationale and choice of sampling method for filling a reaction chamber within the drum-type methodology for determining the tendency of solids to the heat spontaneous combustion.

Keywords: test, weight, capacity, spontaneous combustion.

К.Р. Умеренкова, к.т.н., доцент, НУГЗУ

ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫЙ ТРАНСПОРТ. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ АЗОТА

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

Предложена математическая модель для описания термодинамических свойств газообразного и жидкого азота, используемого при создании нового вида пожаробезопасного транспортного средства.

Ключевые слова: пожаробезопасный транспорт, фазовые равновесия, плотность, азот

Постановка проблемы. В настоящее время в аэропортах для перемещения самолетов используются специальные тихоходные тягачи с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Для перемещения грузов в складских помещениях в районе аэропорта применяются также специальные автопогрузчики, как правило, с ДВС. Применение ДВС на этих средствах является причиной их потенциальной пожарной опасности. Внутри же помещений работа ДВС может приводить к недопустимо высокому уровню загазованности воздуха ядовитыми веществами.

В последние годы появились и интенсивно развиваются криогенные (низкотемпературные) пожаробезопасные и экологически чистые силовые установки для автомобилей, использующие азот в качестве рабочего тела (РТ) [1,2]. Первые образцы криоавтомобилей с такими установками уже созданы в США [1].

Азот является экологически безопасным и химически инертным газом, что позволяет использовать криогенные силовые установки даже в закрытых помещениях, в том числе с огнеопасными веществами.

Повышенный интерес к созданию криогенных силовых установок для транспортных средств [1,2], обусловил актуальность получения надежных данных о теплофизических свойствах азота, в частности о параметрах фазовых равновесий (ФР).

Анализ исследований и публикаций. При рассмотрении совокупности ранее предложенных методик [3-7], можно выделить два основных подхода к расчету фазовых равновесий. Первый состоит в описании свойств пара и жидкости едиными (в основном – эмпирическими) уравнениями состояния. В области низких и средних давлений наибольшее распространение получил другой подход, в котором паровая и жидкая фазы представлены принципиально различными моделями.

Для первого и для второго подходов предложено значительное количество эмпирических уравнений состояния с большим числом постоянных (модельных параметров). Их применение для расчетов равновесия жидкость-пар дает приемлемые результаты только для того диапазона температур и давлений, данные по которому были использованы при определении этих параметров. На основании анализа состояния проблемы описания фазовых равновесий сделан вывод о том, что результаты, получаемые в рамках подобных подходов и схем, неудовлетворительны в количественном отношении.

Постановка задачи и ее решение. Проводимые исследования посвящены применению оригинальной модифицированной схемы термодинамической теории возмущений (МТВ) [8] для описания параметров равновесного термодинамического процесса – ФР азота, применяемого в качестве рабочего тела в пожаробезопасном транспорте.

Моделирование фазовых равновесий в РТ, состояние которых определяется заданными значениями температуры и давления, основано на определении термодинамического потенциала – свободной энергии Гельмгольца.

Величина свободной энергии F может быть записана в виде следующего фундаментального выражения $F = -kT \ln z$. Статистическая сумма $z = \sum_n e^{-E_n/kT}$, где $e^{-E_n/kT}$ – распределение Гиббса в квантовой статистике. В классической статистике сумма $z = \sum_n e^{-H_n/kT}$ переходит в интеграл по фазовому пространству $z = \int e^{-H(p,q)/kT} d\Gamma$. Поведение термодинамической системы описывается гамильтонианом $H(p,q)$, который представляет собой сумму кинетической и потенциальной энергии всех частиц системы $H(p,q) = \sum_{k=1}^N \frac{p_k^2}{2m_k} + U_N(q_1, q_2, \dots, q_n)$, где p_k – импульс частицы, m – масса частицы, q – координаты.

Интеграл может быть разбит на два интеграла по импульсам и координатам. Интегрирование по импульсам дает известную из кинетической теории газов среднюю кинетическую энергию поступательного движения идеального газа $E = 3/2 \cdot kT$. Основная трудность статистической механики заключается в нахождении конфигурационного интеграла $z_Q = \frac{1}{N!} \int e^{-U_N(q)/kT} dq$. Чтобы записать классическое распределение Гиббса, необходимо знать зависимость потенциальной энергии взаимодействия частиц от расстояний.

Фундаментальное значение при моделировании фазовых состояний имеет выяснение природы и характера межмолекулярных

взаимодействий. Они определяют отличия реальной системы от идеального газа.

Традиционный и широко применяемый потенциал Леннарда-Джонса

$$u(r) = 4\varepsilon[(\sigma/r)^{12} - (\sigma/r)^6] , \quad (1)$$

относящийся к изотропным двухпараметрическим моделям потенциалов типа $u(r) = \varepsilon\varphi(r/\sigma)$, где $r=|\mathbf{r}_{12}|$, ε - глубина потенциальной ямы, σ - размерный параметр: $u(\sigma) = 0$. Парный потенциал (1) учитывает посредством эффективных значений параметров ε и σ вклады в термодинамические свойства, обусловленные многочастичными взаимодействиями, неизотропностью силовых полей, квантовыми и другими эффектами.

Свободная энергия $F=Nf$ системы N частиц, взаимодействующих посредством исходного потенциала $u(r)$, при температуре T и плотности числа частиц $\rho=N/V$ имеет вид

$$\beta f = \beta f_0 + \rho^* (I_1 + I_2/T^*)/T^* + \dots , \quad (2)$$

где $\beta=1/kT$; $\rho^*=\rho\sigma^3$ - безразмерная (приведенная) плотность числа частиц; I_1 и I_2 - групповые интегралы МТВ 1-го и 2-го порядков соответственно; k - постоянная Больцмана. Величина f_0 представляет собой удельную (на одну частицу) свободную энергию системы твердых сфер (ТС):

$$\beta f_0 = \psi(T^*) + \ln \rho^* + \eta(4-3\eta)/(1-\eta)^2, \quad (3)$$

где $\psi(T^*)$ - температурная функция в идеально-газовой части f_0 ; $\eta=(\pi/6)\rho_0^*$; $\rho_0^*=\rho d^3=\xi^3\rho^*$, d - диаметр ТС.

Преимущества схемы МТВ состоят, в частности, в быстрой сходимости рядов типа (2) и в существенном упрощении расчетов. Это позволяет ограничиться для рядов МТВ членами не выше первого порядка (для термических свойств). Групповой интеграл $I_1(T^*, \rho^*)$ имеет простой вид:

$$I_1 = 2\pi \int_0^\infty \varphi_1(x) g_0(x) x^2 dx, \quad (4)$$

где $g_0(r/d; \rho_0^*)$ - радиальная функция распределения системы ТС; $x=r/\sigma$. Интеграл I_1 в схеме МТВ рассчитан и представлен в виде аналитического выражения $I_1=T^*\chi_1[1]/\rho^*$ в широких интервалах состояний газообразного и жидкого азота. Форма $\chi_1[n]$ определяется согласно

$$\chi_1[n] = \sum_{i,k} n a_{ik} (\rho^*)^{i+1} / (T^*)^{k+1}, \quad (5)$$

где a_{ik} – коэффициенты полинома, приведенные в работе [8].

Термодинамические свойства азота получены на базе рассчитанных согласно (2) поверхностей свободной энергии $f(T, V)$ или $F(T, \rho)$ с использованием стандартных термодинамических соотношений. Расчет массовой плотности D газообразного азота является строгой проверкой развиваемых теоретических моделей.

Плотности жидкой D_L и паровой D_V фаз вещества на линии насыщения определяются из условий равенства давлений и химических потенциалов фаз:

$$\begin{cases} p(D_L, T) - p(D_V, T) = 0; \\ \mu(D_L, T) - \mu(D_V, T) = 0, \end{cases} \quad (6)$$

а плотность вещества $D(p, T)$ [кг/м³] в однофазной области в термодинамическом состоянии p [МПа] и T [K] – из уравнения

$$p(D, T) - p = 0. \quad (7)$$

Давление

$$p = \tilde{P} T^* \rho^* \left\{ 1 + 2\eta \frac{2 - \eta}{(1 - \eta)^3} + \chi_1[i + 1] \right\}. \quad (8)$$

Здесь $T^* = T/E$, $\rho^* = D / \tilde{D}$, $\eta = (\pi \xi^3 / 6) \rho^*$, $\xi = 0,9274$ [8]; R – газовая постоянная; параметры $E = \varepsilon/k$; $\tilde{D} = M / (N_A \sigma^3)$, $\tilde{P} = RE\tilde{D}$, M – молярная масса, N_A – число Авогадро.

В выражении (8) свойства выражены в следующих единицах: p – МПа, D – кг/м³, T – К.

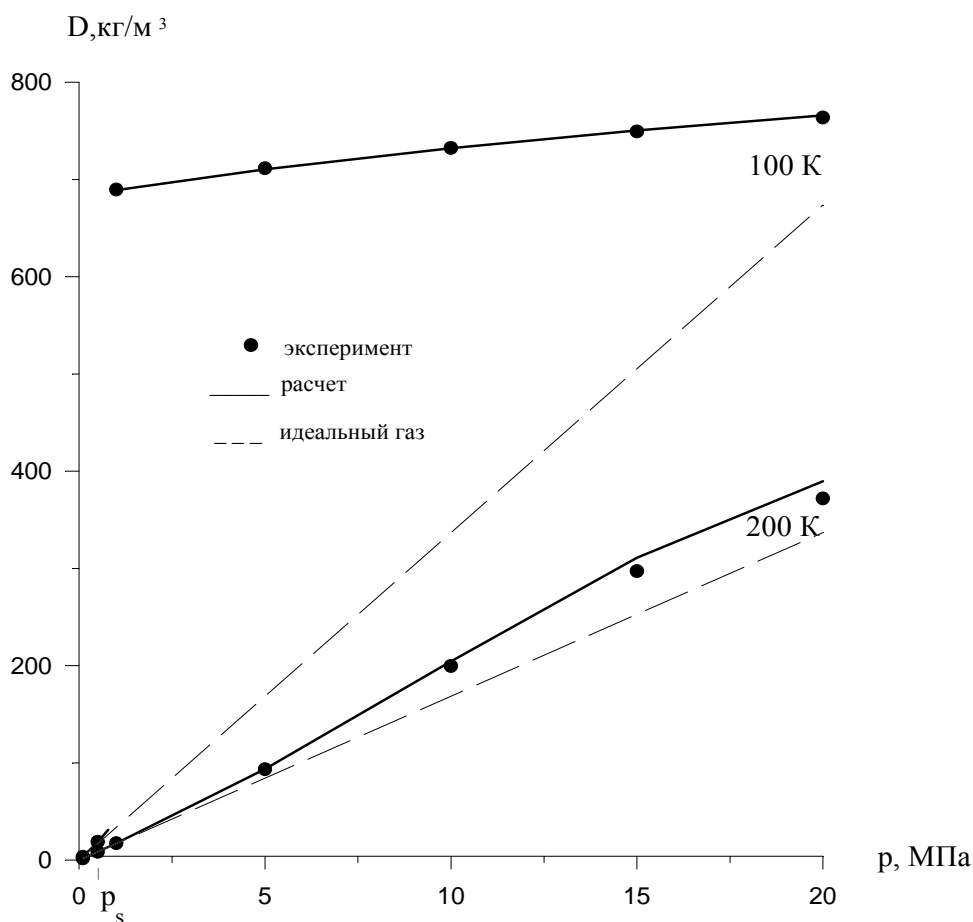
Проведем численное исследование модели индивидуального вещества (азота) для проверки теоретических выражений, описывающих равновесие фаз. Система уравнений (6) для равновесия жидкость–пар решена численно в интервалах $T_{tr} < T < T_c$. Полученные значения плотности жидкой фазы вдоль линии равновесия сравниваются в табл. 1 с опорными экспериментальными данными [9] для N₂.

Анализ отклонений расчетных значений D_L от данных [9] показывает, что расчетные значения плотности азота (табл.1) воспроизводят экспериментальные данные практически в пределах обычных погрешностей измерений плотности (порядка 0,1 %).

На рис. 1 представлены значения плотности азота в газообразном и жидком состояниях в сравнении с экспериментальными данными [9]. Пунктирная линия – расчеты плотности азота по формулам для идеального газа.

Таблица 1 – Плотность D_L жидкого азота вдоль линий равновесия

T, K	$D_L, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (расчет)	$D_L, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ (эксперимент [9])
70	838,29	837,73
75	816,95	816,15
80	793,68	793,04
85	768,97	768,81
90	743,04	743,51
95	715,92	716,83
100	687,53	688,20
105	657,64	656,76
110	623,88	621,11

Рис.1 – Плотность азота в газообразном ($T=200$ К) и жидком состояниях ($T=100$ К). ● – экспериментальные данные [9].

Выводы. Анализ полученных результатов показывает возможность успешного применения строгих статистико-механических методов к описанию свойств молекулярных систем в различных фазовых состояниях. Предложенный расчетный метод позволяет получить термодинамические характеристики жидкого и газообразного азота, используемые для разработки перспективных видов пожаробезопасных и экологически чистых транспортных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Plummer M.C. Cryogenic heat engine experiment / M.C. Plummer, C.P. Koehler, D.R. Flanders // Proc. of 1997 Cryogenic Eng. Conf., Portland, July 1997, USA. – P. 7.
2. Туренко А.Н. Экологически чистый криогенный транспорт: современное состояние проблемы / А.Н. Туренко, А.И. Пятак, И.Н. Кудрявцев // Вестн. Харьк. автомоб.-дорожн. техн. ун-та. – 2000. – Вып. 12-13. – С. 42–47.
3. Уэйлес С. Фазовые равновесия в химической технологии. – М.: Мир, 1989. – 664 с.
4. Морачевский А.Г. Термодинамика равновесия жидкость-пар / А.Г. Морачевский, Н.А. Смирнова, Е.М. Пиотровская // Л.: Химия – 1989. – 344 с.
5. Смирнова Н.А. Молекулярные теории растворов. – Л.: Химия. – 1987. – 336 с.
6. Гуревич Г.Р. Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей / Г.Р. Гуревич, А.И. Брусиловский – М.: Недра. – 1984. – 264 с.
7. Рид Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд - Л.: Химия. – 1982. – 592 с.
8. Маринин В.С. Теплофизика альтернативных энергоносителей. – Харьков: Форт. – 1999. – 212 с.
9. Термодинамические свойства азота / В.В.Сычев, А.А. Вассерман, А.Д.Козлов и др. – М.: Наука. – 1972. – 720 с.

К.Р. Умеренкова

Пожежебезпечний транспорт. Математична модель фазових рівноваг азоту.

Запропоновано математичну модель опису термодинамічних властивостей зрідженого та газоподібного азоту, що використовується для створення нового виду пожежебезпечного транспортного засобу.

Ключові слова: пожежебезпечний транспорт, фазові рівноваги, густина, азот.

K.R. Umerenkova

Fireproof transport. Mathematical model phase equilibria nitrogen.

The mathematical model for description the thermodynamic properties of liquid and gaseous nitrogen used at creation of a new kind of a fireproof vehicle is offered.

Key words: fireproof transport, phase equilibria, density, nitrogen.

А.М. Чернуха, доцент, НУГЗУ

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ВОДОНАПІРНИХ БАКІВ
У ПРОТИПОЖЕЖНИХ ВОДОПРОВОДАХ
ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ**

(представлено д-ром техн. наук Алексєєвим О.П.)

Запропоновані підходи до забезпечення ефективного використання конструктивних параметрів систем протипожежного водопостачання для надійної роботи пожежних кранів у висотних будинках.

Ключові слова: Водонапірний бак, пожежний кран, насадок пожежного ствола.

Постановка проблеми. Сучасні методи будівництва дозволили у масовому масштабі будувати висотні будинки, до протипожежного захисту яких висуваються підвищені вимоги. Це стосується і систем протипожежного водопостачання. Гасіння пожеж в таких будівлях пов'язане з використанням внутрішнього водопроводу і необхідністю створення необхідністю підвищених тисків.

Одним зі способів забезпечення подачі води на пожежогасіння на початковій стадії є використання ємності водонапірних баків, які повинні утримувати запаси води на 10 хвилин пожежогасіння від пожежних кранів з забезпечення максимальних витрат на інші потреби. Спосіб їх встановлення повинен дозволяти отримувати струмені зі стволів пожежних кранів (ПК) відповідної довжини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У довідкових виданнях та публікаціях за підсумками досліджень конструктивні параметри водопроводів будинків розглядаються в частині забезпечення господарсько-питних або виробничих витрат, для чого відпрацьовані відповідні розрахункові методики.

В частині ефективності пожежогасіння від внутрішніх пожежних кранів існують вимоги нормативних документів [1], де у випадках використання водонапірних баків вимагається встановлення їх з урахуванням забезпечення довжини компактної частини струменю з пожежного ствола на верхньому поверсі довжиною 4 м, а на інших не менше 6 м. У довідниковій літературі [2], [3] наведені методики визначення параметрів водопроводів, що дозволяють отримувати від пожежних кранів струмені довжиною 6 та більше метрів, що недостатньо для рішення задачі забезпечення виконання вказаних вище вимог.

Постановка завдання та його вирішення. Завданням прове-

деної роботи є розробка методики визначення висоти встановлення водонапірних баків відносно рівня розташування пожежних кранів, що забезпечує подолання лінійних втрат напору у розподільчих трубопроводах, пожежних рукавах довжиною 10, 15 або 20 м діаметром 51 або 66 мм, з урахуванням, що стволи можуть мати насадки 13, 16 або 19 мм та отримання від стволів струменю довжиною 4 м.

Залежність довжини струменю зі ствола і напору на стволі дозволяє визначити формула Люгера:

$$S_b = \frac{H}{1 + X_0 \cdot H}, \text{ м} \quad (1)$$

де: S_b - довжина струменю, м; H - напір на пожежному стволі, м; X_0 - коефіцієнт, м^{-1} .

Вирішивши зворотну задачу визначаємо:

$$H = \frac{S_b}{1 - S_b \cdot X_0}, \text{ м} \quad (2)$$

Коефіцієнт X_0 визначається за значенням діаметру насадка пожежного ствола D_0 :

$$X_0 = \frac{0,00025}{D_0 (1 + 1000 \cdot D_0)} \quad (3)$$

Визначивши необхідні напори на стволі можна вирішити задачу щодо висоти встановлення водонапірного баку за рівнянням:

$$H_{\text{бак}} = H_{\text{ПК}} = H + h_p + h_{\text{л}}, \text{ м} \quad (4)$$

де $H_{\text{бак}}$ - висота встановлення водонапірного баку відносно пожежного крану, м; $H_{\text{ПК}}$ - напір на пожежному крані, м; h_p - втрати напору у пожежному рукаві, м; $h_{\text{л}}$ - лінійні втрати напору у трубопроводах від водонапірного баку до розрахункового пожежного крану, м.

Втрата напору у пожежному рукаві визначається за значеннями опору рукав S_p та витрат зі ствола, які залежать від опору насадка ствола S_c і можуть бути визначені за формулою:

$$q_c = \sqrt{\frac{H}{S_c}}, \text{ л/с} \quad (5)$$

Лінійні втрати напору $h_{\text{л}}$ залежать від довжини трубопроводу L від водонапірного баку до найбільш віддаленого пожежного крану на верхньому поверсі. Найчастіше діаметри трубопроводів проти-пожежного водопроводу приймають по діаметру пожежного крану, тобто 50 або 70 мм. Витрата може бути прийнята по витраті з пожежного ствола. Для насадки 13 мм – 1,3 л/с, для 16 мм – 2,0 л/с, для 19 мм – 2,8 л/с.

Для спрощення розрахунку даних може бути введений коефіцієнт $f = A \cdot q_c^2$.

Остаточно висота встановлення водонапірного баку відносно відмітки розташування пожежного крану, без урахування лінійних втрат напору у трубопроводах, може бути визначена за формулою:

$$H_{\text{в}}^1 = H + S_p \cdot \frac{H}{S_c} = H \cdot \left(1 + \frac{S_p}{S_c}\right), \text{ м} \quad (6)$$

З урахуванням лінійних втрат напору у трубопроводах:

$$H_{\text{в}} = H_{\text{в}}^1 + f \cdot L, \text{ м} \quad (7)$$

Розрахункові данні наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Визначення висоти розташування водонапірного баку відносно відмітки встановлення диктуючого пожежного крану у будинках.

Діаметр трубопроводу, мм	Діаметр рукава, мм	Висота встановлення водонапірного баку для діаметрів насадків стволів, м		
		13 мм	16 мм	19 мм
50	51	4,20+0,019·L	4,42+0,044·L	-
70	66	-	4,12+0,012·L	4,22+0,023·L

Висновки. Наведена методика може бути використана для аналітичного розрахунку висоти встановлення водонапірних баків для виконання вимоги щодо отримання мінімального струменю зі ствола пожежного крану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Внутренний водопровод и канализация зданий: СНиП-2.04.01-85*. - [Чинний від 1986-07-01]. – М. Госстрой СССР, 1986 . – 80 с. – (Строительные нормы и правила).
2. Антіпов І.А. Протипожежне водопостачання / І.А. Антіпов, М.М. Кулешов, О.А. Петухова– Харків:Академія пожежної безпеки, 2004. - 255с.
3. Ольшанський В.П. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ / Ольшанський В., Дубовік О. – Харків: ЧИ „Митець”, 2005. - 235с.

А.Н. Чернуха

Методика определения высоты расположения водонапорных баков в зданиях

Предложены подходы к обеспечению эффективного использования конструктивных параметров систем противопожарного водоснабжения для надежной работы пожарных кранов в высотных зданиях.

Ключевые слова: Водонапорный бак, пожарный кран, насадок пожарного ствола.

A.N. Chernuha

Methods of determining the height of the elevated water tanks in buildings.

The paper proposed a method to determine or verify the decisions made with respect to mounting height water pressure tanks in water supply systems, fire protection of buildings for various purposes, subject to regulatory requirements.

Keywords: Water-tank, fire hydrant, fire nozzles of the barrel.

В.В. Чигрин, ад'юнкт, НУЦЗУ

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЩЕБЕНЮ, ЩО ПРИЗВОДИТЬ ДО ВИНИКНЕННЯ ДИСБАЛАНСУ ПОЖЕЖНИХ НАСОСІВ

(представлено д-ром техн. наук Ларінім О.М.)

В статті розглядається питання виникнення дисбалансу робочого колеса відцентрового пожежного насосу в результаті потрапляння щебеню в його проточну частину та виявлення закономірності найбільш небезпечного розміру щебеню.

Ключові слова: відцентровий пожежний насос, дисбаланс робочого колеса, пожежний гідрант, щільність розподілу, щебінь.

Постановка проблеми. Однією з причин передчасного виходу відцентрового пожежного насоса з ладу при гасінні пожежі можна назвати вібрацію насоса, що виникає в результаті дисбалансу робочого колеса. Він виникає при попаданні сторонніх предметів в проточну частину насоса. При проведенні статистичного аналізу на факт наявності сторонніх предметів в порожнині відцентрових насосів в пожежних частинах міста Харкова, були виявлені наступні предмети: каміння, куски метала, куски деревини тощо. Аналіз показав що найчастіше в корпусі насосу знаходять каміння щебеню та, в поодиноких випадках, сталеві болти з хвилерізів пожежної цистерни. Тобто щебінь є найбільш небезпечним предметом, який викликає дисбаланс робочого колеса.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] була розглянута проблема виникнення дисбалансу робочого колеса внаслідок потрапляння сторонніх предметів, але не була встановлена закономірність потрапляння найбільш небезпечного розміру щебеню в проточну частину відцентрового пожежного насоса.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення закономірності потрапляння найбільш небезпечного розміру щебеню в проточну частину відцентрового пожежного насоса, що приведе до дисбалансу робочого колеса.

Більше 90% пожеж [2], які виникають в містах гасяться шляхом забору та подачі води при установці пожежного автомобіля на пожежний гідрант (рис. 1). Вони встановлені на трубопроводах міської системи водопостачання. Під час забору води з пожежного гідранта порожнина пожежного насоса не захищена, як це відбувається при заборі води з водоймищ. При заборі води з водоймища в кінці всмоктувальної лінії використовується всмоктувальна сітка, конструкцією якої передбачається захист порожнини всмоктувальної лінії від потраплянь всередину сторонніх предметів. На гідранти встановлюється пожежна колонка, конструкцією якої не передбачено захист проточної частини. Внаслідок цього відбувається потрапляння сторонніх предметів, а саме щебеню, які знаходяться в системі водопостачання через пожежний гідрант та пожежну колонку в порожнину насоса.

Щебінь має 8 фракцій, які враховують різні його розміри: від 3 мм.

до 8 мм. (свро щебінь); від 5 до 10 мм; від 10 до 20 мм; від 5 до 20 мм; від 20 до 40 мм; від 25 до 60 мм; від 20 до 70 мм; від 20 до 70 мм. [3].

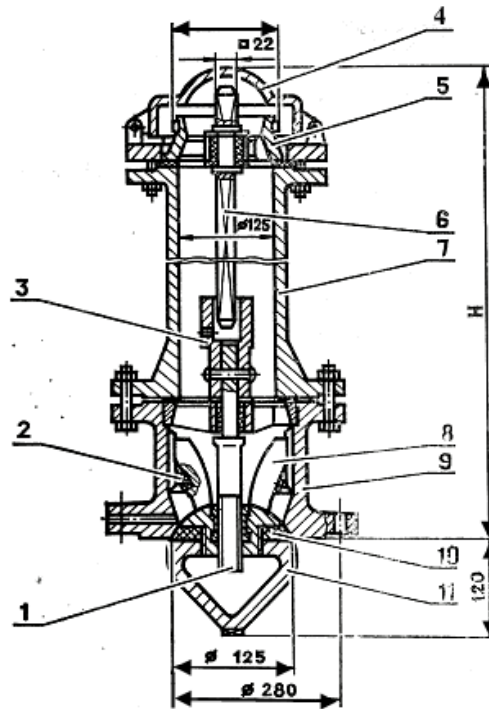


Рис. 1 – Гідрант пожежний: 1 шпindelь ; 2 ущільнення ; 3 муфта ; 4 кришка ; 5 ніпель ; 6 штанга ; 7 корпус гідранта ; 8 корпус клапана; 9 патрубок ; 10 кільце ущільнювальне ; 11 клапан .

Було проведено дослідження з метою визначення фракції щебеню, що потрапляє до порожнини насоса. Дослідження показали, що частіше всього ним є щебінь 3-ї, 5-ї та 6-ї фракції.



Рис. 2 – Місце зберігання щебеню 3-ї та 5-ї фракції на підприємстві «СПЛАВ 500»

Хід клапана пожежного гідранта становить 30 мм, що ще раз підтверджує, вибір 3-ї та 5-ї фракції розміру щебеню. Зробивши вибірку щебеню з 1000 каменів даних фракцій, яка проводилася на підприємстві «СПЛАВ 500» (рис. 2), було визначено, який саме розмір (рис. 3) та вагу (рис. 4) має щебінь, що найчастіше потрапляє та застряє в робочому колесі насоса [4].

За допомогою програмного забезпечення MATLAB було роз-

раховано ймовірність потрапляння щебеню в проточну частину пожежного насоса. Встановлені закони теоретичного розподілу по вибірці щебеню з даних фракцій.

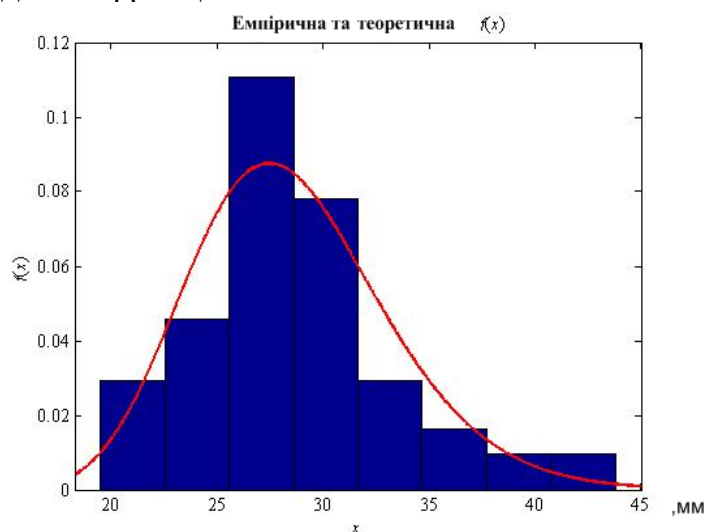


Рис. 3 – Розподіл щебеню за розмірами (при виборці із 1000 каменів)

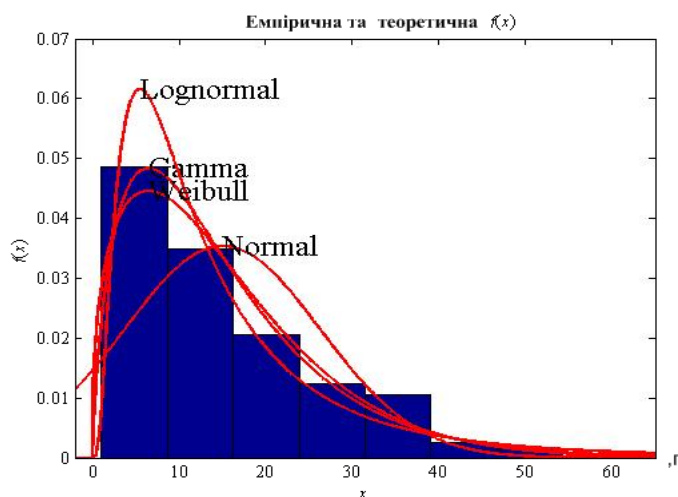


Рис. 4 – Розподіл щебеню за вагою (при виборці із 1000 каменів)

Щільність розподілу $f(x)$ - це межа відношення вірогідності попадання величини X в малий інтервал до ширини цього інтервалу, коли ширина прагне до нуля. Доводиться задавати малі, але кінцеві інтервали, і підраховувати вірогідність попадання в кожен з них. По теорії Бернуллі спроможна і незміщена оцінка ймовірності потрапляння в кожний j - й інтервал - це частість n_j / n . Тоді вибіркова щільність розподілу - це відношення частоти потрапляння n_j / n до ширини інтервалу h_j :

$$f^*(x) = \frac{n_j}{n \cdot h_j} \quad (1)$$

Побудована по (1) вибіркова щільність розподілу є шматочково - постійною, а графік - ступінчастим: на кожному j - му інтервалі її значення визначається відповідними n_j і h_j . Тому для використання формули (1) спочатку весь діапазон змінних даних $[x_{\min}; x_{\max}]$ потрібно розбити на інтервали. Зазвичай для зручності беруть інтервал

однакової ширини h , хоча це не обов'язково [5].

Ймовірність потрапляння щебеню в порожнину насоса розмірами від 14 до 45 мм. підпорядковується логнормальному розподілу. З гістограми (рис. 3) видно, що розмір щебеню від 27 до 30 мм має найбільшу вірогідність потрапляння ($f(x)=0,11$) і заклинювання в робочому колесі пожежного насосу. Середня вага даного розміру складає 11г. ($f(x)=0,035$) яка також підпорядковується логнормальному розподілу (рис. 4).

Висновки. Отримані в результаті дослідження дані дозволили зробити висновок, що найбільший дисбаланс робочого колеса відцентрового пожежного насосу викликає щебінь розміром 27-30 мм. вагою 11г. з ймовірністю потрапляння $f(x)=0,11$. Ймовірності потрапляння щебеню даного розміру підпорядковується логнормальному розподілу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чигрин В.В. Динамічні навантаження при роботі відцентрових насосів / В.В. Чигрин// Проблемы пожарной безопасности. – 2011. - №30 – С. 268-272.

2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році – МНС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до доповіді: http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html.

3. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8267-93 – [Действующий от 1995-01-01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 2009- IV.

4. Гидранты пожарные подземные. Технические условия: ГОСТ 8220-85* – [Действующий от 1987-01-01]. – М.: Межгосударственный стандарт, 2002- I.

5. Иглин С.П. Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB: учеб. пособ. / Иглин С.П. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 612 с.

В.В. Чигрин

Определение параметров щебню, который приводит к возникновению дисбаланса пожарных насосов

В статье рассматривается вопрос возникновения дисбаланса рабочего колеса центробежного пожарного насоса в результате попадания щебню в его проточную часть и выявление закономерности наиболее опасного размера щебню.

Ключевые слова: центробежный пожарный насос, дисбаланс рабочего колеса, пожарный гидрант, плотность распределения, щебень.

V.V. Chigrin

Determination of parameters to macadam which results in origin of disbalance of fire-pumps

In the article the question of origin of disbalance of driving wheel of centrifugal fireman is examined nasosu as a result of hit a macadam in his running part and exposure of conformity to law of the most dangerous size to the macadam.

Keywords: centrifugal fire pump, disbalance of driving wheel, fire hydrants, distributing closeness, macadam.

А.Я. Шаршанов, к.ф.-м.н., доцент, НУГЗУ,
А.А. Чернуха, преподаватель, НУГЗУ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ВСПУЧИВАЮЩЕГОСЯ ПОКРЫТИЯ СК-1

(представлено д-ром техн. наук Прохачем Э.Е.)

В приближении одного активно реагирующего компонента проведено математическое моделирование огнезащитного действия вспучивающегося неорганического покрытия (СК-1), нанесенного на деревянную подложку. Показана допустимость такого приближения. Для улучшения описания необходимо: 1) ввести вторую компоненту, учитывающую процесс дегидратации; 2) провести эксперименты с нанесением покрытия на инертную подложку.

Ключевые слова: математическая модель, вспучивание, температура, ксерогель.

Постановка проблемы. В связи с тем, что пожар означает существование высокотемпературных источников тепла, защита тел от нагревания остается актуальной задачей обеспечения пожарной безопасности. Распространенный способ защиты – нанесение на поверхность тела теплоизоляционных покрытий. Одним из таких покрытий является способное вспучиваться ксерогелевое неорганическое покрытие СК-1, эффективность которого была подтверждена экспериментально [1]. Целью данной работы является моделирование поведения покрытия СК-1 на основе предложенной ранее математической модели поведения вспучивающегося теплоизоляционного материала [2].

Анализ последних достижений и публикаций. Последовательное описание поведения вспучивающихся покрытий является отдельной сложной задачей. В связи с большим практическим значением рассматриваемой проблеме посвящено значительное количество работ (см. обзор [3]). Одной из задач является увязка экспериментальных данных с имеющимися теоретическими моделями. Как правило, в моделях сразу предполагается конкретный вид функциональных зависимостей с набором неопределенных коэффициентов, и задача сводится к определению численного значения этих коэффициентов. Пример такой деятельности представляет работа [4]. Указанный подход прагматичен, однако затрудняет обоснование вида зависимостей. Более последовательным является подход, опирающийся на законы сохранения. Он более последователен и позволяет хотя бы в принципе, опираясь на физические законы, как обосновывать вид зависимостей, так и оценивать сделанные упрощения. Модель такого типа [2] взята в качестве исходной в данной работе.

Постановка задачи и ее решение. В данной работе для описания поведения огнезащитного покрытия СК-1 при нагревании предлагается использовать модель, описанную в работе [2]. Основой модели является взгляд на вещество покрытия, как на смесь более простых веществ, которые при нагревании способны образовать компоненту в газовой фазе. В области температур, в которой покрытие ведет себя подобно жидкости, наличие газовой компоненты приводит к вспучиванию.

В данном предварительном исследовании предполагается несколько дополнительных упрощений:

1) состав покрытия содержит четыре компоненты - одну химически инертную (n) и одну активную компоненту (a), которая при нагревании эндотермически распадается на инертные конденсированную (c) и газовую компоненты (g);

2) вспучивание не достигает области делокализации газовой компоненты, что означает пренебрежение эффектами, связанными с потерей массы огнезащитного покрытия (как показали эксперименты, максимальная потеря массы данного покрытия достигает 20%);

3) защищаемый деревянный образец ведет себя как химически инертное вещество.

В соответствии с экспериментом [1] пространственную ситуацию можно рассматривать как одномерную. Существенная пространственная координата (x), направленная по нормали к защищаемой поверхности, отсчитывается от границы раздела дерева и защитного покрытия в сторону покрытия. В соответствии с таким взглядом состав вещества в точке с координатой x , м, в момент времени τ , с, будет задаваться набором концентраций $\rho_i(x, \tau) \equiv dm_i/dV$, где dm_i – масса i -го компонента, кг, в малом объеме dV , м³, покрытия; удельная объемная изобарная теплоемкость вещества покрытия представима в виде

$$c'_p = \sum_i \rho_i \cdot c_{p,i}, \text{ Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}, \quad (1)$$

где $c_{p,i}(T)$ – удельная массовая изобарная теплоемкость i -го компонента, Дж·кг⁻¹·К⁻¹, при абсолютной температуре $T(x, \tau)$, К. Сумма \sum_i содержит 4 слагаемых ($i = n, a, c, g$).

Концентрации $\rho_i(x, \tau)$ удовлетворяют уравнениям материального баланса

$$\frac{\partial \rho_i(x, \tau)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x} [w(x, \tau) \cdot \rho_i(x, \tau)] = R_i, \quad (2)$$

где $R_i(T, \rho)$ – объемная плотность скорости изменения массы i -го компонента, кг·м⁻³·с⁻¹, вследствие его химических либо фазовых превращений; векторным символом ρ отображено то обстоятельство, что величина R_i может зависеть от нескольких из 4-х парциальных плот-

ностей ρ_j . В соответствии с оговоренным 1-м упрощением $R_n=0$. Из предположения о том, что реализуется только реакция распада на два компонента, следуют соотношения

$$R_g = -k_g R_a, \quad R_c = -(1-k_g) R_a, \quad (3)$$

где k_g – доля массы активного компонента, переходящая при распаде в газовую фазу. Функция, задающая скорость распада активного компонента моделируется соотношением

$$R_a = -\rho_a/\tau_a \cdot \exp(-T_a/T) \cdot [k_{T1} \cdot \text{del}(T-T_1, dT_1) + k_{T2} \cdot \text{del}(T-T_2, dT_2) + k_{T3} \cdot \text{del}(T-T_3, dT_3)], \quad (4)$$

где τ_a и T_a , k_{T1} , k_{T2} , k_{T3} , T_1 , T_2 , T_3 , dT_1 , dT_2 , dT_3 – константы модели, символом $\text{del}(T, dT)$ обозначена уширенная дельта-функция.

$$\text{del}(z, dz) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{dz}{z^2 + (dz)^2}.$$

Величина $w(x, \tau)$ является усредненной по сечению покрытия скоростью движения компоненты, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, которая в соответствии с предположением 2 является одинаковой для всех компонент покрытия.

Система 4-х уравнений (2) дополняется соотношением энергетического баланса:

$$c'_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) = -Q_R, \quad (5)$$

где $\lambda(T, \rho)$ – коэффициент теплопроводности покрытия, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; Q_R – плотность потока энтальпии реакции распада, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-3}$, равная

$$Q_R = \sum_i h_i R_i = [h_a - (1-k_g) \cdot h_c - k_g \cdot h_g] \cdot R_a, \quad \text{Вт} \cdot \text{м}^{-3}, \quad (6)$$

где $h_i(T)$ – энтальпия i -го компонента в расчете на единицу его массы, $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$, взятая с учетом возможных химических и фазовых превращений.

Коэффициент теплопроводности материала покрытия λ оценивается соотношением

$$\lambda(x, \tau) = C_\lambda \cdot \lambda_0 \cdot \frac{\sum_i^{(k)} \rho_i(x, \tau) \cdot v_i(x, \tau)}{\sum_i \rho_i(x, \tau) \cdot v_i(x, \tau)}. \quad (7)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности сплошного материала покрытия, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; C_λ – меньший единицы безразмерный множитель,

зависящий от структуры остова.; символ $\sum_i^{(k)}$ обозначает сумму по всем конденсированным ($i = n, a, c$) компонентам.

Величины $v_i(T) \equiv dV_i/dm_i, \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1}$, где dV_i и dm_i – объем и масса i -го компонента в объеме dV покрытия, являются удельными объемами соответствующих компонент. В данной модели принимается, что удельные объемы конденсированных компонент постоянны, а удельный объем газовой компоненты определяется по формуле

$$v_g = \frac{R_0 \cdot T}{\mu_g \cdot P} \cdot \theta(T - T_{g.beg}) \cdot [1 - \theta(T - T_{g.end})] + \frac{R_0 \cdot T_{g.end}}{\mu_g \cdot P} \cdot \theta(T - T_{g.end}), \quad (8)$$

где $R_0 = 8314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ – универсальная газовая постоянная; μ_g – молярная масса газового компонента, $\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$; $P(x, \tau)$ – давление газа, Па, которое для локализованной газовой фазы определяется диагональными компонентами тензора напряжений покрытия в месте вкрапления газовой фазы. В данной работе предполагается, что $P = \text{const} > P_0$, где P_0 – давление во внешней среде, Па.

Функция $\theta(z)$ представляет собой ступеньку от нуля к единице при переходе к положительным значениям z . Структура соотношения (8) обеспечивает выполнение уравнения состояния идеального газа для газовой компоненты в интервале температур процесса вспучивания от $T_{g.beg}$ до $T_{g.end}$ и постоянство удельного объема при более высоких температурах.

Для разрешения системы (4+1) уравнений (2), (5), необходимо знать скорости остова $w(x, \tau)$. Последняя, как показано в работе [2], в ситуации одной газовой компоненты удовлетворяет уравнению

$$\frac{\partial}{\partial x} w(x, \tau) = -k_g \cdot R_a(T) \cdot v_g(T). \quad (9)$$

Граничными условиями к рассматриваемой системе уравнений (2), (5), (9) является отсутствие потоков массы компонент и непрерывность потоков энергии на границах. Напомним, что граница с защищаемой поверхностью ($x=0$ на рисунке 1) является неподвижной, а изменение координаты внешней границы покрытия (x_s) описывается уравнением

$$\frac{dx_s(\tau)}{d\tau} = w(x_s(\tau), \tau), \quad x_s(0) = L_0, \quad (10)$$

где L_0 - начальная толщина покрытия. Условие непрерывности потока энергии на этой границе имеет вид:

$$-\lambda \Big|_s \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_s = \alpha(T_f) \cdot (T \Big|_s - T_f), \quad (11)$$

где символ $\Big|_s$ - указывает на взятие величин у граничной поверхности; α – коэффициент теплоотдачи данной поверхности во внешнюю среду, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$; T_f – температура среды (пламени), К.

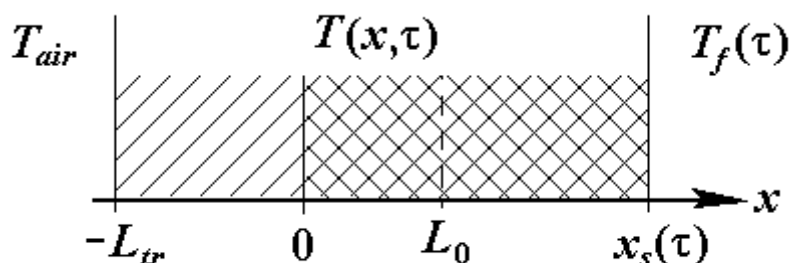


Рис. 1 – Пространственная схема прогрева: 1) $-L_{tr} < x < 0$ – защищаемая деревянная подложка; 2) $0 < x < x_s$ – защитное вспучивающееся покрытие

Условие непрерывности теплового потока на границе с деревом ($x=0$) в данной модели (инертного дерева) имеет вид:

$$-\left[\lambda_{tr} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{-0} = -\left[\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right]_{+0}, \quad (12)$$

где λ_{tr} – коэффициент теплопроводности дерева, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$; символ $\Big|_{\pm 0}$ - указывает на взятие величин на соответствующей стороне граничной поверхности.

Передача тепла в деревянной пластине описывается обычным уравнением нестационарной теплопроводности

$$c'_{p.tr} \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_{tr} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (13)$$

где $c'_{p.tr}$ - удельная объемная изобарная теплоемкость дерева, $\text{Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$. Граничное условие к уравнению (13) на границе деревянной пластины с воздухом имеет вид

$$-\lambda_{tr} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{-L_{tr}+0} = \alpha(T(-L_{tr})) \cdot [T_{air} - T(-L_{tr})], \quad (14)$$

где L_{tr} – толщина деревянной пластины, м; T_{air} - температура воздуха, К.

Описанная система решалась численно при различных соответствующих экспериментах начальных толщинах защитного покрытия $L_0 = 1 \div 3$ мм, температурах пламени $t_f = 850 \div 1150^\circ\text{C}$ и фиксированной толщине деревянной пластины $L_{tr} = 15$ мм. В результате получались

и анализировались, пространственно временные зависимости температуры покрытия, коэффициента вспучивания, коэффициента теплопроводности, доли активного компонента. Полученные модельные зависимости подгонялись под экспериментальные варьированием свободных параметров.

На рисунке 2 приведена типичная модельная зависимость температур пламени t_f (°C), внешней t_s (°C) и внутренней t_w (°C) поверхности вспучивающегося покрытия. Сравнение данных кривых с температурной зависимостью, представленной в работе [1], показывает допустимость применения такой относительно простой модели для описания действия вспучивающегося покрытия СК-1.

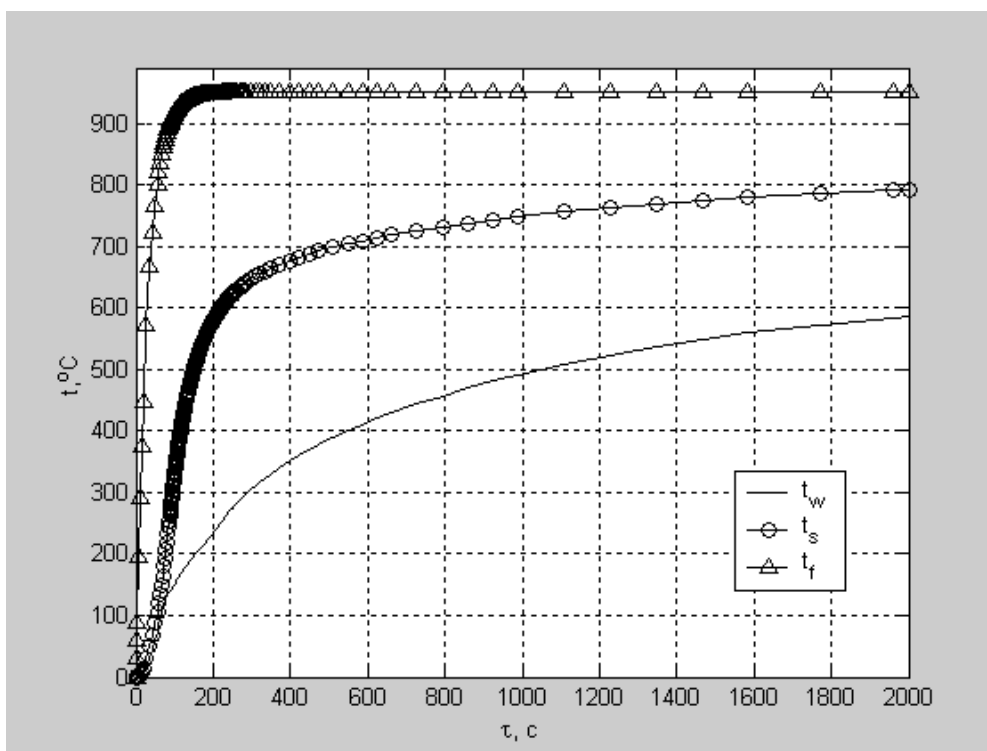


Рис. 2 – Графики модельной зависимости температур от времени огневого воздействия

Сравнение экспериментальной и модельной температурных зависимостей показывает, что для дальнейшего улучшения модели следует ее усложнить, введя дополнительно отдельную компоненту – воду, для учета процесса дегидратации. Кроме того осмотр подвергшихся огневому испытанию деревянных пластин показал, что под защитным слоем, дерево подверглось существенной деструкции. Последнее обстоятельство указывает на необходимость для задачи защиты деревянных поверхностей усложнить модель (введя в описание процесс пиролиза), а для задачи определения свойств покрытия провести эксперименты, нанося покрытие на металлические пластины (что незначительно изменит уже существующее описание).

Выводы. В приближении одного активно реагирующего компонента проведено математическое моделирование огнезащитного

действия вспучивающегося неорганического покрытия (СК-1), нанесенного на деревянную подложку. Проведено сравнение модельных результатов с экспериментальными. Показана допустимость рассмотренной модели. Из работы следует, что для улучшения описания действия защитного покрытия необходимо: 1) ввести вторую компоненту, учитывающую процесс дегидратации; 2) провести эксперименты с нанесением покрытия на инертную подложку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернуха А.А. Экспериментальное исследование температуропроводности вспучивающихся огнезащитных покрытий для древесины. / А.А. Чернуха // Проблемы пожарной безопасности. — 2011. — вып. 30. — С. 263-267.
2. Шаршанов А.Я. Математическая модель вспучивающихся огнезащитных покрытий. / А.Я. Шаршанов // Проблемы пожарной безопасности. — 2011. — вып. 30. — С. 273-280.
3. Ненахов С.А. Физико-химия вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе полифосфата аммония. / С.А. Ненахов, В.П. Пименова // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т.19., №8. — С. 11-58.
4. Страхов В.Л. Математическое моделирование работы водосодержащих вспучивающихся огнезащитных покрытий. / В.Л. Страхов, А.Н. Гаращенко, В.П. Рудзинский // Пожаровзрывобезопасность. — 2003. — Т.12., №1. — С. 39-46.

А.Я. Шаршанов, А.А. Чернуха

Математична моделювання вогнезахисної дії покриття СК-1, що спучується

У наближенні одного активно реагуючого компонента проведено математичне моделювання вогнезахисного дії нанесеного на дерев'яну підкладку неорганічного покриття (СК-1), що спучується. Показана допустимість такого наближення. Для поліпшення опису необхідно: 1) ввести другу компоненту, що враховує процес дегідратації, 2) провести експерименти з нанесенням покриття на інертну підкладку.

Ключові слова: математична модель, спучування, температура, ксерогеля.

A.Ya. Sharshanov, A.A. Chernukha

Mathematical modeling of fire swelling coatings SC-1

In the approximation of one active component reacting mathematical modeling of the intumescent flame retardant inorganic coating (SC-1) deposited on a wooden substrate. Shows the validity of this approximation. To improve the description of the need to: 1) to introduce the second component, taking into account the process of dehydration, and 2) to experiment with the coating on an inert substrate.

Keywords: mathematical model, swelling, temperature, xerogel.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.А. Абрамов, С.Н. Бесараб, А.М. Тищенко Модели начальной стадии пожара в помещении	3
В.А. Андронов, Ю.М. Данченко, О.М. Бухман Подходы к определению сроков службы огнезащитных полимерных покрытий....	10
А.А. Антошкин Научно-практический комментарий нормативных ограничений на размещение пожарных извещателей.....	19
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, А.В. Альбоций, Ю.В. Калябин Исследование термохимических превращений коксующихся полимеров при неравномерном нагреве	23
П.А. Билым, А.П. Михайлюк, К.А. Афанасенко, В.В. Христин Критерии теплостойкости полимерных композиционных материалов на начальной стадии пожара	28
А.Ю. Бугаев Достоверность расчетных характеристик предохранительного клапана при неточно известном давлении в оборудовании	33
А.В. Васильченко, Н.Н. Стец Анализ эффективности пожароубежищ высотных зданий	38
И.А. Горпинич Методы оценки площади разлива горючей жидкости при аварии железнодорожной цистерны.....	44
И.Н. Грицына, С.А. Виноградов, Р.В. Пономаренко Имитационное моделирование изменения максимальной скорости истечения струи установки импульсного действия для тушения газовых фонтанов	48
Л.В. Гусева, Е.А. Панина Модель расчета контура пожара для создания пакета обучающих программ.....	55
О.О. Калашніков Аналіз ефективності здійснення наглядової діяльності в сфері пожежної безпеки.....	59
Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко, А.И. Ивановский Определение параметров пламени при взрыве водовода из металлогидридных систем хранения.....	69
А.Н. Коленов, А.А. Киреев, Р.Г. Мелещенко Исследование огнетушащей способности пенообразующей системы $Al_2(SO_4)_3 + NaHCO_3$ с добавлением пенообразователя ТЭАС....	75
В.М. Комяк, В.К. Мунтян Постановка задачи оптимизации размещения пунктов наблюдения наземных систем видеомониторинга лесных пожаров.....	80
Н.І. Коровникова, В.В. Олійник Термічна та термоокислювальна деструкція волокна нітрон	85
В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, В.В. Колеснікова, А.І. Морозов Модернізована модель охолоджуючого жилету гірничоробітників та рятувальників.....	92

О.В. Кулаков Проблема при категоруванні за вибухопожежною та пожежною небезпекою зовнішніх кабельних споруд.....	100
В.Ю. Купка, А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв Пути повышения эффективности тушения пожаров класса В.....	105
М.В. Кустов, В.Д. Калугин Интенсификация процесса каплеобразования в атмосфере путем активного воздействия на неё мощного электромагнитного излучения.....	109
А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев Определение параметров распределительной сети для создания водяной завесы общего назначения.....	120
А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев Расчет параметров оросителей при проектировании распределительных систем установок водяного пожаротушения.....	123
Ю.В. Луценко, Є.А. Яровий Оцінка зміни якісного складу і пожежної небезпеки горючих газів підземної газифікації залежно від технологічних факторів.....	126
Н.Н. Оберемок, А.В. Прокопов Оптимизация метрологической деятельности в пожарно-спасательных подразделениях.....	130
І.В. Паснак, О.Е. Васильєва, І.О. Мовчан Експериментальне дослідження тактико-технічних параметрів комбінованого водопінного ствола.....	135
О.А. Петухова Вдосконалення випробувань на водовіддачу внутрішніх водопровідних мереж.....	145
Е.А. Петухова, В.М. Халыпа, В.А. Метелев Осесимметричная деформация цилиндрической трубы противопожарного водопровода при гидравлическом ударе.....	150
Ю.В. Попов, А.Н. Григоренко, В.А. Пономарев Влияние металлосодержащих добавок на механизмы снижения дымообразования эпоксиполимерных композиций.....	155
Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, А.Е. Басманов Выбор порогов в системах обнаружения и тушения пожара с группированием датчиков первичной информации.....	160
Є.О. Рибка Порівняння коефіцієнту спучення реактивних покриттів Ендотерм ХТ-150, Ендотерм 40202 та ОВК при різних темпах нагріву.....	169
А.И. Рыженко, Е.Ю. Бетина Моделирование полёта летательного аппарата в зоне лесного пожара.....	174
О.В. Савченко, О.О. Островерх, О.М. Семків, С.В. Волков Дослідження розповсюдження полум'я по поверхні зразків ДВП, оброблених ГУС.....	181
В.О. Самарін, О.І. Камардаш Математична модель температурних полів в кабельних лініях в умовах обмеженого теплообміну.....	187
Ю.М. Сенчихін, Ю.Ю. Дендаренко, В.В. Сировий Моделювання взаємодії елементів системи «палаючий резервуар – радіальний водяний струмінь (тепловий екран) – сусідній резервуар».....	194

В.М. Сирих, О.В. Тарахно Експертне дослідження версії виникнення пожежі внаслідок теплового самозаймання на об'єктах агропромислового комплексу.....	201
А.А. Тесленко, А.Ю. Бугаев Расчетные и проверочные алгоритмы определения параметров аварийного слива опасного вещества.....	207
Д.Г. Трезубов, Е.В. Тарахно Связь склонности материалов к самовозгоранию со взрывоопасностью пылей.....	212
К.Р. Умеренкова Пожаробезопасный транспорт. Математическая модель фазовых равновесий азота.....	216
А.М. Чернуха Визначення параметрів, що впливають на ефективність використання водонапірних баків у протипожежних водопроводах висотних будівель.....	222
В.В. Чигрин Визначення параметрів щебеню, що призводить до виникнення дисбалансу пожежних насосів.....	226
А.Я. Шаршанов, А.А. Чернуха Математическое моделирование огнезащитного действия вспучивающегося покрытия СК-1..	230

СПИСОК АВТОРОВ

Абрамов Ю.А.	3	Литвяк А.Н.	120, 123
Альбоцкий А.В.	23	Луценко Ю.В.	126
Андронов В.А.	10	Мелешенко Р.Г.	75
Антошкин А.А.	19	Метелев В.А.	150
Афанасенко К.А.	28	Михайлюк А.П.	23, 28
Басманов А.Е.	160	Мовчан І.О.	135
Бесараб С.Н.	3	Морозов А.І.	92
Бетина Е.Ю.	174	Мунтян В.К.	80
Билым П.А.	23, 28	Оберемок Н.Н.	130
Борисенко В.Г.	69	Олійник В.В.	85
Бугаев А.Ю.	33, 207	Островець О.О.	181
Бухман О.М.	10	Панина Е.А.	55
Васильева О.Е.	135	Паснак І.В.	135
Васильченко А.В.	38	Петухова О.А.	145, 150
Виноградов С.А.	48	Пономарев В.А.	155
Волков С.В.	181	Пономаренко Р.В.	48
Горпинич И.А.	44	Попов Ю.В.	155
Григоренко А.Н.	155	Поспелов Б.Б.	160
Грицына И.Н.	48	Прокопов А.В.	130
Гусева Л.В.	55	Рибка Є.О.	169
Данченко Ю.М.	10	Рыженко А.И.	174
Дендаренко Ю.Ю.	194	Савченко О.В.	181
Дуреев В.А.	120, 123	Самарін В.О.	187
Жерноклѐв К.В.	105	Семків О.М.	181
Зав'ялова О.Л.	92	Сенчихін Ю.М.	194
Ивановский А.И.	69	Сирих В.М.	201
Калашніков О.О.	59	Сировий В.В.	194
Калугин В.Д.	109	Стец Н.Н.	38
Калябин Ю.В.	23	Тарахно О.В.	201, 212
Камардаш О.І.	187	Тесленко А.А.	207
Киреев А.А.	75, 105	Тищенко А.М.	3
Ключка Ю.П.	69	Трегубов Д.Г.	212
Коленов А.Н.	75	Умеренкова К.Р.	216
Колеснікова В.В.	92	Хальпа В.М.	150
Комяк В.М.	80	Христич В.В.	28
Коровникова Н.І.	85	Чернуха А.А.	230
Костенко В.К.	92	Чернуха А.М.	222
Кривцова В.И.	69	Чигрин В.В.	226
Кулаков О.В.	100	Шаршанов А.Я.	230
Купка В.Ю.	105	Шевченко Р.И.	160
Кустов М.В.	109	Яровий Є.А.	126

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 31

Ответственный за выпуск Ю.А. Абрамов

Технический редактор А.А. Михайлюк

Подписано в печать 24.05.2012

Уч.-изд. л. 12

Печ. л. 14,12

Формат бумаги 60x84/16.

Тир. 300

Зак. 159 – 2012

Цена договорная

61023, Харків, вул. Чернишевська, 94

Електронна адреса: <http://apbu.edu.ua/rus/>

Типографія Національного університету цивільного захисту України