



Міністерство надзвичайних ситуацій України

**Академія пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля**

№9'2011

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***

Збірник наукових праць

ББК 38.96

П 46

**П 46 Пожежна безпека: теорія і практика : збірник наукових праць. –
Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – № 9. – 174 с.**

Редакційна колегія:

к.психол.н., професор *Кришталь М.А.* – головний редактор
к.пед.н., доцент *Капля А.М.* – заступник головного редактора
д.ф.-м.н., професор *Акіншин В.Д.* – науковий редактор
д.т.н., професор *Осипенко В.І.* – заступник наукового редактора
к.т.н., доцент *Поздєєв С.В.* – заступник наукового редактора
к.т.н. *Качкар Є.В.* – відповідальний секретар
д.т.н., професор *Ващенко В.А.*
д.психол.н, професор *Грибенюк Г.С.*
д.т.н., професор *Жартовський В.М.*
д.т.н., професор *Круковський П.Г.*
д.військ.н., професор *Мосов С.П.*
д.психол.н, професор *Охременко О.Р.*
к.психол.н., доцент *Бут В.П.*
к.т.н., доцент *Григор'ян Б.Б.*
к.т.н, доцент *Баракін О.Г.*
к.психол.н., доцент *Вареник В.В.*
к.психол.н., доцент *Теслюк П.В.*
к.т.н., доцент *Заїка П.І.*
к.т.н., доцент *Левченко А.Д.*
к.т.н., доцент *Стась С.В.*
к.т.н., доцент *Тищенко О.М.*
к.т.н., доцент *Цвіркун С.В.*
к.т.н., доцент *Кириченко О.В.*
к.ф.-м.н., доцент *Виноградов А.Г.*
к.т.н., доцент *Маладика І.Г.*

**Рекомендовано до видання
Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
(Протокол № 2 від 23.11.2011 р.)**

**Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 17574-6424 ПР, видане Міністерством юстиції України 21.03.11 р.**

**Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)**

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані
до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

ЗМІСТ

<i>Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Руденко О.В., Пруський А.В.</i> Дослідження надходження ¹³⁷ Cs в повітря при лісових пожежах в Чорнобильській зоні	5
<i>Бабич А.В., Барчан А.А., Буханцов А.В., Муравьев С.Д., Троян А.Л.</i> Устройство для подачи огнетушащего (флегматизирующего) состава за металлическую преграду	11
<i>Ващенко В.А., Заика П.И., Заика Н.П., Омельченко А.Н.</i> Влияние органических добавок на процессы горения нитратно-магниевых систем при различных внешних условиях.....	18
<i>Виноградов А.Г., Гаев Є.О.</i> Математичне моделювання вільного падіння сферичної водяної краплі у газовому середовищі.....	22
<i>Виноградов С.А., Грицина І.М., Качкар Є.В., Биченко С.М.</i> Визначення розмірів крапель, необхідних для гасіння газового фонтану	33
<i>Голоднов О.І., Отрош Ю.А., Ткачук І.А., Семиног М.М.</i> Визначення характеристик міцності бетону й арматури при проведенні досліджень вогнестійкості залізобетонних колон	37
<i>Жартовський С.В., Коваль О.Д., Маладика І.Г., Кришталь В.М.</i> Дослідження реологічних властивостей водної вогнегасної речовини ФСГ-2	44
<i>Жартовський В.М., Жартовський С.В.</i> Активний і пасивний протипожежний захист об'єктів з пожежним навантаженням із целюлозовмісних матеріалів	53
<i>Калиновський А.Я., Соколовський С.А.</i> Моделювання поширення ландшафтної пожежі з урахуванням вологості пального матеріалу та флуктуацій вітру	61
<i>Кириченко О.В., Акіншин В.Д., Ващенко В.А., Цибулін В.В.</i> Спалахування частинок алюмінію в продуктах розкладання нітратовмісних окислювачів та органічних речовин піротехнічних сумішей при підвищених температурах нагріву.....	65
<i>Ковалишин В.В.</i> Єдиний підхід до математичного моделювання розвитку і гасіння пожеж різними засобами.....	71
<i>Кривошей Б.І., Чигрин В.В.</i> Причини виникнення дисбалансу при роботі відцентрових насосів	77
<i>Литвиненко І.В., Єлагін Г.І.</i> Експериментальна перевірка можливості виникнення деяких пожеж в Україні у 2000-2009 рр. за механізмом теплового самонагрівання.....	82
<i>Марієвський В.Ф., Стрикаленко Т.В., Магльована Т.В., Нижник Т.Ю.</i> Ефективні дезінфектанти як важлива складова попередження епідемічних ускладнень внаслідок надзвичайних ситуацій, викликаних повенями.....	88
<i>Мосов С.П., Капля А.М., Чубань В.С., Ротар В.Б.</i> Організаційно-управлінські заходи реформування органів управління та сил цивільного захисту	93
<i>Нуянзін О.М., Поздєєв С.В.</i> Дослідження впливу конструкції вимірювальної арматури вогневих печей на адекватність результатів випробувань на вогнестійкість ..	99
<i>Поздеев А.В., Тищенко А.М., Некора О.В., Рудик І.В.</i> Влияние добавок, повышающих подвижность бетонной смеси на теплофизические характеристики при пожаре.....	106
<i>Соколовський С.А., Лагутін В.Л., Грінченко Є.М.</i> Визначення параметрів віброзахисної системи для транспортування вибухонебезпечних вантажів.....	115
<i>Тимченко А.А., Підгорний М.В., Мельник В.П.</i> Життєвий цикл створення систем моніторингу транспортування небезпечних вантажів	121
<i>Тищенко Є.О., Андрієнко М.В., Трояновська І.О.</i> Проблеми забезпечення пожежної безпеки резервуарів з нафтопродуктами	128

<i>Федоренко Р.М., Ларін О.М., Шостак Р.М.</i> Визначення параметрів надійності та накопичення пошкоджуваності залізничних цистерн для перевезення нафтопродуктів	133
<i>Яценко І.П., Каракоця А.В., Поліщук В.Д.</i> Метод збільшення потужності і динамічності автомобільного двигуна.....	140
Анотації/abstracts	153
Автори (алфавітний покажчик).....	163
Вимоги до оформлення статей.....	164

УДК 504.3.054

С.І. Азаров, д.т.н., с.н.с., ІЯД НАНУ,
В.Л. Сидоренко, к. т. н., ІДУЦЗ НУЦЗУ,
О.В. Руденко, ІЯД НАНУ,
А.В. Пруський, к. т. н., ІДУЦЗ НУЦЗУ

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДХОДЖЕННЯ ^{137}Cs В ПОВІТРЯ ПРИ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖАХ В ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ

Досліджувались зміни вмісту ^{137}Cs у продуктах згорання при пожежах в лісах
Чорнобильської зони

Ключові слова: лісова пожежа, Чорнобильська зона, цезій-137.

Постановка проблеми. Ліси за своїм призначенням та місцезнаходженням у зоні відчуження ЧАЕС виконують водоохоронозахисні, санітарно-гігієнічні та оздоровлюючі функції. Однак в результаті лісових пожеж пошкоджується або знищується живий ґрунтовий настил, підросток, підлісок та деревний ярус, змінюється структура, склад та властивості лісової підстилки і верхніх шарів ґрунту, а також мікроклімат місцезнаходження. Наслідком пірогенного впливу є післяпожежні сукцесії деревної та трав'яної рослинності з наступними змінами у віковій та формаційній структурі мохового та трав'янисто-чагарникового покриву.

У межах забрудненої радіонуклідами Чорнобильської зони (площею 1856 км²) лісові масиви займають 768 км² при середньому запасі деревини 153 м³ на 1 га та річному прирості 4,2 м. В залежності від вікової групи лісонасаджень соснові ліси мають загальний запас абсолютної сухої речовини 1025 т/га, широколистяні ліси – 1400, соснові сухотравно-лишайникові ліси – 570, чорноольхові ліси – 850 та перелоги – 80 т/га [1].

На територію 30-ти кілометрової зони ЧАЕС випало у вигляді радіоактивних випадінь приблизно $5 \cdot 10^{15}$ Бк, з них $3 \cdot 10^{13}$ Бк припадає на трансуранові елементи. Найбільша густина забруднення ґрунту сягають для ^{137}Cs понад $8 \cdot 10^{12}$ Бк/км², для ^{90}Sr – $7 \cdot 10^{12}$ Бк/км² та плутонію – $3 \cdot 10^{10}$ Бк/км² [2].

З 1990 по 2008 рр. у Чорнобильській зоні сталося 42 великі лісові пожежі якими було охоплено 16,9 тис. га лісів та 19,6 тис. га трав'яного настилу. Пожежонебезпечний сезон настає з моменту сходу снігового покриву і триває до настання стійкої дощової осінньої погоди чи утворення снігового покриву. Найбільше число лісових пожеж (65 %) припадає на весну, 25 % – на осінь та 10 % – на літо. Статистика причин виникнення лісових пожеж свідчить що 60 % пожеж пов'язано зі спалюванням відходів, халатністю та зумисними підпалами, 15 % – з екстремальними погодними умовами (іскри, блискавки, самозапалювання, розряди ліній електропередач тощо), для залишку причини не встановлені [3, 4].

В залежності від того як вогонь розповсюджується в лісі пожежі поділяються на низинні (55 %), верхові (30 %), решта – перехідні та підземні. Число великих лісових пожеж (пройдена вогнем площа понад 200 га) склало 9 %, середніх (від 100 до 150 га) – 28 % та локальних (менше 100 га) – 63 %. В широколистяних-соснових лісах сталося 45 % пожеж, в широколистяних – 20, у соснових – 10, в сухотравно-лишайникових – 10, а залишок – у чорноольхових лісах та перелогах. Число лісових пожеж на забрудненій ^{137}Cs території з рівнем радіоактивного забруднення менше 10^{10} Бк/км² склало 68 %, від $3 \cdot 10^{10}$ до 10^{11} Бк/км² – 23 %, а залишок на території з рівнем радіоактивного забруднення понад 10^{12} Бк/км² [5].

Стохастичний характер процесів виникнення, розвитку, розповсюдження пожеж та варіації ступеню горіння рослинних асоціацій на території з різною густиною забруднення радіонуклідами в залежності від сезону року обумовлює необхідність оцінки радіаційної ситуації, прогнозу пострадіаційних наслідків та розробки заходів щодо мінімізації

радіоактивного впливу [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом, особливо після Чорнобильської аварії, виконано багато досліджень щодо вторинної небезпеки радіоактивних аерозолів при пожежах [7, 8]. Різні автори вважають різні параметри визначальними для надходження радіоактивних продуктів згорання до повітря при лісових пожежах на території Чорнобильської зони [9, 10].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Дослідження продовжуються, оскільки до цього часу немає надійних і достовірних даних, які однозначно визначають надходження ^{137}Cs до повітря при лісовій пожежі.

Формулювання цілей статті. Дана робота присвячена пошуку параметрів, які характеризують утворення та розповсюдження радіоактивних продуктів згорання, вимивання та сухого осадження радіоактивних часток, аерозолів та летючої золи з димової хмари, визначення їх дисперсного складу, активності тощо.

Виклад основного матеріалу. Дослідження проводились у польових умовах у Чорнобильській зоні на різних відстанях (7 та 15 км) від центру лісової пожежі, що знаходився на відстані 20 км у західному напрямку від ЧАЕС біля селищ Товстий Ліс та Старі Шепеличі, де виникло декілька загорань рослинних угруповань (лісові масиви) при перехідній пожежі. Дана територія характеризується вузьким західним слідом радіоактивного забруднення шириною близько 1,5 км з рівнем радіоактивного забруднення ґрунту ^{137}Cs $10^6 \div 10^7$ Бк/кг. Пожежі тривали дві доби в результаті чого вогнем було знищено 30 га лісу. Струмінь диму сягав висоти 1,2 км, а довжина димового шлейфу до 20 км.

За даними метеостанції "Чорнобиль" загальна метеорологічна та радіологічна ситуація перед лісовою пожежею у точках спостереження (7 та 15 км) визначалась такими показниками: напрямок вітру північно-західний, швидкість у діапазоні $1,5 \div 3$ м/с, пориви $7 \div 8$ м/с, середня температура повітря – 19 °С, питома об'ємна активність ^{137}Cs у приземному шарі атмосфери знаходилась у діапазоні $(1,2 \div 5,1) \cdot 10^{-5}$ Бк/м³.

Під час пожежі проводився відбір проб випадінь радіоактивних продуктів горіння на шлейфі димової хмари за стандартною методикою з допомогою марлевих планшетів [11], розташованих на рівній відкритій місцевості, а також натурні дослідження концентрації аерозолів та зважених частинок диму за допомогою блоків детектування БДАС-03П фірми "Ізотоп". Виміри проводились з використанням гамма-детектора фірми "ORTEC" з надчистого германію, ефективність якого становила 40 %, а роздільна здатність 1,95 кеВ при $E=1,33$ МеВ (^{60}Co).

У блоці детектування БДАС-03П було реалізовано неперервний режим відбору дисперсної фази диму на фільтрувальну смугу типу ЛФС-2-2,5 з одночасною реєстрацією об'ємної активності проб.

На місці попелища після лісової пожежі бралися зразки зольного залишку та проводився дисперсійний аналіз нелеткої золи шляхом осадження твердодисперсійної фази. Фракції золю виділяли методом седиментографічного аналізу з використанням лабораторних центрифуг [12].

Тривала відсутність дощів, низька питома вологість повітря при досить високій середній температурі дозволили провести виміри густини радіоактивних випадінь на сліді димового шлейфу протягом декількох діб з експериментальною похибкою $(5 \div 15)$ %.

На рис. 1, 2 наведено гістограми розподілу розмірів аерозольних часток продуктів згорання в залежності від активності ^{137}Cs на різних відстанях від місця лісової пожежі.

З наведених експериментальних даних можна бачити, що на відстанях до 7 км в основному випадають грубодисперсні фракції діаметром від 0,1 до 15 мкм з активністю ^{137}Cs $(100 \div 300) \cdot 10^{-3}$ Бк/м³, а на відстані 15 км дрібнодисперсна фракція діаметром від 0,01 до 1,0 мкм з активністю ^{137}Cs $(5 \div 25) \cdot 10^{-3}$ Бк/м³.

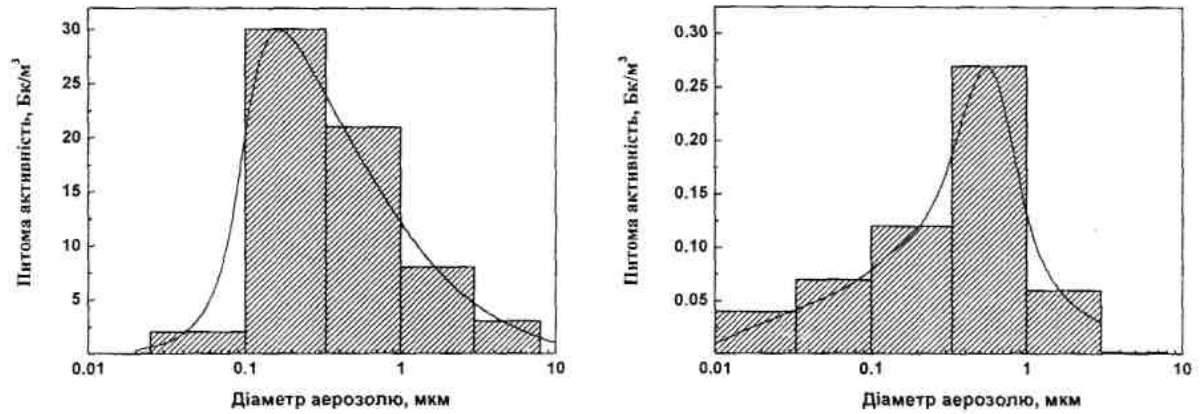


Рисунок 1. Розподіл діаметрів аерозольних часток продуктів згорання в залежності від концентрації ^{137}Cs в них на відстані 7,0 км (ліворуч) та 15 км (праворуч) від місця пожежі.

На рис. 2 подано розподіл часток продуктів згорання в залежності від їх діаметра. У середньому частки продуктів згорання на 55 % складаються з різних смол, на 25 % із сажі та на 20 % з летючої золи і довго (протягом 5 діб) утримуються в атмосфері.

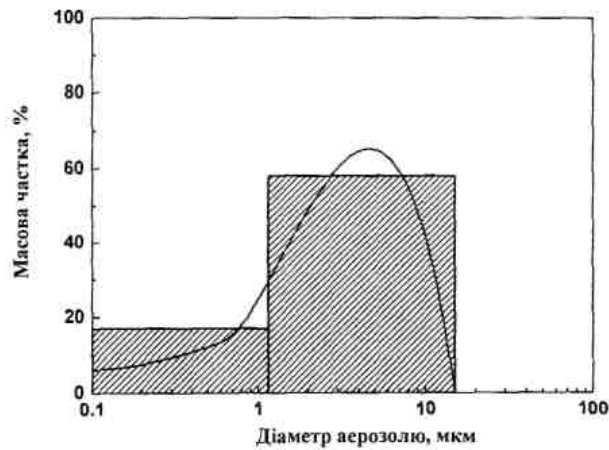


Рисунок 2. Гістограма розподілу фракцій часток продуктів згорання в залежності від їх діаметра.

З рис. 1, 2 видно, що розподіл густини активності легких часток у повітрі за критерієм Колмогорова при значимості 0,05, не суперечить логнормальному закону [13]:

$$\begin{cases} G(r_0) = \frac{N(r_0)}{N_p} = 0,5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln r_0 - \ln r_g}{\sqrt{2 \ln \beta_g}} \right) \right] \\ g(r_0) = \frac{n(r_0)}{N_p} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r_0 \ln \beta_g}} \exp \left[- \left(\frac{\ln r_0 - \ln r_g}{\sqrt{2 \ln \beta_g}} \right)^2 \right], \end{cases} \quad (1)$$

де $N(r_0)$ – концентрація ^{137}Cs у складі аерозольної частинки, радіусом r_0 ;
 N_p – повна концентрація ^{137}Cs у складі аерозольних часток;
 $n(r_0)$ – питома концентрація ^{137}Cs ;
 $r_g = 2,74 \cdot 10^{-6}$ м;
 $\beta_g = 2,18$ – стандартне геометричне відхилення.

Очевидно, що $G(r_0)$ зв'язана з диференціальною функцією співвідношенням:

$$G(r_0) = \int_0^{r_0} g(\zeta) d\zeta, \quad (2)$$

де ζ – змінна інтегрування.

На рис. 3 наведено розрахований для 24 проб дисперсійний склад аерозольних часток зі шлейфу димової хмари.

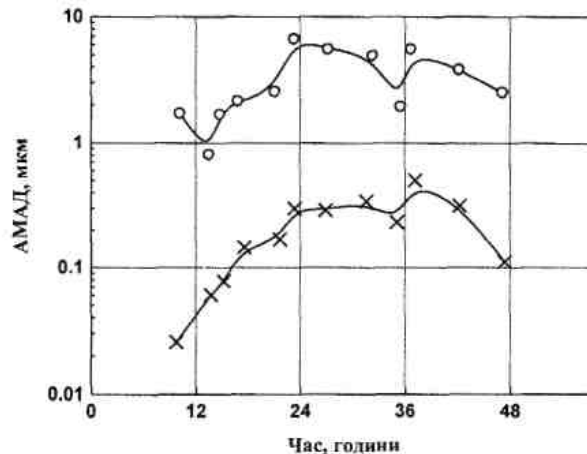


Рисунок 3. Розрахований медіанний аерозольний діаметр (АМАД) легких аерозольних часток (точки відбору на відстані ○ – 7 км та × – 15 км від епіцентру лісової пожежі).

Як видно з рис. 3 аерозольні частинки диму з ^{137}Cs на відстані 15 км від місця лісової пожежі були з АМАД $(0,01 \div 1,0)$ мкм та $\sigma = (1,5 \div 2,2)$.

Відомо, що частки радіоактивного диму з аерозольним діаметром менше 1,0 мкм в основному будуть затримуватися в альвеолярному відділі легень людини $(35 \div 55)\%$ і вони найбільш небезпечні у радіологічному відношенні.

Отримані дані свідчать про те, що вміст ^{137}Cs у приземному шарі атмосфери за рахунок лісових пожеж різко зростає. При цьому розрахункові оцінки вказують на те, що для людини, яка знаходиться на відкритій місцевості без засобів захисту органів дихання протягом трьох годин на відстані 10 км від місця лісової пожежі у Чорнобильській зоні, доза внутрішнього інгаляційного опромінення може скласти $0,02 \div 0,08$ мЗв.

Утворення і розповсюдження радіоактивного диму буде визначатися конкретним видом лісової пожежі, фізико-хімічними процесами горіння та димоутворення, мікрофізикою та агрегатним станом радіоактивних продуктів згорання, а також конкретною метеорологічною ситуацією. Радіоактивний дим (сажа, попел та волога), піднімаючись вгору, поступово буде осаджуватися на поверхню землі в залежності від розподілу часток продуктів згорання за розмірами [5, 6, 14].

Інтенсивність осадження часток диму з атмосфери на поверхню ґрунту буде визначатися, в основному, двома факторами: "сухим" гравітаційним турбулентним осадженням та вимиванням опадами. Окрім того, осадження часток диму може відбуватися за рахунок конденсації вологи та процесам дифузії.

На рис. 4 представлено зміну інтенсивності випадів часток диму з ^{137}Cs на шлейфі димової хмари в період лісової пожежі на різних відстанях від місця пожежі.

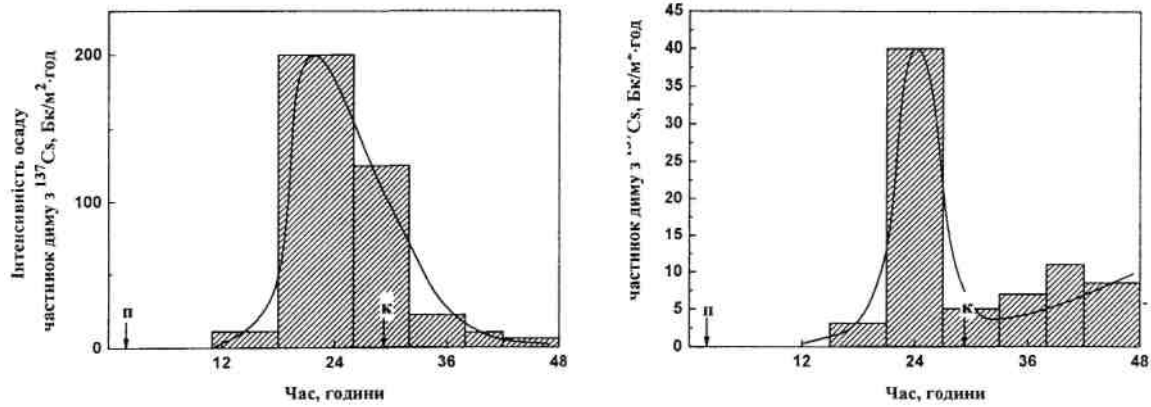


Рисунок 4. Зміна інтенсивності випадень часток диму з ^{137}Cs на відстані 7,0 км (ліворуч) та 15 км (праворуч) від місця пожежі (п – початок пожежі, к – кінець пожежі).

З наведених на рис. 4 даних можна бачити, що різке підвищення густини випадень обумовлено вимиванням з атмосфери радіоактивних часток диму, утворених при лісовій пожежі.

На рис. 5 представлена гістограма розподілу фракції нелеткої золи (%) за масою, а на рис. 6 гістограма розподілу активності ^{137}Cs у зольному залишку.

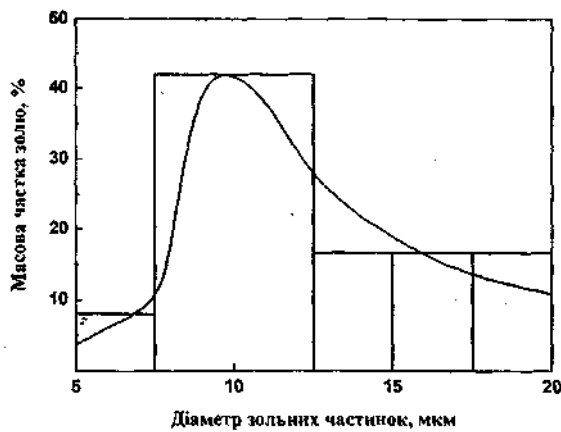


Рисунок 5. Розподіл фракцій нелеткої золи у лісовій підстилці

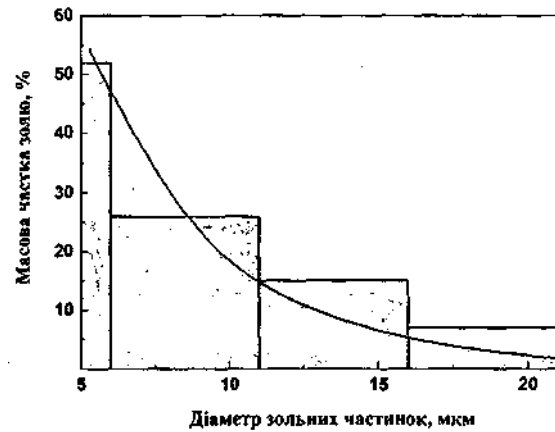


Рисунок 6. Розподіл активності ^{137}Cs в зольному залишку лісової підстилки

Густина забруднення згорілої підстилки становила $(70\div 900)$ $\text{кБк}/\text{м}^2$ і була покрита радіоактивними зольними частками розміром $10\div 20$ $\mu\text{м}$ з питомою активністю забруднення ^{137}Cs $(0,6\div 1,5)$ $\text{кБк}/\text{кг}$, які можуть стати вторинним джерелом радіаційного забруднення навколишнього середовища за рахунок дефляції [15].

Висновки. Таким чином, у результаті проведених досліджень в натурних умовах (реальної лісової пожежі в Чорнобильській зоні) отримані дані, які можна застосувати при оцінці зовнішнього опромінення від випромінювання ^{137}Cs від радіоактивної хмари та від сліду випадень на земну поверхню, а також внутрішнього опромінення людей за рахунок вдихання радіоактивного диму та вживання продуктів харчування, забруднених Cs, що може обумовити додаткові дозові навантаження для населення, що проживає поблизу 30-км зони.

Перспективи подальших досліджень. Метою подальших досліджень за даним напрямком є вивчення процесів надходження вторинних радіонуклідів (стронцію-90 та трансуранових елементів) в атмосферне повітря, їх розповсюдження, міграцію і осідання на земну поверхню, а також оцінювання радіаційного ризику для населення від продуктів пожеж, що виникали або можуть виникнути в лісах, забрудненими Чорнобильськими радіонуклідами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лес и Чернобыль (Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС, 1986–1994 гг.) / Под ред. В.А. Игнатъева. – Минск: Изд-во "Стенор", 1994. – 248 с.
2. Чернобыльская катастрофа / Гл. ред. В.Г. Барьяхтар. – К.: Наукова думка, 1995. – 558 с.
3. Азаров С.И. Оценка пожарной опасности территорий, загрязненных радионуклидами / С.И. Азаров, А.А. Однолько // Лесное хозяйство. – 1996. – № 3. – С. 15–16.
4. Азаров С.И. Оценка предрасположения ландшафтов Чернобыльской зоны к пожарам / С.И. Азаров // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. – К.: Наукова думка, 1996. – № 3. – С. 204–208.
5. Азаров С.І. Оцінка радіаційних наслідків лісових пожеж в Україні // С.І. Азаров / Український географічний журнал. – 2001. – № 2 – С. 52–54.
6. Азаров С.И. Загрязнение атмосферы ^{137}Cs при лесных пожарах в Чернобыльской зоне // С.И. Азаров / Радиационная биология. Радиозкология. – 1996. – Т. 36, Вып. 4. – С. 474–483.
7. Молодых В.Т. Радиозкологические последствия лесных пожаров. – Минск, 1993. – 17 с. – (Препр. / ИРЭП-И).
8. Однолько А.А. Исследование вторичной опасности при пожарах объектов с повышенным загрязнением радионуклидами: автореф. дис... канд. техн. наук: ВИПТШ МВД РФ. – М., 1995. – 18 с.
9. Будик А.К. Огородников Б.И. Радиоактивные аэрозоли при пожарах на территориях загрязненных продуктами Чернобыльской аварии / А.К. Будик, Б.И. Огородников // Радиационная биология. Радиозкология. – 1995. – Т. 35, Вып. 1. – С. 102–112.
10. Процюк В.П. Вторинний підйом радіоактивних аерозолів при виконанні агротехнічних операцій, осушенні водойм, лугових та лісових пожежах: автореф. дис... канд. техн. наук: ІПБ АЕС НАН України. – К., 2009. – 21 с.
11. Методичні рекомендації "Пробовідбір повітря, води, ґрунту, донних осадів та атмосферних випадів для визначення вмісту радіонуклідів. – К., 1998. – 29 с.
12. Методические указания "Оперативная оценка доз облучения населения при радиоактивном загрязнении территорий воздушным путем". (МУ 2.6.1.2153-06). С-Пб.: ФГУН СПбНИИРГ, 2007. – 56 с.
13. Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию / Под ред. Б.Ф. Садовского. – М.: Мир, 1987. – 280 с.
14. Загрязнение воздуха и легких. Пер. с англ. / Под ред. Е.Ф. Ахаронсона. – М.: Атомиздат, 1980. – 180 с.
15. Махонько К.П. Ветровой подъем радиоактивной пыли с подстилающей поверхности / К.П. Махонько // Атомная энергия. – 1992. – Т. 77, Вып. 5. – С. 523-531.

УДК 614.841

А.В. Бабич, ВС Украины (г. Харьков),
А.А. Барчан, менеджер, (г. Донецк),
А.В. Буханцов, м.н.с., Харьковский ГУСХ (г. Харьков),
С.Д. Муравьев, к.т.н., с.н.с., ЗАО «Специзналадка АСУ», (г. Харьков),
А.Л. Троян, ГУ МЧС АР Крым (г. Симферополь)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДАЧИ ОГNETУШАЩЕГО (ФЛЕГМАТИЗИРУЮЩЕГО) СОСТАВА ЗА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПРЕГРАДУ

Предложена динамическая телескопическая конструкция, обеспечивающая пробивку металлической стенки и прокладку магистрали для подачи состава в аварийную полость. Математически обоснована возможность реализации устройства и приведен вариант его конструктивного исполнения.

Ключевые слова: устройство, металлическая преграда, огнетушащий и флегматизирующий состав, подача состава.

Постановка проблемы. Практически единственным способом ликвидации (предотвращения) аварийной ситуации, вызванной процессами термической активности в замкнутых металлических объемах (цельнометаллический бункер, элементы транспортной системы и пр.), является удаление пожаровзрывоопасного продукта. Альтернативой могло бы стать подавление очагов термической активности путем охлаждения продукта непосредственно в объеме и размыкание треугольника взрываемости (флегматизация).

Обладая рядом преимуществ, способ не нашел практического применения по причине отсутствия технических средств прокладки магистрали для подачи состава к очагу аварии.

Анализ последних достижений и публикаций. Анализ и разработке подходов по созданию динамических и статистических систем посвящены работы [1 - 3 и др.].

Постановка задачи и ее решение. Использование динамической телескопической системы [1] для прокладки магистрали к очагу, хранящемуся продукту, скажем, в отдельно стоящем металлическом бункере, проблематично по двум основным причинам:

- отсутствие надсилосного этажа практически исключает возможность работы устройства через загрузочное отверстие;
- при прокладке магистрали через стенку хранилища, при пробивке последней телескопические элементы системы испытывают воздействие остродинамической нагрузки, приводящей к потере их несущей способности.

Выходом из создавшегося положения может быть снижение нагрузок на несущие элементы при пробивке отверстия.

Известно, что увеличение размера отверстия меньшего диаметра требует значительно меньших усилий, чем пробивка отверстия окончательного размера [2]. Следовательно, предварительно пробив в стенке (преграде) отверстие, можно снизить усилие на элементы устройства, а используя явление гидравлического удара (рис. 1), исключить на них осевое воздействие при пробивке отверстия меньшего диаметра. В этом случае кинетическая энергия разогнанных элементов (поршня и бойка), не связанных жестко с головным элементом, расходуется на пробивку отверстия меньшего диаметра.

Процессы, происходящие в жидкости, носят волновой характер. Однако если время прохождения волной давления столба жидкости меньше половины характерного времени волны прямого гидравлического удара (характерно для рассматриваемого случая), может быть принята гипотеза о мгновенном распространении возмущений [3]. В дальнейших расчетах пренебрегаем

силами трения о стенки головного элемента, т. к. для столба жидкости менее метра погрешность такого допущения не превышает долей процента [4]. Без большой погрешности можно пренебречь и потерями, связанными с истечением жидкости в зазоры между сопрягаемыми поверхностями головного элемента поршня и бойка. Даже при сопряжении по ходовой посадке (H9/f9) уменьшение максимального давления составляет менее процента [5]. Кроме того, считаем абсолютно жесткими поршень и боек. Деформация стенок головного элемента происходит в упругой области, но в силу малости первой по сравнению с диаметром не оказывает существенного влияния на величину импульса давления.

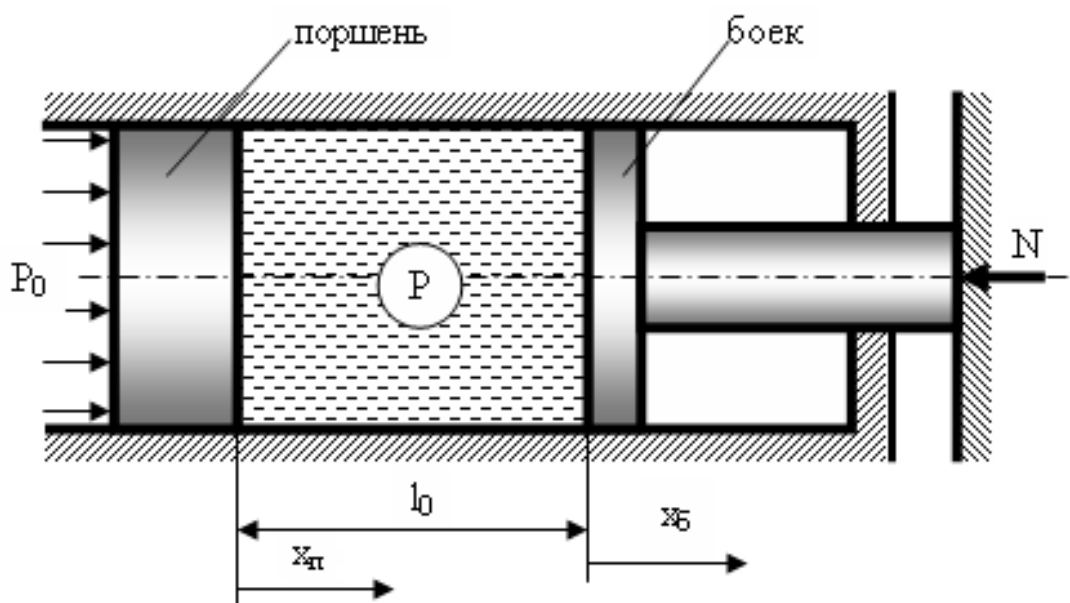


Рис. 1.- Принципиальная схема головной части устройства

С учетом принятых допущений давление в каждой точке жидкости в любой момент времени одинаково и определяется выражением:

$$D = D_0 + D_{\text{э}}, \quad (1)$$

где P_0 - давление рабочего тела (газа), разгоняющего динамическую систему, в момент достижения ею преграды (давление последствия);

$P_{\text{ж}}$ - давление, создаваемое в жидкости в результате гидравлического удара и определяемое уравнением ее состояния:

$$D_{\text{э}} = \hat{E}_0 \cdot \frac{W_0 - W}{W}, \quad (2)$$

в котором K_0 – модуль объемного сжатия жидкости;

$W_0 = \pi \cdot r_1^2 \cdot l_0$ – объем жидкости до сжатия;

$W = \pi \cdot (r_1 + u)^2 \cdot (l_0 - x_{\text{п}} + x_{\text{б}})$ – объем сжатой жидкости;

r_1 и l_0 – соответственно внутренний диаметр головного элемента и высота столба жидкости до сжатия;

x_p , x_6 и u – перемещение поршня, бойка и боковой поверхности головного элемента соответственно.

С учетом входящих величин выражение (1) примет вид:

$$D = D_0 + \hat{E}_0 \cdot \left[\frac{l_0 \cdot r_1^2}{(1 - \delta_i + \delta_a) \cdot (r_1 + u)^2} - 1 \right]. \quad (3)$$

Величины перемещений x_p , x_6 и u определим из уравнений движения элементов.

Уравнение движения поршня:

$$m_p \cdot \ddot{x}_p = -P \cdot \pi \cdot r_1^2 \quad (4)$$

с начальными условиями: $x_p|_{t=0} = 0$ и $\dot{x}_p|_{t=0} = V_0$, (5)

где V_0 - скорость соударения бойка со стенкой.

Уравнение движения бойка:

$$m_6 \cdot \ddot{x}_6 = P \cdot \pi \cdot r_1^2 - N \quad (6)$$

с начальными условиями: $x_6|_{t=0} = 0$ и $\dot{x}_6|_{t=0} = V_0$. (7)

В выражениях (4) и (6): m_p и m_6 - соответственно массы поршня и бойка; N - усилие внедрения меньшей ступени бойка в пробивку (усилие пробивки).

В технических расчетах (с достаточной степенью точности) усилие пробивки можно описать синусоидальной зависимостью вида [6]

$$N = N_m \cdot \sin(K_N \cdot x_6), \quad (8)$$

в котором N_m является величиной максимального усилия пробивки, а K_N - коэффициентом, учитывающим податливость деформируемого участка.

Следует отметить, что выражение (8) имеет физический смысл только на участке первой гармоники.

С учетом (8) уравнение движения бойка примет вид:

$$m_6 \cdot \ddot{x}_6 = P \cdot \pi \cdot r_1^2 - N_m \cdot \sin(K_N \cdot x_6). \quad (9)$$

Для написания уравнения движения стенки головного элемента, двумя сечениями, перпендикулярными оси и находящимися на единичном расстоянии, вырежем кольцо, в котором двумя радиальными плоскостями, образующими между собой единичный угол $d\theta$, выделим элементарный объем стенки (рис. 2).

После приложения давления, стенка начнет деформироваться, к моменту времени t внутренняя поверхность элемента переместится на величину u , а на торцах возникнут внутренние тангенциальные усилия N_θ . Считаем, что внутренние осевые усилия отсутствуют из-

за близости деформируемого участка к краю устройства, что позволяет принять гипотезу об отсутствии сопротивления свободных концов деформированию.

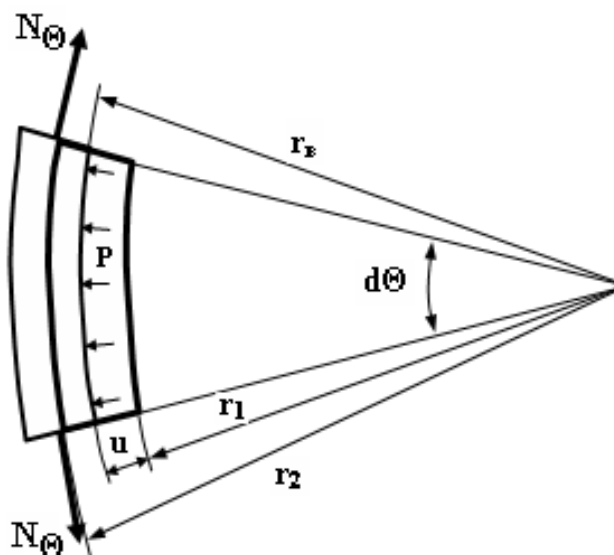


Рис. 2. Схема деформирования стенки

Уравнение движения элемента стенки тогда запишем в виде:

$$dm \cdot \ddot{u} = P \cdot r_b \cdot \sin \frac{d\Theta}{2} - 2 \cdot N_\Theta \cdot \sin \frac{d\Theta}{2}, \quad (10)$$

где $dm = \rho \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot \frac{d\Theta}{2}$ - масса элемента;

r_2 - наружный радиус стенки.

Окружные напряжения на произвольном радиусе r для толстостенного цилиндра определяются выражением [7]:

$$\sigma_\Theta = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \cdot D = \left| \frac{r_1}{r_2} = k \right| = \frac{k^2}{r_1 - k^2} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r^2} \right) \cdot D. \quad (11)$$

Величина давления P одинакова для любого r и ее удобно выразить через перемещение внутренней поверхности стенки:

$$u = \frac{r_1}{E} \cdot \left(\frac{1 + k^2}{1 - k^2} + \mu \right) \cdot D, \quad (12)$$

где E - модуль упругости первого рода материала стенки;

μ - коэффициент Пуассона.

Тогда

$$\sigma_{\Theta} = \dot{A} \cdot \frac{k^2}{(1-\mu) \cdot k^2 + \mu + 1} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r}\right) \cdot \frac{u}{r_1}. \quad (13)$$

Величина N_{Θ} является интегральной характеристикой тангенциальных напряжений σ_{Θ} по толщине стенки δ :

$$N_{\Theta} = \int_{(\delta)} \sigma_{\Theta} \cdot dr = \frac{\dot{A}}{r_1} \cdot \frac{k^2}{(1-\mu) \cdot k^2 + \mu + 1} \cdot \left(1 + \frac{r_2^2}{r}\right) \cdot u \times \\ \times \left[r_2 - r_1 - r_2^2 \cdot \left(\frac{1}{r_2 + u} - \frac{1}{r_1 + u} \right) \right]. \quad (14)$$

Полагаем $(r_1+u) \approx r_1$ и $(r_2+u) \approx r_2$; и тогда

$$N_{\Theta} = \dot{A} \cdot \frac{1 - k^2}{(1-\mu) \cdot k^2 + \mu + 1} \cdot u. \quad (15)$$

Подставляя полученное выражение в (10) и учитывая, что $\sin(d\Theta/2) \approx d\Theta/2$, получаем уравнение движения стенки головного элемента, замыкающее систему уравнений (3), (4), (9) с начальными условиями (5) и (7).

Конструктивно головной элемент устройства может быть выполнен по схеме, представленной на рис. 3.

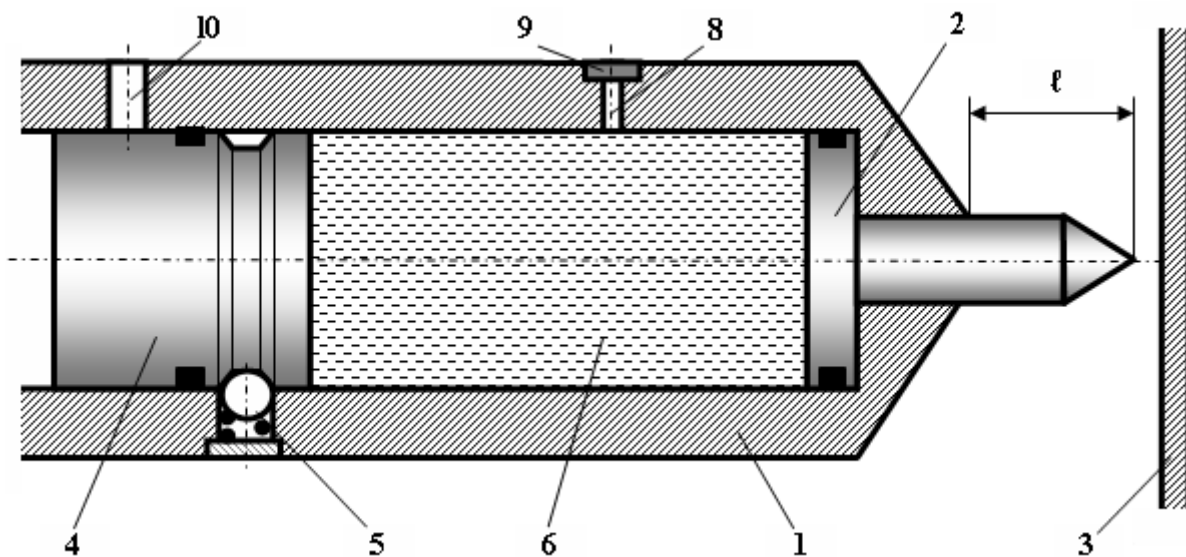


Рис. 3. Вариант конструкции головного элемента устройства
1 - головной элемент; 2 – боек; 3 - стенка хранилища (преграда);
4 – поршень; 5 - легко снимаемая связь (фиксатор); 6 – жидкость;

7 - уплотнительные кольца; 8 - дренажное отверстие;
9 – пробка; 10 - система выхлопных отверстий

В стенке головного элемента 1 выполнено радиальное отверстие 8, заглушенное снаружи пробкой 9, и система выхлопных отверстий 10, перекрываемых в исходном положении боковой поверхностью поршня 4.

Для установления геометрических параметров устройства рассмотрим процесс пробивки. При соударении бойка 2 со стенкой 3 давление в гидравлической камере стремительно возрастает, и боек внедряется в стенку хранилища. Под действием гидродинамического давления выбивается пробка 9, и начинается истечение жидкости через отверстие 8. Однако потери жидкости вследствие ее истечения невелики (за время пробивки) из-за самопроизвольного запираания зазоров при гидравлическом ударе [5].

Скорость движения головного элемента 1 остается практически неизменной, и отверстие 9 приближается к заднему торцу бойка 2. Для того чтобы отверстие 8 было открыто, необходимо, чтобы расстояние от заднего торца бойка 2 до дренажного отверстия 8 было не менее величины выхода меньшей ступени бойка за пределы головного элемента 1. Расстояние от переднего торца поршня 4 до выхлопных отверстий 10 также должно быть не менее величины 1 для исключения возможности вскрытия гидравлической камеры через отверстия 10.

Достигнув стенки 3, головной элемент расширяет предварительно пробитое бойком 2 отверстие и проходит через стенку. Продолжается истечение из гидравлической камеры жидкости 6, и поршень 4 приближается к отверстию 8. К моменту подхода переднего торца поршня 4 к отверстию 8 выхлопные отверстия 10 должны быть открыты для выхода охлаждающего состава, поэтому расстояние от дренажного отверстия 8 до выхлопных - 10 должно быть не менее осевого размера поршня 4.

На цилиндрической поверхности меньшей ступени бойка 2, в головной ее части целесообразно выполнить выступающие режущие кромки, которые, надсекая стенку 3, создают в ней концентраторы напряжений и этим снижают усилие на головной элемент 1.

Целесообразно предложенное устройство выполнить в виде съемной оконечной части головного элемента. Это позволит, имея набор концевых частей, в зависимости от прочности преграды максимально использовать энергетические возможности устройства без дополнительных ударных нагрузок на элементы при гашении избыточной энергии бойка и поршня.

Выводы.

1. Предложено использовать динамическую телескопическую систему [1] для прокладки магистрали к очагу.
2. Для снижения нагрузок на телескопическую систему разработана конструктивная схема ее головного элемента.
3. Математически обоснована возможность реализации устройства, что подтверждает работоспособность головного элемента.
4. Предложенная конструкция обеспечивает прокладку магистрали в окрестность очага аварии через металлическую стенку и подачу через нее охлаждающего (флегматизирующего) состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Декларац. Пат. 35106 А Україна, МКВ⁶ А 62 С 31/22. Динамічний привід пристрою для гасіння пожежі / Альбоцій В.М., Єлізаров В.В., Муравйов С.Д. (Україна); НДВ № 5 - № 990084620; Заявл. 12.08.1999; Опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2.
2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке [Текст] / В.П. Романовский – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

3. Родько С.Я., Муравьев С.Д., Брагин А.П. О влиянии некоторых геометрических параметров формующих камер пресс-пушек на импульс давления в жидкости // Импульсная обработка металлов давлением. Межвузовский темат. сборник науч. трудов. - Вып. 12. - Харьков, 1984. - С. 111-115.

4. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах [Текст] / И.А. Чарный. – М.: Гостехиздат, 1954. – 234 с.

5. Мацукин Ю.Г. Исследование гидродинамической штамповки на пресс-пушке [Текст]: дисс. канд. техн. наук: 05.07.04. – Х., 1966. – 305 с.

6. Богоявленский К.Н. Гидропластическая обработка металлов [Текст] / К.Н. Богоявленский, В.А. Вагин, А.Н. Кобышев, перевод с болг. Г.К. Петкова, Д.И. Чалева – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.: ил.

7. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов [Текст] / Г.С. Писаренко – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.

УДК 536.241.46

В.А. Ващенко, д.т.н., проф., ЧГТУ,
П.И. Заика, к.т.н., доц., Н.П. Заика, А.Н.Омельченко, АПБ им. Героев Чернобыля

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ НИТРАТНО-МАГНИЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

Приведены термодинамические расчеты равновесия температуры и состава продуктов сгорания смесей магний + нитрат натрия + органическая добавка (парафин, стеарин, нафталин, антрацин) для давлений $P = 0.1...250$ кг/см² и коэффициента избытка окислителя $\alpha = 0.1.. .6.0$, установлены возможные концентрационные пределы их горения при различных внешних условиях.

Ключевые слова: металлизированные конденсированные системы, органические добавки, нитратно-магниевые смеси.

Постановка проблемы. Рассматривается влияние добавок парафина, стеарина, нафталина и антрацена на температуру продуктов горения, состав продуктов сгорания с учетом коэффициента избытка окислителя.

Постановка задачи и ее решение. Термодинамические методы расчета металлизированных конденсированных систем (МКС) широко используются в практике проектирования изделий на основе МКС различного назначения [1-3]. Они позволяют рассчитывать температуру, состав и свойства продуктов сгорания МКС и, что очень важно, судить о возможных концентрационных пределах их горения при различных внешних условиях (давлении, начальной температуры, доли воздуха, участвующего в процессе горения, и др.).

Термодинамические расчеты равновесной температуры и состава продуктов сгорания рассматриваемых смесей проводились в соответствии с разработанными методиками [4,5]. При расчетах учитывалась возможность образования только тех газообразных и конденсированных продуктов, для которых в настоящее время известны термодинамические функции:

газы - O, N, Mg, Na, O₂, O₃, N₂, N₃, NO, NO₂, N₂O, Mg₂, MgO, Na₂, NaO, Na₂O, Na₂O₂, H, C, H₂, OH, H₂O, H₂O₂, NH, NH₂, NH₃, N₂H₄, NHO, C₂, C₃, CO, CO₂, C₃O₂, OH, CH₂, CH₃, CH₄, CHO, CON₂, CN, CHN, C₂N, C₂H₂, C₂H₄, C₂N₂, MgH, MgOH, MgO₂H₂, NaH, NaOH, Na₂O₂H₂;
конденсаты - Mg^K, Na^K, MgO^K, Na₂O^K, O^K, NaOH^K, H₂O^K.

Все расчеты проводились на ПЭВМ, совместимых с IBM PC, AT и XT, по специально разработанным пакетам прикладных программ.

Влияние добавок парафина, стеарина, нафталина и антрацена на температуру продуктов горения T_г. Установлено, что независимо от природы добавки кривая T_г(α), также как и в случае двойной смеси магний + нитрат натрия, при разных давлениях имеет максимум (T_г)_{max} (например, рис. 1). Влияние же добавки на температуру T, заключается в следующем.

Во-первых, при введении добавок парафина, нафталина и антрацена в смесь значения T_г при $\alpha = 0.1$ и смеси с добавкой стеарина, больше, чем при $\alpha = 6.0$.

Во-вторых, введение добавки стеарина в смесь независимо от коэффициента избытка окислителя и давления приводит к заметному уменьшению T_г. Введение же добавок парафина, нафталина и антрацена в смесь приводит к заметному уменьшению T, независимо от α только в больших α ($\alpha > 5.0$), наоборот, увеличение добавок указанных веществ области пониженных давлений, в области же повышенных давлений для приводит к возрастанию и T_г.

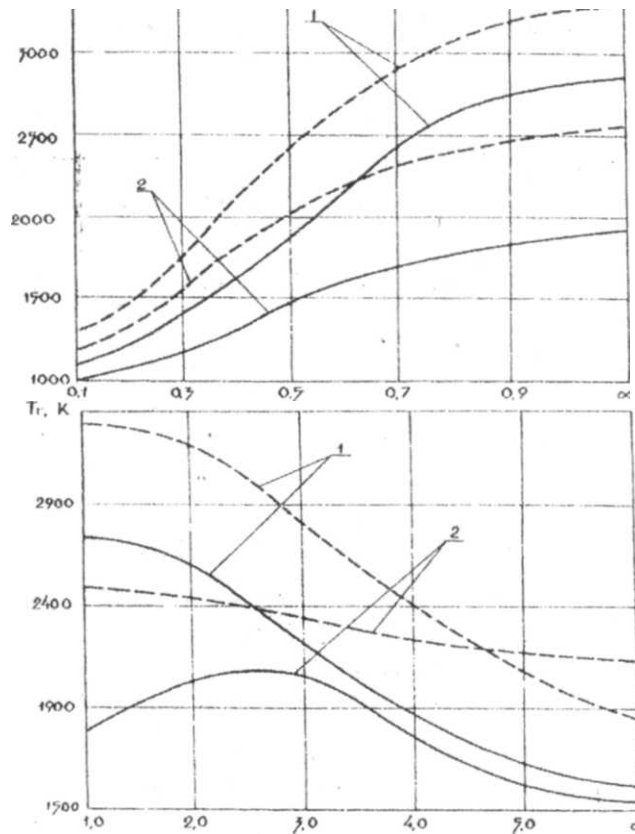


Рисунок 1 - Влияние добавок нафталина на зависимость равновесной температуры продуктов сгорания смеси магния с нитратом натрия от коэффициента избытка окислителя:

- 1 - 5% нафталина; 2 - 20% нафталина;
- При давлении $P = 0.1 \text{ кг/см}^2$;
- При давлении $P = 250 \text{ кг/см}^2$;
- а) кривые для соотношений $\alpha = 0.1 \dots 1.0$;
- б) кривые для соотношений $\alpha = 1.0 \dots 6.0$

В-третьих, при введении добавок стеарина, нафталина и антрацена в смесь происходит смещение положения максимума (T_g)_{max} в сторону избытка окислителя ($\alpha(T_g)_{\text{max}} = 0.9 \dots 1.0$ для двойной смеси на $\alpha(T_g)_{\text{max}} = 2.0 \dots 3.0$ для тройной смеси), чего не наблюдается при введении добавки парафина в смесь. При этом увеличение давления от 0.1 до 250 кг/см, например, при введении добавки парафина в смесь практически не сказывается на положении указанного максимума, а в случае введения добавок стеарина, нафталина и антрацена в смесь - максимум смещается в сторону стехиометрии ($\alpha(T_g)_{\text{max}} = 2.0-3.0$ для $P = 0.1 \text{ кг/см}$ на $\alpha(T_g)_{\text{max}} = 0.9 \dots 1.0$ для $P = 250 \text{ кг/см}$). И, наконец, увеличение добавки парафина в смеси независимо от давления практически не сказывается на характере зависимости $T_g(\alpha)$, в то время как увеличение добавок стеарина, нафталина и антрацена в смеси при пониженных давлениях приводит к смещению положения максимума в сторону стехиометрии, а при повышенных давлениях - также не сказывается на характере зависимости $T_g(\alpha)$.

Влияние добавок парафина, стеарина, нафталина, и антрацена на состав продуктов сгорания. Введение в смесь добавок парафина, стеарина, нафталина и антрацена приводит к заметное изменению качественного и количественного состава продуктов сгорания. По данным расчета независимо от природы добавки основными продуктами сгорания (десятыи и сотые доли) являются: газы - H_2 , N_2 , CO , Na , Mg ; конденсаты - Mg , MgO . Если сравнить полученный состав продуктов сгорания с составом продуктов сгорания

двойной смеси, то можно увидеть, что при наличии добавок в смеси среди газообразных продуктов сгорания отсутствуют O_2 и MgO , а среди конденсированных продуктов сгорания - Na_2O

Из результатов расчетов (например, рис. 2) можно заключить, что также, как и в случае двойной смеси, качественный и количественный состав продуктов сгорания наиболее сильно зависит от коэффициента избытка окислителя и менее сильно от давления. При этом, природа добавки практически не сказывается на характере полученных кривых.

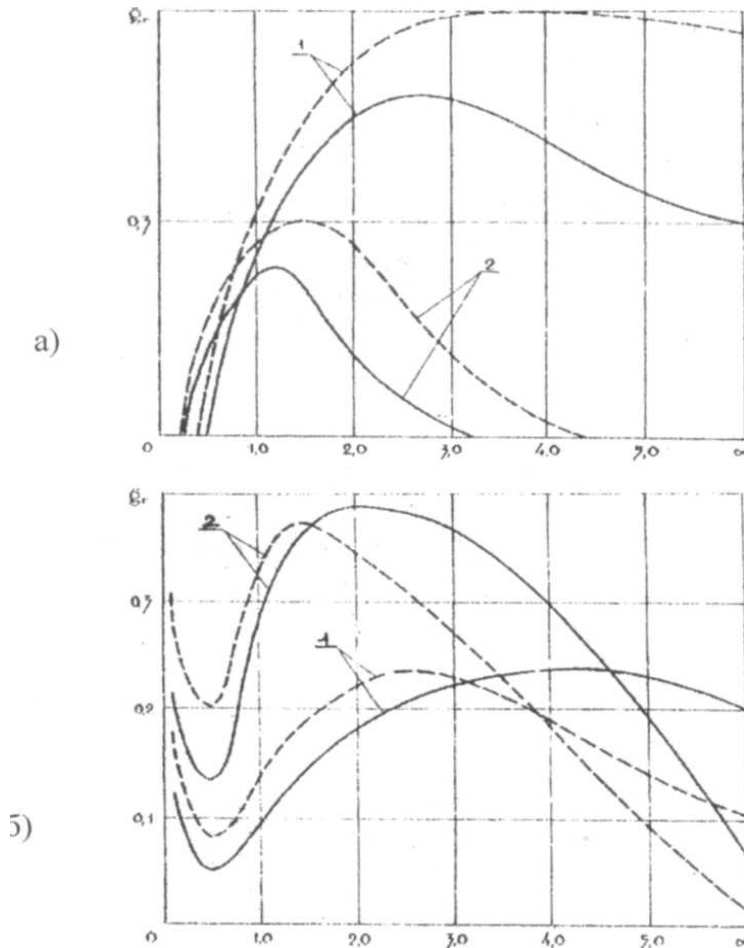


Рисунок 2 - Влияние добавок нафталина на зависимость от α объемного содержания CO^r (а) и Na^1 (б) в продуктах сгорания смеси магния с нитратом натрия:
 1 - 20% нафталина; 2 - 5% нафталина; при давлении $P = 0.1 \text{ кг/см}^2$;
 при давлении $P = 250 \text{ кг/см}^2$;

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что при введении добавок парафина, нафталина, антрацена в нитратно - магниевую смесь значение температуры продуктов горения заметно уменьшается, независимо от коэффициента избытка окислителя, а также приводит к заметному изменению качественного и количественного состава продуктов сгорания.

Перспективы последующих исследований. При исследованиях металлизированных конденсированных систем не в полной мере изучены термодинамические расчеты этих систем и влияние органических добавок на процессы горения нитратно – магниевых систем при различных внешних условиях. Целью последующих исследований является обоснование использования органических добавок при разработке пиротехнических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шидловский А.А., Сидоров А.И., Силин Н.А. "Пиротехника в народном хозяйстве" - М: Машиностроение, 1978, 231 с.
2. Силин Н.А., Ващенко В.А., Кашпоров Л.Я. и др. "Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем". М.: Машиностроение, 1982, 232 с.
3. Ващенко В.А. "Прогнозирование оптимальных значений температуры и состава продуктов в волне горения, скорости ее распространения по многокомпонентным металлизированным системам" - М.: Деп. в ВИНТИ 18.05.94, № 24 - 1994.
4. Ващенко В.А. "Проектування оптимальних технологічних режимів взаємодії хвиль горіння з металізованими конденсованими системами" ВісТі АІНУ, 1995,2, с. 12-19.
5. Ващенко В.А. "Высокотемпературные технологические процессы взаимодействия концентрированных источников энергии с материалами". Монография. М.: Деп. в ВИНТИ 07.08.96, № 2 - 1996, 408 с.
6. Ващенко В.А."Термодинамічні розрахунки температури та складу процесів згорання нітратно-цирконієвих сумішей / В.А.Ващенко, О.В.Кириченко, В.М.Тупицький // Пожежна безпека:теорія і практика: Зб.наук.пр.АПБ ім. Героїв Чорнобиля-Черкаси, №6 2010-С.62-65.

УДК 533.6.011.6:614.628

А.Г. Виноградов, к.ф.-м.н., доц., АПБ ім. Героїв Чорнобиля
Є.О. Гаєв, д.т.н., проф., Ін-т гідромеханіки НАН України

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ СФЕРИЧНОЇ ВОДЯНОЇ КРАПЛІ У ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Визначено умови застосування різних апроксимацій аеродинамічного опору сферичної частинки, порівнюючи їх із такими для законів Стокса і Ньютона. На їх основі побудовано графіки усталеної швидкості падіння краплі й довжини, на якій вона досягається, в залежності від її радіуса. Пропонується штучне „ламінарне” завдання опору, що дає наближений розв’язок рівнянь руху за законом Ньютона. Отримано аналітичні формули для поступового наближення швидкості крапель до граничного (усталеного) значення і запропоновано масштаби для найбільш зручного аналізу їх руху.

Ключові слова: сферична частинка і крапля, швидкість вільного падіння, аеродинамічний коефіцієнт, математична модель.

Постановка проблеми. Незважаючи на значне поширення протипожежних систем на основі розпилених водяних струменів (РВС), фізичні механізми їх руху та взаємодії на даний час досліджені недостатньо. В нормативних документах, які регламентують їх застосування, мало висвітлені особливості фізичних процесів, що протікають при використанні таких систем. Розрахункові формули, що використовуються при їх проектуванні, виготовленні та експлуатації, в переважній більшості є емпіричними і не завжди спираються у своїй основі на фундаментальні наукові дослідження [1]. В той же час, фізичні процеси, які впливають на ефективність застосування протипожежних РВС, є складними та взаємозалежними, зі складною часовою динамікою.

У зв’язку з широким застосуванням розпиленої води для гасіння пожеж та теплового екранування необхідно мати детально розроблену теоретичну основу для аналізу процесів формування РВС та їх взаємодії з повітряним середовищем в осередку пожежі. Дослідження закономірностей руху крапель води в повітрі є необхідною частиною даної задачі.

Встановлено, що краплі типового для РВС розміру $0,1 \div 1,5$ мм під час руху зберігають сферичну форму, а тому для їх теоретичного аналізу можна застосовувати відомі закономірності руху твердих сферичних тіл у неперервному газовому середовищі. Однак у більшості існуючих досліджень використовують спрощені функціональні залежності, які дозволяють отримувати не надто складні розрахункові формули. В багатьох випадках це призводить до значних похибок під час розрахунків.

Типовими прикладами таких спрощень є застосування лінійної (закон Стокса) або квадратичної (закон Ньютона) залежності сили опору повітря від швидкості руху краплі [2, 3]. Насправді ці закони виконуються в обмежених інтервалах значень числа Рейнольдса, а реальна залежність є набагато складнішою. Її встановлення потребувало багато зусиль експериментаторів у різних галузях науки та техніки, і навіть сьогодні є спроби її уточнення, [9]. Для різних інтервалів Re використовують різноманітні апроксимації, що значно краще, ніж закони Стокса і Ньютона, відповідають експериментальним даним, хоча й суттєво ускладнюють математичне дослідження [4, 7, 8]. Для того, щоб віддати перевагу тій чи іншій апроксимації, необхідно провести додаткові дослідження, порівнюючи емпіричну залежність із теоретичними.

Математичне моделювання руху крапель у складі РВС [5] свідчить про те, що заключна частина їх траєкторій представляє собою вільне падіння зі швидкістю, величина якої є близькою до так званого усталеного значення швидкості вільного падіння, яке

називають також швидкістю парашутування [6] або витання, седиментації [7]. Після досягнення цього значення швидкість краплі надалі не змінюється, оскільки вага краплі врівноважується силою опору повітря.

Отже, існує проблема вибору найкращої (точної та зручної) апроксимації коефіцієнту опору та її застосування до аналізу вільного руху крапель у повітряному середовищі. Граничними випадками для них є закони Стокса або Ньютона, які дають, як правило, аналітичні формули, що, однак, обмежені певним діапазоном значень Re . Якщо ж виникає сумнів у можливості застосування цих законів, необхідно знати, яка з існуючих апроксимацій аеродинамічного коефіцієнту є найбільш прийнятною для використання в цих умовах (найбільш зручну за математичною формою та в той же час достатньо близьку до „еталонної” емпіричної залежності).

Постановка завдання. Для детального аналізу існуючих функцій апроксимації залежності аеродинамічного коефіцієнта від числа Рейнольдса, необхідно побудувати відповідні графіки та порівняти їх із відомими експериментальними даними. Ще більш глибоку інформацію надасть дослідження швидкості парашутування та довжини шляху, на якому вона досягається.

Оскільки для заданих параметрів зовнішнього середовища (повітря) швидкість парашутування залежить лише від розміру краплі, необхідно встановити обмеження на цей розмір, при яких можна застосовувати розрахункові формули на основі закону Стокса або закону Ньютона. Крім того, необхідно визначити залежність швидкості парашутування краплі від її розміру в тому інтервалі розмірів, де неможливо застосовувати закони Стокса або Ньютона. Із цією метою необхідно скористатися попередньо визначеною апроксимацією залежності аеродинамічного коефіцієнта від числа Рейнольдса та виконати чисельне інтегрування розрахункового рівняння за допомогою відповідної комп’ютерної програми.

Аналіз апроксимацій залежності аеродинамічного коефіцієнта

Сила опору повітря під час руху твердого сферичного тіла в повітряному середовищі виникає внаслідок нерівномірного розподілу аеродинамічного тиску p на його поверхні; „напівемпірично” її приймають пропорційною квадрату локальної швидкості відносно повітря V та площі міделевого перерізу тіла $S = \pi d^2/4$:

$$F = \iint_{\Omega} p(d\Omega) \cdot d\Omega = C_F \cdot \frac{\rho_n \cdot V^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (1)$$

де Ω – елемент поверхні тіла, d – його діаметр, ρ_n – густина повітря і C_F – коефіцієнт аеродинамічного опору, що встановлюється емпірично і є у фокусі даної роботи.

У деяких теоретичних дослідженнях приймається, що аеродинамічний коефіцієнт C_F є константою, яка не залежить від швидкості руху тіла; її значення приблизно приймають 0,5 або, частіше, 0,44. Проте з експериментальних досліджень відомо, що аеродинамічний коефіцієнт для тіл сферичної форми має складну залежність від числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho_n \cdot d \cdot V}{\mu}, \quad (2)$$

де $\mu = \rho_n \cdot \nu$ – динамічна в'язкість повітря.

На рис. 1 кривою 1 представлено цю емпіричну залежність у широкому діапазоні чисел Рейнольдса [4]. Аналіз емпіричної залежності $C_F(Re)$ свідчить про те, що вона плавно змінюється

$$\text{від} \quad C_F = \frac{A}{Re}, \quad A = 24 \quad - \quad \text{при } Re < 1 \quad (3)$$

$$\text{до} \quad C_F = \text{const} \approx 0,44 \quad - \quad \text{при } 600 < Re < 2 \cdot 10^5. \quad (4)$$

При $Re \approx 3 \cdot 10^5$ залежність $C_F(Re)$ має різкий спад, який називають «кризою опору».

Враховуючи (1) і (2), неважко переконатися, що умові (3) відповідає лінійна залежність сили опору повітря від швидкості сферичного тіла (закон Стокса), а умові (4) –

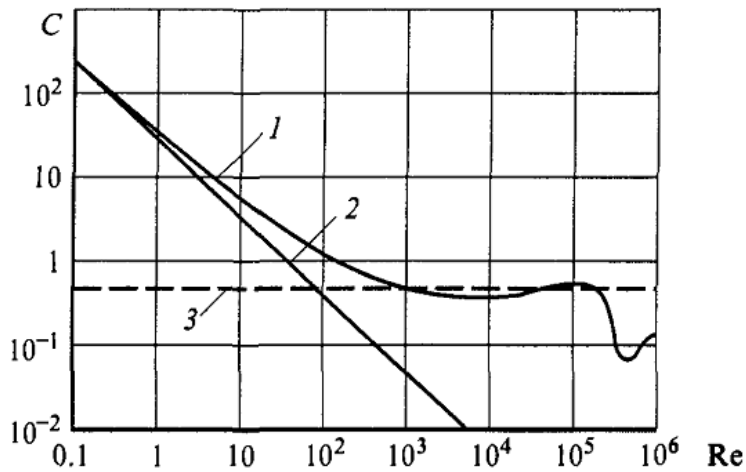


Рисунок 1 – Залежність $C_F(Re)$ за роботою [4]:
1 – за експериментом, 2 – закон Стокса,
3 – закон Ньютона.

квадратична залежність (закон Ньютона). На рис. 1 прямими 2 і 3 представлені залежності, що відповідають законам Стокса і Ньютона.

Але для математичного моделювання руху водяних крапель ці два наближення мають обмежене застосування внаслідок того, що, як показує розрахунок, типові розміри та швидкості руху крапель у розпилених струменях для значної частини їх траєкторій відповідають проміжному інтервалу чисел Рейнольдса $1 < Re < 600$. Якщо до точності математичного моделювання пред'являються високі вимоги, необхідно застосувати

більш складну апроксимацію для емпіричної залежності $C_F(Re)$, яка відповідає заданому в задачі інтервалу чисел Рейнольдса.

Емпірична залежність (так звана стандартна крива опору), складена Релеєм, представлена реперними точками в табл.1, за якими й побудована крива 1, рис. 1 [4].

Таблиця 1 – Значення аеродинамічного коефіцієнта сферичного тіла в залежності від числа Рейнольдса [4]

Re	C_F	Re	C_F	Re	C_F	Re	C_F
0,1	240	5	6,9	200	0,77	10000	0,41
0,2	120	10	4,1	500	0,55	20000	0,45
0,5	49,5	20	2,55	1000	0,46	50000	0,49
1	26,5	50	1,50	2000	0,42	100000	0,48
2	14,4	100	1,07	5000	0,39	200000	0,42

Для різних інтервалів чисел Рейнольдса запропоновано багатьма дослідниками велику кількість різноманітних апроксимацій. Згідно з поставленою задачею, необхідно виконати порівняння цих функцій з наведеною емпіричною залежністю. Із цією метою за допомогою математичних пакетів було виконано обчислення й побудовані графічні залежності значної кількості знайдених у літературних джерелах (наприклад, [2, 4, 9]) апроксимацій на одному графіку з емпіричною залежністю $C_F(Re)$. В результаті було відібрано найточніші апроксимації (5) – (9) для достатньо широкого інтервалу чисел Рейнольдса. Для порівняння розглянуто також апроксимацію (10), яка є однією з найпростіших:

$$C_F = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt[3]{Re}}, \quad [4]; \quad (5)$$

$$C_F = \frac{24}{Re} \cdot \left(1 + 0,065 \cdot Re^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad [8]; \quad (6)$$

$$C_F = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} + 0,4, \quad [4]; \quad (7)$$

$$C_F = \left(0,352 + \sqrt{0,124 + \frac{24}{Re}} \right)^2, \quad [4]; \quad (8)$$

$$C_F = 8 \cdot \left(\frac{3}{Re} + \frac{0,45}{Re^{\frac{4}{9}}} + 0,042 \right), \quad [4]; \quad (9)$$

$$C_F = \frac{13}{\sqrt{Re}}, \quad [4]. \quad (10)$$

Відповідні графіки наведені на рис. 2 і рис. 3.

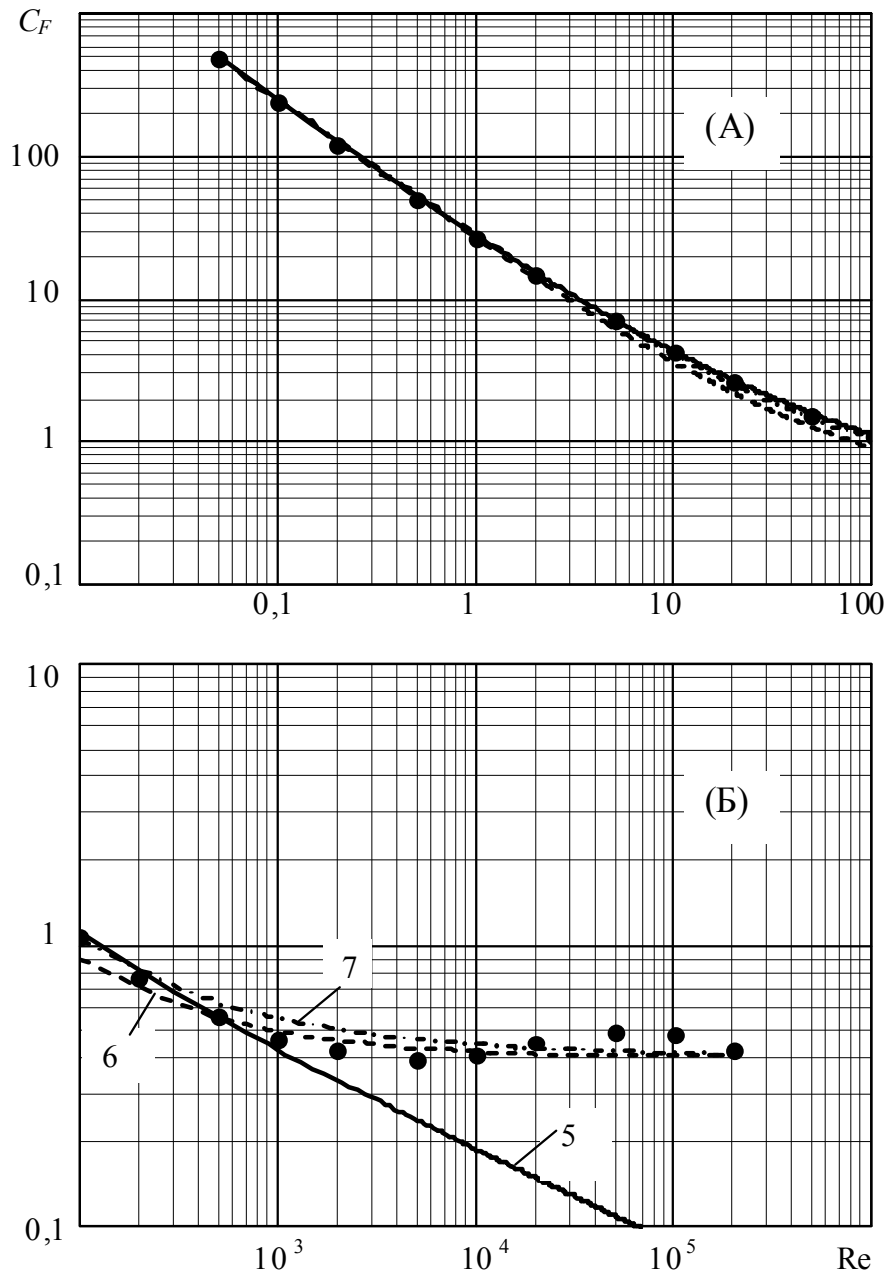


Рисунок 2 – Графіки апроксимацій (логарифмічний масштаб). Крпки – експеримент (за даними табл. 1); суцільна крива – функція (5), пунктир – функція (6), штрихпунктир – функція (7).

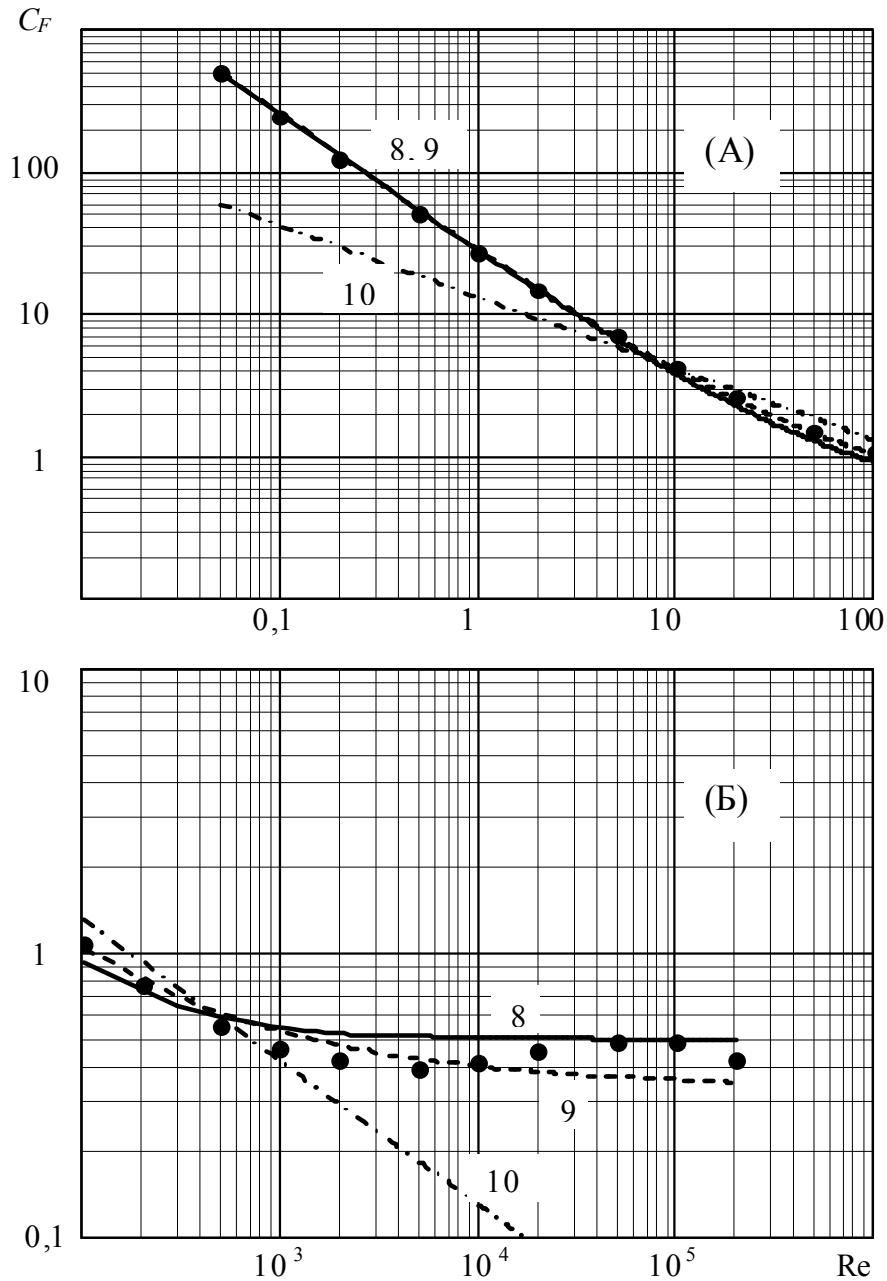


Рисунок 3 – Графіки апроксимацій (логарифмічний масштаб). Крпки – експеримент (за даними табл. 1); суцільна крива – функція (8), пунктир – функція (9), штрих-пунктир – функція (10).

Отже, проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що апроксимація (5) відповідає експериментальним даним в інтервалі значень $0,1 < Re < 1000$. Функції (6) – (9) є придатними практично в усьому діапазоні $0,1 < Re < 2 \cdot 10^5$, що є важливим для РВС (для крапель у складі РВС Re може досягати значень $5 \cdot 10^3$). Функція (10) є доволі близькою до експерименту лише в інтервалі $3 < Re < 1000$. В даній роботі були досліджені також декілька інших апроксимацій $C_F(Re)$, але виявилось, що вони мають значно гірше погодження з емпіричною залежністю, а тому їх графіки на рис. 2 і 3 не представлені. Також зауважимо, що жодна з наведених апроксимацій не відображає згаданої вище „кризи опору”. Це явище пояснюють сьогодні особливостями вихроутворення за рухомою сферою у інтервалі значень

$10^5 < Re < 10^7$ [10]. Нові дослідження вказують на можливість зсуву „кризи” до менших значень Re [9].

Таким чином, при необхідності, з наведених функцій можна зробити вибір, керуючись необхідним інтервалом значень Re , а також її зручністю для подальшого математичного аналізу.

Залежність усталеної швидкості падіння краплі від її діаметру

Під час вільного падіння краплі її швидкість поступово наближається до деякого сталого значення, яке, залежно від галузі використання, називається усталеною швидкістю вільного падіння, парашутуванням [8], або витанням [7]. Після досягнення цього значення швидкість краплі надалі не змінюється, оскільки вага краплі mg врівноважується силою опору повітря (1).

Значення усталеної швидкості можна вирахувати з рівняння балансу вказаних сил (нехтуючи силою Архімеда):

$$\rho_v \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot g = C_F \cdot \frac{\rho_n \cdot V^2}{2} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (11)$$

де ρ_v та ρ_n – густина води та повітря відповідно.

Використовуючи (2), (3) і (4), з даного рівняння можна знайти наступні вирази для усталеної швидкості вільного падіння краплі (через діаметр d або радіус r краплі) :

для $Re < 1$ (при виконанні закону Стокса (3)):

$$V_S = \frac{4gd^2\rho_v}{3A\mu} = \frac{16}{3A} \cdot \frac{gr^2}{\nu} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_n}; \quad (12)$$

для $Re > 600$ (при виконанні закону Ньютона (4)):

$$V_N = \sqrt{\frac{4}{3C_F} \cdot \frac{gd\rho_v}{\rho_n}} = \sqrt{\frac{20}{3} \cdot \frac{\rho_v}{\rho_n} gr}, \quad (13)$$

де $A=24$ (для ламінарного обтікання, $Re < 1$) та $C_F = 0,44$. Обидва закони дають принципово різні прогнози. За Стоксом, швидкість парашутування зростає як квадрат розміру частинки (краплі) та пропорційна відношенню густини двох фаз ρ_v/ρ_n . За Ньютоном вона пропорційна кореню від розміру та ρ_v/ρ_n і не залежить від в'язкості газового середовища ν .

Тепер розглянемо у певному сенсі обернене питання: для яких крапель виконується лінійний закон (3), а для яких – квадратичний (4)? Якщо підставимо (12) в (2) і застосуємо умову $Re < 1$, знайдемо обмеження на діаметр краплі, за якого при вільному падінні виконується закон Стокса:

$$d_S < \sqrt[3]{\frac{18\mu^2}{g\rho_n\rho_v}} = \sqrt[3]{18} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu^2}{g\rho_n\rho_v}} \quad (14)$$

Аналогічно, використовуючи (13) і умову $Re > 600$, знайдемо обмеження на радіус краплі, виходячи з виконання закону Ньютона при вільному падінні:

$$d_N > 30 \sqrt[3]{\frac{10C_F\mu^2}{g\rho_n\rho_v}} = 30 \sqrt[3]{10C_F} \cdot \sqrt[3]{\frac{\mu^2}{g\rho_n\rho_v}} \quad (15)$$

(Вартий уваги той факт, що обидва „граничних розміри” крапель залежать від одного комплексу параметрів $\frac{\mu^2}{g\rho_n\rho_v}$, хоча й підкоряються різним законам руху). З довідкових

даних підставимо в (14) і (15) значення (для 20°C): $\mu = 1,82 \cdot 10^{-5}$ Па·с; $\rho_n = 1,2$ кг/м³; $\rho_v = 10^3$ кг/м³; $g = 9,8$ м/с². Отримаємо:

$$d_S < 8 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 0,08 \text{ мм} \sim 0,1 \text{ мм};$$

$$d_N > 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,5 \text{ мм.}$$

Цим діаметрам відповідають наступні значення швидкості парашутування краплі (відповідно за формулами (12) і (13)):

$$V_{Sk} = 0,19 \text{ м/с}; \quad V_{Nk} = 6,08 \text{ м/с.}$$

У формулах (13) і (15) під час даних чисельних розрахунків значення C_F приймається рівним 0,44.

Для визначення залежності швидкості парашутування від діаметра краплі в інтервалі значень $0,08 \text{ мм} < d < 1,5 \text{ мм}$ використаємо одну з розглянутих вище апроксимацій для аеродинамічного коефіцієнта. Найбільш простою за математичною формою й одночасно такою, що відповідає достатньо широкому інтервалу чисел Рейнольдса, є функція (7). Підставляючи (7) і (2) в (11), після перетворень отримаємо розрахункову формулу:

$$24 \text{ Re} + 4 \text{ Re}^{\frac{3}{2}} + 0,4 \text{ Re}^2 = \frac{4 \rho_n \rho_g g}{3 \mu^2} d^3. \quad (16)$$

З (16) можна безпосередньо отримати функцію $d = d(\text{Re})$, або обернену до неї $\text{Re} = \text{Re}(d)$, якщо вираз з Re перетворити на многочлен 4-го порядку.

Апроксимація (6) також дозволяє аналітичне обчислення граничного числа Re_k і, на цій підставі, швидкості парашутування [6]:

$$\text{Re}_k = \left(\frac{1}{2a} \left(\sqrt{b^2 + 4ac} - b \right) \right)^{\frac{3}{2}}, \quad V_k = \frac{v}{2r} \text{Re}_k, \quad (17)$$

де

$$a = 0,065, \quad b = 1, \quad c = \left(\frac{4 \rho_g g r^3}{9 \rho_n v^2} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Графіки функцій (16) і (17) представлені на рис. 4.

Залежність швидкості парашутування краплі від її діаметра знайдемо з отриманої функції $\text{Re}(d)$ за допомогою співвідношення (2). Графік цієї залежності представлений на рис. 5. Деяке відхилення від обчисленого вище значення $V_N = 6,08 \text{ м/с}$ для $d_N = 1,5 \text{ мм}$ пояснюється тим, що для заданого граничного значення $\text{Re} = 600$ модельний аеродинамічний коефіцієнт (значення апроксимуючої функції) дещо відрізняється від заданого в законі Ньютона ($C_F = 0,44$). На рис. 5 для порівняння наведені також графіки функцій $V_S(d)$ і $V_N(d)$, побудовані формально за співвідношеннями (12) і (13). В табл. 2 отримана залежність $V(d)$ представлена в табличній формі.

Таблиця 2 – Залежність швидкості парашутування сферичної краплі від її діаметра

$d, \text{ мм}$	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$V, \text{ м/с}$	0,24	0,72	1,68	2,50	3,20	3,82	4,37	4,87	5,34	5,77	6,18

Наближення швидкості до усталеного значення

У певних обставинах легко розв'язувати рівняння руху частинки за законом Стокса (бо вони лінійні), в інших – за законом Ньютона. Виникає ідея використовувати найпростіший розв'язок, та коефіцієнт A у формулі (3) обирати не „ламіна́рним”, а таким, що дає таку швидкість парашутування (12), що дорівнює (13). Прирівнюючи ці вирази, отримуємо:

$$A = \frac{8}{\sqrt{15}} \sqrt{\left(\frac{\rho_g}{\rho_n} \right) \frac{r^3 g}{v^2}}. \quad (18)$$

Вважаємо, що використання (18) дозволяє застосовувати розв'язок лінійної задачі як наближення до квадратичної. Подальше дає певну оцінку похибки даного припущення.

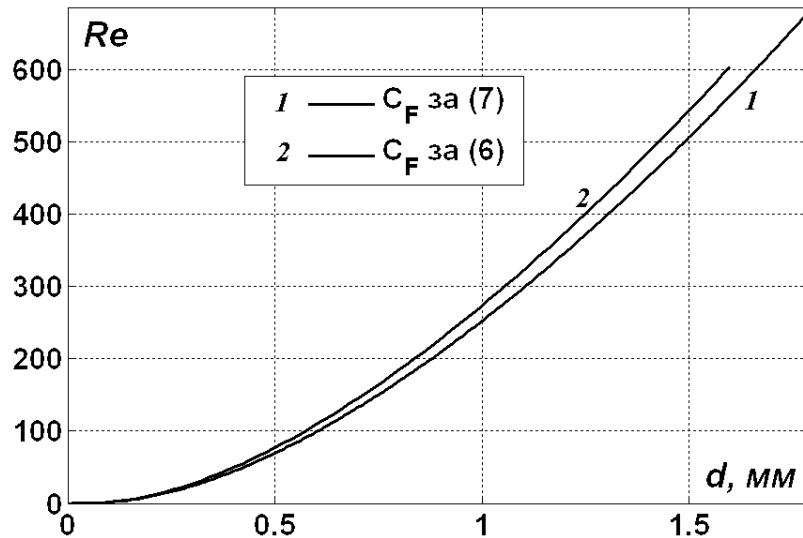


Рисунок 4 – Залежності (16) і (17) граничного числа Рейнольдса краплі, що вільно падає, від її діаметру, за апроксимаціями (7) і (6)

Якщо швидкість краплі не можна вважати сталою, що дорівнює її швидкості парашутування V_K , а треба враховувати й поступове прискорення краплі з нерухомого стану під дією тяжіння, то треба виходити з диференціальної початкової задачі її руху в часі t :

$$m \frac{dV}{dt} = mg - F(V), \quad V = \frac{dz}{dt}, \quad (19)$$

$$t = 0 \quad z = 0, \quad V = 0,$$

де m – маса сферичної краплі і F – аеродинамічна сила, що залежить від її швидкості руху V (тобто швидкості її обтікання повітрям) за однією з формул, що досліджуються. Рівняння (11), власне, витікало з (19) з припущення $\frac{dV}{dt} \sim 0$. Зручність законів Стокса і Ньютона

полягає саме в тому, що для них початкова задача (19) може бути розв’язана аналітично.

Згідно з (1), рівняння (19) запишемо в загальній формі, для довільної апроксимації $C_F = C_F(\text{Re})$:

$$m \frac{dV}{dt} = mg - \frac{1}{2} C_F \rho_n V^2 S, \quad (20)$$

де міделева площа $S = \pi r^2$ і маса краплі $m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_g$. Оскільки нас цікавить наближення $V(r)$ до граничної швидкості V_K , то користуємося безрозмірними змінними

$$\bar{V} = \frac{V}{V_K}, \quad \bar{t} = \frac{gt}{V_K}, \quad \bar{z} = \frac{zg}{V_K^2}. \quad (21)$$

Зрозуміло, що $\bar{V}(\bar{z}) \rightarrow 1$, а масштаби для часу V_K/g та шляху V_K^2/g обрано як такі, що дають найпростіші остаточні математичні вирази. Зрозуміло також, що коли крапля досягає режиму парашутування, то $\frac{1}{2} C_F(\text{Re}_K) \cdot \rho_n V_K^2 S = mg$, де $\text{Re}_K = \frac{2rV_K}{\nu}$ – граничне число Рейнольдса. Підставляючи це значення mg в (20), маємо

$$m \frac{dV}{dt} = \frac{1}{2} C_F(\text{Re}_K) \cdot \rho_n V_K^2 S - \frac{1}{2} C_F(\text{Re}) \cdot \rho_n V^2 S.$$

Переходимо до безрозмірних змінних (21), враховуємо

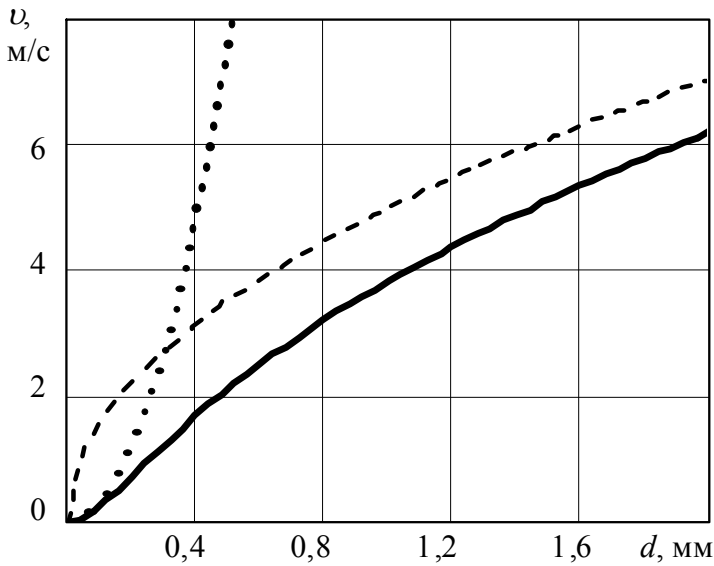


Рисунок 5 – Графіки функцій $V(d)$ (суцільна лінія), $V_S(d)$ (крапки) і $V_N(d)$ (штрихи)

найзагальнішому вигляді $C_F(\text{Re}) = \frac{A}{\text{Re}}$, маємо:

$$\frac{C_F(\text{Re})}{C_F(\text{Re}_k)} = \frac{V}{V_k} = \frac{1}{\bar{V}},$$

звідки витікає рівняння:

$$\bar{V} \frac{d\bar{V}}{dz} = 1 - \bar{V}, \quad \text{або} \quad \frac{d\bar{z}}{d\bar{V}} = \frac{\bar{V}}{1 - \bar{V}} = \frac{1}{1 - \bar{V}} - 1.$$

Останнє дозволяє легко знайти зворотну залежність шляху від швидкості:

$$\bar{z} = -\frac{V}{V_{Sk}} - \ln\left(1 - \frac{V}{V_{Sk}}\right). \quad (23)$$

Порівняння поступового наближення швидкості до граничного значення (не у часі, як (20), а за пройденим краплею шляхом) у випадках двох головних законів сили подано на рис. 6. Найбільша відносна похибка закону Стокса до альтернативного складає лише 13%.

Безрозмірні залежності (22) і (23) за масштабами (21) універсальні у тому відношенні, що не включають у себе жодну фізичну характеристику газового середовища та частинки, що падає. Та вихідне загальне рівняння показує, що за умов більш точної апроксимації $C_F(\text{Re})$ формулами (5) – (9) наближення до парашутування все ж залежить від кінцевого Re_k та актуального Re чисел Рейнольдса, а відтак – від розміру крапель d .

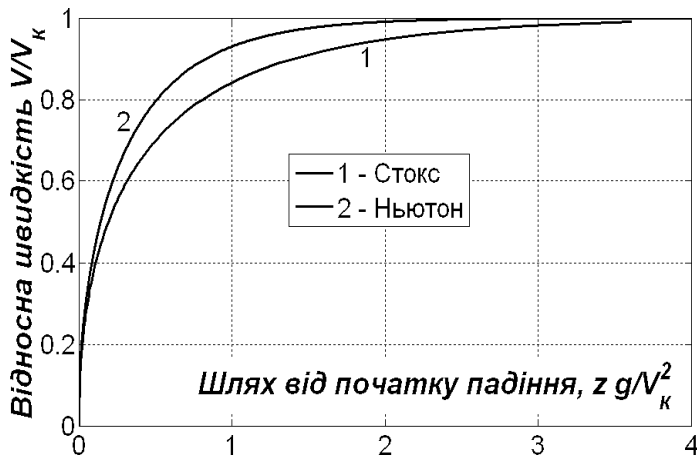


Рисунок 6 – Порівняння наближення краплі до швидкості парашутування, якщо вона вільно падає за законами Стокса (1) або Ньютона (2).

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dz} \cdot \frac{dz}{dt} = \bar{V} \frac{d}{dz}$$

та отримуємо рівняння

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{V}^2}{d\bar{z}} = 1 - \frac{C_F(\text{Re})}{C_F(\text{Re}_k)} \bar{V}^2,$$

яке є вірним для будь-якого завдання $C_F(\text{Re})$. У випадку закону Ньютона $C_F(\text{Re}) = C_F(\text{Re}_k)$, коефіцієнт біля квадрату швидкості є 1, тобто маємо рівняння руху

$$\frac{1}{2} \frac{d\bar{V}^2}{d\bar{z}} = 1 - \bar{V}^2,$$

що легко розв'язується аналітично:

$$\bar{V}(\bar{z}) = \frac{V}{V_{Nk}} = \sqrt{1 - e^{-2\bar{z}}}, \quad (22)$$

У випадку закону Стокса у

Шлях розгону

Таким чином, частинка або крапля, що вільно падає у газовому середовищі, поступово набирає швидкість від нуля до швидкості парашутування V_k . Практичні задачі можна спростити, якщо знати довжину, на якій частинка досягає парашутування із достатньою точністю. Це можна зробити з кривих рис. 6 або з рівнянь (22) чи (23), якщо задатися малим числом ε , що дає відмінність актуальної швидкості $V(z)$ від граничної V_k , $\bar{V}_k - \bar{V}(z) = \varepsilon$.

Для знаходження шляху розгону L для частинки, на яку діє сила опору за законом Ньютона, формула (21) стає рівнянням, що дає

$$\bar{L}_N = \frac{gL_N}{V_k^2} = -\frac{1}{2} \ln \varepsilon(2 - \varepsilon). \quad (24)$$

А з формули руху за Стоксом (22) отримуємо безпосередньо:

$$\bar{L}_S = \frac{gL_S}{V_k^2} = -(1 - \varepsilon) - \ln \varepsilon. \quad (25)$$

Числові значення безрозмірного шляху розгону \bar{L}_S для різної точності наведено у табл. 3. Природно, що прогноз за Стоксом і за Ньютоном не збігаються; чим точнішого значення ε хочемо, тим більшою є довжина розгону. Для точності 5%, за законом Ньютона, остаточною буде така наближена формула:

$$L_N = \bar{L}_N \cdot \frac{V_k^2}{g} \approx 2 \frac{V_k^2}{g}. \quad (26)$$

Таблиця 3 – Залежність безрозмірного шляху розгону від заданої точності для законів Ньютона і Стокса

Точність	20%	10%	5%	1%
ε	0,2	0,1	0,05	0,01
За Ньютоном \bar{L}_N	0,51	0,83	1,16	1,96
За Стоксом \bar{L}_S	0,81	1,40	2,05	3,62

Зауваження

Представлені вище обговорення та обчислення виконані за наступних припущень:

- 1) рухома частинка має гладку поверхню і тому може розглядатися як крапля;
- 2) краплі під час руху зберігають сферичну форму;
- 3) краплі не змінюють свого розміру (не випаровуються).

Перше припущення для краплі, очевидно, виконується. Для перевірки другого припущення виконаємо його перевірку для крапель великого діаметра, що наближається до 1,5 мм або перевищує такий розмір. Використовуючи знайдені вище значення величин, перевіримо це припущення для краплі діаметра $d_N = 1,5$ мм, для якого швидкість парашутування краплі $v_N = 6,08$ м/с. Обчислимо критерій Вебера:

$$We = \frac{\rho_n V^2 d}{\sigma}, \quad (27)$$

де $\sigma = 0,073$ Н/м – поверхневий натяг води. Для зазначених вище параметрів отримаємо $We = 0,91 < 1$. Отже, в усьому інтервалі обчислень форма краплі є близькою до сферичної, а тому обчислення є адекватними. Але отримане значення We вже майже досягає критичного значення 1, при перевищенні якого деформування краплі інерційними силами є доволі суттєвим. Отже, для діаметрів крапель $d \gg d_N = 1,5$ мм наведені вище розрахункові формули не є дійсними, і в цьому випадку при обчисленні сили опору, аеродинамічного коефіцієнта та

інших параметрів руху крапель у повітрі необхідно вносити корективи, пов'язані зі зміною форми крапель.

Третє припущення вимагатиме дещо ускладненого підходу, коли у рівнянні (19) маса краплі m знаходиться під знаком диференціювання та враховується також рівняння випаровування. Такі обчислення є актуальними у випадку специфічних умов, коли інтенсивність випаровування краплі є достатньою для того, щоб розмір краплі суттєво змінювався протягом її руху.

Висновки

Досліджено декілька апроксимацій аеродинамічного коефіцієнта опору від числа Рейнольдса та виконане їх порівняння зі стандартною (емпіричною) кривою опору сферичного тіла. Для кожної вказано допустимий інтервал значень числа Рейнольдса.

Для вільного падіння сферичних крапель води визначено граничні значення їх розмірів (14) і (15), у межах яких для розрахунку їх швидкості парашутування можливе застосування законів Стокса (12) або Ньютона (13). Для проміжного інтервалу розмірів крапель на основі більш складної апроксимації також визначено залежність швидкості парашутування краплі від її розміру (16), (17).

Отримано прості формули (22) і (23), що описують асимптотичне наближення швидкості краплі до її граничного значення для двох вказаних законів. За умов завдання „ламінарного” закону Стокса через коефіцієнт (18) можемо використовувати лінійне рівняння замість квадратичного із похибкою не гірше за 13%. Отримано оцінки довжини (24) – (26), на якій швидкість парашутування досягається з потрібною точністю. Запропоновано масштаби (21), в яких зручно й доцільно аналізувати рух крапель.

В наступних роботах планується застосувати отримані результати до теоретичного аналізу властивостей розпилених водяних струменів протипожежного призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Цариченко С.Г. Проблемы использования тонкораспыленной воды в автоматических установках пожаротушения [Электронный ресурс] / С.Г. Цариченко // Алгоритм безопасности, 2005. – № 5. – С. 28-30. – Режим доступа до журн.: http://www.algorithm.org/arch/05_5/05_5_12.pdf
2. Хаппель Дж. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса / Дж. Хаппель, Г. Бреннер. – М.: Мир, 1976. – 631 с.
3. Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений / В.В. Севриков. – Киев-Донецк: Вища школа, 1979. – 188 с.
4. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред / Г.М. Островский. – СПб.: Наука, 2000. – 359 с.
5. Виноградов А.Г. Розрахунок траєкторій водяних крапель з урахуванням реальної залежності аеродинамічного коефіцієнта / А.Г. Виноградов // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. – № 7. – С. 30-38.
6. Гаєв Є.О. Моделі легкопроникної шорсткості для задач гідромеханіки і теплофізики : дис. докт. техн. наук : 01.02.05 / Гаєв Євген Олександрович. – К., 2001. – 342 с.
7. Безродный М.К. Гидродинамика и контактный тепломассообмен в некоторых газожидкостных системах / М.К. Безродный, П.А. Барабаш, Н.Н. Голянд. – К.: НТУУ "КПИ", 2011. – 408 с.
8. Стернин Л.Е. Многофазные течения газа с частицами / Л.Е. Стернин, А.А. Шрайбер. – М.: „Машиностроение”, 1994. – 320 с.
9. Симаков Н.Н. Влияние геометрии и турбулентности газового потока на гидродинамическое сопротивление обтекаемого тела / Н.Н. Симаков // Ж. техн. физики. – 2011. – 81, вып. 11. – С. 23 - 30.
10. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 558 с.

УДК 614.844

С.А. Виноградов, І.М. Грицина, к.т.н. доцент, НУЦЗУ,
С.В. Качкар, к.т.н., С.М. Биченко, к.і.н., АПБ ім. Героїв Чорнобиля

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ КРАПЕЛЬ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ГАСІННЯ ГАЗОВОГО ФОНТАНУ

Запропоновано схему розрахунку необхідного діаметра краплі рідини на вході в газовий фонтан. Побудовано залежності радіуса краплі перед факелом від кінцевого радіуса після проходження і дебіту фонтану.

Ключові слова: газовий фонтан, розмір краплі, дебіт фонтану.

Постановка проблеми. При гасінні газового фонтану високошвидкісними струменями рідини здійснюється подвійний вплив на факел – механічний відрив факела від свердловини та охолодження зони горіння розпорошеною водою. Для забезпечення ефективного охолодження необхідно знати, який розмір крапель повинен бути на вході в газовий факел. Ці знання дозволять визначити, які повинні бути початкові параметри струменя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] наведено методику визначення зміни розміру крапель, що проходять в зоні нагрітих продуктів згорання, за якою

$$r'_e = \sqrt{\left(r_e^i\right)^2 - \frac{2\lambda_{\bar{a}}(\bar{O}_{\bar{a}} - T_e)}{I_{\bar{a}e} \rho_e} \tau_{\bar{O}}}, \quad (1)$$

де $\tau_{\bar{O}}$ – час польоту краплі у зоні горіння, під час якого відбувається процес випаровування, с;

r_e^0 – початковий радіус краплі, м; r'_k – радіус краплі на момент часу τ_t , м; T_k і T_g – температура краплі та газу, відповідно, К; $\Delta H_{\text{вип}}$ – питома теплота пароутворення води, Дж/кг; λ_g – коефіцієнт теплопровідності газового середовища, Вт/(м·К); ρ_k – густина краплі, кг / м³.

Ця залежність може бути використана для розрахунку необхідного розміру крапель на вході в газовий факел.

Постановка задачі та її вирішення. Час τ_t польоту краплі в факелі залежить від швидкості руху краплі V_t у газі, що горить та відстані, що пройшла крапля S_t .

Для визначення часу τ_t зробимо деякі припущення:

- швидкість руху краплі залишається постійною на всій ділянці руху у факелі;
- відстань, що проходить крапля в палаючому газі визначається з моменту попадання її у видиму зону горіння і до моменту виходу з неї;
- траєкторія руху краплі залишається незмінною і на неї не впливають висхідні газові потоки;
- температура факелу на всій ділянці руху краплі приймається постійною.

З урахуванням прийнятих припущень відстань, яку пройшла крапля $S_t = 2r_t$ можна визначити за схемою на рис. 1.

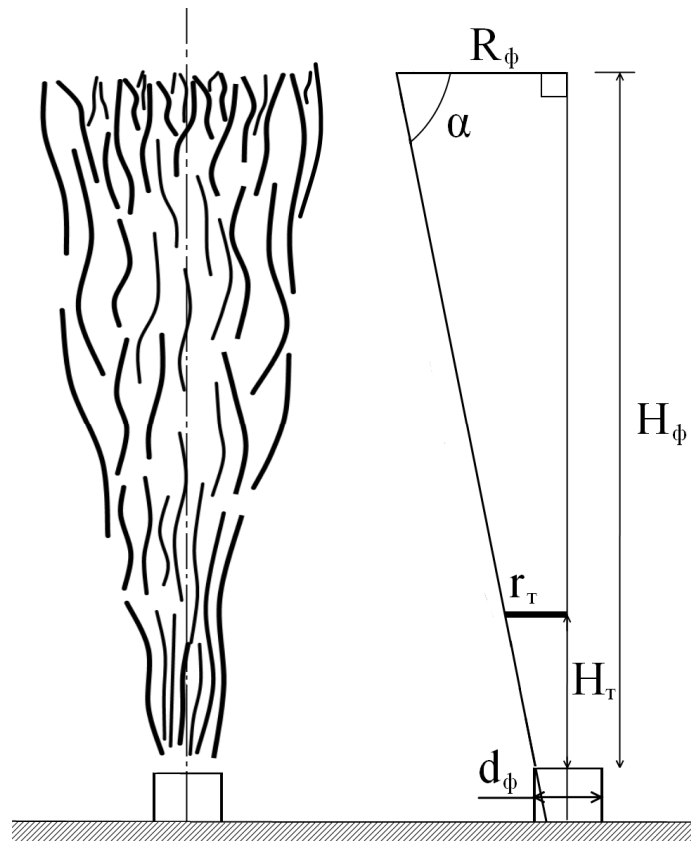


Рис. 1. Схема розрахунку параметрів факелу

Досвід гасіння газових фонтанів показує [2], що для успішного гасіння газового факела водяними стволами, струмені повинні бути спрямовані на відстань H_T від гирла свердловини, яка відповідає

$$H_T = (0,15 \div 0,25) H_\phi, \quad (2)$$

де H_ϕ – висота газового факелу, м.

У свою чергу, висота газового факелу

$$H_\phi = 61,25 Q_\phi^{0,4}, \quad (3)$$

де Q_ϕ – розхід газового факелу, $\text{м}^3/\text{с}$.

Максимальний діаметр верхньої частини турбулентного дифузійного факелу можна визначити

$$R_\phi = 0,06 H_\phi, \quad (4)$$

З рис. 1 видно, що відстань r_T - основа прямокутної трапеції. Виходячи з цього, запишемо

$$r_T = R_\phi - \frac{H_\phi - H_T}{\text{tg} \alpha}. \quad (5)$$

Підставивши (2) - (4) в (5) та виконавши спрощення, отримаємо

$$r_T = 0,735Q_\phi^{0,4} \quad (6)$$

Таким чином, відстань, яку проходить крапля рідини у газовому факелі, дорівнює $S_T = 1,47Q_\phi^{0,4}$.

За умови, що швидкість руху струменя перед факелом, при якій забезпечується успішний відрив та гасіння газового факелу $V_{cp}=(70\div 80)$ м/с [3], запишемо формулу, що визначає час проходження краплі струменя рідини через газовий факел

$$\tau_T = (0,018 \div 0,021)Q_\phi^{0,4} \quad (7)$$

Для розрахунків приймаємо середнє значення інтервалу. З урахуванням (7) вираз (1) приймає вигляд

$$r'_e = \sqrt{(r_e^i)^2 - \frac{0,04\lambda_{\bar{a}}(\dot{O}_{\bar{a}} - T_e)}{\dot{I}_{\bar{a}\bar{e}i}\rho_e} \cdot Q_\phi^{0,4}} \quad (8)$$

Отже, початковий розмір крапель r_K^0 буде визначатися

$$r_e^i = \sqrt{(r'_e)^2 + \frac{0,04\lambda_{\bar{a}}(\dot{O}_{\bar{a}} - T_e)}{\dot{I}_{\bar{a}\bar{e}i}\rho_e} \cdot Q_\phi^{0,4}} \quad (9)$$

За даними [2] максимальна температура газового факелу змінюється в межах (1550÷1650) К.

Результати розрахунків за формулою (9) зображені на рис. 2 і на рис. 3. На рис. 2 представлений графік залежності початкового радіуса краплі r_K^0 від радіуса краплі після проходження факела r'_K , а на рис. 3 - від добового дебіту фонтану ω .

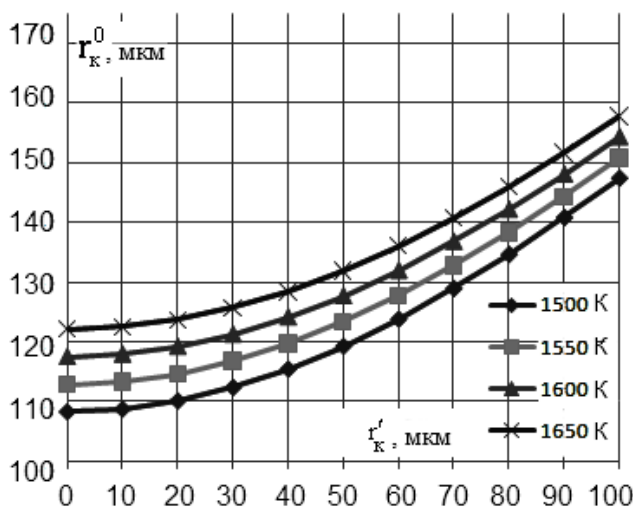


Рис. 2. Залежність r_K^0 від r'_K за різної температури полум'я T_T

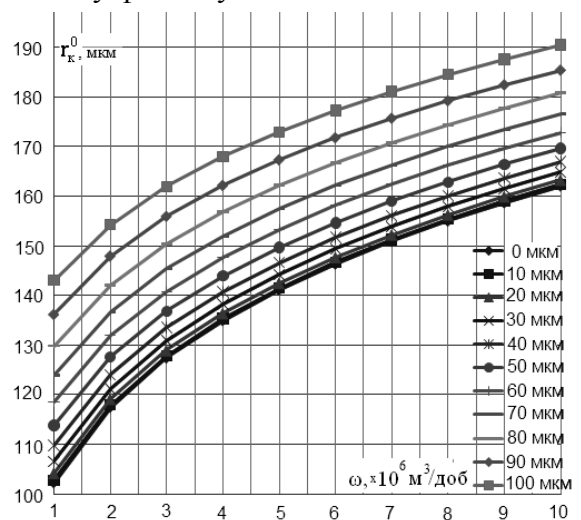


Рис. 3. Залежність r_K^0 від дебіта фонтану ω за різного r'_K при $T_T=1650$ К.

Висновки. Таким чином, якщо на виході з газового фонтану діаметр крапель повинен бути мінімальним $d'_k \leq 20$ мкм, то діаметр краплі на вході в фонтан, при найвищій температурі факелу $T_f = 1650$ К, повинен складати $d_k^0 \approx 20$ мкм для дебіту $\omega = 10$ млн. м³/добу. Враховуючи те, що для України найбільш характерними є газові фонтани з дебітом $\omega \leq 3$ млн. м³/добу, розмір крапель не повинен перевищувати 250 мкм. Тому під час гасіння подібних пожеж та створення нових зразків пожежної техніки необхідно намагатись забезпечити подачу водяних струменів потрібної дисперсності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарахно О.В. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі: навчальний посібник / О.В. Тарахно, А.Я. Шаршанов. - Харків, 2004. – 252 с.
2. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
3. Пат. 27155 України, МПК⁶ А 62 С 3/06, 31/02, 31/03, Е 21 В 35/00. Спосіб гасіння пожежі газового та нафтового фонтана та пристрій для його здійснення / Нода О.О., Свириденко М.Ф. та ін.; заявник та патентовласник Нода Олександр Олександрович. - № 96124654; заявл. 13.12.1996; опубл. 28.02.2000, Бюл. №1.

УДК 69.059.22:699.8

Голоднов О.І., д.т.н., професор, вчений секретар ради,
ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського»,
Отрош Ю.А., к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,
Ткачук І.А., інженер, ТОВ «Тест», м. Бровари,
Семиног М.М., інженер, Броварське управління ГУ МНС України в Київській обл.

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ БЕТОНУ Й АРМАТУРИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН

Викладено методичні підходи до визначення вогнестійкості залізобетонних колон. Наведено методику та результати експериментальних досліджень залізобетонних колон на вогнестійкість.

Ключові слова: залізобетонні колони, випробування, вогнестійкість, характеристики міцності.

Постановка проблеми. Досвід експлуатації залізобетонних колон свідчить про достатній запас їхньої несучої здатності за умов відсутності непередбачуваних високотемпературних впливів. Як одна з найбільш істотних причин підвищеної небезпеки для таких конструкцій розглядається нерівномірний нагрів і зміна характеристик міцності та деформативності бетону й арматури під час пожежі.

Межа вогнестійкості колон визначається за ДСТУ Б В.1.1-4-98* “Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги” [1] та ДСТУ Б В.1.1-14:2007 “Захист від пожежі. Колони. Метод випробувань на вогнестійкість” (EN 1365-4:1999, NEQ) [2]. Метод полягає у нагріві в стандартному температурному режимі згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1] зразків колон (далі – зразків), які встановлюються у вогневу піч, та визначенні часу, коли досягається граничний стан за ознакою втрати несучої здатності.

В разі неможливості відтворення під час випробувань реальних умов обпирання та навантаження на колону, допускається проводити випробування без навантаження на двох однакових зразках колон заввишки не менше ніж 1000 мм.

Межа вогнестійкості колон, що випробовуються без навантаження, за ознакою втрати несучої здатності (ознака **R**) визначається, виходячи з розподілу температур (арматури та бетону) по перерізу колони під час випробувань. Несуча здатність може бути оцінена по перевищенню середньої температури у стержнях несучої арматури, які більш наближені до поверхні, від початкового значення температури на 480⁰С.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи – експериментальні дослідження залізобетонних колон на вогнестійкість з визначенням характеру зміни характеристик міцності бетону й арматури і розробленням заходів щодо її підвищення.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для залізобетонних зразків, які випробовують без навантаження, необхідно встановити рівномірно розташовані у напрямках двох осей перерізу зразка посередині його висоти термомпари для отримання розподілення значень температури по перерізу. Термомпари необхідно встановити також на несучій арматурі зразка, що найбільш наближена до поверхні, де очікується вогневий вплив.

За результат випробування приймається межа вогнестійкості, що визначається за формулою:

$$t_{fr} = t_{mes} - \Delta t, \quad (1)$$

де t_{fr} – межа вогнестійкості конструкції, хв.; t_{mes} – найменше значення часу від початку випробування до досягнення граничного стану з вогнестійкості, що визначається за результатами випробувань двох однакових зразків, хв.; Δt – похибка випробування, хв.

Значення похибки Δt визначається за формулою:

$$\Delta t = (0,015 \cdot t_{mes} + 3)(A_s - A_f) / (A_s - A_{min}), \quad (2)$$

де A_s , A_f , A_{min} – інтегральні значення (площі, що знаходяться під кривими) стандартної температури, середньої температури в печі та мінімальної допустимої температури в печі, відповідно, $^{\circ}\text{C}$ хв. Якщо $A_f > A_s$, то $\Delta t = 0$.

Для випробувань були виготовлені два ідентичні зразки залізобетонних колон перерізом 600x600 мм заввишки 2000 мм. Зразки були виготовлені на Броварському ЗБВ у металевій опалубці.

Кожний зразок мав несучий каркас, який складався з восьми поздовжніх арматурних стержнів Ш20 мм А400С за ДСТУ 3760:2006 [3]. Поперечна арматура прийнята Ш10 мм А240С за ДСТУ 3760:2006 [3] і була встановлена по зовнішньому контуру поздовжніх арматурних стержнів. Крім того, було встановлено арматуру Ш10 мм А240С за ДСТУ 3760:2006 [3], яка об'єднала між собою центральні стержні по кожній грані (рисунок 1).

Бетон було використано класу за міцністю В25.

Для встановлення характеристик застосованих матеріалів було проведено інструментальні дослідження. Визначення міцності бетону колон було виконано ультразвуковим методом за ГОСТ 17624-87 [4]. Ультразвукові випробування бетону було виконано за допомогою приладу УК-14ПМ. Суть ультразвукового методу полягає у вимірах часу t проходження ультразвуку (УЗК) від випромінювача до приймача і бази L прозвучування (відстані між випромінювачем і приймачем). По вимірних величинах було розраховано швидкість $C = L/t$ проходження ультразвукових коливань і по встановленій залежності між швидкістю і міцністю визначено міцність бетону на контрольованій ділянці. Виміри швидкості ультразвуку було виконано способом наскрізного прозвучування (рисунок 2).

Число і розташування контрольованих ділянок в колонах було встановлено відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-224:2009 [5].

Для визначення міцності бетону в місцях контролю було використано базову градувальну залежність «швидкість–міцність», встановлену для використаного приладу за багаторічними статистичними даними результатів порівняльних ультразвукових і механічних випробувань бетону класів В15, ..., В35. За результатами проведених досліджень було встановлено, що бетон за міцністю відповідає класу В25.

Після проведення попередніх випробувань було виконано вогневі випробування колон. Випробування колон було виконано на відповідному обладнанні випробувального центру ТОВ «ТЕСТ». Для випробувань було використано спеціальну випробувальну піч та відповідні засоби вимірювальної техніки, які забезпечували отримання результату (рисунок 3). Перед випробуваннями зразки було витримано у приміщенні для кондиціонування зразків згідно з п. 7.1.4 ДСТУ Б В.1.1-4-98* [1].

Характеристики арматури визначались за результатами стандартних випробувань зразків, вилучених з арматурних стержнів.

Оскільки колони випробувались без навантаження, межу вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності (ознака **R**) було визначено, виходячи з розподілу температур по перерізу колони. Несучу здатність було оцінено по перевищенню середньої температури стержнів несучої арматури від початкового значення температури на 480°C .



Рисунок 1. Встановлення арматурних каркасів в опалубку.



Рисунок 2. Виконання випробувань бетону колони ультразвуковим методом.



Рисунок 3. Вигляд печі під час випробування колони.

Для вимірювання температури поздовжньої арматури зразків під час випробувань на чотирьох арматурних стержнях кожного зразка було встановлено термопари ТХА. Для отримання розподілу значень температури по перерізу зразка було встановлено по п'ять термопар ТХА. Загальний вигляд колони після випробувань наведено на рисунку 4.

Під час проведення випробувань температура та надлишковий тиск у печі відповідали вимогам, що регламентовані чинним стандартом. Надлишковий тиск у печі на 5-й хвилині склав 8 Па, а з 10-ї хвилини – 11 Па.

Втрата несучої здатності зразка №1 під час випробувань відбулась на 152 хвилині, оскільки значення середньої температури ($T_{1,cp}$) поздовжньої несучої арматури зразка перевищило початкове значення на 480°C .

Втрати несучої здатності зразка №2 під час випробувань протягом 160 хвилин не відбулося, оскільки значення середньої температури несучої арматури зразка не перевищило початкове значення на 480°C .

Значення A_s , A_f , A_{min} для часу випробувань 151 хвилини склали 141041, 140519, 135378 $^{\circ}\text{C}$ Ч хв., відповідно. Похибка випробувань (Δt) згідно залежності (2) під час випробувань склала 0,485 хвилини.

Після випробувань було виконано обстеження колони. За результатами обстеження було встановлено, що бетонна поверхня колони зазнала суттєвих руйнувань у вигляді тріщин. Виконати випробування колони ультразвуковим методом з метою визначення міцності бетону виявилось неможливим внаслідок суттєвих руйнувань бетону.

Після випробувань було виконано розрізання колони №1 з метою визначення характеру руйнування та характеристик бетону по перерізу. Розрізання зразка виконано в умовах заводу на спеціалізованому обладнанні (рисунок 5). Розрізання дозволило встановити, що в кутових зонах і по периметру відбулося руйнування бетону з утворенням тріщин по колу. В центральній частині перерізу було сформовано ядро, яке майже не зазнало руйнувань під час випробувань (рисунок 6). Вилучені з колони зразки (куби зі стороною 150 мм) при випробуваннях в пресі на стиск показали міцність майже в 1,5 рази меншу за ту, яку показали зразки-куби без нагрівання (165 МПа проти 275 МПа). При цьому, куби, які було вилучено з колони, для можливості випробування прийшлося склеювати за допомогою епоксидної смоли.



Рисунок 4. Загальний вигляд колони після випробувань.

Таким чином, за результатами випробувань найбільш ефективною формою поперечного перерізу залізобетонної колони можна вважати круглу. Під час нагрівання бетон буде розширюватись в поперечному напрямку рівномірно, а кільцева арматура буде забезпечувати роботу бетону без руйнування.

Випробування зразків арматури на розрив після вогневого впливу дозволили встановити, що втрата міцності арматури практично не відбулась. Зразки з колони показали міцність майже 620 МПа, а зразки без нагрівання – майже 630 МПа.

Висновки:

1. Наведено результати випробувань колон на вогнестійкість. Межа вогнестійкості залізобетонної колони квадратного перерізу (600x600 мм) склала 151 хвилину (R150). Такий результат відповідає вимогам чинних нормативних документів щодо вогнестійкості конструкцій [6, 7 та ін.].

2. За результатами випробувань колон на вогнестійкість було встановлено, що руйнування колони відбулося за рахунок нерівномірного розширення бетону і відриву кутових зон перерізу із формуванням в центрі перерізу квадратної колони круглого ядра. За цих умов форму перерізу залізобетонних колон рекомендується приймати круглою з огляду на роботу конструкції як при силових, так і при вогневих навантаженнях.

3. Зміна характеристик міцності несучої арматури класу А400С при нагріванні до температури 500 °С практично не відбулася. Це дозволяє зробити висновок про можливість використання характеристик міцності арматури, які рекомендовані чинними нормативними документами, для визначення остаточної несучої здатності конструкцій після пожежі за умов нагрівання до температур, які не перевищують 500 °С.



Рисунок 5. Розрізання колони алмазною пилою.



Рисунок 6. Переріз колони після розрізання

4. Міцність бетону колони після вогневого впливу зазнала суттєвих втрат (вона зменшилась майже в 1,5 рази). Це дозволяє зробити висновок про необхідність врахування такого фактору при визначенні залишкового стану конструкцій після пожежі. При розробці проекту підсилення конструкцій слід орієнтуватись на оббетонування конструкцій, що дозволить зруйнованому бетону працювати «в обоймі» і сприймати якимсь чином діючі навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 2005. – 18 с.
2. ДСТУ Б В.1.1-14:2007. Захист від пожежі. Колони. Метод випробувань на вогнестійкість (EN 1365-4: 1999, NEQ). – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 8 с.
3. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. – Надано чинності 11.12.2006. К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с.
4. ГОСТ 17624-87. Бетони. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 24 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-224:2009. Бетони. Правила контролю міцності. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 27 с.
6. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Держбуд України, 2003. – 41 с.
7. ДБН В.1.2-7-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Пожежна безпека. Основні вимоги до будівель і споруд. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 30 с.

УДК 614.842

В.М.Жартовський, д.т.н., професор, АПБ ім. Героїв Чорнобиля,
С.В.Жартовський, к.т.н., заст. ген. директора ТОВ „Вогнебіозахист”, м. Київ

АКТИВНИЙ І ПАСИВНИЙ ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ ОБ'ЄКТІВ З ПОЖЕЖНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІЗ ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Експериментально досліджено об'єднання активного і пасивного протипожежного захисту об'єктів з пожежним навантаженням із целюлозовмісних матеріалів з використанням комплексної сполуки полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду в якості водної вогнегасної та вогнебіозахисної речовини. Запропонована загальна технологія протипожежного захисту підкупольного простору культових споруд.

На теперішній час система протипожежного захисту об'єктів складається з двох різнопланових частин: активного протипожежного захисту (тобто використання вогнегасних речовин, пожежної техніки, засобів сигналізації та оповіщення тощо) та пасивного протипожежного захисту (тобто використання негорючих матеріалів, забезпечення вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів, а саме: деревини, тканин, паперу, очерету тощо). Тривалий час зазначені напрямки розвивались самостійно. Підвищення ефективності кожного з них збільшувало загальний рівень протипожежного захисту.

В частині активного протипожежного захисту одним з основних напрямків є розроблення нових вогнегасних речовин, головним чином за рахунок направленої використання різних добавок, тобто інтенсивно розвиваються водні вогнегасні речовини (ВВР) [1]. Відчутні також значні досягнення в частині пасивного вогнезахисту, особливо в напрямку розроблення та впровадження нових просочувальних засобів і вогнезахисних покриттів для деревини [2].

В останні роки не уклінно зростає зацікавленість у використанні екологічних матеріалів, тому й простежується тенденція до все більшого використання целюлозовмісних матеріалів як в побуті, так і в будівництві. Тому і збільшується частка цих матеріалів в пожежному навантаженні об'єктів. А отже проблема підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів, пожежне навантаження яких в значній мірі сформовано за рахунок целюлозовмісних матеріалів, залишається актуальною.

Необхідно шукати нові шляхи підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів. На нашу думку перспективним є розроблення комплексного підходу, що об'єднає методи активного та пасивного вогнезахисту об'єктів. Комплексність зазначеного підходу полягає у розширенні та підвищенні ефективності факторів впливу ВВР і вогнезахисних речовин на процес горіння целюлозовмісних матеріалів.

Отже, *мета* цієї роботи – розробити комплексний підхід до об'єднання активного і пасивного протипожежного захисту об'єктів з пожежним навантаженням із целюлозовмісних матеріалів.

Об'єднуючим підґрунтям може бути вода. Вона використовується як для створення ВВР, так і для вогнезахисних засобів. Вода має специфічні фізико-хімічні властивості. Крім наявних тривіальних властивостей води (охолодження та флегматизація) необхідно додати нові властивості, які будуть додатково впливати на руйнування трикутника горіння за всіма його складовими: припинення доступу кисню та ізолювання виходу горючих газів з поверхні целюлозовмісних матеріалів, ізолювання джерела займання у вигляді полум'я та розжареного вугілля, інгібування ланцюгових реакцій полум'яного горіння газоподібних продуктів пролізу матеріалу, покращення гідродинамічних характеристик водяного струменя тощо.

Перші дослідження були спрямовані на розроблення вогнебіозахисних водних просочувальних речовин для деревини. При створенні антипіренів для вогнезахисту деревини за прототип були взяті добре відомі антипірени, що широко використовуються у порошковому вогнегасінні. Це суміші фосфатів і сульфатів амонію [3], які здатні проявляти ефект синергізму при інгібуванні полум'яного горіння. Фосфати і сульфати амонію добре розчиняються у воді. У якості антисептика для біозахисту деревини вибрали водний розчин полігексаметиленгуанідингідрохлориду (ПГМГХ) з підвищеними дезинфікуючими властивостями «Гембар», який виробляється НТУ «Укрводбезпека» [4]. Оскільки полімер під дією електролітів висолюється із водного розчину, робочий розчин антисептика (дезинфікатора) застосовують окремо від водного розчину антипіренів, тобто просочувальна композиція складається з двох окремих розчинів. Така композиція в залежності від хімічного складу речовин має технічну назву ДСА-1 або ДСА-2 [2].

Необхідно зазначити, що використання вогнебіозахисних просочувальних композицій ДСА-1 та ДСА-2 вирішило важливу екологічну задачу: на зміну шкідливим, або навіть отруйним речовинам (на кшталт фториду та біфториду натрію, солей міді, хрому, органічних отруйних речовин) застосовано антисептик «Гембар», який є малотоксичною речовиною.

За державними будівельними нормами ДБН В.1.1-7-2002 „Пожежна безпека об'єктів будівництва” в залежності від області застосування проводять випробування на визначення показників пожежовибухонебезпечності, що проводяться за методами ГОСТ 12.1.044: групи горючості (п.4.3), показника кисневого індексу (п.4.14), коефіцієнту димоутворення (п.4.18), показника токсичності продуктів горіння(п.4.20). В таблиці 1 наведено результати випробувань зразків вогнебіо захищеної деревини, що оброблені засобом ДСА-2, за цими показниками в порівнянні із незахищеною деревиною.

Таблиця 1 - Показники пожежовибухонебезпечності за ГОСТ 12.1.044 необробленої деревини та вогнезахищеної деревини засобом ДСА-2

№ п/п	Показники	Необроблена деревина	Вогнебіо захищена деревина
1	Група горючості	Горючий матеріал	Важкогорючий матеріал
2	Індекс розповсюдження полум'я	>25 поширює полум'я поверхнею	не поширює полум'я поверхнею
3	Кисневий індекс, КІ	21	>60
4	Коефіцієнт димоутворення: а) режим тління, м ² /кг б) режим горіння, м ² /кг	135 950	24 94
5	Показник токсичності продуктів горіння	високо небезпечні	помірно небезпечні

Як засвідчують ці результати, вогнезахищена деревина за показниками пожежовибухонебезпечності кардинально відрізняється від необробленої деревини і її використання має велику перспективу у вирішенні проблеми вогнезахисту різних об'єктів.

На реальних об'єктах пожежне навантаження в своїй більшості складається з деревини, але присутність легкозаймистих матеріалів, до яких відносяться тканини природного та штучного походження, значно підвищує пожежну безпеку. Вироби з цих матеріалів (штори, гардини, порт'єри тощо) швидко переносять полум'я в просторі, що значно прискорює розповсюдження пожежі. Тому протипожежний захист таких матеріалів заслуговує на увагу і є актуальним. Для вогнебіо захисту тканин знадобився новий підхід. По-перше, розробники намагалися використати більшість позитивних властивостей засобу «Гембар» в контексті вогнебіо захисту. По-друге, необхідно було винайти не сольовий антипірен. В роботах спеціалістів ВНДПО МНС Росії, зокрема в роботах

Н.І.Константинової [5], пропонується в якості антипірену використовувати фосфат карбаміду. Фосфат карбаміду не є сіллю, але також являє собою кристалічну речовину, а тому не має необхідної адгезії до тканих матеріалів (він обсипається). Фосфат карбаміду не знайшов належного розповсюдження. Але розробників зацікавила можливість за рахунок оптимізації співвідношення між атомами фосфору у молекулі фосфорної кислоти та атомами азоту у молекулі карбаміду створити синергетичну речовину, яка б мала високу вогнезахисту властивість. Цього вдалося досягнути завдяки реакційним властивостям полігексаметиленгуанідину шляхом синтезу нової комплексної сполуки – полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду [6]. Водний розчин цієї комплексної сполуки у воді в межах 20-25 % отримав технічну назву «Композиція просочувальна для поверхневого вогне- та біозахисту тканин, паперу і очерету ФСГ-1», який виробляється за ТУ У 24.6-32528450-002-2004 зі зміною №1 та №2.

Морфологічні дослідження кристалохімічних процесів утворення твердої речовини підчас видалення розчинника (води) із композиції ФСГ-1 показали наступне. Із зменшенням кількості розчинника композиція приймає малорухомий стан у вигляді гелю, який притаманний розчинам високомолекулярних сполук [7]. Подальше видалення розчинника приводить до утворення специфічних кристалів – сферолітів, що також є кристалічною формою високомолекулярних сполук [7]. Наявний в'язкопластичний стан в процесі переходу композиції від розчину до твердого стану забезпечує утворення рівномірної плівки засобу ФСГ-1 навкруги кожного волокна тканини. При цьому, така плівка не змінює колір матеріалу і не погіршує дизайну тканого виробу.

Після обробляння тканин або паперу композицією ФСГ-1 вони стають важко займистими матеріалами у відповідності до ДСТУ 4155-2003 та біостійкими до ураження руйнівними грибами у відповідності до ГОСТ 26603-85.

Подальше збільшення концентрації комплексної сполуки у воді до 30-50% показало здатність такого водного розчину до ефективного вогнебіозахисту деревини: деревина стає важко займистою. Така модифікація зазначеної композиції отримала технічну назву ФСГ-2.

Наведені вище специфічні властивості комплексної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 роблять перспективу на можливість використання її для гасіння пожеж, тобто для активного протипожежного захисту об'єктів. На сьогоднішній день для гасіння переважної кількості пожеж в Україні використовується вода. Відомо, що кількість води, яку подають на гасіння пожеж, на порядок більша теоретично необхідної, що спричиняє затоплення приміщень. Збитки, які заподіяні водою підчас гасіння пожеж, часто перевищують збитки від самої пожежі [8]. З іншого боку особливості горіння вогнищ класу А (деревини), а саме наявність тління, що переходить у полуменеве горіння, може бути обумовлене недостатнім охолоджувальним та ізолюючим впливом обмеженого об'єму води. Відомо, що вогнегасну ефективність води можна підвищити шляхом введення до неї модифікувальних добавок [1].

Композиція водна просочувальна для вогнебіозахисту деревини ФСГ-2 завдяки наявності полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду має властивості „слизької води”, містить значну кількість синергетичного інгібітора, здатна утворювати гель при незначному випаровуванні води. Зазначені властивості впливають на ефективність вогнегасної дії ФСГ-2. Були проведені дослідження, об'єктом яких були водні вогнегасні речовини: вода, вода з поверхнево активними речовинами та водний розчин вогнебіозахисної речовини ФСГ-2. Вогнегасну здатність водних вогнегасних речовин визначали порівняно із вогнегасною здатністю води, яку взято за одиницю. Сутність метода полягає у визначенні маси водних вогнегасних розчинів, які необхідно подати тонко розпиленими струменями на гасіння вогнища пожежі класу А. Результати проведених вогнегасних речовин наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Усереднені результати визначення відносної вогнегасної здатності тонко розпилених струменів деяких водних вогнегасних речовин (клас пожежі – А, час вільного горіння 300 с, площа горіння - 0,2268 м²)

Вогнегасна речовина	Вміст добавки до води, % мас.	Тривалість гасіння, с	Середня маса вогнегасної речовини, витраченої на гасіння, кг	Відносна вогнегасна здатність вогнегасної речовини
Вода		100 ±	5 ±	1,00
Вода + 2 % ПУ типу Пірена	2	37 ±	3 ±	1,66
Водний розчин вогнебіо-захисної речовини ФСГ-2	31,5	10 ±	1,1 ±	4,55

Експерименти засвідчують про високу вогнегасну здатність (в 4,55 рази більшу від води) водного розчину вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 для гасіння пожеж класу А, що підтверджує справедливість гіпотези про можливість використання зазначеної речовини в якості вогнегасної речовини для дерев'яних конструкцій об'єктів різного призначення.

Запропонований комплексний підхід до об'єднання активного і пасивного протипожежного захисту об'єктів з пожежним навантаженням із целюлозовмісних матеріалів експериментально дослідили при виконанні протипожежного захисту фрагменту дерев'яного купола культової споруди. Дослідження проводили на полігоні УкрНДІ ЦЗ МНС України під час підготовки дисертаційної роботи В.В.Ніжника. Для пасивного захисту використовували робочий водний розчин вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 та робочі водні розчини вогнебіозахисної речовини ДСА-2. При чому застосовували спосіб оброблення дерев'яних конструкцій шляхом занурення (що найбільш зручно для об'єктів, які будуються) та поверхневим обробленням (для об'єктів, які введені в експлуатацію).

Для досліджень був прийнятий найбільш поширений в Україні тип куполу малого розміру за результатами роботи [10]. Основні параметри якого наведені в таблиці 3.

Таблиця 3. Параметри прийнятого для подальших досліджень куполу

Радіус основи куполу, м	Висота куполу, м	Маса дерев'яних конструкцій М _д , кг		Кільк. тепл., що виділ. при згор. 1 кг реч., МДж/кг		Площа внутрішньої поверхні купола S, м ²	Розрахункова пожежна навантага Р _р , МДж/м ²
		дуба	сосни	для дуба	для сосни		
0,8	2,3	85	1250	19,8	20,8	9,2	64

Дослідження проводилися на макеті, який наведено на рисунку 1а. Макет складається з таких основних частин: фрагмент пожежного навантаження, що представляє собою 1/8 частину прийнятого для досліджень куполу з відповідним пожежним навантаженням Р=8МДж/м² (2); три термопари (1) типу ТХА пристрій ІВС «Термоконт» для визначення температурного режиму, що встановлювалися у верхньому, нижньому та середньому фрагментах макету вздовж його центральної осі рисунок 1в; за джерело запалювання слугувало модельне вогнище пожежі класу В (4) для підпалу дерев'яного макету.

Фрагменти пожежного навантаження макету складаються з дерев'яних неструганих соснових брусків розмірами в поперечному перерізі 50мм x 50мм різної довжини (2)

(рисунок 1б). Вологість брусків становила в межах від 10% до 14%. Вологість деревини контролювалася згідно з ГОСТ 16588 [11] за допомогою вологоміра типу ВПК-12.

В якості вогнища класу В було прийнято модельне вогнище типу В21, що представляє собою металеве деку з внутрішнім діаметром $d=900$ мм, висотою бортика $h=150$ мм. У ємність вогнища типу В21 заливалося 7 л води та:

- 4 л бензину марки А-76, що забезпечувало 300 ± 15 с його горіння, час який відповідає прибуттю рятувальних підрозділів у міському населеному пункті при прийнятій середній швидкості руху рятувальних підрозділів по місту 40 км/год;

- 10 л бензину марки А-76, що забезпечувало 720 ± 25 с його горіння, час який відповідає прибуттю рятувальних підрозділів у сільському населеному пункті [10].

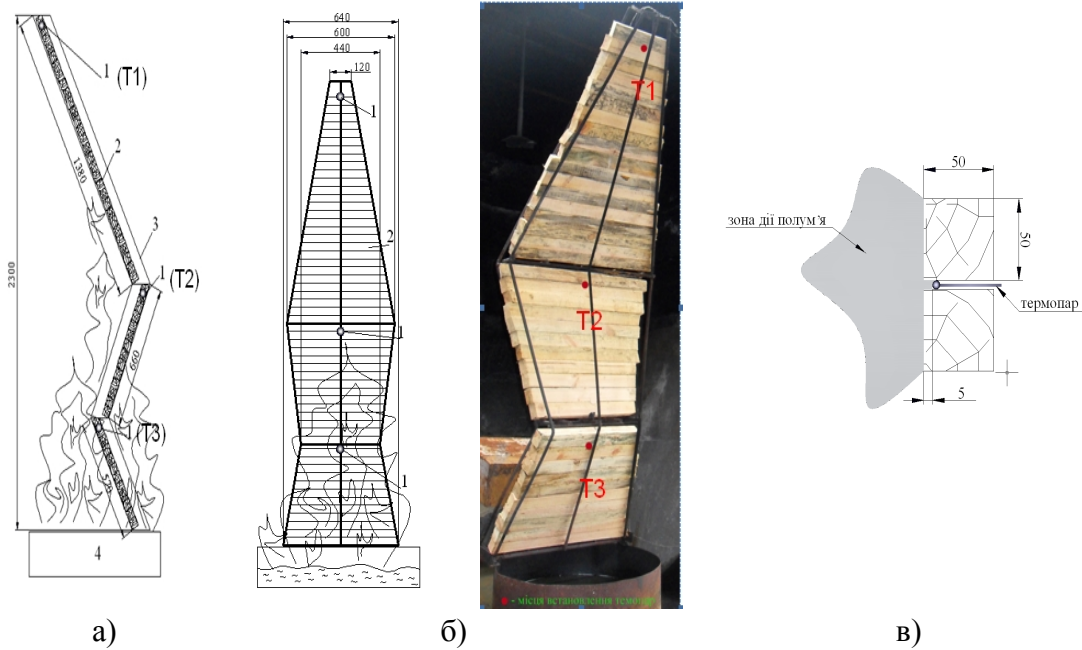


Рисунок 1. Експериментальна установка для дослідження параметрів горіння фрагменту дерев'яних конструкцій куполів культових споруд а) загальний вид експериментальної установки: 1-термопари, 2-сосновий брус, 3-металевий каркас, 4-модельне вогнище класу В; б) фрагмент дерев'яних конструкцій куполів культових споруд. в) приклад встановлення термопар

Результати морфологічних досліджень процесу горіння фрагменту дерев'яних підкупольних конструкцій культових споруд наведено в таблиці 4 та на діаграмах, що наведені на рисунках 2 і 3.

Таблиця 4. Результати морфологічних досліджень процесу горіння фрагменту дерев'яних підкупольних конструкцій культових споруд

Зразки для дослідження	Спостереження за результатами досліджень після вигорання вогнища класу В протягом обраного періоду часу, с	
	300	720
Дерев'яні бруски, що не оброблені вогнебіозахисним засобом	Фрагмент конструкції продовжує самостійно горіти до повного вигорання. Полум'я поширюється по всій площині фрагменту конструкції.	Фрагмент конструкції продовжує самостійно горіти до повного вигорання. Полум'я поширюється по всій площині фрагменту конструкції.
Дерев'яні бруски, що оброблені вогнебіозахисним засобом ФСГ-2 методом занурення	Відсутнє горіння фрагменту конструкції та її повторне займання. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 1,5-1-0 мм відповідно.	Наявні чотири осередки горіння із сучків та смоли, що продовжують горіти, які через 5-6 хв самостійно згасають. Поширення полум'я по конструкції відсутнє. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 4-2-1 мм відповідно.
Дерев'яні бруски, що оброблені вогнебіозахисним засобом ДСА-2 методом занурення	Відсутнє горіння фрагменту конструкції та її повторне займання. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 1,5-1-0 мм відповідно.	Відсутнє горіння фрагменту конструкції та її повторне займання. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 4-2-0,5 мм відповідно.
Дерев'яні бруски, що оброблені вогнебіозахисним засобом ДСА-2 методом поверхневого нанесення	Відсутнє горіння фрагменту конструкції та її повторне займання. Глибина обвуглення нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 2-1,5-1 мм відповідно.	Наявні два осередки горіння із сучків та смоли, які через 2 хвилини горіння самостійно згасають, відсутнє повторне загорання. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 5-3-1 мм відповідно.
Дерев'яні бруски, що оброблені вогнебіозахисним засобом ФСГ-2 методом поверхневого нанесення	Відсутнє горіння фрагменту конструкції та її повторне займання. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 2-1,5-1 мм відповідно.	Наявні осередки горіння із сучків та смоли, які продовжують самостійно горіти. Поширення полум'я по конструкції відсутнє. Осередки горіння були загашені системою пожежогасіння, з використанням 600 г водного вогнебіозахисного засобу ФСГ-2. Глибина тріщин обвуглення брусків нижньої, середньої та верхньої частини фрагменту куполу становить 5-3-2 мм відповідно.

На рисунку 2 зображені фото морфологічних експериментальних досліджень процесу горіння макету куполу культової споруди, елементи якого виконані із необробленої засобами вогнезахисту деревини.

На рисунку 2а зображено фото макету перед початком проведення вогневих випробувань. Після запалювання вогнища класу В макет повністю охоплюється полум'ям і через 3-4 хвилини горіння вогнища класу В спостерігається початок деструкції деревини, а саме, наявність осередків полум'я горючих газів, які вивільняються із дерев'яних елементів макету рисунок 2б. Під час горіння вогнища, класу В максимальна температура, яку фіксують термопари досягає значень $800-900^{\circ}\text{C}$. Після вигорання вогнища класу В (через $12 \text{ хв} \pm 25 \text{ с}$) спостерігається самостійне горіння необроблених дерев'яних фрагментів. При цьому проявляється специфічність вертикального горіння пожежного навантаження, а саме відсутнє полум'яне горіння обвугленої нижньої частини макету, не достатньо температури займання, а також у верхній частині макету, вона не встигла загорітися від вогнища класу В. В нижній частині макету спостерігається наявність жару, а в середній частині макету наявність осередків горіння, що є джерелом подальшого поширення полум'я. Максимальна температура, яку фіксують термопари в цей час не перевищує 200°C . Через 2-3 хвилин після вигорання вогнища класу В спостерігається поширення полум'я до верхньої частини макету та його розгортання і подальше самостійне горіння рисунок 2г, температура досягає 500°C . Через 5-6 хвилин самостійного горіння макету пожежного навантаження спостерігаються перші руйнування дерев'яних елементів, а через 30 хвилин самостійного горіння макету відбувається повне руйнування дерев'яних конструктивних елементів рисунок 2д.

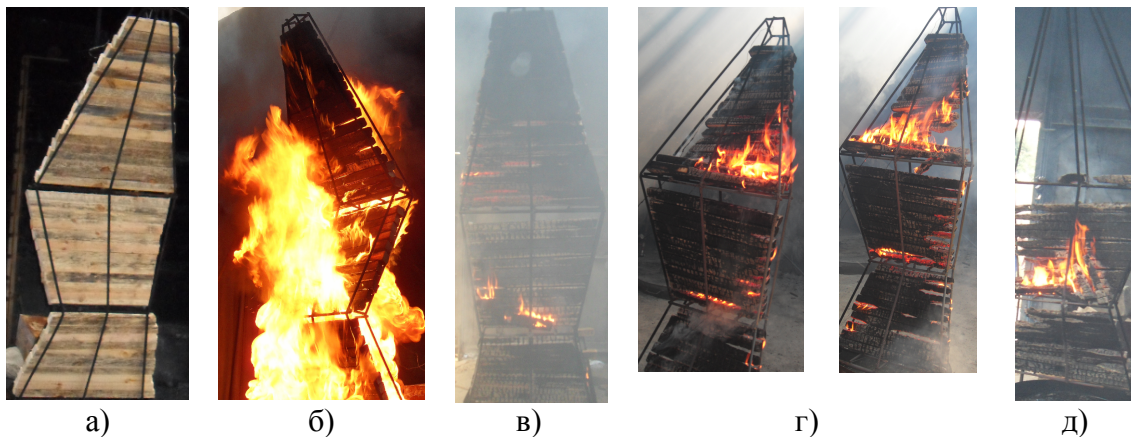


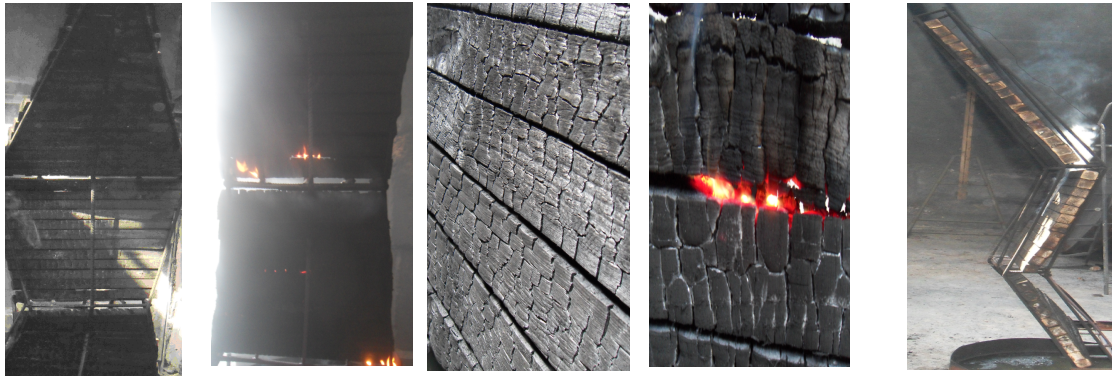
Рисунок 2. Фото морфологічних експериментальних досліджень процесу горіння макету пожежного навантаження куполу культової споруди, елементи якого виконані із необробленої засобами вогнезахисту деревини: а) початковий вид макету; б) горіння вогнища класу В; в) самостійне горіння дерев'яних елементів макету після вигорання вогнища класу В; г) поширення полум'я та його розгортання на дерев'яних елементах макету; д) повне вигорання дерев'яних елементів макету та їх руйнування.

На рисунку 3 зображені фото морфологічних досліджень процесу горіння макету пожежної навантаги куполу культової споруди, елементи якого виконані із дерев'яних конструкцій, що оброблені вогнебізахисною речовиною ФСГ-2.

Перед початком проведення вогневих випробувань бруски мають рожевий відтінок. Після запалювання вогнища класу В макет повністю охоплюється полум'ям, при цьому відсутні прояви деструкції деревини при горінні вогнища класу В протягом 5 хвилин (рисунок 3а), разом з цим, при горінні вогнища класу В протягом 12 хвилин на 7-8 хвилині його горіння спостерігається не велика кількість осередків полум'я горючих газів, які вивільняються із дерев'яних елементів макету рисунок 3б. Після 5 хвилин впливу полум'я вогнища класу В на дерев'яні елементи фрагменту, спостерігається відсутність великих

тріщин деревини (рисунок 3в). Після 12 хвилинного впливу полум'я вогнища класу В на дерев'яні елементи фрагменту, спостерігається наявність осередків горіння та жару в місцях з великою кількістю смоли та сучків, при цьому відсутнє поширення полум'я по дерев'яним елементам фрагменту (рисунок 3г).

Слід також відзначити, що полум'я фактично не впливало на торці дерев'яних конструктивних елементів макету, що були оброблені засобами вогнебіозахисту ДСА-2 та ФСГ-2 (рисунок 5д.)



а) б) в) г) д)

Рисунок 3. Фото морфологічних досліджень процесу горіння макету пожежного навантаження купола культової споруди, елементи якого виконані із дерев'яних конструкцій, що оброблені вогнебіозахисною речовиною ФСГ-2 а) вид макету після вигорання вогнища класу В за час 5 хв; б) вид макету після вигорання вогнища класу В за час 12 хв; в) стан дерев'яних конструкцій після 5 хвилинного впливу полум'я вогнища класу В; г) стан дерев'яних конструкцій після 12 хвилинного впливу полум'я вогнища класу В; д) стан торців дерев'яних конструкцій після впливу полум'я вогнища класу В.

За результатами експериментальних досліджень можна визначити (розрахувати) відносну ефективність протипожежного захисту фрагмента під купольного простору з дерев'яними конструкціями у вигляді витрати води на його гасіння (активний протипожежний захист), витрати ВВР ФСГ-2 на вогнебіозахист дерев'яних конструкцій (пасивний протипожежний захист) та витрату ВВР ФСГ-2 при об'єднаному (комплексному) протипожежному захисті після дванадцятихвилинного горіння джерела займання у вигляді модельного вогнища типу В21. Ці результати наведені у таблиці 5.

Таблиця 5. Розрахунки витрати води і ВВР ФСГ-2 та їх відносної ефективності протипожежного захисту фрагменту купола культової споруди.

Вогнегасна речовина	Площа фрагменту, м ²	Витрати на активний протипожежний захист	Витрати на пасивний протипожежний захист	Об'єднаний (комплексний) протипожежний захист після 12 хв. горіння
Вода	9,2	211,6 кг	-	-
ВВР ФСГ-2	9,2	44,62 кг	8,28 кг	8,88 кг
Відносна ефективність	-	4,74	25,5	23,8

Дані таблиці 5 свідчать про значну перевагу об'єданого (комплексного) протипожежного захисту порівняно з окремими складовими (окремо активного і пасивного протипожежного захисту).

Технологія протипожежного захисту культових споруд може складатися із заміни горючих дерев'яних конструкцій підкупольного простору на конструкції з вогнезахисної деревини для об'єктів, які будуються, реконструюються чи реставруються, з використання будь-якого доступного способу оброблення, що забезпечує нормовану вогнезахисну ефективність дерев'яних конструкцій.

Для вирішення задачі протипожежного захисту культових споруд, які уже побудовані та експлуатуються, то пропонується інший технологічний підхід. Підкупольні дерев'яні конструкції можливо захистити тут від вогню тільки поверхневим обробленням, частіше всього нанесенням просочувальних вогнебіозахисних речовин з використанням пензлів або технічних засобів обприскування – розпилювачів. Для куполів культових споруд, в яких влаштовані сухотруби з дренажними зрошувачами, можна використати зазначену систему для подавання вогнезахисної речовини ФСГ-2 для оброблення дерев'яних конструкцій (перша стадія технології протипожежного захисту об'єктів). Для підвищення ефективності протипожежного захисту підкупольного простору культових споруд можна додатково використати систему пожежогасіння, в якій застосовувати ВВР ФСГ-2 як вогнегасну речовину (друга стадія технології протипожежного захисту).

Результати проведених досліджень показують, що запропонована технологія протипожежного захисту підкупольного простору культових споруд може бути рекомендована до застосування на реальних об'єктах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. А.В.Антонов, В.О.Боровиков, В.П.Орел, В.М.Жартовський, В.В.Ковалишин. Вогнегасні речовини. Посібник. – Київ: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
2. Андрієнко В.М., Бут В.П., Жартовський В.М., Жартовський С.В., Маладика І.Г., Цапко Ю.В. Вогнезахист деревини та виробів з неї: Навчальний посібник, - Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України, 2009. – 254 с.
3. Огнетушащие порошковые составы / И.И.Зозуля, А.В.Антонов, В.М.Жартовский и др. / Научно-технический прогресс в пожарной охране: Сб. науч. тр. // Под ред. Юрченко Д.И. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 137-147.
4. ТУ У 24.2 – 216435506.002 0 2001 Засіб дезінфікуючий „Гембар”. Технічні умови.
5. Константинова Н.И. Проблемы огнезащиты текстильных материалов из смесевых волокон // Пожарная безопасность. – 2003., - №4. – С.103-106.
6. Жартовський С.В., Соколенко К.І., Рихліцький Д.І. Композиційний просочувальний засіб для вогнезахисту деревини і тканин // Науковий вісник УкрНДІПБ. – К. 2010. - №2(22). – С.30-37.
7. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 370 с.
8. Тарахно О.В., Шаршнов А.Я. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. Навчальний посібник. – Харків. АЦЗУ. 2004. – 252 с.
9. Сізіков О.О., Ніжник В.В. Аналіз пожежної небезпеки куполів культових споруд // Науковий вісник УкрНДІПБ: Наук. Журнал. – К., 2010. - № 1 (21).- С.108-112.
10. Провести дослідження і розробити програмне забезпечення щодо визначення сітки покриття підрозділами місцевої пожежної охорони в сільських населених пунктах: Звіт про НДР / УкрНДІПБ; №0106U005414.-К.2006. – 45 с.

УДК 614.48

С.В. Жартовський, к.т.н., УкрНДІЦЗ МНС України,
О.Д. Коваль, к.т.н., доц., НТУУ «КПІ»,
І.Г. Маладика, к.т.н., доц., В.М. Кришталь, АПБ ім. Героїв Чорнобиля МНС України

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДНОЇ ВОГНЕГАСНОЇ РЕЧОВИНИ ФСГ-2

Досліджені аномалії в'язкості, визначені особливості форми струменю та розмір краплин водної вогнегасної речовини ФСГ-2. Показана перспективність використання водної вогнегасної речовини ФСГ-2 для гасіння пожеж різних класів.

Ключові слова: фізико-хімічні властивості, водні вогнегасні речовини, пожежі класу В, реологічні властивості рідин.

Актуальність проблеми і огляд останніх публікацій. Основною складовою водних вогнегасних речовин (ВВР) є вода. Вода – найбільш поширена вогнегасна речовина, яка характеризується високою питомою теплоємністю, прихованою теплотою пароутворення, вона хімічно інертна по відношенню до більшості горючих речовин і матеріалів, доступна і дешева.

Використання води є надійним і ефективним при гасінні пожеж, що пов'язані з горінням речовин і матеріалів у всіх трьох агрегатних станах (твердому, рідкому, газоподібному). Однак при гасінні водою, через недосконалість техніки подачі і розпилення води, а також внаслідок ряду інших причин, в більшості випадків не реалізуються всі її унікальні фізичні і фізико-хімічні властивості.

Воду застосовують без добавок або з добавками, формуючи компактні, розпилені (середній діаметр краплин понад 100 мкм) і тонко розпилені (середній діаметр краплин до 100 мкм) струмені [1].

Високу вогнегасну здатність мають водні розчини з полімерними добавками, які не тільки загущують, а й при підвищенні температури здатні до гелеутворення або до утворення на поверхні горючої речовини негорючого покриття, яке виконує вогнезахисту функцію. Застосування розчинів гелеутворюючих добавок може підвищити вогнегасну ефективність води в 1,5-2 рази [2]. Поширеними гелеутворюючими добавками є полі силікат натрію, поліакриламід і метилцелюлоза.

Постановка завдання досліджень та його вирішення. Актуальною є задача створення ВВР на основі використання композиційних добавок до води і дослідження її реологічних властивостей.

При виконанні цієї задачі необхідно враховувати наявні протиріччя різного характеру. Загусники та гелеутворювачі до води можуть підвищувати її ефективність, але при цьому існують певні технічні складності для створення розпилених і тонкорозпилених струменів ВВР. Неорганічні солі, в якості інгібіторів полуменевого горіння та антипіренів для деревини, висолюють водорозчинні полімери, а тому можуть використовуватись в обмежено низьких концентраціях [3].

Була синтезована комплексна речовина – полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду. Її водна композиція має технічні назви ФСГ-1 та ФСГ-2 (в залежності від концентрації основної речовини). Рецепт ФСГ-2 має як властивості ВВР, так і властивості речовини для вогнебіозахисту целюлозовмісних матеріалів (деревини, очерету, тканин, паперу тощо) [4].

Густина ВВР ФСГ-2 більша за густину води, із збільшенням концентрації речовини показник густини збільшується, а значення показника рН практично не змінюється в

діапазоні концентрацій від 4% до 60% (табл.1). Це свідчить про те, що комплексна сполука відноситься до речовин, які здатні проявляти буферні властивості, що притаманно сполукам фосфорної кислоти.

Таблиця 1. Результати дослідження густини та водневого показника ВВР ФСГ-2.

Концентрація комплексної сполуки у ВВР ФСГ-2, %	0	3,75	7,5	15	30	60
Водневий показник, рН	7,0	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6
Густина, кг/дм ³	1,0	1,02	1,03	1,07	1,13	1,2

Природно, що найбільша ефективність ВВР при подачі в полум'я спостерігається в тому випадку, коли її охолоджуючий ефект буде максимальним, тобто коли вся вода, що міститься в складі ВВР, подана на гасіння пожежі, випаровується за рахунок від'єму тепла від полум'я пожежі. Вогнегасна ефективність ВВР залежить від ряду чинників, основними з яких можуть вважатися розмір її крапель та вплив хімічних добавок.

Можливі два основних методи підвищення вогнегасної ефективності ВВР

- а) фізичний – за рахунок зміни дисперсності та температури ВВР, що подається на гасіння;
- б) хімічний – за рахунок використання для цілей пожежегасіння водних розчинів різних хімічних сполук.

Крім частково розглянутих хімічних та фізико-хімічних властивостей ВВР ФСГ-2 заслуговують на увагу реологічні характеристики цієї речовини.

Реологічні характеристики ВВР ФСГ-2 та ФСГ-1 визначали із застосуванням ротаційного віскозиметру РЕОТЕСТ, в якому використані циліндричні вимірювальні пристрої Сирле (рис. 1).

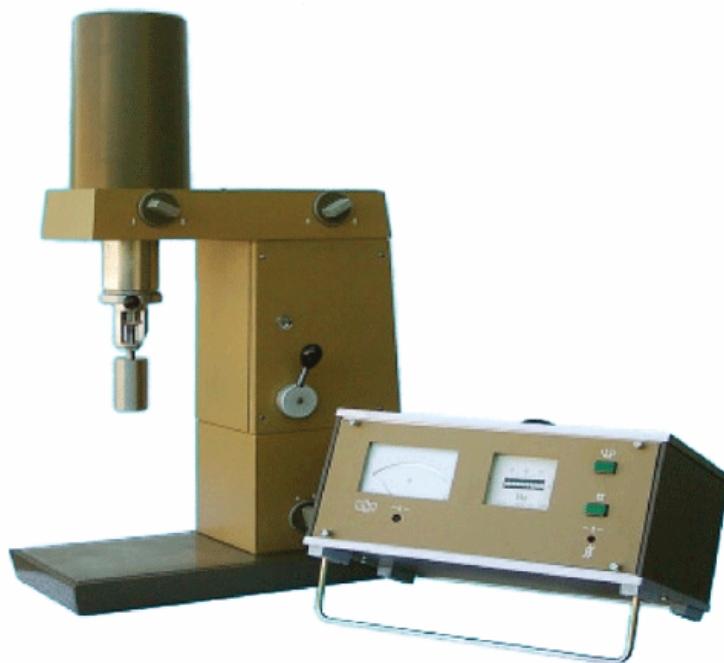


Рис.1. Ротаційний віскозиметру „РЕОТЕСТ-2.1”

Матеріал (рідина), що досліджується заливається у кільцеву щілину, що утворена між двома коаксіальними циліндрами (рис.2).

Зовнішній, нерухомий циліндр радіусом R (рис.2) виконано нерухомим. В нього заливається досліджувана рідина. З метою забезпечення підтримки заданої температури

зазначений циліндр розміщено в рідині, яка циркулює в системі рідинного циркуляційного термостату. Внутрішній циліндр радіусом r та довжиною L обертається зі швидкістю ω та з'єднаний через вимірювальний вал з циліндричною гвинтовою пружиною, відхилення якої є мірою обертаючого моменту, що діє на внутрішній циліндр. Відхилення пружини відтворюється потенціометром, що включено в мостову схему, тобто зміна току, що протікає по діагоналі мостової схеми, є пропорційною обертаючому моменту прикладеному до пружини M .

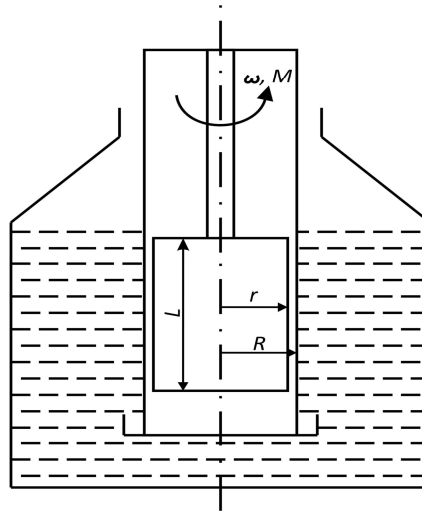


Рисунок 2 - Коаксіальна циліндрична система

В коаксіальній циліндричній системі напруження зсуву τ та швидкість зсуву $\dot{\gamma}$ піддається точному розрахунку. Мають місце наступні рівняння для визначення

- напруження зсуву, (дотичного напруження)

$$\tau_r = M / (2\pi L r^2);$$

- швидкості зсуву (градієнта швидкості)

$$\dot{\gamma} = 2\omega R^2 / (R^2 - r^2);$$

- динамічної в'язкості

$$\mu = \tau_r / \dot{\gamma}.$$

Отже, із застосуванням зазначеного обладнання вивчались реологічні характеристики рідин ФСГ-1 та ФСГ-2 на предмет виявлення в них аномалій в'язкості. На рисунках 3 та 4 представлені діаграми залежності дотичного напруження від градієнта швидкості для різних концентрацій комплексної сполуки ВВР ФСГ-2, відповідно. По осі абсцис відкладений градієнт швидкості зсуву (1/с), а по осі ординат відкладене напруження зсуву (Па). Діаграми побудовано в логарифмічних координатах для температур $T_1 = 16^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 20^{\circ}\text{C}$, $T_3 = 30^{\circ}\text{C}$, $T_4 = 40^{\circ}\text{C}$, $T_5 = 50^{\circ}\text{C}$. Діаграми апроксимовано лініями тренду степеневі функції, при чому рівняння апроксимуючих функцій наведені у лівому верхньому кутку рисунків для зазначеного діапазону температур (від T_1 до T_5 зверху до низу, відповідно).

Відомо, що для ньютонівських рідин характерна пряма пропорційність напруження зсуву від градієнту швидкості (тобто $n=1$ у степеневі функції $y=\mu x^n$). Для неньютонівських (аномальних рідин), які можуть бути описані законом Оствальда-де-Віля, значення степеню

$n \neq 1$. Як видно з рисунків 3 та 4 значення степеню в апроксимуючих функціях приблизно дорівнює 0,9. Отже можна констатувати факт наявності слабо виражених псевдопластичних ефектів (оскільки $n < 1$) у ВВР ФСГ-2. Це свідчить про ймовірність гіпотези про те, що в'язкість цієї рідини значна при малих швидкостях, але з подальшим ростом градієнта швидкості її в'язкість зменшується. Ці властивості можуть мати велике значення для роботи технічних пристроїв.

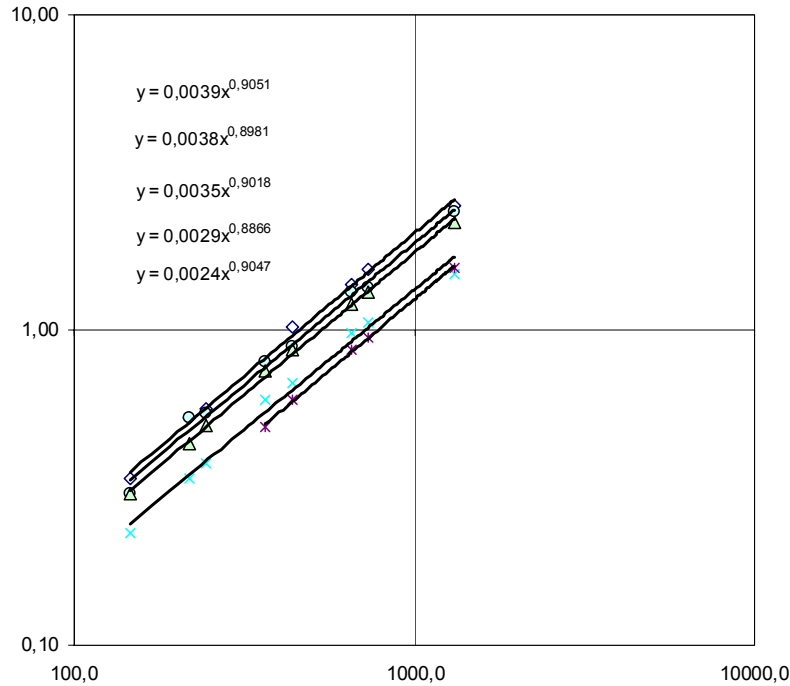


Рис.3. Реологічні криві ВВР (при концентрації комплексної сполуки до 20%)

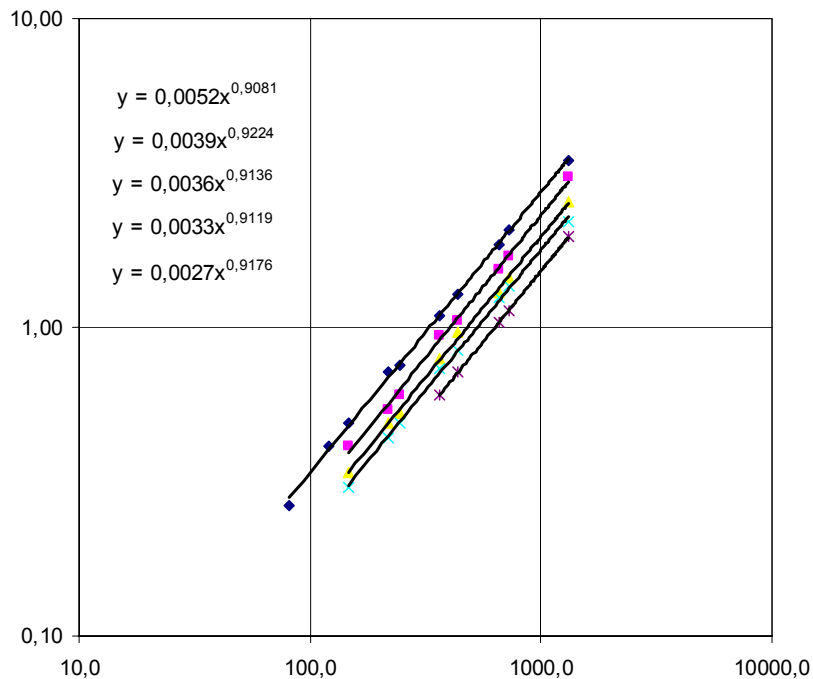


Рис.4. Реологічні криві ВВР ФСГ-2

О.Л.Кирюхінін [5] обґрунтовано використання дисперсних середовищ із високими градієнтами сил міжфазної взаємодії дисипативних процесів у мастильному шарі (до 7000 об/хв) і вперше виявлено ефект структуроутворюючої дії речовини групи полегксаметиленгуанідин фосфатів (0,5...1 %-ний водний розчин) у приповерхневих шарах гідростатодинамічних підшипників на водному змащенні, який забезпечує стійкість рідинного тертя в гідродинамічному режимі роботи опорного вузла. Такі явища можуть бути використані і в пожежній техніці.

На характер розкладу струменя ВВР при розпилюванні впливають безпосередньо сама хімічна природа рідини, капілярні сили, турбулентні пульсації, кавітація, зовнішні та інерційні сили. Серед усіх сил, які існують у двохфазних системах, сили поверхневого натягу направлені на те, щоб надати краплині форму сфери. Всі інші сили направлені на деформування сферичної форми краплини.

В основі створення теорії розпаду струменів лежить класична постановка задачі, яка запропонована Релеєм, коли передбачається, що розпад струменя на краплини обумовлено нестійкістю стовпа рідин кругового перетину під дією сил поверхневого натягу. Гіпотеза Релея була поширена Вебером для в'язкої рідини. У загальному випадку при розповсюдженні в повітрі струменя рідини в його структурі зустрічаються наступні характерні складові: компактний, роздіблений та розпилений.

Вебер визначив залежність довжини суцільної частини струменя від умов витікання і фізичних властивостей рідини. Експериментально встановлено, що при швидкості витікання струменя в атмосферу до 30 м/с довжина компактної частини збільшується з підвищенням швидкості витікання, а при зменшенні скорочується [6].

Співвідношення між тиском, що створюється швидкісним напором, і тиском, що створюється поверхневим натягом рідини, визначається безрозмірним критерієм Вебера

$$We = \frac{\rho V^2 d_k}{2\sigma},$$

де ρ – густина рідини; V – швидкість незбуреного газового потоку; d_k – діаметр розпилених крапель; σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини.

Розглядаючи аеродинамічну дію газу на краплини і враховуючи критерій Вебера в якості визначального в цьому процесі, багато науковців пропонують встановити критичне значення цього параметру, який буде пов'язаний з видом рідини, що розпилюється. Тоді руйнування крапель і струменів рідини відбувається за умови, що число Вебера перевищує деяке критичне значення

$$We > We_{кр.}$$

Однак необхідно зазначити, що число Вебера не єдиний критерій, який визначає поведінку краплини в газовому потоці. В залежності від умов проведення експериментів, його критичне значення може змінюватися в широкому інтервалі від 3 до 25. У загальному випадку $We_{кр}$ залежить від в'язкості рідини, діаметру краплини, а також від часу впливу газового потоку на краплину.

Характер і можливі різновиди процесу руйнування краплин і струменів рідини в газовому потоці і спектр частинок, що виникають внаслідок розпилення, теоретично поки що досліджені недостатньо. У зв'язку з цим єдиним надійним джерелом інформації про поведінку краплин і струменів є експериментальний метод.

Для вивчення витікання струменів з отворів та насадків часто використовують установку Маріотта (рис. 5).

Установка Маріотта складається з герметично закритої посудини A , яка обладна водомірним склом C та п'єзометром D . Перед початком досліду бак Маріотта через трубу « b » заповнюється досліджуваною рідиною до встановленої відмітки на водомірному склі C .

Коли кран Кр.1 відкрито тиск p_0 дорівнює атмосферному тиску ($p_{атм}$), тому тиск на рівні B

$$p_B = p_{атм} + \rho g(h + H).$$

Та, оскільки $(H + h) = \text{var}$, p_B – змінна величина ($p_B = \text{var}$).

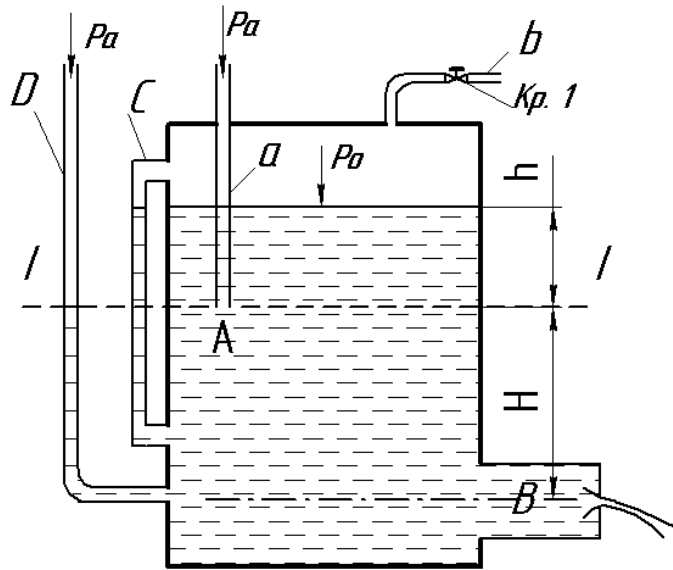


Рис.5. Установа для демонстрації витікання рідин з отворів та насадків (установа Маріотта)

В момент закриття крану *Кр.1* $p_0 = p_{\text{атм}}$, але при подальшому витіканні рідини з посудини рівень h зменшується, тому p_0 теж зменшується, тобто $p_0 < p_{\text{атм}}$. При деякому значенні h справедливе співвідношення: $p_0 + \rho gh < p_{\text{атм}}$. Через трубу «а» буде надходити повітря в посудину, „прагнути” вирівняти тиск

$$p_0 \rightarrow p_{\text{атм}}$$

Оскільки на виході труби «а» тиск дорівнює атмосферному, то ми отримуємо площину рівного тиску *I-I*. Тобто у перерізі *I-I* буде підтримуватись атмосферний тиск до тих пір поки $h > 0$. В той же час на рівні *B* тиск стає постійною величиною:

$$p_B = p_{\text{атм}} + \rho g(h + H) = \text{const}.$$

Отже при закритому крані *Кр.1* труба «а», що з'єднує посудину *A* з атмосферою, забезпечує витік рідини при постійному напорі H , забезпечуючи постійну витрату рідини, до тих пір поки горизонт рідини не знизиться до перерізу *I-I*.

Проведені дослідження витікання з установки Маріотта води та ВВР ФСГ-2 показали, що довжина струменя при використанні циліндричного насадку в обох випадках становить 54 см при напорі $H = 67$ см. Але форма струменю при дослідженні ВВР ФСГ-2 дещо відрізняється від форми струменю при дослідженні витікання води (рис.6 та рис.7).

Як видно з рисунків 6 та 7, струмінь ВВР ФСГ-2 довше зберігає компактну «циліндричну» форму (тобто струмінь пізніше розпадається на краплини) порівняно із струменем води. Це дає підстави для гіпотези про те, що при використанні в умовах більш високих тисків (на кшталт робочих тисків в реальних пожежних рукавах, гідрантах, розпилювачах тощо) довжина струменю ВВР ФСГ-2 може бути більшою, ніж довжина струменю води. Необхідно також звернути увагу і на те, що візуально розмір крапель води більший за розмір крапель ВВР ФСГ-2.

Подальше перебування первинних крапель у газовому потоку буде приводити до подальшого подрібнення. Як зазначено в [2] оцінку мінімального і максимального діаметрів крапель води і ВВР ФСГ-2, які утворюються розпиленням струменів за допомогою різних пристроїв, можуть бути визначені наступним чином:

$$\begin{aligned} d_{\min} &= d_0 (B/We)^{1/3}; \\ d_{\max} &= d_0 (B/3)^{1/3}; \\ d_{\text{сер}} &= 0,9 d_0 (B)^{1/3} \lg(We/3), \end{aligned}$$

де d_0 – діаметр первинних крапель при розпаді струменя, $B = 0,38$ – експериментальний коефіцієнт.



Рис.6. Форма струменю води при витіканні через циліндричний насадок з установки Маріотта ($H= 67$ см).

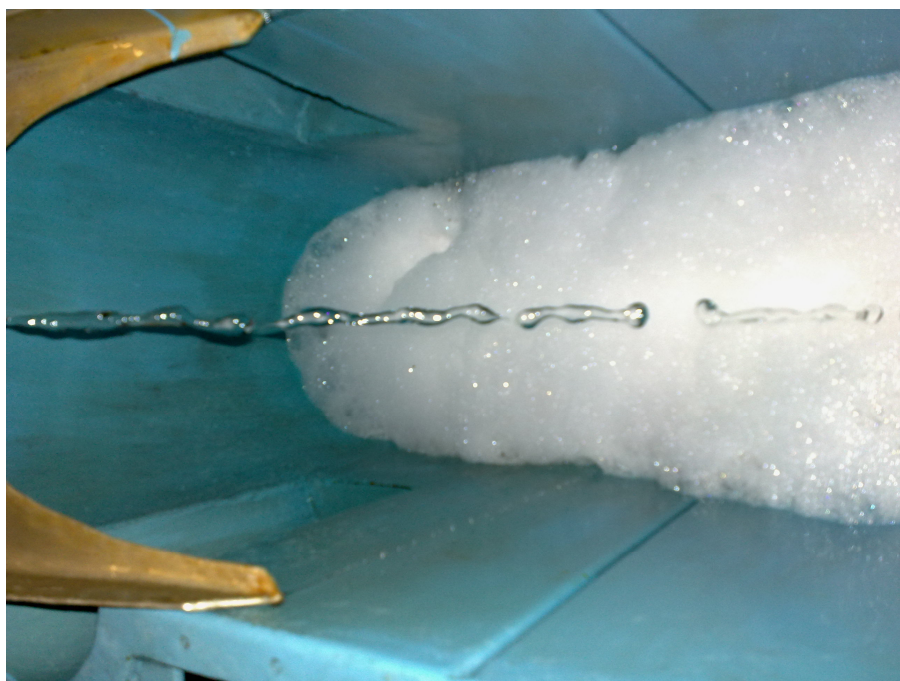


Рис.7. Форма струменю вогнегасної речовини ФСГ-2 при витіканні через циліндричний насадок з установки Маріотта ($H= 67$ см).

При розпаді струменів (перехід в режим розпилення) доцільно значення числа Вебера прийняти за 14 (відповідно до [6]). Тоді

$$d_{min} = 0,301 d_0;$$

$$d_{max} = 0,502 d_0;$$

$$d_{сер} = 0,436 d_0.$$

Тобто при розпиленні розмір краплин визначається діаметром первинних крапель.

Здатність до утворення розпиленних струменів води і ВВР ФСГ-2 досліджували на лабораторному пневматичному розпилювачі. Первинний розмір краплин рідини вимірювали за допомогою мікроскопа „Polmu A”. Результати вимірювання і обчислення розміру краплин наведено в табл.2.

Таблиця 2. Результати вимірювання і обчислення розміру краплин рідин.

Параметри	Рідини					
	Вода			ВВР ФСГ-2		
Швидкість потоку, м/с	20	40	60	20	40	60
Початковий діаметр краплин d_0 , 10^{-6} м	2500	2000	1500	1500	1000	500
d_{min} , 10^{-6} м	752	602	451	451	301	150
d_{max} , 10^{-6} м	1255	1004	753	753	502	251
$d_{сер}$, 10^{-6} м	1090	872	654	654	436	218

Як засвідчують дані табл.2, ВВР ФСГ-2 має більшу здатність до розпилення струменів. При швидкості потоку в 60 м/с розмір краплин може зменшуватись до $150-200 \times 10^{-6}$ м, що класифікується як розпиленість струменів середньої дисперсності.

Таким чином, проведені дослідження вказують на наявність специфічних реологічних властивостей ВВР ФСГ-2, особливо на підвищену здатність до розпилення струменів, що вказує на перспективність застосування ВВР ФСГ-2 для гасіння пожеж різних класів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.В.Антонов, В.О.Боровіков, В.П.Орел, В.М.Жартовський, В.В.Ковалишин. Вогнегасні речовини. Посібник. – Київ: Пожінформтехніка. 2004. – 176 с.
2. О.В.Тарахно, А.Я.Шаршанов. Фізикохімічні основи використання води в пожежній справі. Навчальний посібник.- Харків. 2004. – 252 с.
3. В.М.Жартовський, С.В.Жартовський, І.А.Кріса, І.А.Рихліцький, Д.І.Рихліцький. Проблеми та шляхи забезпечення безпеки життєдіяльності об'єктів з використанням води і водних речовин. Доповідь. II Міжнародна науково-практична конференція „Техногенна безпека: теорія, практика, інновації”. 12-13 травня 2011 р.
4. Патент України на корисну модель №23803 „Просочувальний розчин для поверхневого вогнебіозахисту тканин і паперу. Бюл. №8, 11.06.2007 р.
5. О.Л.Кирюхін. Удосконалення функціональних властивостей систем утримання та стабілізації валопроводів судових турбінних установок. // Автореф. док. дис. доктора техн. наук. Одеса. 2001, с. 36.
6. М.С.Волынский. Необыкновенная жизнь обыкновенной капли : - М.: Знание. 1986 - 144 с.

УДК 614.841.42

Калиновський А.Я., к.т.н., НУЦЗУ, Соколовський С.А., АВВУ

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЛАНДШАФТНОЇ ПОЖЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ВОЛОГОСТІ ПАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ТА ФЛУКТУАЦІЙ ВІТРУ

Досліджено вплив випадкових коливань вітру і неоднорідності пального матеріалу по вологості на швидкість поширення контуру ландшафтної пожежі. Показано, що при рівномірному розподілі випадкових величин швидкості вітру і його напрямку, годограф швидкості руху пожежі сильно залежить від флуктуації вітру по напрямку, а від флуктуації по силі залежить слабо. Показано вплив неоднорідності полю вологості на поширення контуру ландшафтної пожежі, який призводить до його складної форми.

Ключові слова: контур пожежі, флуктуація вітру, поле вологості.

Постановка проблеми. Одним з основних питань протипожежної охорони лісів є прогнозування динаміки поширення контуру пожежі по визначеній території, тобто знаходження залежності форми і розмірів контуру від часу t . Знання параметрів контуру лісової (ландшафтної) пожежі дозволяє зробити правильний вибір методів гасіння [1-4].

Аналіз досягнень і публікацій. У [5] розглянута геометрична модель швидкості поширення ландшафтних пожеж, відповідно до якої

$$V(\varphi, \psi, v_B) = V_0 \frac{2\alpha \cos^2 x + (1 + \alpha^2) \sqrt{\cos^2 x + (1 - \alpha^2)^2 \sin^2 x}}{\cos^2 x + (1 + \alpha^2)^2 \sin^2 x}, \quad (1)$$

де $V_0 = v_0 + kv_B$, $\alpha = v_B / \sqrt{v_B^2 + c^2}$, $x = \varphi + \psi$, v_B і ψ сила вітру і його напрямок щодо полярної осі, що збігається з віссю OX , φ – азимутальний кут, v_0 – швидкість поширення пожежі при $v_B = 0$. Параметри моделі v_0 , k і c залежать від складу і стану пального матеріалу і приведені в [6]. З (1) дістаємо $V_{ФР}$, V_T , а також $V_{ФЛ}$ які збігаються з виразами, приведеними в [6]. Відзначимо, що формула (1) описує швидкість поширення пожежі на рівнинній місцевості, а її справедливість підтверджена численними експериментальними дослідженнями (див. [2]).

Постановка задачі. Вираз (1) узагальнено нами для випадку врахування флуктуацій вітру по силі v_B і напрямку ψ . Дійсно з експериментальних спостережень [3] відомо, що швидкість вітру може сильно змінюватися по величині і напрямку. При цьому [3] випадкові величини v_B і ψ підкоряються рівномірному (при $v_B \leq 2$ м/с) і нормальному при ($v_B > 2$ м/с) законам розподілу. Нами вивчено вплив таких флуктуацій на швидкість поширення пожежі, яка залежить у тому числі від вологості пального матеріалу. Нами була врахована вологість й її вплив на контур лісової пожежі.

Постановка завдання та його вирішення. У даній роботі коливання вітри враховані нами в припущенні, що випадкові величини v_B і ψ незалежні і підкоряються рівномірному законові розподілу

$$f(\psi, v) = f_1(\psi) f_2(v), \quad f_1(\psi) = \frac{1}{2\Delta\psi}, \quad f_2(v) = \frac{1}{2\Delta v}, \quad (2)$$

де $-\Delta\psi < \psi < \Delta\psi$, $v_B - \Delta v < v < v_B + \Delta v$ й з математичним сподіванням $M(\psi)=0$ і $M(v)=v_B$ (основний напрямок вітру збігається з віссю OX) і дисперсією $D(\psi)=(\Delta\psi)^2/3$ і $D(v_B)=(\Delta v)^2/3$

Тоді середнє значення швидкості поширення пожежі $\bar{V}(\varphi)$ визначається математичним очікуванням:

$$M(V(\varphi, \psi, v_B)) = \bar{V}(\varphi) = \int_{\psi - \Delta\psi}^{\psi + \Delta\psi} \int_{v_B - \Delta v}^{v_B + \Delta v} V(\varphi, \psi, v_B) d v_B d \psi * f(\psi, v_B), \quad (3)$$

Розрахунки величини (3) проведені нами при наступних значеннях параметрів $v_0=0,067$ м/с, $k=0,0075$, $c=240$ м/с, при різних значеннях v_B , Δv і $\Delta\psi$.

На рис. 1 приведені як приклади найбільш цікаві і характерні результати проведених нами розрахунків. Так як найбільш небезпечний напрямок поширення пожежі визначає напрямок вітру, то аналіз і порівняння одержуваних годографів швидкості пожежі проведено нами для контурів у правій напівплощині. Форма годографа швидкості пожежі в лівій напівплощині не є критичною для організації гасіння пожеж при $v_B > 0$ [4].

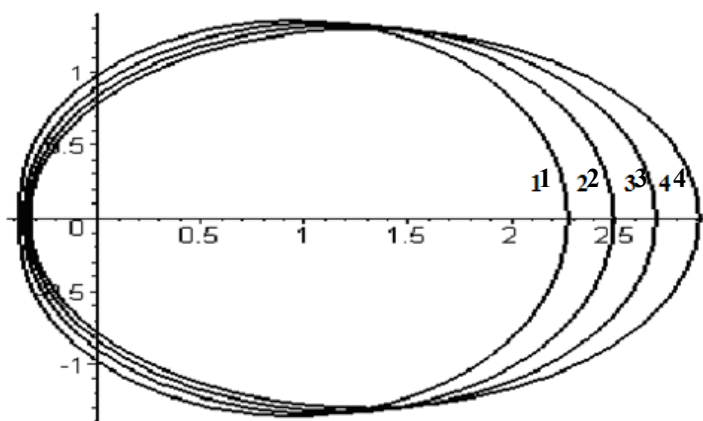


Рис. 1. Годографи швидкості при $v_B = 120$ м/с, $\Delta v = 180$ м/с. Лінія 4 відповідає контуру без врахування флуктуації. Лінії 1-3 при $\Delta\psi = \pi/3, \pi/4, \pi/6$ відповідно.

З аналізу отриманих даних випливає, що флуктуація вітру по швидкості v_B майже не впливає на швидкість поширення пожежі. У свою чергу флуктуація вітру по напрямку ψ значно впливає на швидкість поширення пожежі.

Для того щоб врахувати поля вологості в аналітичному виді введемо у вираз для швидкості (1) коефіцієнт K , що описує напівемпіричну залежність K при неоднорідній вологості w рослинного покриву [1, 7, 8]:

$$K = f(w) = 1 - 2,6 \frac{w}{w_0} + 5,1 \left(\frac{w}{w_0}\right)^2 - 3,5 \left(\frac{w}{w_0}\right)^3, \quad (4)$$

де w_0 – критичне значення вологості. З (4) випливає, що $K=f(w_0)=0$ і $K=f(0)=1$. Відзначимо, що в [9] приведена інша залежність K від w , що зв'язано, очевидно, з верховим характером розглянутої в [9] пожежі.

Щоб скористатися виразом (4) необхідно знати значення вологості w у всіх точках території, по якій поширюється пожежа, тобто мати поле розподілу вологості. Таке поле, у принципі, завжди можна описати виразом типу

$$w = \sum f_i(x, y), \quad (5)$$

де $f_i(x, y)$ – визначений набір належним чином обраних кусочно-безперервних функцій, а x, y – координати на площині, де відбувається ландшафтна пожежа.

У результаті, вважаючи, що (1) не залежить явно від часу, вираз для опису залежності контуру пожежі від часу t і вологості w зручно представити у виді

$$R_i = R_{i-1} + V(\varphi, \psi, \nu_B) K_{i-1}(t_{i-1} - t_0), i=1, 2, \dots \quad (6)$$

У (6) при $i=1$ вираз R_0 описує контур пожежі в початковий момент часу t_0 . Використання виразу (6) припускає наступний розрахунковий алгоритм. За даним значенням R_0 обчислюємо координати $x=R_0 \cos \varphi$ і $y=R_0 \sin \varphi$ і знаходимо поле вологості згідно (5) у точках контуру пожежі в момент часу t_0 . За даними значенням w обчислюємо поле коефіцієнта (4). Отримане значення коефіцієнта K , як і значення R_0 , підставляємо в (6) і знаходимо контур пожежі R_1 у момент часу $t_1=t_0+\Delta t_1$. Після чого знову повторюємо зазначену процедуру розрахунків.

Як приклад нами розглянутий наступний простий овалоподібний розподіл поля вологості

$$w = W \left\{ 1 - \frac{\alpha_1}{A(x - x_0)^2 + B(y - y_0)^2 + 1} \right\}, \quad (7)$$

де, $W=0,4$ середня вологість пального матеріалу, параметри A, B, α_1 – константи, що описують довжину даного поля, x_0, y_0 – визначають положення поля вологості. Відзначимо, що при $\alpha_1 > 0$ вираз (7) описує зменшення вологості в околі т. (x_0, y_0) , а при $\alpha_1 < 0$ – збільшення вологості w .

На рис. 2 приведені приклади полів вологості, варіант **a** – коли вологість збільшується ($\alpha_1=-0,5$) і варіант **б** – коли зменшується ($\alpha_1=0,5$).

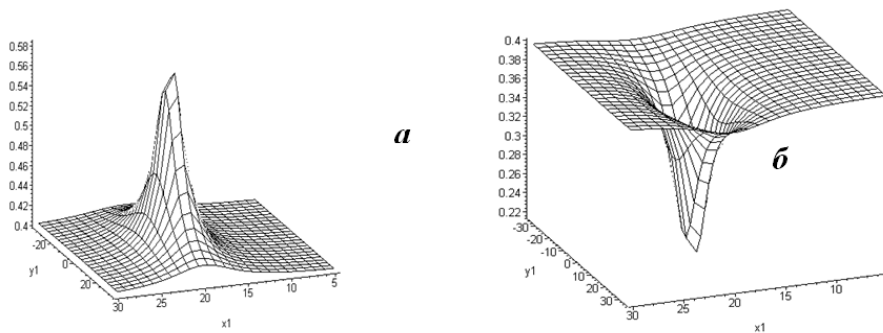


Рис. 2. Поле вологості, що описується w , при $A=0,5, B=0,01, \alpha_1=\pm 0,5$,

Використовуючи вираз (4), (6) і (7), нами розраховані контури пожежі з урахуванням зміни вологості пального матеріалу. Результати розрахунків при $\alpha_1=-0,5$ і $x_0=20$ м, $y_0=5$ м у (7) і значеннях A і B як на рис. 2, представлені на рис. 3. З рис. 3 видно, що коли контур пожежі наближається до т. (x_0, y_0) , в околі якої вологість зростає, його рух сповільнюється й особливо сильно при (x_0, y_0) . У результаті контур пожежі деформується і на ньому виникають вигини, що спрямовані усередину контуру. Відзначимо, що при відсутності інших аномалій у розподілі вологості, з часом буде відбуватися заліковування контуру [4].

Уведення інших доданків у (5) не змінює алгоритм знаходження контуру пожежі, однак його форма навіть при невеликих змінах вологості буде істотно відрізнятися від простої еліптичної форми [4, 5].

Таким чином, нами показано, що врахування флуктуацій вітру є фактором, який необхідно враховувати при розрахунку контуру пожежі. Але більш вагомий вплив на форму

контуру оказує неоднорідний розподіл вологості. Далі нами планується проведення детальних розрахунків контуру з різноманітними реалістичними полями вологості.

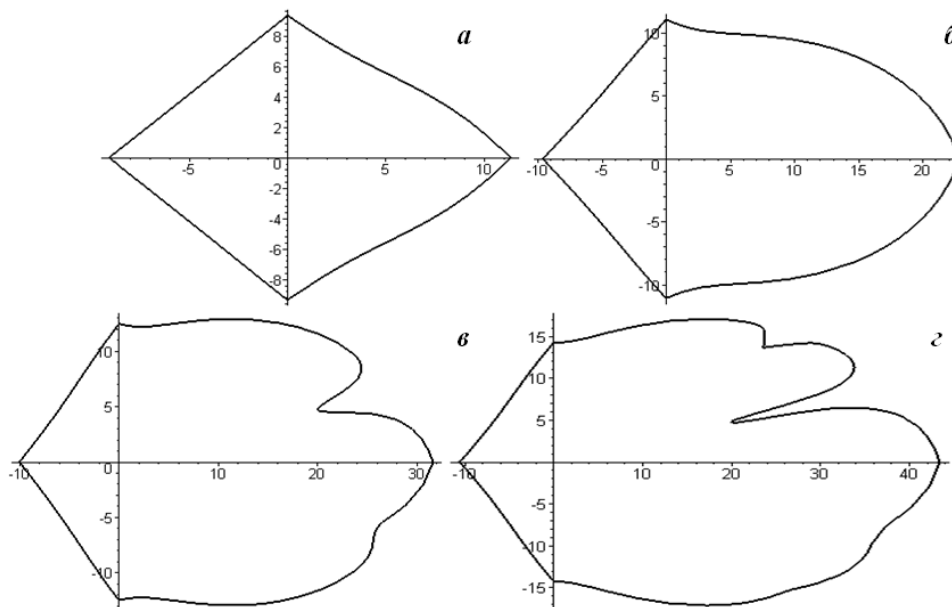


Рис. 3. Контур поширення ландшафтної пожежі. Початкове вогнище у формі ромба, $S_0=162 \text{ м}^2$. Відстань по осях у метрах, $v_y=3 \text{ м/с}$. Криві а, б, в, м відповідають $t=1, 3, 4, 5 \text{ хв}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Г.А. Доррер. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесная пром-сть, 1979. – 160с.
2. Ю.А. Абрамов и др. Обнаружение очагов лесных пожаров и прогноз динамики их распространения. – Харьков: АГЗ Украины, 2004. – 145с.
3. Э.Н. Валендик. Борьба с крупными лесными пожарами. – Новосибирск: Наука, 1990 – 193с.
4. Сознік О.П., Калиновський А.Я. Геометрична модель швидкості поширення ландшафтних пожеж і деякі її наслідки//Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці/Таврійська державна агротехнічна академія - Вип.4, т.24.–Мелітополь: ТДТА, 2004.–с. 94-98
5. А.Е. Басманов, А.П. Созник, А.А. Тарасенко. Эспериментально-аналитическая модель скорости распространения низового лесного пожара. // Проблемы пожарной безопасности. Сб. научн. тр. Вып. 11. Харьков: Фолио, 2002. – с. 17-25.
6. Г.П Телицын. Зависимость скорости распространения низовых пожаров от условий погоды. // Сб. тр. ДальНИИЛХ. – 1965. Вып. 7. – с. 390-405.
7. Н.Е. Anderson. Heat transport and fire spread. – USDA Forest, Serv. Res. Paper INT – 69. – Ogden, 1969.
8. М.А. Сафронов. Лесные пожары в горах южной Сибири. – М.: Наука, 1967. – 150 с.
9. А.Н. Гришин, А.Д. Грузин, В.Г. Зверев. Математическая теория верховых лесных пожаров// Теплофизика пожаров. – Новосибирск: Институт теплофизики, 1984. – с. 38 – 75

УДК 662.613.12:669.046.44(024.2)

О. В. Кириченко, к. т. н., доцент, В. Д. Акіньшин, д. ф.-м. н., професор,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
В. А. Ващенко, д. т. н., професор, В. В. Цибулін
Черкаський державний технологічний університет

СПАЛАХУВАННЯ ЧАСТИНОК АЛЮМІНІЮ В ПРОДУКТАХ РОЗКЛАДАННЯ НІТРАТОВМІСНИХ ОКИСЛЮВАЧІВ ТА ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ПІРОТЕХНІЧНИХ СУМІШЕЙ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАГРІВУ

Представлено результати експериментальних досліджень процесу спалахування частинок алюмінію в газоподібних продуктах термічного розкладання нітратовмісних окислювачів та органічних речовин, які входять у склад піротехнічних сумішей, при температурах, властивих реакційній зоні конденсованої фази в умовах їх спалахування.

Вступ. В теперішній час піротехнічні суміші алюмінію з нітратовмісними окислювачами (нітрати лужних та лужноземельних металів) та добавками органічних речовин (парафіну, старину, нафталіну та антрацену) широко використовуються в різних галузях народного господарства та військової техніки (суміші для феєрверків, освітлювальні, сигнальні та трасуючі засоби, піротехнічні вироби ІЧ-техніки, елементи ракетно-космічної техніки тощо) [1 – 5, 10, 19, 21]. В умовах вимушеного зовнішнього нагріву (наприклад, при спалахуванні складських приміщень, де зберігаються піротехнічні вироби, споряджені зарядами з розглядуваних сумішей, в умовах транспортування при інтенсивному конвективному нагріві їх поверхонь, або при аеродинамічному нагріві металічних оболонок виробів при пострілі та польоті) піротехнічні суміші можуть спалахувати з різким прискоренням подальшого процесу їх згорання, руйнуванням виробів з утворенням високотемпературних продуктів згорання, які розлітаються з великими швидкостями у різні боки, будучи пожежонебезпечними для навколишніх об'єктів (навколишніх споруд, паливно-мастильних матеріалів, пускових установок з обслуговуючим персоналом тощо). Тому для прогнозування пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей у вказаних умовах необхідно, в першу чергу, мати дані про закономірності процесу спалахування частинок алюмінію у газоподібних продуктах термічного розкладання окислювачів та органічних добавок, який передуює процесу спалахування суміші. В теперішній час окремі дані по окисленню алюмінію в активних газоподібних середовищах при підвищених температурах нагріву знаходяться у багаточисельних довідниках, монографіях, наукових статтях та наукових працях [1 – 3, 6 – 21], що утруднює як встановлення закономірностей спалахування частинок алюмінію в умовах, близьких до реальних умов горіння піротехнічних сумішей, так й оперативне їх використання в якості керованої бази даних з властивостей компонентів сумішей, що характеризують їх пожежонебезпечні властивості в умовах різних зовнішніх термовпливів. Тому метою даної роботи є систематизація та аналіз вказаних даних, а також їх узагальнення у вигляді нових закономірностей, сукупність яких являє собою одну з складових частин бази даних при прогнозуванні пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей в умовах зовнішніх термовпливів.

В результаті проведених досліджень [1 – 3, 14, 16 – 18, 20, 21] було встановлено, що при температурах, властивих конденсованій фазі піротехнічних сумішей в умовах їх спалахування та розвитку горіння, основними активними газоподібними продуктами термічного розкладання нітрату натрію та розглядуваних органічних речовин є O_2 , N_2 , CO_2 , CO . Тому нижче розглядаються результати досліджень процесів спалахування

розглядуваного металу при підвищених температурах нагріву у вказаних газоподібних продуктах, включаючи повітря, основою якого є суміш газів $O_2 + N_2$.

Усі дослідження проводилися на хімічно чистих зразках алюмінію з використанням наступних стандартних методів фізико-хімічного аналізу: методи мікрокінозйомки, термогравіметрія, волюмо-метричні та манометричні методи, оптичні методи, які ґрунтуються на інтерференції та поляризації в тонких плівках, хімічний аналіз тощо.

1. Результати досліджень спалахування частинок алюмінію при підвищених температурах нагріву. Встановлено, що моменту спалахування передують ті або інші перетворення у оксидній плівці, яка попередньо покриває частинку алюмінію. До таких перетворень відноситься розтріскування плівки при нагріві частинки (коефіцієнт термічного розширення Al_2O_3 приблизно у три рази менше коефіцієнта термічного розширення алюмінію). В цьому випадку тріщини заповнюються чистим металом, що отримує доступ до окислювального середовища. Вірогідність розтріскування оксидних оболонок тим вище, чим більше швидкість нагріву частинок. Другим фактором, що сприяє збільшенню швидкості окислення частинок алюмінію, є плавлення оксидної плівки. Цей процес різко знижує дифузійний опір оксидної плівки потоку газоподібного окислювача та тим самим інтенсифікує процес спалахування частинок. Третім моментом, який може мати місце при спалахуванні частинок та крапель алюмінію, є реакція взаємодії між алюмінієм та оксидом, що його покриває.

В результаті досліджень встановлено, що у всіх випадках спалахування алюмінію відбувається вище температури плавлення алюмінію (933 К). У середовищі, що створюється при горінні сумішей пропан – кисень – азот або двооксид вуглецю – кисень спалахування частинок алюмінію розміром до 100 мкм при часі перебування їх у полум'ї більше 20...35 мс відбувалося при температурі, близькій до температури плавлення оксиду алюмінію. Із збільшенням надлишку кисню межа спалахування алюмінію по температурі зменшувалася, але вельми слабо та практично не залежала від вологості середовища. Вплив розміру частинок на температуру середовища, при якій спостерігалася спалахування відсутній.

Результати досліджень оцінки критичної температури спалахування $T_{кр}$ для частинок алюмінію розміром 35...45 мкм описуються наступною формулою:

$$T_{пл} - T_{кр} = A \cdot C_{ок}^{0,41}, \quad (1)$$

де $T_{пл}$ – температура плавлення оксидної плівки, $C_{ок}$ – концентрація кисню, A – коефіцієнт пропорційності.

В той же час, згідно результатів проведених експериментів, нерухомі частинки алюмінію, що нагріваються у повітрі та у водяній парі, не спалахували до температури 2100 К. Але відмічається, що у структурі твердої частинки спостерігалися суттєві зміни – мало місце розтріскування оксидної плівки з подальшим утворенням швів в результаті окислення активного металу, що попадає у тріщини. Тривале перебування такої частинки при температурі 2100 К не призводило до помітної зміни її розмірів. Спалахування частинки у повітрі відбувалося у паровій фазі, причому інтенсивність зони свічення збільшувалася повільно. При нагріві краплі алюмінію у інертній атмосфері та при швидкій заміні інертного середовища на кисень спалахування спостерігалася при температурі краплі порядку 1273 К. При дослідженні спалахування частинок алюмінію розмірами до 50 мкм у суміші кисню з азотом встановлено, що температура спалахування залежить як від діаметра частинок, так й від вмісту кисню у середовищі (рис. 1). Отримано емпіричну формулу, що зв'язує температуру спалахування $T_{кр}$ з температурою плавлення оксиду $T_{пл.ок}$ (2300 К), діаметром частинки δ (мкм), відносним об'ємним вмістом кисню C_k та коефіцієнтом теплопровідності середовища λ (Дж/м·с·К) при температурі $T = 0,5 \cdot (T_0 + T_{пл.ок})$, де $T_0 = 293$ К – початкова температура частинок:

$$T_{кр} = T_{пл.ок} - \frac{250 \cdot C_k \cdot \delta}{\lambda} \exp(-0,85\sqrt{\delta}). \quad (2)$$

Спалахування алюмінієвих дротинок у окислювальних середовищах. У дослідях з тонкими алюмінієвими дротинками було встановлено, що характер процесу спалахування суттєво залежить від складу газового середовища. Якщо кисень навколишнього середовища знаходиться у зв'язаному стані (водяна пара, двооксид вуглецю), то спалахування відбувається у газовій фазі до руйнування оксидної плівки. Пара розплавленого металу дифундує через оксидну плівку та взаємодіє з киснем, утворюючи ореол парофазного полум'я.

Якщо ж кисень є основним окислювальним реагентом, то спалахування настає, у основному, після розплавлення оксидної плівки, руйнування її парою металу та контакту розплавленого металу і його пари з окислювачем. Ця якісна картина не залежить від ступеня активності середовища (концентрації інертного газу – розчинника) та типу газу-окислювача (CO_2 тощо). Досліджувалися алюмінієві нитки довжиною $6 \cdot 10^{-2} \dots 7 \cdot 10^{-2}$ мм, діаметром від 30 мкм до 150 мкм. Встановлено, що у окислювальному середовищі при нагріванні аж до температури спалахування руйнування дротинок не відбувається, незважаючи на плавлення алюмінію, має місце наростання товстої оксидної плівки. При нагріві нитки у середовищі кисню в залежності від потужності, що подається, спостерігається три режими процесу: 1 – повільне окислення; 2 – спалахування; 3 – механічне руйнування без спалахування (рис. 2, 3). Для нитки діаметром 50 мкм перший режим відповідає приведеній потужності P від 0 до $1,5 \cdot 10^6$ Дж/м²·с, другий – від $1,5 \cdot 10^6$ Дж/м²·с до $5,1 \cdot 10^6$ Дж/м²·с, третій – більше $5,1 \cdot 10^6$ Дж/м²·с. Спалахування нитки у кисні, як показала швидкісна кінозйомка, відбувається раніше, ніж порушується цілісність зразка. Величина температури спалахування $T_{кр}$ слабо залежить від потужності нагріву. Значення критичної приведенної потужності P (при якій режим повільного окислення переходить у режим спалахування), а також температури спалахування від швидкості потоку кисню V та діаметру нитки d наведені у табл. 1. З цієї таблиці видно, що у середовищі O_2 температура спалахування, що фактично представляє собою температуру, при якій відбувається зрив теплової рівноваги, може бути суттєво нижче температури плавлення оксидної плівки.

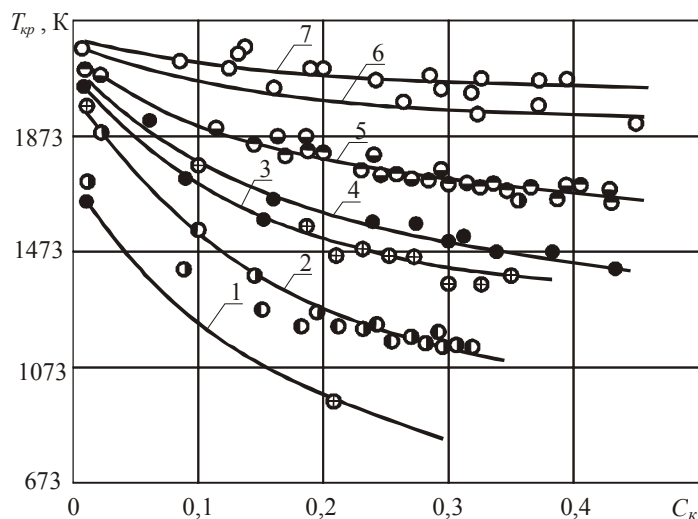


Рис. 1. Залежність температури спалахування частинок алюмінію від відносного вмісту кисню у навколишньому середовищі: 1 – $d_m = 10$ мкм; 2 – $d_m = 20$ мкм; 3 – $d_m = 30$ мкм; 4 – $d_m = 40$ мкм; 5 – $d_m = 50$ мкм; 6 – $d_m = 60$ мкм; 7 – $d_m = 70$ мкм.

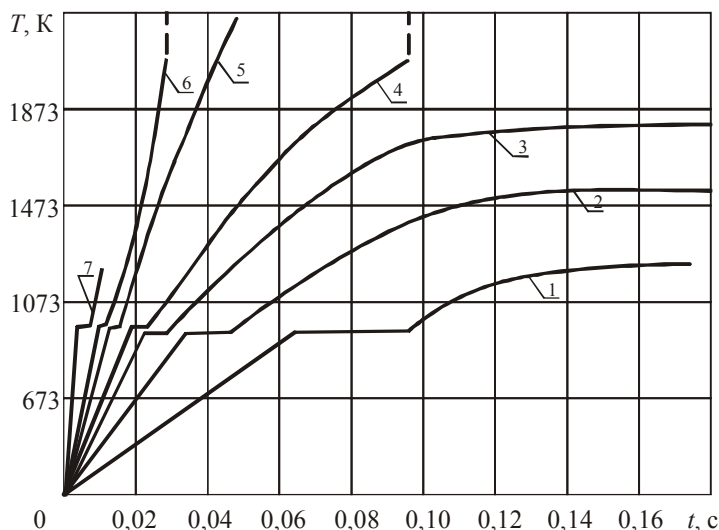


Рис. 2. Термограми нагріву алюмінієвих ниток діаметром 50 мкм у O_2 при швидкості потоку $21 \cdot 10^{-2}$ м/с: 1, 2, 3 – режим окислення; 4, 5, 6 – режим спалахування; 7 – режим механічного руйнування за рахунок температурних напружень.

Таблиця 1

Характеристики спалахування алюмінієвої нитки у чистому кисні

d , мкм	V , 10^{-2} м/с	P^* , 10^5 Дж/м ² ·с	$T_{кр}$, К	d , мкм	V , м/с	P^* , 10^5 Дж/м ² ·с	$T_{кр}$, К
30	0	23,9	2273	50	50	21,8	2073
	5	24,4	2273		0	14,2	2273
	41	25,5	2073		11	15,0	2223
	50	26,7	2073		21	15,5	2173
40	0	18,6	2273		30	15,7	2043
	11	18,9	2173		43	16,3	2013
	21	19,6	2173		57	16,5	1913

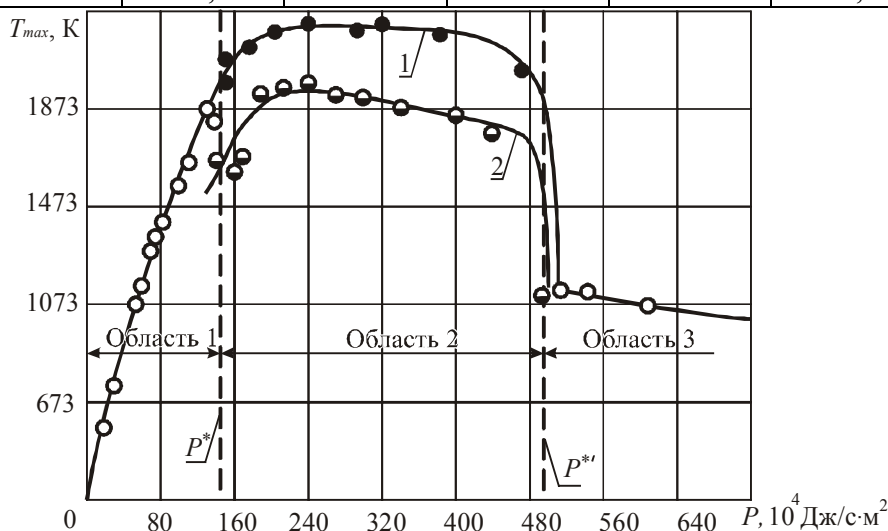


Рис. 3. Залежність $T_{max}(P)$ ниток діаметром 50 мкм у середовищі O_2 : 1 – швидкість потоку $21 \cdot 10^{-2}$ м/с; 2 – швидкість потоку $60 \cdot 10^{-2}$ м/с.

Встановлено, що у середовищі азоту алюмінієві нитки не спалахували в усьому діапазоні зміни потужностей нагріву. У суміші кисень + азот спалахування відбувалося тільки при вмісті кисню більше 20 %. Температура спалахування в діапазоні концентрацій O_2

від 20 % до 100 % практично залишалася сталою (незалежно від подаваної потужності нагріву). Наприклад, для дротинки діаметром 50 мкм при $V = 24 \cdot 10^{-2}$ м/с $T_{кр}$ складала 2123 К. Поблизу концентраційної межі нитка спалахувала у одній точці; при її перегоранні фактично не виникав факел полум'я.

У вуглекислому газі спостерігалось те ж три режими спалахування, що й у чистому кисні. Температура спалахування не залежала від подаваної потужності (у межах цього режиму) та була вельми близька до температури плавлення оксидної плівки Al ($T_{кр} = 2273...2343$ К).

Слід відмітити, що аналіз рівнянь теплового балансу та кінетичного закону окислення показує, що процес спалахування ниток може бути зведений до процесу спалахування частинок при виконанні наступних умов моделювання:

$$T^* = T_g; r' = \frac{3}{2}r; \alpha_k = \alpha'. \quad (3)$$

Тут r – радіус нитки; r' – радіус частинки; α' – коефіцієнт тепловіддачі частинки; α_k – коефіцієнт тепловіддачі нитки; T_g – температура газу у момент спалахування частинки; T^* – температура, що визначається з умови теплової рівноваги нитки у інертному середовищі:

$$P^* = \alpha_k (T^* - T_0) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^{*4} - T_0^4), \quad (4)$$

де P^* – приведена потужність (віднесена до поверхні нитки); T_0 – температура газу у дослідах з металеву ниткою; ε – випромінювальна здатність; σ – стала Стефана-Больцмана.

Висновки

Систематизація та узагальнення даних з спалахування частинок алюмінію в активних газоподібних продуктах термічного розкладання нітрату натрію та органічних речовин (O_2 , N_2 , CO_2 та CO) показують, що:

- спалахування частинок алюмінію в активних газоподібних середовищах повністю визначається кінетикою високотемпературного передполум'яного їх окислення як у ізотермічних, так й у неізотермічних умовах та залежить від розміру частинок, складу та властивостей навколишнього середовища тощо; при цьому, температура спалахування частинок алюмінію ($T_{кр}$, К) в суміші $O_2 + N_2$ набагато нижче (приблизно у 1,5...2 рази), ніж у CO_2 та CO і визначається наступним емпіричним виразом:

$$T_{кр} = T_{ок}^{Al} - \frac{A_M \cdot C_{ок}^a \cdot d_M^b}{\lambda_{ок}} \cdot e^{-c \cdot d_M^f},$$

де $T_{ок}^{Al}$ – температура плавлення оксиду металу; $C_{ок}$ – концентрація O_2 у суміші; $\lambda_{ок}$ – коефіцієнт теплопровідності навколишнього газового середовища, який береться при $\bar{T} = \frac{T_0 + T_{ок}^M}{2}$ (T_0 – початкова температура частинок, К), Вт/м·К; d_M – діаметр частинок, мкм; A_M , a , b , c , f – емпіричні константи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ващенко В. А., Кириченко О. В., Лега Ю. Г., Заїка П. І., Яценко І. В., Цибулін В. В. Процеси горіння металізованих конденсованих систем. – К.: Наукова думка, 2008 – 745 с.
2. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Заїка П. І., Цибулін В. В. Реакції, що протікають у конденсованій фазі та полум'ї при горінні піротехнічних нітратно-алюмінієвих систем // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 4. – с. 75 – 80.

3. Кириченко О. В., Ващенко В. А., Заїка П. І., Цибулін В. В. Аналіз реакцій, що протікають у конденсованій фазі та полум'ї при горінні піротехнічних нітратно-магнієвих систем // Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – № 2. – с. 60 – 66.
4. Кириченко О. В. Повышение эффективности пиротехнических нитратосодержащих изделий в условиях их применения // Вісник ЧДТУ, 2009. – № 2. – с. 89 – 94.
5. Кириченко О. В. Дослідження впливу температури нагріву та зовнішнього тиску на залежності швидкості горіння ПНС від співвідношення компонентів та концентраційні межі горіння // Сб. “Труды Одесского национального политехнического университета”, 2010. – вып. 2(6). – с. 191 – 196.
6. Верятин У. Д., Маширев В. П., Рябцев Н. Г., Тарасов В. И., Рогозкин Б. Д., Коробов И. В. Термодинамические свойства неорганических веществ. Справочник. – М.: Атомиздат, 1965.
7. Краткая химическая энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1961 – 1967.
8. Краткий справочник физико-химических величин. – Л.: Химия, 1972.
9. Елютин В. П., Митин Б. С., Нагибин Ю. А. Неорганические материалы // Известия АН СССР, 1972. – вып. 8. – т. 72. – № 3. – с. 477 – 484.
10. Мальцев В. М., Мальцев М. И., Кашпоров Л. Д. Основные характеристики горения. – М.: Химия, 1977. – 320 с.
11. Справочник химика. – М. – Л.: Госхимиздат, 1962 – 1968. – т. 1. – 1071 с.; т. 2. – 1168 с.; т. 3. – 1005 с.; т. 4. – 919 с.; т. 5. – 974 с.; т. 6. – 1011 с.; т. 7. – 507 с.
12. Ващенко В. А. Физико-химические свойства алюминия, магния, титана и циркония // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1973. – № 8990. – 36 с.
13. Ващенко В. А. Кинетические характеристики процессов окисления, воспламенения и горения частиц алюминия, магния, титана и циркония // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1973. – № 8991. – 35 с.
14. Ващенко В. А. Воспламенение частиц металлов в продуктах разложения пиросоставов // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1974. – № 9130. – 70 с.
15. Ващенко В. А., Малинин Л. А., Силин Н. А. Расчет скорости распространения фронта пламени по взвеси металлических частиц // Физика аэродисперсных систем, 1975. – № 14. – с. 96 – 97.
16. Ващенко В. А. Воспламенение и горение одиночных частиц металлов в продуктах разложения многокомпонентных металлизированных систем // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1975. – № 10267. – 54 с.
17. Ващенко В. А. Физико-химические основы процесса горения смесей нитрата натрия с магнием, алюминием, титаном и цирконием // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1973. – № 8734. – 34 с.
18. Ващенко В. А. Воспламенение и горение совокупности частиц металлов в продуктах разложения многокомпонентных металлизированных систем // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1975. – № 10763. – 47 с.
19. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. и др. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
20. Ващенко В. А. Высокотемпературные физико-химические свойства металлизированных систем на основе магния + нитрат натрия // Труды НИИ прикладной химии, Загорск, 1978. – № 11628. – 18 с.
21. Силин Н. А., Ващенко В. А., Кашпоров Л. Я. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.

УДК 614.842.415

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЄДИНИЙ ПІДХІД ДО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ І ГАСІННЯ ПОЖЕЖ РІЗНИМИ ЗАСОБАМИ

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень та єдиного підходу до застосування засобів гасіння пожеж в протяжних каналах розроблена універсальна математична модель, реалізація якої на ЕОМ дає змогу в наочному графічному вигляді дати прогноз ефективності застосування одного з п'яти можливих засобів пожежогасіння: рециркуляцією пожежних газів, порошком, дисперговою водою, парогазовою сумішшю або піною на основі продуктів згоряння.

Ключові слова: канал, пожежа, гасіння, порошок, диспергована вода, піна, рециркуляція, парогазова суміш, математична модель.

Постановка проблеми. Узагальнення результатів математичного моделювання та експериментальних даних з розвитку та гасіння пожеж різними засобами дозволяє створити універсальну математичну модель. Така модель дає можливість у разі застосування того чи іншого засобу пожежогасіння розрахувати параметри інтенсивності і часу ефективного впливу на осередок пожежі, а також визначити загальну кількість вогнегасного складу, що витрачається.

Аналіз останніх дослідження та публікацій. Відомо [1, 2, 5, 7, 8], що при розробці математичних моделей гасіння пожеж розглядають якийсь один засіб впливу на осередок пожежі і до того ж часто не враховують впливу концентрації кисню на температуру. Деякі запропоновані математичні моделі або засновані на розгляді теплового балансу в осередку пожежі тому і є статичними методами [1], або базуються на розгляді лише динаміки температури в осередку пожежі [3, 4].

Тому створення достатньо точної математичної моделі гасіння пожеж різними засобами дасть змогу науково обґрунтовано прогнозувати вибір засобів гасіння кожної конкретної пожежі і проводити розрахунки необхідної інтенсивності та тривалості її гасіння.

Виклад основного матеріалу. Усі задачі розрахунку теплових і газодинамічних параметрів під час пожежі на будь-якому об'єкті можна розбити на два класи: задачі виникнення і розвитку пожежі без застосування засобів гасіння і з їх застосуванням.

До першого класу належать задачі природного розвитку і загасання пожежі при первісному завданні конкретних вихідних даних.

До другого класу належать задачі оперативного прогнозу і реагування на ситуацію, що створилася, шляхом застосування того чи іншого засобу пожежогасіння. При цьому в першу чергу необхідно знати місце і час виникнення пожежі, а також задати час з моменту початку і кінця гасіння пожежі для визначення очікуваної ефективності впливу на зону горіння.

На підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень в натурних і лабораторних умовах розроблений єдиний підхід до математичного моделювання розвитку та гасіння пожеж різними засобами, до яких відносяться:

- 1) рециркуляція пожежних газів в ізольованому об'ємі;
- 2) інертизація атмосфери ізольованого відсіку каналу шляхом подачі в нього парогазової суміші або інертного газу, або того й іншого одночасно;
- 3) порошкові засоби пожежогасіння;
- 4) подання диспергової води в осередок пожежі;
- 5) подача піни на основі пожежних газів при їх рециркуляції в замкнутому контурі.

Для опису динаміки під час процесів горіння і гасіння пожеж в ізолюваному відсіку каналу використана зональна модель з виділенням зони горіння і решти ізолюваного об'єму.

Математичне моделювання динаміки зміни кількості кисню з часом, в осередку пожежі та за його межами, проводиться чисельним методом з використанням диференціальних рівнянь нестационарного переносу маси (явної і неявної з однаковою питомою вагою), які вирішувалися чисельним методом за комбінованою схемою і зведені у систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} \bar{C}^{n+1} &= \frac{[1 - (Cu + AB\bar{q}^n)/2]\bar{C}^n + Cu\bar{Z}^n}{1 + (Cu + AB\bar{q}^n)/2}; \\ \bar{Z}^{n+1} &= (1 - \bar{V}Cu)\bar{Z}^n + m(1 - \bar{Q}_1)\bar{V}Cu(\bar{C}^n - 1) + \bar{V}Cu[1 + m(\bar{C}_1 - 1)], \end{aligned} \quad (1)$$

де $\bar{C} = C/C_0$ – відносна концентрація кисню в зоні горіння; $\bar{Z} = Z/C_0$ – відносна концентрація кисню поза зоною горіння в ізолюваному об'ємі; $\bar{C}_1 = C_1/C_0$ – концентрація кисню на вході в ізолюваний об'єм при гасінні пожежі парогазовою сумішшю або інертними газами; $\bar{V} = l_m/L$ – відносний об'єм зони горіння; $\bar{Q}_1 = Q_1/Q$ – відносна величина підсмоктування повітря при рециркуляції пожежних газів (при $Q_1 = Q$ рециркуляція відсутня, а при $Q_1 = 0$ контур рециркуляції повністю замкнутий); n – номер попереднього тимчасового шару при розрахунках; $n + 1$ – номер поточного тимчасового шару для визначення шуканих параметрів; \bar{q}^n – відносна інтенсивність тепловиділення в осередку пожежі на тимчасовому шарі n ; u – швидкість руху пожежних газів, м/с; l_m – довжина зони горіння, м; L – довжина ізолюваного відсіку каналу, м; Δt – крок за часом, с.

Система рівнянь (1) дає змогу моделювати динаміку концентрації кисню в ізолюваному каналі до осередку і в осередку як без рециркуляції пожежних газів, так і в умовах їх рециркуляції, а також при подачі інертних газів на заданому інтервалі часу. При цьому в початковий час концентрація кисню перед осередком пожежі приймається рівною $\bar{Z}^0 = Z/C_0 = 1$.

Математичне моделювання динаміки в часі температури в зоні горіння і в масиві навколо каналу масиву виконується також чисельним методом за комбінованою схемою з використанням диференціальних рівнянь збереження теплової енергії та нестационарного теплообміну пожежних газів з навколишнім масивом, які зведені до системи алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} \bar{T}^{n+1} &= \frac{\{1 - Cu/2\}\bar{T}^n + Cu[B\bar{C}^n\bar{q}^n + St(\bar{\theta}^n - \bar{T}^n/2) - \bar{r}U\bar{\chi}^n]/(1 + U\bar{\chi}^n)}{1 + Cu/2 + CuSt/(1 + U\bar{\chi}^n)}; \\ \bar{\theta}^{n+1} &= \frac{(1 - Fo/2)\bar{\theta}^n + Fo\bar{T}^n/2}{1 + Fo/2}, \end{aligned} \quad (2)$$

де частка вологи, що випарувалася при подачі диспергованої води або піни, визначається на кожному часовому шарі за формулою

$$\bar{\chi}^{n+1} = m \left\{ 1 - \frac{[1 - Cu(1 + \bar{\gamma}\bar{T}^n)/2](1 - \bar{\chi}^n) + Cu}{1 + Cu(1 + \bar{\gamma}\bar{T}^n)/2} \right\}. \quad (3)$$

Тут $\bar{T} = T/T_0 - 1$ – безрозмірна температура пожежних газів; $\bar{\theta} = \theta/T_0 - 1$ – безрозмірна температура навколишнього масиву; $\bar{\gamma} = \gamma_l/d_k$ – відносна швидкість

випаровування вологи; γ – емпірична константа швидкості випаровування вологи, яка приймається рівною 0,001; d_k – діаметр крапель рідини, мм; m – множник, рівний «1» при застосуванні будь-якого засобу пожежогасіння або рівний «0» без його застосування.

Множник m якраз і визначає початок і кінець застосування будь-якого засобу пожежогасіння і приймається рівним

$$m = 0,25 \left(1 + \frac{\tau - \tau_1}{|\tau - \tau_1|} \right) \left(1 + \frac{\tau_2 - \tau}{|\tau_2 - \tau|} \right), \quad (4)$$

де τ_1 і τ_2 – час відповідно початку і кінця гасіння пожежі, хв. Використання модуля числа у формулі (4) дає змогу без усіляких умовних переходів включати в дію той чи інший засіб пожежогасіння.

У систему рівнянь (1) – (3) введено такі критерії подібності:

$Cu = u\Delta\tau / l_m$ – число Куранта, прийняте рівним 0,5 для стійкості рахунку;

$Fo = Cu / Re = a\Delta\tau / \Delta r^2$ – число Фур'є нагріву і охолодження навколишнього масиву;

$St = - \frac{\alpha \Pi l_m}{2\rho c_p Q}$ – критерій Стантона теплообміну потоку повітря з навколишнім

масивом;

$A = \frac{\rho c_p T_0 C_0}{\rho_k H_c}$ – критерій теплоємності повітря;

$B = \frac{\chi v_0 F H_c}{\rho c_p T_0 Q}$ – критерій теплової енергії пожежі;

$\bar{r} = \frac{r + c_n T_0}{c_p T_0}$ – питома теплота пароутворення;

$U = \frac{c_n G_2}{c_p \rho Q}$ – питома витрата рідини,

де G_2 – масова витрата рідини при гасінні пожежі диспергованою водою або піною, кг/с;

Q – витрата повітря при гасінні пожежі, м³/с.

Параметри, що входять в критерії подібності, приймаються для всіх випадків за константи. До них відносяться: $\rho = 1,2$ кг/м³ – густина повітря; $\rho_k = 1,32$ кг/м³ – густина кисню; $\rho_w = 1000$ кг/м³ – густина води; $c_p = 1,04$ кДж / (кг·К) – питома теплоємність повітря; $c_n = 1,93$ кДж/(кг·К) – питома теплоємність пари; $C_0 = 0,21$ – концентрація кисню в зовнішньому повітрі; $T_0 = 293$ К – температура при нормальних умовах; $r = 2500$ кДж/кг – теплота пароутворення; $H_c = 13000$ кДж/кг – теплота згорання твердого палива; $a = 5 \cdot 10^{-7}$ м²/с – коефіцієнт температуропровідності масиву з бетону і цегли.

Функція інтенсивності тепловиділення в зоні горіння, що входить в рівняння (1) і (2), прийнята рівною [4]

$$\bar{q} = (\tau / \tau_m)^{3,6} \exp(-3,6\tau / \tau_m). \quad (5)$$

Тут τ_m – час максимуму тепловиділення в осередку пожежі (хв), що визначається за формулою [6]

$$\tau_m = \frac{15l_m}{u + 4}. \quad (6)$$

Площа горіння F , що входить в критерій подібності теплової енергії B , є також змінною величиною при гасінні пожежі порошком, диспергованою водою або піною. У загальному випадку площу горіння знаходимо за формулою

$$F = bl_m \left[1 - 0,5\varepsilon \left(1 + \frac{\tau - \tau_2}{|\tau - \tau_2|} \right) \right] \exp[-m\delta G(\tau - \tau_1)/(qbl_m)], \quad (7)$$

де b – ширина зони палаючої поверхні, м; G – витрата порошку або рідини при гасінні пожежі, кг/с; δ – емпірична константа; ε – частка залишку незгорілого матеріалу, що визначається за формулою

$$\varepsilon = 1 - \exp[-\delta G(\tau_2 - \tau_1)/(qbl_m)]. \quad (8)$$

Використання модуля числа у формулі (7) дає можливість також без умовних переходів безпосередньо проводити розрахунки необхідних параметрів для подальшого моделювання термо-газодинамічних процесів під час пожеж.

Обробка експериментальних [3, 6] і лабораторних даних в камері дала змогу встановити залежність числа Стантона від швидкості, рівною

$$St = \frac{14(u + 0,1)}{(u + 0,5)}. \quad (9)$$

Критерій теплоємності повітря, як встановлено, може бути прийнятий в усіх випадках за константу і дорівнює $A = 0,021$. За даними [3] при вільному вентиляванні осередку пожежі, відношення швидкості горіння до швидкості надходження до осередку потоку повітря є постійною величиною, що дозволяє критерій теплової енергії пожежі визначати з достатньою мірою точності за формулою

$$B = \frac{0,016 \chi FH_c}{c_p S}. \quad (10)$$

Крім того, встановлено, що глибина прогріву навколишнього масиву r (м) залежить від часу вільного горіння осередку і дорівнює

$$\Delta r = 0,0035\tau_m. \quad (10)$$

Виходячи з єдиного підходу до процесів розвитку і гасіння пожежі різними засобами розроблені універсальна математична модель, алгоритм і програма розрахунку термо-газодинамічних параметрів за формулами (1)–(10) на ЕОМ в Excel. Адекватність розробленої математичної моделі підтверджена численними експериментальними даними в натурних і лабораторних умовах.

При моделюванні розвитку та гасіння пожежі за допомогою наочної таблиці можна вибрати конкретний засіб гасіння, вказати в Excel початок і кінець гасіння, а також вказати режим гасіння і, проставляючи в графі проти відповідного засобу пожежогасіння «1», тут же отримати в графічному вигляді результати розрахунку, за якими можна судити про ефективність гасіння пожежі.

Таблиця 1

Вибір засобу пожежогасіння:	
1) Рециркуляція пожежних газів (так - 1, ні - 0): підсоси повітря при рециркуляції =	1 0,10
2) Подача пари або інертного газу (так - 1, ні - 0): концентрація кисню в парогазовій суміші, С1% =	0 5
3) Подача порошку (та -1, ні - 0): розхід порошку, G _{по} (кг/с):	0 0,10
4) Подача диспергованої води (так - 1, ні - 0): розхід води, G _в (кг/с) =	0 1,70
5) Подача піни (так - 1; немає - 0): кратність піни, K =	1 500,00

Нижче в наочному графічному вигляді наведено один з прикладів гасіння пожежі піною на основі продуктів згорання.

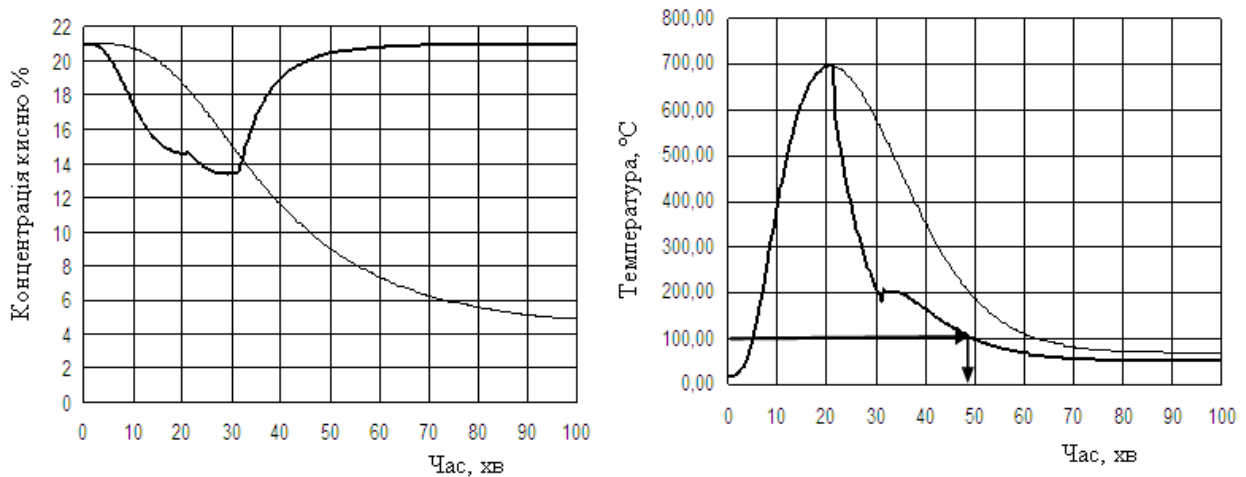


Рисунок 1. Динаміка в часі концентрації кисню і температури в ізольованому відсіку тунелю при розвитку пожежі без застосування засобів пожежогасіння (тонкі лінії) і при подачі піни на основі продуктів згорання протягом 10 хвилин

При розрахунках за основу прийняті дані [1] розвитку пожежі в кабельному тунелі при довжині ізольованого відсіку $L = 40$ м, площі поперечного перерізу відсіку $S = 2 \cdot 2 = 4$ м², максимальній температурі пожежних газів $T_m = 700$ °С; швидкість зростання температур при пожежі $T = 40$ °С/хв та пожежному навантаженні, приведену до стандартної деревині, $q = 35$ кг/м².

Аналіз отриманих результатів розрахунку показує (рис. 1), що піна є ефективним засобом гасіння пожеж як на основі продуктів згоряння, так і без них. Продукти згоряння лише незначною мірою скорочують терміни гасіння пожежі.

Приклади розрахунку щодо використання різних засобів пожежогасіння дозволяють або безпосередньо використовувати їх при визначенні параметрів гасіння конкретної пожежі, або використовувати розроблену універсальну методику комп'ютерного розрахунку на ЕОМ в Excel будь-якого варіанта з будь-якими вихідними параметрами.

Висновки. Узагальнено результати математичного моделювання, які адекватні численним експериментальним даним з розвитку та гасіння пожеж різними засобами в каналах великої протяжності, і створена універсальна математична модель, яка дає можливість у разі застосування того чи іншого засобу пожежогасіння проводити розрахунки параметрів інтенсивності і часу впливу на осередок для його гасіння, а також дає змогу визначати кількість вогнегасного матеріалу, що витрачається.

Розроблено алгоритм і програму розрахунку на ЕОМ в Excel динаміки під час концентрації кисню в осередку пожежі і перед ним, динаміки температури в осередку і в навколишньому масиві.

В результаті розробленого алгоритму і реалізації програми розрахунку газотермодинамічних параметрів горіння та гасіння пожежі в ізольованому каналі є можливість в наочному графічному вигляді дати прогноз на ЕОМ ефективності застосування того чи іншого засобу пожежогасіння і визначити: тривалість його застосування, кількість матеріалу, що витрачається.

Отримані результати розрахунку дозволяють заздалегідь оцінити той чи інший засіб пожежогасіння і наочно переконатися в його перевазі чи недоліках.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пучков С. И. Способ тушения пожара в кабельном туннеле/ С. И. Пучков, А. А. Лебедев // Средства противопожарной защиты: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1993. – С. 49 – 61 с.
2. Ковалишин В. В. Зміна температури у відсіках кабельних тунелів у ході застосування рециркуляції продуктів горіння для гасіння пожеж / В. В.Ковалишин, С.Ю Дмитровський // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2007. – № 10. – С. 7 – 11.
3. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл //– М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
4. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
5. Дмитровский С. Ю. Розрахунок витрати газоповітряної суміші в замкнутому контурі / С. Ю. Дмитровский, В. В. Ковалишин, Р. Я. Лозинський // Зб. наук. праць. – Львів: ЛПБ, 2005. – №7. – С. 135 – 140.
6. Осипов С.Н. Вентиляция шахт при подземных пожарах / С.Н. Осипов, В.М. Жадан // – М.: Недра, 1972. – 150 с.
7. Йо Судзуки. Исследование горения электрического кабеля внутри вентиляционного канала / Судзуки Йо, Ханэ Йосинари // Касай. – 1978. -28. – 12. – С. 22 – 30.
8. Ющенко Ю. Н. Автоматические установки пожаротушения и локализации для горных выработок шахт / Ю. Н. Ющенко, К. И. Лапин // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. – Донецк: НИИГД, 2002. – С. 32 – 37.

УДК 614.846.35

Б.І. Кривошей, к.т.н., доцент кафедри, В.В. Чигрин, ад'юнкт, НУЦЗУ

ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ДИСБАЛАНСУ ПРИ РОБОТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

В статті розглядаються причини виникнення дисбалансу робочого колеса відцентрового пожежного насосу, що викликані потраплянням різноманітних предметів в проточну частину насосу.

Ключові слова: щєбінь, пожежний гідрант, всмоктувальний патрубок, дисбаланс робочого колеса, відцентровий пожежний насос.

Постановка проблеми. Ефективність роботи пожежних і рятувальних підрозділів Міністерства надзвичайних ситуацій України (МНС) в значній мірі залежить від стану готовності пожежно-технічного озброєння.

На сьогоднішній день на озброєнні МНС знаходиться більше 4 тис. одиниць пожежної техніки. З них 65% це автоцистерни, які підлягають списанню, оскільки експлуатуються більше 20 років. Тому існує необхідність підтримки пожежної техніки та пожежно - технічного озброєння (відцентрові насоси) у відповідному технічному стані, а головне забезпечити надійність даного агрегату.

Одним з напрямів поліпшення надійності, як базового шасі, так і відцентрового пожежного насосу, є впровадження нових методів їх діагностування.

Основними причинами виникнення відмов при роботі відцентрових насосів є конструкційні, експлуатаційні та виробничі фактори. Так як ми отримуємо готові вироби, ми не можемо впливати на причину виникнення виробничих і конструкційних відмов. Експлуатаційні відмови виникають в період бойової роботи пожежного автомобіля. Однією з причин передчасного виходу відцентрового пожежного насоса з ладу при гасінні пожежі можна назвати вібрацію насосу, що виникає в результаті дисбалансу робочого колеса. Він виникає при попаданні сторонніх предметів в проточну частину насосу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] була розглянута дана проблема, але вібрація насосу виникала внаслідок дисбалансу приводу електродвигуна (замикання обмотки) чи руйнації фундаменту. Розглянуто стаціонарні відцентрові насоси, що використовувалися для перекачки нафтопродуктів на підприємствах, з приводом від електродвигуна. В роботі не розглядалися варіанти потрапляння сторонніх предметів в проточну частину насосу та як наслідок виникнення дисбалансу робочого колеса.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є визначення причин потрапляння різноманітних предметів в проточну частину відцентрового пожежного насосу, що призводить до виникнення 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. Але, як ми знаємо, обладнання та комунікації застарілі і потребують заміни на нові. Як наслідок, відбувається розгерметизація трубопроводів системи водопостачання, що в подальшому призводить до потрапляння сторонніх предметів в середину трубопроводу. Зазвичай ними являються каміння, гравій, цегла, шматки заліза і інше.

Під час забору води з пожежного гідранта порожнина пожежного насосу не захищена, як це відбувається при заборі води з водоймищ. При заборі води з водоймища у всмоктувальній лінії використовується всмоктувальна сітка, конструкцією якої передбачається захист порожнини всмоктувальної лінії від потраплянь всередину сторонніх предметів. На пожежні гідранти встановлюється пожежна колонка, конструкцією якої не

передбачено захист проточної частини. Внаслідок цього відбувається потрапляння сторонніх предметів, які знаходяться в системі водопостачання через пожежний гідрант та пожежну колонку в порожнину насоса.

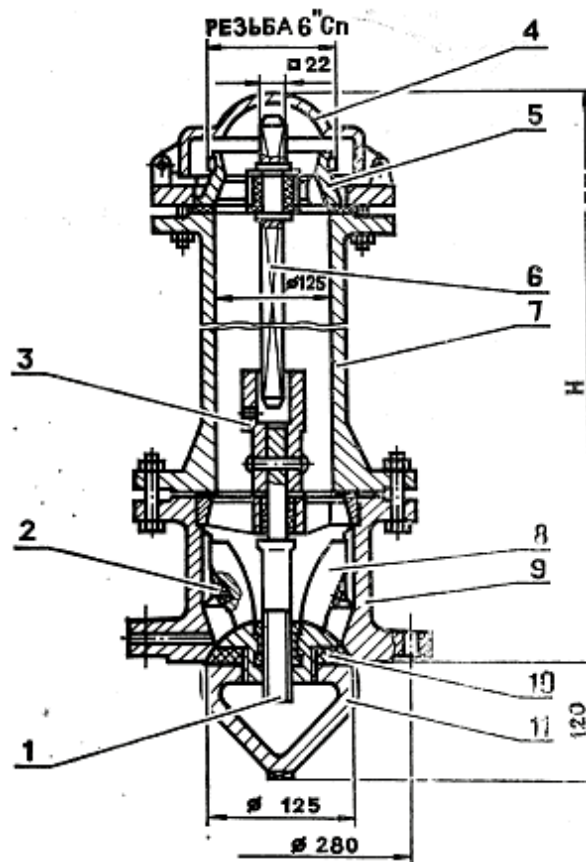


Рис.1 Гідрант пожежний. 1 шпindelь ; 2 ущільнення ; 3 муфта ; 4 кришка ; 5 ніпель ; 6 штанга ; 7 корпус гідранта ; 8 корпус клапана; 9 патрубок ; 10 кільце ущільнювальне ; 11-клапан .

Також причинами потрапляння сторонніх предметів в корпус пожежного гідранта можуть бути:

- нещільне закриття клапану пожежного гідранту через несправність гумової прокладки;
- потрапляння піску, дрібних каменів між прокладкою і сідлом клапану пожежного гідранта;
- відсутність захисної кришки пожежного гідранта;
- засмічення колодязя, де розміщений пожежний гідрант.

Було проведено статистичний аналіз в пожежних частинах міста Харкова, на факт наявності сторонніх предметів в порожнині пожежних насосів. Предметами, що були виявленні в порожнині насосу є: каміння, куски металу, куски деревини тощо. Аналіз показав що найчастіше в корпусі насосу знаходять каміння та, в поодиноких випадках, сталеві болти з хвилерізів пожежної цистерни. Щебінь є найбільш небезпечним предметом, який викликає дисбаланс робочого колеса.

Згідно [3] щебінь має 8 фракцій, які враховують різні його розміри:

- 1) від 3 мм. до 8 мм. (свро щебінь)
- 2) від 5 до 10 мм.
- 3) від 10 до 20 мм.
- 4) від 5 до 20 мм.
- 5) від 20 до 40 мм.
- 6) від 25 до 60 мм.

7) від 20 до 70 мм.

8) від 20 до 70 мм.

Було проведено дослідження з метою визначення фракції щебеню, що потрапляє до порожнини насосу. 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»

Згідно [4, 5] хід клапану 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 та масу має щебінь, що найчастіше потрапляє та застряє в робочому колесі насосу (рис. 3 та 4). З діаграм видно, що розмір щебеню від 27 до 30 мм та середньою масою 11 грам має найбільшу вірогідність потрапляння і заклинювання в робочому колесі пожежного насосу. Форма щебеню різноманітна, але вона не перевищує висоту ходу клапану пожежного гідранта та товщину пластмасової прокладки, яка знаходиться в основі пожежної колонки.

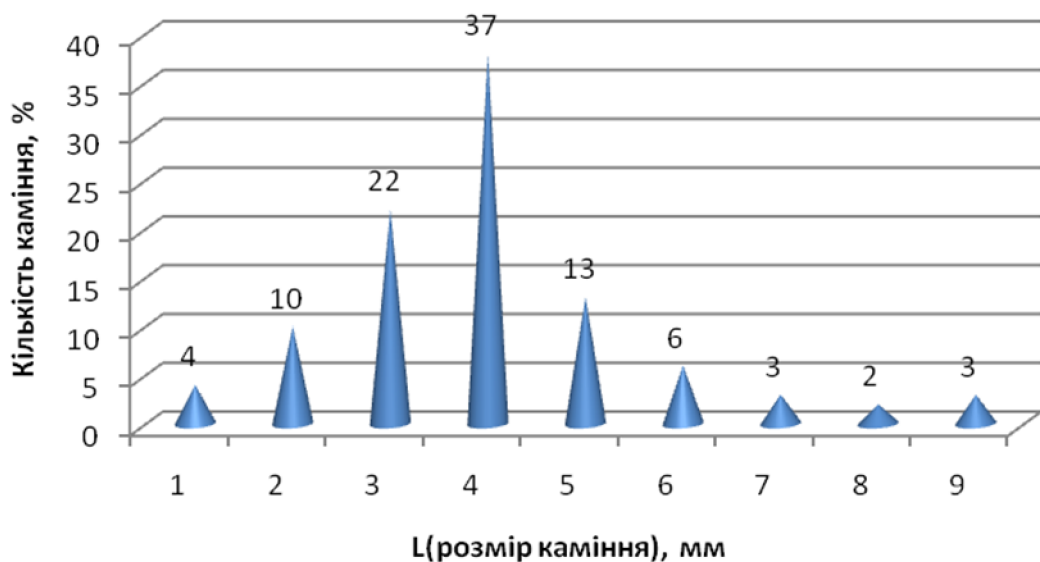


Рис.3 Розподіл щебеню за розмірами (при виборці із 1000 каменів). 1)18-21мм, 2)21-24 мм, 3)24-27 мм, 4)27-30 мм, 5)30-33 мм, 6)33-36 мм, 7)36-3 мм, 8)39-42 мм, 9)42-44 мм.

Найбільш небезпечними з точки зору працездатності відцентрового насосу є щебінь розміром від 14 до 45 мм. Оскільки до 14 мм щебінь буде рухатись з потоком води по

рукавній лінії і безпосередньо затримуватися в пожежному стволі, що приведе до відсутності подачі води на гасіння пожежі. Але це ні як не вплине на роботу насосу.

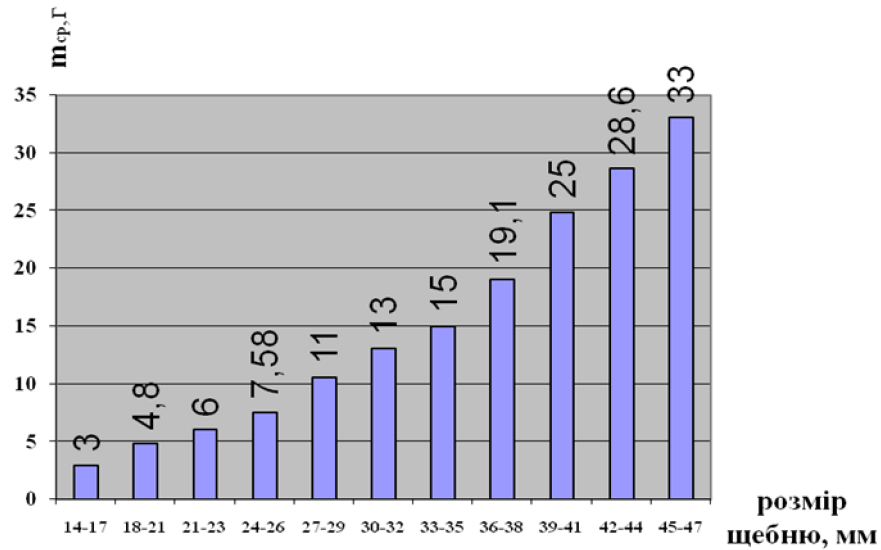


Рис.4 Середня маса щєбню в залежності від його розміру.

Щєбінь розміром більше 45 мм буде потрапляти лише до всмоктувального патрубку і зупиняться перед робочим колесом і безпосередньо потрапляти в середину робочого колеса не буде тому, що вхідний отвір в робоче колесо має висоту 45 мм. Значно гірша ситуація, коли щєбінь розміром від 14 до 45 мм потрапляє в середину робочого колеса насосу і зупиняється (заклинює). Заклинювання щєбеню між лопатками робочого колеса (рис.5) буде приводити до виникнення дисбалансу і руйнування посадкових отворів опірних підшипників валу робочого колеса. Що, в свою чергу, буде призводити до виникнення вібрації і передчасного виходу насоса з ладу. У випадку не заклинювання, щєбінь буде обертатися в середині корпусу насоса та викликати руйнування робочого колеса, кришки корпусу насоса, обриву шпоночного з'єднання валу і робочого колеса, або ж навіть зупинку пожежного насосу під час гасіння пожежі.

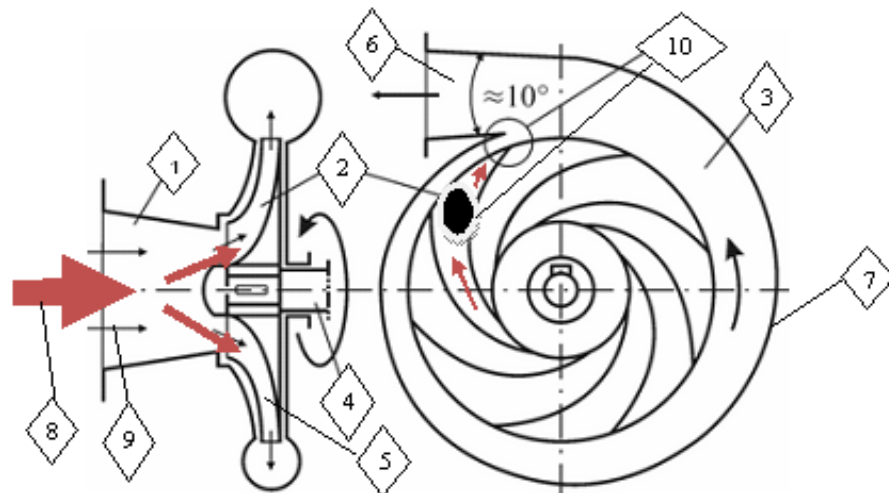


Рис.5 Схема потрапляння каміння в порожнину пожежного насосу

1 – всмоктувальний патрубок; 2 – камінь; 3 – спіральна камера; 4 – робочий вал насосу; 5 – робоче колесо; 6 – напірний патрубок; 7 – корпус насосу; 8- напрямок руху каміння; 9 – напрямок руху рідини; 10 – ймовірне місце зупинки каміння.

Проаналізуємо перелік робіт, які проводять при технічному обслуговуванні.

Так при технічному обслуговуванні № 1 (ТО-1) пожежних автомобілів, що проводять через 1000 км. приведеного пробігу, але не рідше одного разу на місяць, для пожежних насосів виконують такі операції як[6]:

--- перевіряють кріплення насоса до рами, затягування гайок, справність краників, патрубків, засувок і контрольних приладів;

--- при необхідності розбирають насос, звертаючи особливу увагу на стан шпоночного з'єднання робочого колеса з валом, сторонні предмети в насосі;

--- випробують насос і його комунікації на «сухий» вакуум;

--- змащують шарнірні з'єднання, сальникові ущільнення;

--- перевіряють роботу насоса при заборі і подачі води з відкритого вододжерела.

Тобто в період між проведенням ТО-1 немає можливості виявляти дисбаланс робочого колеса пожежного насоса.

Висновки. Отримані в результаті дослідження дані дозволили зробити висновок, що найбільш небезпечним предметом являється щебінь розміром 27-30 мм. Проаналізувавши перелік робіт, що проводиться при технічному обслуговуванні встановлено, що на даний момент немає засобів діагностування щодо виявлення дисбалансу робочого колеса та валу пожежного насоса в період між проведенням ТО-1. Тому подальші дослідження необхідно спрямувати на розробку та впровадження нового методу діагностування, за допомогою якого можна виявити на ранній стадії роботи пожежного насоса дисбаланс робочого колеса насоса.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Костюков А.В. Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по трендам вибропараметров: дис. ... кандидата тех. наук: 05.11.13/Костюков Алексей Владимирович. – Омск, 2006. – 194с.

2. Статистика пожеж за 2010 рік

3. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.

4. ГОСТ 8220-85 Гидранты пожежні, підставки.

5. ГОСТ 8220-85* Гидранты пожарные подземные. Технические условия (Взамен ГОСТ: 8220-62).

6. «Настанова з експлуатації транспортних засобів в підрозділах МНС» №538 від 08.08.2007 року.

УДК 614.843

І.В. Литвиненко, УМНС України в Чернігівській області,
Г.І. Єлагін, канд. хім. наук, с. н. с.,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТІ ВИНИКНЕННЯ ДЕЯКИХ ПОЖЕЖ В УКРАЇНІ У 2000-2009 Р.Р. ЗА МЕХАНІЗМОМ ТЕПЛОВОГО САМОНАГРІВАННЯ

Проведеним аналізом виявлено, що в Україні в період 2000 – 2009 р. р. в місцях наявності, зберігання чи то переробки жирів, масел або композицій на їх основі виникла певна кількість пожеж, причиною яких визнано самонагрівання з наступним самозайманням. При цьому, першопричину самонагрівання (тепловий, хімічний чи мікробіологічний механізм виникнення самонагрівання) в більшості випадків не з'ясовано, в результаті чого причина пожежі залишалася встановленою не точно. Для підтвердження можливості виникнення деяких з цих пожеж за механізмом теплового самонагрівання обставини їх виникнення змодельовані у лабораторних умовах.

Ключові слова: жири, масла, теплове самонагрівання, самозаймання.

Актуальність проблеми. При аналізі пожеж, однією із причин яких є самозаймання за рахунок теплового самонагрівання жирів, масел і композицій на їх основі, припущення, що пожежа виникла саме внаслідок самозаймання, на практиці в більшості випадках відхиляють в зв'язку з недостатнім рівнем інформації. Якщо і вказують причиною пожежі самозаймання, то не правильно визначають його фізико-хімічний механізм - мікробіологічний, тепловий, чи внаслідок хімічної взаємодії речовин між собою. Дослідження ж механізму виникнення самонагрівання і залежності температури самонагрівання від властивостей субстрату, властивостей горючих рідини, які просочують цей субстрат, і від зовнішніх факторів дає змогу визначити умови виникнення самонагрівання та наступного самозаймання і, в подальшому, розробити рекомендації щодо попередження створення таких умов в подібних випадках.

Аналіз останніх досліджень з даного питання. В останні роки самонагрівання і самозаймання пористих матеріалів, просочених жирами та маслами досліджувалося в Південній Кореї (самозаймання просочених поліуретанів) [1], Львівськими дослідниками пожежної охорони [2] та у відповідності до “Плану випробувальних та дослідних робіт ДВЛ ГУ МНС України в областях та м. Києві на 2010 рік” розробленого Українським науково-дослідним інститутом пожежної безпеки МНС України, спільно з працівниками ДВЛ ГУ МНС України в Чернігівській області. [3].

Постановка проблеми та її розв'язання. За результатами аналізу, проведеного в останній роботі, в Україні в період 2000 – 2009 р.р. виникло 105 пожеж, причиною самозаймання яких вірогідно було теплове самонагрівання жирів, масел або композицій на їх основі. Збиток від таких пожеж в середньому становить 1 млн. грн. Але детального аналізу і доведення в кожному випадку можливості самонагрівання саме за тепловим фізико-хімічним механізмом проведено не було.

В даній роботі поставлено задачу шляхом аналізу документальної бази найбільш показових з таких пожеж виявити вірогідну в кожному випадку причину самонагрівання і на основі виявлених закономірностей та експериментальної перевірки на модельних системах можливості виникнення в цих випадках самонагрівання саме за тепловим механізмом розробити рекомендації щодо недопущення (або, принаймні, зниження) в майбутньому

кількості пожеж, спричинених тепловим самозайманням масел, жирів чи композицій на їх основі.

При розв'язанні проблеми виявлено, що згадані пожежі в більшості випадків виникали в побутових приміщеннях (в гаражах, коморах, балконах, сараях), але значна кількість пожеж відмічена і на об'єктах виробництва та промисловості, особливо на тих об'єктах, де безпосередньо у виробництві застосовуються мастила та розчинники. Майже в кожній області зустрічаються пожежі на об'єктах виробництва олії та макухи із соняшникового насіння.

Для прикладу можна навести пожежі, які сталися:

- 04 липня 2007 року в одноповерховій виробничій будівлі ВАТ "Київський склотарний завод" в м. Києві по пров. Балтійський, 23. Проведеною перевіркою встановлено, що згідно технологічного регламенту на виробництво скляних банок, у виробництві використовувалося мастило індустріальне И-20А ГОСТ 20799-88 з температурою спалаху у відкритому тиглі не нижче 200 градусів. Після сплиску мастила, під дією температури утворювалися масляний туман та кіптява, які частково видалялися аспіраційною системою з виведенням решти крізь аераційні ліхтарі. При цьому, деяка частка мастила осідала на фермах перекриття. В зв'язку з безперервністю технологічного процесу, ферми очищалися від накопичень кіптяви лише один раз на чотири роки, під час "холодного" ремонту скловарної печі. В зв'язку з підвищенням температури навколишнього середовища, у виробничому цеху температура повітря підвищилася до критичної, що й призвело до самонагрівання та подальшого самозаймання накопиченої масляної кіптяви на фермах перекриття [4].

- 09 вересня 2002 року в металевому вентиляційному каналі олійниці СВК "Маяк" в с. Скельки по вул. Степова, Васильківського р-ну, Запорізької області. Оглядом місця пожежі виявлено, що внутрішня поверхня металевого повітропроводу в приміщенні термічної обробки соняшникового насіння мала значний шар маслянистих відкладень, що утворився внаслідок засмічення повітропроводу жирними парами, які відводились із печі смаження. Під впливом високої температури повітря, що видалялося, маслянисті відкладення почали самонагріватися. З часом це призвело до самозаймання [5].

- 01 серпня 2008 року в не житловому приміщенні в м. Оріхів по вул. Запорізька, 59, Запорізької області. Оглядом місця пожежі встановлено, що в даному приміщенні зберігалися використані автозапчастини, розчинники, промаслені ганчірки та інший мотлох. Осередок пожежі виявлено саме в купі складених ганчірок та мотлоху. Як з'ясувалося, під дією тепла навколишнього середовища температура в середині купи поступово зростала до температури самонагрівання масла, яке просочувало мотлох. В подальшому, самонагрівання підняло температуру в середині купи до температури самоспалахування [5, 6].

- 11 травня 2008 року в кухні ресторану "Абсолют" м. Коростишів Житомирської області. Місце виникнення пожежі – витяжна шафа. Як встановлено, причиною пожежі було самозаймання внаслідок теплового самонагрівання відкладеного на поверхнях шару кіптяви та жиру [7].

Як показав аналіз пожеж, причиною яких стало самозаймання, в більшості випадків працівниками державного пожежного нагляду однозначно не встановлено причину (механізм) самозаймання. Найбільш вірогідним механізмом самонагрівання, який привів до згаданих пожеж, є механізм тепловий.

Але в деяких подібних випадках не можна виключати і мікробіологічного самонагрівання і самонагрівання внаслідок хімічної взаємодії речовин при їх контакті. Прикладом може бути аналіз пожежі, яка сталася 10 квітня 2006 року в приватному металевому гаражі в м. Києві по вул. Маслівка, 12. Оглядом місця пожежі виявлено, що самозаймання хімічно-активних речовин виникло в результаті сумісного зберігання кислоти, розчинників та фарби при плюсовій температурі навколишнього середовища. Металевий гараж не провітрювався, що і спричинило накопичення парів ЛЗР, проникнення їх до інших речовин і подальше самозаймання за хімічним механізмом [4]. Альтернативним в даному

випадку є механізм тепловий, самозаймання мастильних матеріалів, які при зберіганні витікали і потрапляли на горючі пористі субстрати.

Подібна пожежа сталася 01 червня 2006 року в адміністративному будинку КП "Фармація" в місті Києві по вул. Івана Франка, 38-б. Оглядом місця пожежі встановлено, що пожежа виникла в кабінеті 2-го поверху на столі в підставці, де зберігалась косметика (внаслідок пожежі пошкоджено стіл та пластмасову полицю). Причиною пожежі визнано самозаймання за хімічним механізмом, хоча і тут можливим є теплове самозаймання жирних компонентів парфумерії, які просочували ватні тампони [4].

При огляді місця пожежі, що виникла 02 червня 2006 року в гаражі №43 гаражно-будівельного кооперативу №1 в м. Енергодар по вул. Придніпровська, Запорізької області, виявлено, що у правому дальньому куті гаражу на площі 0,5 м² зайнялася купа промаслених ганчірок. За результатами проведеної перевірки було припущено, що причиною виникнення пожежі послугувало хімічне самозаймання промасленої купи ганчірок внаслідок дії на неї кисню повітря, яке супроводжувалося виділенням великої кількості тепла ("олива з ефектом висихання" в змозі безпосередньо приєднувати молекулярний кисень у ході екзотермічної реакції з виділенням тепла у значних кількостях). У зв'язку з великою просоченістю оливою ганчірок (горючих матеріалів) та певною щільністю масного матеріалу в купі ганчірок причиною пожежі було визнано хімічне самозаймання [5]. Таке трактування виглядає досить спірним, адже взагалі то самонагрівання матеріалів при взаємодії їх з киснем повітря прийнято відносити до самонагрівання теплового.

До самозаймання внаслідок теплового самонагрівання можна віднести і пожежу, що сталася 16 травня 2000 року в колишній майстерні ЗОШ І-ІІІ ст. м. Кам'янка по вул. Леніна, 18-а, Черкаської області. Загорання сміття. Оглядом місця пожежі виявлено, що в приміщенні майстерні на підлозі знаходилось промаслене ганчір'я, яке в результаті окислення киснем повітря зайнялось із подальшим розповсюдженням полум'я [8].

Також до кінця не визначено механізм виникнення самозаймання під час дослідження пожежі 12 червня 2001 року на території УКПП "Коопосилторг" в м. Харків по вул. Фонвізіна, 18. Загорівся напівпричіп рефрижератора СВ ІІІ 13.6. Оглядом місця пожежі встановлено, що осередок пожежі знаходився в передній частині напівпричепи, в якій були складені тюки вагою 120-140 кг з одягом з різних тканин (синтетичних, шерстяних, бавовняних та ін.). Дані тюки були покладені в чотири ряди. Пожежа була виявлена при розвантаженні. На момент виникнення горіння було розвантажено приблизно дві третини вантажу. При розвантаженні відчувався запах характерний для отрутохімікатів [9]. Ймовірно вказані вище тюки пройшли обробку невідомою хімічною рідиною. Вважалося, що при контакті волокнистих матеріалів в умовах доступу повітря з різноманітними хімічними речовинами відбувалося займання останніх. Вірогіднішою причиною пожежі названо хімічне самозаймання, хоча і в цьому випадку умови були сприятливими для самозаймання теплового.

Окремо слід вказати, що в Україні за період 2000 – 2009 р.р. в п'яти областях пожежі по причині самозаймання за рахунок теплового самонагрівання жирів, масел і композицій на їх основі взагалі не зафіксовані. Скоріше за все ця причина пожежі просто не розглядалася або не бралася до уваги.

Експериментальні дослідження

Умови виникнення вище згаданих пожеж були відтворені у вигляді фізичних моделей в дослідно-випробувальній лабораторії УМНС України в Чернігівській області. Можливість виникнення теплового самонагрівання перевірялася за допомогою пристрою для визначення температури теплового самонагрівання речовин і матеріалів (далі по тексту – пристрій) [10].

Для першої моделі було обрано пожежі, що сталися 02 червня 2006 року в гаражі №43 гаражно-будівельного кооперативу №1 в м. Енергодар по вул. Придніпровська, Запорізької області та 16 травня 2000 року в колишній майстерні ЗОШ І-ІІІ ст. м. Кам'янка по вул. Леніна, 18-а, Черкаської області. В обох випадках самозаймання виникло в купі

промасленого ганчір'я. Застосована модель включала старе ганчір'я, яке складалося з 80% бавовни і 20% поліестеру та оліфу натуральної виробництва Черкаської фірми "Колор".

Дослідження з визначення температури самонагрівання системи з ганчір'я, просоченого оліфою, проводилися у відповідності до методики розробленої дослідно-випробувальною лабораторією Головного управління МНС України в Чернігівській області [3].

Перед проведенням випробування стабілізувалася робота пристрою. Встановлювався термоелектричний перетворювач Т1 в середину пристрою та за допомогою регулятора температури одноканального Б-РТ-УНИВП-И відрегулювалася величина подавання напруги, потрібної для нагріву повітря протягом 20-30 хв. до заданої температури, так, щоб температура в пристрої протягом всього випробування лишалася не змінною.

Для випробування подрібнювався сухий зразок ганчір'я, який просочувався оліфою у співвідношенні 1:2-1:2.5. Вся система зважувалася та поділялася на три рівні частини (на три рівні зразки), таким чином, щоб кожний зразок повністю поміщався в сітчастий циліндр відповідного об'єму. Термоелектричний перетворювач Т2 встановлювався в сітчастий циліндр із системою таким чином, щоб робочий спай термоелектричного перетворювача контактував із системою та розміщувався в геометричному центрі зразка. Сітчастий циліндр із зразком розміщувався в центрі термостата та поступово доводився до заданої температури випробування.

Система (просочений зразок) витримувалася у термостаті до самонагрівання протягом не менше 5-7 годин.

Поряд із цим, за допомогою інформаційно-вимірального комплексу на базі модулів ICP-CON проводилися спостереження за процесом випробування з фіксацією в пам'яті комп'ютера температури в системі протягом всього дослідження.

За початок самонагрівання приймалося підвищення температури системи (по показанням термоелектричного перетворювача Т2). Якщо при першому випробуванні (з трьома однаковими системами) самонагрівання не сталося на протязі визначеного часу (5-7 год.), то наступне випробування з аналогічною системою проводилося при більшій температурі або при іншому співвідношенні рідини і ганчір'я. Якщо при першому випробуванні сталося самонагрівання, то наступне випробування з аналогічною системою проводилося при меншій температурі (наприклад, на 5 °С).

Випробування проводилися до визначення (з точністю 2-3 °С) мінімальної температури, при якій виникало самонагрівання.

Як виявлено, найбільш чутливою в даному випадку показала себе система, що складалася з 1 частини ганчір'я і 2,5 частин оліфи. Самонагрівання в цьому випадку починалося при температурі в 50 °С. В подальшому, за 4-5 годин температура за рахунок самонагрівання навіть у відносно невеликій за об'ємом системі піднімалася до 65 °С. Типовий результат випробування наведено на рис. 1.

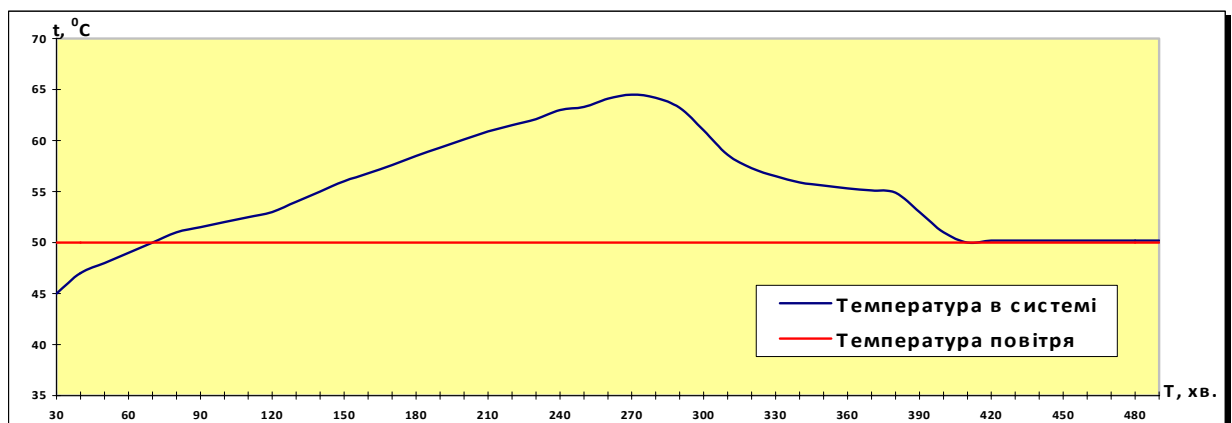


Рис. 1. Самонагрівання зразків ганчір'я, просочених оліфою натуральною "КОЛОРА" у співвідношенні 1:2,5

Для побудови другої моделі обрано пожежу, що сталася 09 вересня 2002 року в металевому вентиляційному каналі олійниці СВК "Маяк" в с. Скельки по вул. Степова, Васильківського р-ну, Запорізької області де горіла сажа, просочена маслянистими відкладеннями. В цьому випадку застосована модель включала активоване вугілля з протигазу ГП-5 90-IV-71-145 Ф-4 та свіже виготовлену олію Ніжинського маслозаводу. Кожне випробування теж проводилося з трьома однаковими зразками. Як виявлено, найбільш чутливою в даному випадку показала себе система, що складалася з 1 частини активованого вугілля і 0,3 частин олії. Самонагрівання в цьому випадку починалося при температурі в 60 °С. В подальшому, за 3-4 години температура за рахунок самонагрівання навіть у відносно невеликій за об'ємом системі піднімалася до 67 °С. Типовий результат випробування наведено на рис. 2.

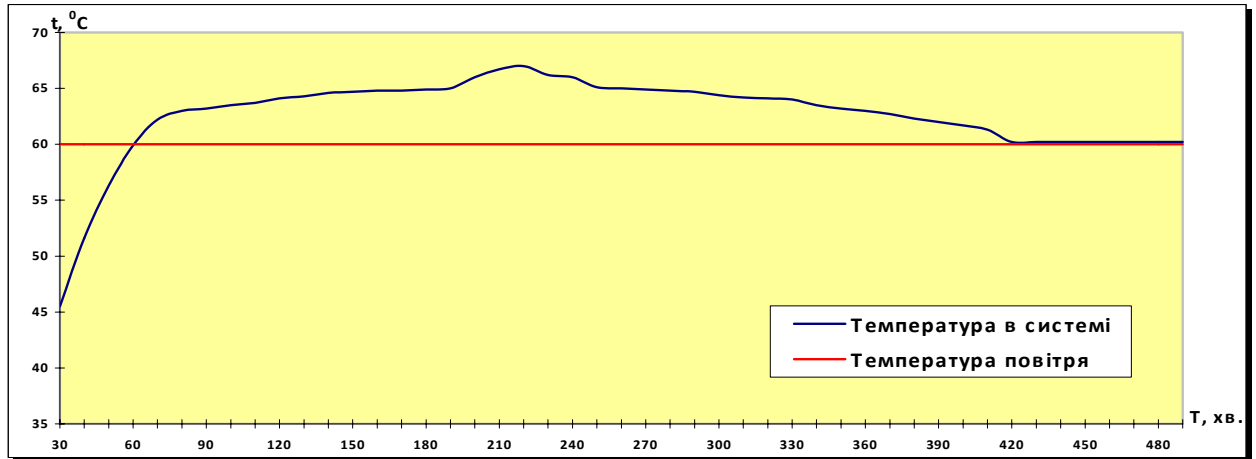


Рис. 2. Самонагрівання зразків вугілля з протигазу, просоченого натуральною олією у співвідношенні 1:0,3

Зрозуміло, що збільшення об'єму систем призводить до погіршення умов охолодження їх за рахунок зовнішнього середовища і до підвищення температури за рахунок самонагрівання до температури самоспалахування ганчір'я, вугілля (сажі) або жирової компоненти, яка їх просочує.

Висновок. Виходячи з вищевикладеного, можна відмітити, що достатньо значний відсоток пожеж, які відбулися за період 200-2009 р.р., був спричинений самонагріванням жирів, масел і подібних рідин. Найбільш сприятливими умовами для виникнення самонагрівання є підвищення температури при зберіганні просочених такими рідинами пористих горючих субстратів. Але спостерігаються і випадки самонагрівання жирів та масел при відкладенні їх на поверхні, не горючій, але достатньо прогрійтій.

Експериментально, на модельних системах, доведено що, в крайньому разі для перевірених випадків, виникнення пожежі можна пояснити в термінах теплового самонагрівання.

Рекомендації щодо попередження таких пожеж включають недопущення зберігання твердих горючих матеріалів, забруднених маслами чи жирами, та постійний контроль за чистотою поверхонь, які прогриваються до високих температур. Залишаються актуальними дослідження (визначення температури самонагрівання, співвідношення твердої та рідкої фаз і ін.) систем, що складаються з конкретних твердих горючих пористих речовин, просочених найбільш поширеними жирами, маслами та іншими рідинами з подвійними зв'язками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jung Doo Kyun. A study on the autoignition characteristics of polyurethane foam // Xiaofang bexue yu jishu = Fire Sci. and Technol. 2004. 23, №4, с. 316-319, 5.
2. Кропивянський В.П. Інформаційне письмо о характерных пожарах, происшедших по причине самовозгорания, и мерах по их предупреждению. – Львов: управление пожарной охраны УВД Львовского облисполкома – 1986. - 44 с.
3. Проаналізувати пожежі, пов'язані з самозайманням за рахунок теплового самонагрівання жирів, масел і композицій на їх основі та розробити пропозиції щодо їх попередження (9-2010): звіт про ДР: укр. наук.-досл. ін.-т пож. безп.; викон.: досл.-випроб. лабор. УМНС Укр. в Черніг. обл. – Чернігів, 2010. – 25 с.
4. Лист від 31.03.2010 року вих. №16/1/2030, – "Інформація про пожежі, які виникли в м. Києві в період з 2005-2009 р. р., причиною яких було самозаймання".
5. Лист від 30.04.2010 року вих. №04/10/1168, – "Інформація про пожежі, які виникли в Запорізькій області в період з 2000-2009 р. р., причиною яких було самозаймання".
6. Анісімов А.С. Рекомендації по виявленню причин пожеж / А.С. Анісімов. – Київ, 1979. – 214 с.
7. Лист від 30.03.2010 року вих. №1-1277, – "Інформація про пожежі, які виникли в Житомирській області в період з 2000-2009 р. р., причиною яких було самозаймання".
8. Лист від 31.03.2010 року – "Інформація про пожежі, які виникли в Черкаській області в період з 2000-2009 р. р., причиною яких було самозаймання".
9. Лист від 26.03.2010 року вих. №020-1785/350, – "Інформація про пожежі, які виникли в Харківській області в період з 2000-2009 р. р., причиною яких було самозаймання".
10. Пат. 36113 Українська Республіка, МПК (2006) B01L 7/00. Пристрій для визначення температури теплового самонагрівання речовин і матеріалів / Єлагін Г.І., Литвиненка І.В.; заявник та власник Литвиненко І.В. – № u200806902 ; заяв. 19.05.08 ; публ. 10.10.08, Бюл. № 19. – 2 с. : іл.

УДК 614.484

В.Ф. Марієвський, д. мед. н., проф. директор,
Інститут епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.В. Громашевського,
Т.В. Стрикаленко, д. мед. н., проф., науковий консультант,
Науково-технологічний центр «Укрводбезпека»,
Т.В. Магльована, к.х.н., доц., Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,
Т.Ю. Нижник к.т.н., н.с., Національний технічний університет «КПІ».

ЕФЕКТИВНІ ДЕЗІНФЕКТАНТИ ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЕПІДЕМІЧНИХ УСКЛАДНЕНЬ ВНАСЛІДОК НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ, ВИКЛИКАНИХ ПОВЕНЯМИ

Проведено порівняльні дослідження деяких реагентів, які використовують для дезінфекції води та об'єктів довкілля, стосовно їх здатності ініціювати резистентність у найбільш поширених мікроорганізмів (патогенних та умовно патогенних для людини).

Ключові слова: дезінфекція, резистентність, полігексаметиленгуанідин гідрохлорид, мікроорганізми.

Актуальність досліджень. За останні десятиліття в багатьох країнах світу та Україні значно зросла кількість надзвичайних ситуацій, викликаних повенями. Щорічно в Україні викликають загрозу проживанню населення підтоплення та повені різної інтенсивності аж до катастрофічних, таких, як в Закарпатській області 1998 та 2001 роках, Івано-Франківській, Чернівецькій, Тернопільській, Закарпатській, Львівській, Вінницькій, Одеській областях у 2008 році. В Україні нараховується 541 місто й селище зі стабільним проявом процесів підтоплення, а у 97 населених пунктах площа підтоплення перевищує 50% їх території. Це явище особливо проявляється в Дніпропетровській, Одеській, Донецькій, Луганській та Херсонській областях степової зони України, Полтавській та Харківській областях лісостепової зони, Житомирській області та всій зоні Полісся. В Карпатах та передгірній зоні Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської областей щорічно розвиваються повені, що призводить до затоплень значних територій.

Заслугове на увагу можливість погіршення епідемічної обстановки і зростання випадків інфекційних захворювань серед населення, що проживає у місцевості, яка потрапила в зону надзвичайної ситуації. Так, пошкодження або руйнування джерел питного водопостачання тягне за собою погіршення якості питної води та створює серйозну небезпеку для здоров'я в багатьох регіонах України, зумовлює високий рівень захворюваності кишковими інфекціями, гепатитом, збільшує ризик впливу на організм людини хімічних, канцерогенних і мутагенних факторів.

Погіршення умов життя, порушення функціонування комунально-побутових служб, розлад системи управління також сприяють виникненню та розповсюдженню масових інфекційних захворювань серед населення [1]. У цих умовах для швидкої, ефективної та безпечної локалізації епідеміологічно небезпечних районів, зниження ризику поширення інфекційних захворювань, необхідно мати запас дієвих і екологічних антисептиків. Створення таких антисептиків, а також технологій їх використання є актуальним завданням яке стоїть перед хіміками, мікробіологами та технологами [2].

Згідно вимог, які пред'явлені до сучасних антисептичних препаратів, вони повинні бути добре розчинними у воді, їх водні розчини мають бути безбарвними, не мати запаху, не виводити руйнування оброблених матеріалів, в тому числі й корозію металів, володіти адгезійними властивостями, високою стабільністю і низькою токсичністю [3].

Одними із найбільш перспективних сучасних дезінфектантів, що відповідають цим вимогам, є похідні специфічної азотистої основи – гуанідину (діюча речовина –

полігексаметиленгуанідин гідрохлорид), до яких належать вітчизняні препарати під торговою назвою «Полідез», «Акватон» та «Тонік антисептичний «Біоцид плюс».

Постановка наукового завдання. Одне із важливих питань ефективного використання дезінфекційних засобів – попередження формування резистентності у мікроорганізмів в ході довготривалого застосування препаратів. Швидкість формування резистентності залежить як від виду мікроорганізмів так і від властивостей самих дезінфектантів. В світовій практиці для попередження виникнення резистентних штамів мікроорганізмів до дезінфекційних засобів застосовується метод чергування деззасобів з різними активно-діючими речовинами.

Метою роботи було виконати порівняльні дослідження деяких реагентів (полігексаметиленгуанідин гідрохлорид, хлорамін, хлорне вапно, глутаровий альдегід, бензалконіум хлорид), які використовують для дезінфекції води та об'єктів довкілля, стосовно їх здатності ініціювати резистентність у найбільш поширених мікроорганізмів (патогенних та умовно патогенних для людини).

Огляд останніх публікацій. На сучасному етапі людству відомі тисячі хімічних сполук, що виявляють біоцидну активність, але практичне застосування можливе лише сотень. Останнім часом у створенні та виробництві дезінфектантів досягнуто значних успіхів. Основна увага приділяється розробці багатокомпонентних рецептур, у яких діючі речовини поєднані в оптимальних співвідношеннях, мають широкий спектр антимікробної активності, що забезпечує знищення збудників вірусних та бактеріальних (включаючи вегетативні та спорові форми) інфекцій.

Розрізняють декілька типів хімічних дезінфектантів: галоїдвмісні сполуки, пероксидні сполуки, альдегіди, сполуки з гуанідиноювою структурою, спирти, феноли, кислоти, четвертинні амонійні солі (ЧАС), третинні аміни. Розглянемо основні властивості деяких із них.

Хлорвмісні сполуки мають широкий спектр антимікробної дії, дезодоруючий та відбілюючий ефекти, здатність до гомогенізації. Окремі хлорактивні речовини, які традиційно застосовувались протягом багатьох десятиліть дешеві, але мають певні недоліки: різкий неприємний запах, корозійну дію, для деяких характерна погана розчинність у воді, токсичність, нестійкість при зберіганні, різке зниження активності в присутності органічних речовин. Вони розглядаються як одне з основних першоджерел утворення надзвичайно небезпечного класу токсичних сполук — діоксинів у присутності багатьох ароматичних сполук, і становлять серйозну екологічну небезпеку при надходженні в навколишнє середовище [4].

Найбільш цінними властивостями альдегідів є наявність антимікробної активності практично по відношенню до багатьох видів та форм мікроорганізмів. Проте, ця група сполук фіксує білкові забруднення на об'єктах, а тому потребує їх ретельного видалення перед дезінфекцією, а також високий рівень токсичності, що не дозволяє використовувати їх достатньо широко для обробки поверхонь, білизни та посуду. Необхідно відмітити, що при використанні альдегідвмісних засобів, найважче попередити інгаляційний шлях проникнення альдегіду в організм працюючих [4].

ЧАС мають ряд цінних якостей: низька токсичність та еколого-гігієнічна безпека, достатня бактерицидна ефективність у відношенні до широкого спектру грам позитивних та грам негативних бактерій та ін. В той же час, збільшення концентрації ЧАС у деззасобі підвищує його деструктивну дію на оброблені поверхні і негативно впливає на здоров'я людей, які з ними працюють. Деззасоби з групи ЧАС придатні для дезінфекції обмеженого кола об'єктів. На сьогодні на території США, Японії, Європи, засоби на основі ЧАС заборонені для дезінфекції інструментів та ендоскопів. Водночас у комбінації з іншими діючими речовинами ЧАС утворюють дуже цікаві та перспективні сполуки [4].

Групу дезінфекційних засобів з гуанідиноювою структурою найбільш часто представляють полігексаметиленгуанідин гідрохлорид, полігексаметиленгуанідин фосфат та хлоргексидин біглюконат. Полігуанідини – одна з перспективних груп сучасних деззасобів.

Вони мають низьку токсичність, високу стабільність, не пошкоджують об'єкти, що знезаражуються. Особливістю речовин цієї групи є здатність утворювати на оброблених поверхнях плівки, що забезпечують тривалу залишкову бактерицидну дію.

Широкий спектр біоцидної активності солей полігексаметиленгуанідину (ПГМГ-ГХ) обумовлений наявністю в макромолекулах полімеру гуанідинової групи, що є активним початком деяких природних і синтетичних медпрепаратів (сульгін, ісмелін, фарингосепт, стрептоміцину). Клітинні мембрани мікроорганізмів, яким властивий негативний сумарний електричний заряд, ефективно сорбують біоцидний полікатіон, що призводить до загибелі мікроорганізмів. Розширені можливості модифікації ПГМГ пов'язані з відносно високою реакційною здатністю гуанідинових груп. Біоцидні властивості при багатьох хімічних реакціях зберігаються, оскільки гуанідинові групи об'єднані в загальний полімерний ланцюг і в хімічних реакціях завжди приймає участь лише їх частина [5]. Солі ПГМГ належать до IV класу токсичності (малонебезпечні речовини), низька токсичність гуанідинових сполук для людини пояснюється тим, що в організмі теплокровних присутні ферментні системи, які здатні викликати деградацію полімеру [2]. Отже, вибір оптимального дезінфікуючого засобу, особливо при попередженні епідемічних ускладнень внаслідок надзвичайних ситуацій, викликаних воєнними є актуальним завданням.

Обговорення результатів. Нами досліджено розвиток резистентності, тобто звикання мікроорганізмів до представників декількох типів хімічних дезінфектантів: хлорвмісних сполук, альдегідів, четвертинних амонійних солей (ЧАС) та сполук з гуанідиною структурою на прикладі хлораміну, хлорного вапна, глутарового альдегіду, бензалконіум хлориду та полігексаметиленгуанідин гідрохлориду. Мікробіологічні дослідження, спрямовані на визначення здатності до формування резистентності проведені в Інституті епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.В.Громашевського АМН України у відповідності із загальноприйнятими стандартними методами. Для приготування поживних середовищ використовували агар Діфко (Sigma, США). Мікробне навантаження складало 10^8 клітин/мл; мінімальну бактерицидну концентрацію визначали згідно стандартних методів, що використовують в мікробіологічних дослідженнях. Кількість повторних досліджень (перевірок) була потрійною. Статистичну обробку результатів мікробіологічних досліджень проводили загальноприйнятими методами. Кінцевою концентрацією інтервалу, в якому проводили дослідження, була та, що перевищувала на 2-3 пасажі концентрацію, при якій вже не спостерігали росту мікроорганізмів. Кількість пересівів визначали відсутністю росту того чи іншого мікроорганізму при подальших пересівах на середовищах із зростаючими концентраціями дезінфікуючих реагентів, що обумовлено специфічністю генетики і біохімії як самих мікроорганізмів, так і специфічністю механізмів дії дезінфектантів. (Коли кінцева концентрація дезінфектанту перевищувала мінімальну бактерицидну для даного у 1,2–1,5 рази, то це свідчило про розвиток резистентності, тобто звикання, мікроорганізмів до дії даного дезінфікуючого засобу).

Результати проведених досліджень свідчать, що у всіх досліджених мікроорганізмів може формуватися резистентність до дезінфектантів майже всіх хімічних груп, які зараз найбільш часто використовуються (Табл.1). Стійкість, тобто резистентність, досліджених мікроорганізмів зростає до впливу: (1) хлораміну - у $2,3 \div 38,1$ разів; (2) хлорного вапна - у $3,5 \div 23,8$ разів; (3) глутарового альдегіду - у $1,4 \div 16,6$ разів, а до (4) четвертинної амонійної солі бензалконіуму хлориду, крім штамів кандіда, аспергіла та актиноміцета, - у $2,2 \div 9,3$ рази. Разом з тим, результати проведених досліджень свідчать також про повну відсутність розвитку резистентності у широкого спектру мікроорганізмів до дії досліджуваного реагенту, виготовленого на основі полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ-ГХ, виробництво НТЦ «Укрводбезпека»).

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень ймовірності розвитку резистентності мікроорганізмів до досліджених дезінфектантів

Штами мікроорганізмів	ПГМГ-ГХ		Хлорамін		Хлорне вапно		Глутаровий альдегід		Бензалконіум хлорид (ЧАС)	
	Коефіцієнт підвищення резистентності	Розвиток резистентно- сті	Коефіцієнт підвищення резистентності	Розвиток резистентно- сті	Коефіцієнт підвищення резистентності	Розвиток резистентності	Коефіцієнт підвищення резистентності	Розвиток резистентності	Коефіцієнт підвищення резистентності	Розвиток резистентності
<i>Escherichia coli</i>	1,1	-	38,1	+	23,8	+	3,3	+	9,3	+
<i>Salmonella typhimurium</i>	1,1	-	27,5	+	21,7	+	6,0	+	8,3	+
<i>Shigella sonne</i>	1,0	-	25,8	+	18,6	+	3,3	+	7,2	+
<i>Staphylococcus Aureus 209</i>	1,0	-	12,2	+	11,3	+	14,2	+	3,6	+
<i>Staphylococcus albos</i>	1,1	-	17,2	+	9,5	+	13,6	+	3,7	+
<i>Streptococcus pyogenes mun 1</i>	1,0	-	5,0	+	9,2	+	16,6	+	7,4	+
<i>Streptococcus pyogenes mun 2</i>	1,0	-	5,9	+	10,0	+	13,3	+	7,8	+
<i>Streptococcus pyogenes mun 3</i>	1,0	-	6,8	+	8,1	+	14,0	+	6,8	+
<i>Actinomyces olivaceus</i>	1,0	-	3,1	+	4,4	+	2,0	+	1,0	+
<i>Aspergillus niger</i>	1,0	-	2,8	+	4,9	+	1,4	+	1,0	-
<i>Bacillus cereus</i>	1,1	-	4,3	+	3,6	+	2,5	+	2,6	+
<i>Bacillus mesenterium</i>	1,1	-	3,1	+	3,5	+	2,4	+	2,2	+
<i>Bacillus mycoides</i>	0,95	-	3,3	+	3,5	+	3,1	+	3,4	+
<i>Bacillus anthracis</i>	1,0	-	3,6	+	4,4	+	4,3	+	3,4	+
<i>Bacillus subtilis</i>	0,97	-	4,0	+	4,6	+	3,8	+	3,3	+
<i>Corinebacterium diphtheriae PV-8</i>	1,0	-	4,6	+	6,3	+	4,8	+	4,1	+
<i>Corinebacterium diphtheriae (мокс)</i>	1,0	-	4,4	+	8,3	+	6,8	+	4,2	+
<i>Candida tropicalis</i>	1,0	-	2,3	+	3,9	+	2,8	+	1,0	-
<i>Candida krusei</i>	1,0	-	2,5	+	5,3	+	2,9	+	1,1	-
<i>Candida albicans</i>	1,0	-	2,6	+	5,6	+	3,3	+	1,1	-

Для доповнення та підтвердження даних, отриманих при вивченні вірогідності адаптації мікроорганізмів до відомих дезінфікуючих засобів та ПГМГ-ГХ методом пересівів на середовищах зі зростаючими концентраціями, провели експериментальне вивчення індукції мутантів мікроорганізмів, стійких до цих дезінфікуючих засобів, з використанням методу експериментального мутагенезу. Суть методу полягає у послідовній дії на клітини мікроорганізмів хімічного мутагену (група нітрозосполук - N-метил-N'-нітро-N-нітрозогуанідин, специфічною дією якого є пошкодження ДНК у точці реплікації та сприяння індукції мутантів) та активної діючої речовини дезінфектантів (хлору та хлорного вапна, ПГМГ-ГХ). Отримані результати засвідчили, що при виживанні від 11 до 21 % клітин вивчених штамів мікроорганізмів індукція мутантів, стійких до хлорного вапна, коливалась від 3 до 8 %, стійких до хлораміну – 3 – 6 %. Не було отримано жодного мутанту, стійкого до ПГМГ-ГХ, тоді як індукція аутокотрофів (контроль мутагенезу) при вказаній виживаємості була досить високою і становила 2.6 - 6.5 % в залежності від штаму та виду мікроорганізмів. Тобто, не встановлено появи мутантів, стійких щодо досліджуваного реагенту, виготовленого на основі ПГМГ-ГХ, навіть при дії одного із найсильніших хімічних мутагенів

Висновок: забезпечення хімічної безпеки і екологічної нешкідливості реагентів, що використовуються для забезпечення нормальної життєдіяльності людини можна досягти використовуючи дезінфектанти на основі гуанідину. Досліджений реагент (виробництва ЗАТ «НТЦ» «Укводбезпека») не ініціює розвиток резистентності у широкого спектру мікроорганізмів. Полігуанідинові дезінфектанти є не тільки екологічно чистими, безпечними для людей і тварин, але й мають широкий спектр біоцидної активності вони є високоефективними засобами боротьби і профілактики інфекційних захворювань, що дає можливість використовувати їх при поточній дезінфекції поверхонь приміщень, медичного інвентаря [6,7], дезінфекції води [8] з використанням мобільних установок [9] та предметів користування персоналу рятувальників мобільних госпіталів в умовах надзвичайних ситуацій [10].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до "Планування заходів щодо попередження епідемічних ускладнень внаслідок надзвичайних ситуацій, викликаних повеннями" МР 9.9.1-156-2008
2. Реагенты комплексного действия на основе гуанидиновых полимеров. Под ред А.И. Барановой/ 2006. Выпуск 3. К., 80с.
3. Воинцева И.И., Гембицкий П.А. Полигуанидины- дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы// М.: ЛКМ-Пресс, 2009. 304с.
4. Малюга В. Оптимально вибраний дезінфекційний засіб – дієвий та безпечний // «Практика управління медичним закладом» 2011. №3 (3).С.14-17.
5. Гембицкий П.А., Воинцева И.И. Полимерный биоцидный препарат полигексаметиленгуанидин // Запорожье, 1998. 44с
6. Дезінфекційний засіб «Полідез». Нормативна документація. К.: Вербена, 2007.-18с.
7. Нормативна документація на дезінфекційний засіб «Тонік антисептичний «Біоцид плюс». К.: Біоцид, 2008.-6с.
8. Мариевский В.Ф. Повышение эпидемической и химической безопасности воды для дезинфекции./ В.Ф. Мариевский, И.И. Даниленко, А.И. Баранова и др.// Профілактична медицина. 2009. №3 (7).С.53-62.
9. Жартовський В.М. Виробництво питної води в умовах надзвичайних ситуацій з використанням гуанідинових флокулянтів/ В.М. Жартовський, А.К. Трохимчук, Т.В. Магльована, Г.І. Баранова // Пожежна безпека: теорія і практика, 2010. №5. С. 56-60.
10. Матяш В.И. Отчет о применении дезинфицирующих средств «Гембар» и «Акватон» в экстремальных условиях работы мобильного госпиталя Министерства чрезвычайных ситуаций в Индии./Вестник Ассоциации дезинфекционистов Украины.-2002.-№2.

УДК 351.862.4

С.П. Мосов, А.М. Капля, к.пед.н., доцент, В.С. Чубань, к.е.н., В.Б. Ротар.

ОРГАНІЗАЦІЙНО-УПРАВЛІНСЬКІ ЗАХОДИ РЕФОРМУВАННЯ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ТА СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Обґрунтовано напрями теоретичного та практичного вдосконалення державного управління пожежною безпекою в Україні та його організаційних складових. Досліджено основні напрями реформування МНС у контексті адміністративної реформи в Україні на сучасному етапі.

Ключові слова: державне управління, надзвичайна ситуація, цивільний захист, МНС.

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні існують суттєві недоліки в державному управлінні у сфері цивільного захисту як на державному, так і на регіональному рівнях, які підсилюються умовами соціально-економічної трансформації українського суспільства. Як свідчить досвід сучасного розвитку багатьох держав світу, подолання проблем у сфері цивільного захисту неможливо без виваженої державної політики щодо управління у сфері захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Відповідно до вимог Указу Президента України від 9 грудня 2010 року №1085 "Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади" Міністерство України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи реорганізувалося в Міністерство надзвичайних ситуацій України (МНС).

Розпочата в державі адміністративна реорганізація МНС викликала дискусію між працівниками МНС України, науковцями, державними діячами та ін.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Вітчизняні та закордонні вчені, а саме: Ю. Аболенцев, Ю. Абрамов, В. Акімов, М. Брушлинський, Ю. Воробйов, О. Гайдук, Ю. Глуховенко, П. Гусев, О. Депутат, В. Доманський, Л. Жукова, С. Засулько, І. Коваленко, О. Копан, В. Люблін, І. Мужик, Б. Касимов, І. Кімстач, Г. Рева, П. Савельєв, В. Семіков, О. Труш В. Франчук, М. Шахраманьян та ін. у своїх працях розглядали різні аспекти проблеми цивільного захисту (ЦЗ) населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) техногенного і природного характеру.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи полягає в дослідженні загальних засад державного управління пожежною безпекою в Україні та зарубіжних країн, визначенні теоретичних положень організаційного забезпечення цивільного захисту в Україні, а також в обґрунтуванні доцільності реорганізації МНС України на даному етапі становлення політичної ситуації країни.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання:

- обґрунтувати напрями теоретичного та практичного вдосконалення державного управління цивільного захисту в Україні та його організаційних складових;
- дослідити основні напрями реформування МНС у контексті адміністративної реформи в Україні.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Вивченням проблематики державного управління в сфері ЦЗ займаються вітчизняні практики, державні діячі, учені. Разом з тим питанню реорганізації МНС на сучасному етапі приділено недостатньо уваги.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Нові умови управління, зокрема державного, що виникли

останнім часом, пов'язані з докорінними змінами соціального та економічного середовища, обмежили можливість використання існуючих типових структур і механізмів управління, а у випадку їхнього застосування не досягається їхня відповідна ефективність.

Це питання набуває актуальності для державних оперативних і аварійно-рятувальних служб (АРС), що зазвичай першими прибувають на місце НС. До таких служб відносяться насамперед органи і підрозділи оперативно-рятувальної служби МНС. З цих позицій розробка методів аналізу функцій органів державного управління при запобіганні і ліквідації наслідків НС та побудови ефективних організаційних структур є актуальною [8].

Система цивільного захисту є державною системою тому процес управління в системі розглядається як державне управління у сфері цивільного захисту. Державне управління – цілеспрямований організаційний, регулюючий та контролюючий вплив суб'єкта державного управління на об'єкт державного управління шляхом запровадження державної політики, виробленої політичною системою та законодавчо закріпленої, через діяльність органів державної влади, наділених необхідною компетенцією

Специфіка державного управління полягає в тому, що воно спирається на владу - організаційну силу суспільства, здатну до примусу та поширює свій вплив на все суспільство.

Керівництво держави і МНС України постійно вживали і вживають заходів щодо вдосконалення управління діяльності МНС. На сучасному етапі необхідно провести аналіз набутого досвіду і на цій основі розробити науково узагальнювальні висновки й рекомендації з подальшого вдосконалення форм і методів управління органів та підрозділів МНС. Останнє можливе лише за умови достатньої управлінської підготовки як керівного, так і виконавчого складу. У той же час, незважаючи на досить високу керованість у порівнянні з іншими державними інститутами, система органів управління МНС також потребує вдосконалення. І тепер, як ніколи раніше, управління в даній системі необхідно здійснювати на науковій основі.

Виходячи з цього, слід починати з найголовніших ознак системного бачення управлінського апарату, а саме – з багатозначності системних оцінок. Так, з одного боку, МНС України входить як складова частина до більш загального системного утворення – до Кабінету Міністрів України (так звану мегасистему), який і виступає від імені держави. З іншого боку, МНС України включає в себе відносно прості складові частини, які також є системами (по відношенню до КМУ – підсистемами). Останні, у свою чергу, також мають свої системи.

На нашу думку, при системній характеристиці МНС України в обов'язковому порядку до уваги слід брати внутрішній зміст елементів (або підсистем), оскільки кожний орган управління – державний департамент, департамент, головне управління, державна адміністрація – сам є системою і складається із власних елементів – структурних підрозділів (управлінь, відділів, центрів) та посад. Але це елементи двох неоднакових рівнів: МНС України в цілому (як системи органів державного управління) і окремі органи управління (як система підрозділів, служб, і посад). Дані елементи слід також відрізнити від частин системи, якими виступають певні сукупності елементів.

Побудова структури апарату управління впливає на процес ефективного функціонування системи управління і повинна відповідати, на наш погляд, таким вимогам [1-8]:

1. *Оптимальність.* Структура апарату управління вважається оптимальною, якщо між ланками і щаблями управління на всіх рівнях створюються раціональні зв'язки за найменшої кількості щаблів управління в кожній системі.

2. *Оперативність.* Структура апарату управління повинна забезпечувати такий зв'язок між її елементами, щоб за час від ухвалення рішення до його здійснення в керованій системі не встигли відбутися незворотні зміни, які б зробили зайвим реалізацію прийнятих рішень.

3. *Надійність*. Структура апарату управління повинна гарантувати передачу достовірної інформації, не допускати перекручування управлінських команд й інших даних, забезпечувати безперебійний зв'язок у системі управління.

4. *Економічність*. Бажаний ефект управління має досягатись з мінімальними витратами на утримання апарату управління. Критерієм цього є співвідношення між витратами ресурсів і корисним результатом.

Відповідно до Указу Президента України №1085/2010 «Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади» остання редакція від 23.07.2011. Міністерство надзвичайних ситуацій майже завершило реформування відомства, а також своїх структурних і регіональних підрозділів.

Відповідно до значної кількості законодавчих актів 2010-2011 р.р., центральний апарат Міністерства надзвичайних ситуацій України становить 325 осіб замість 639 у Міністерстві надзвичайних ситуацій та у справах захисту від наслідків Чорнобильської катастрофи, ліквідованого нещодавно.

Унаслідок реорганізації ліквідовані Державна гідрометеорологічна служба, Державний департамент адміністрації зони відчуження та безумовного відселення, Державний департамент пожежної безпеки, Державна інспекція цивільного захисту від техногенної безпеки та Державна авіаційно-пошукова рятувальна служба. Натомість створено Державну службу гірничого нагляду та промислової безпеки України, Державне агентство з управління зоною відчуження і Державну інспекцію техногенної безпеки України [7]. Організаційна структура центрального апарату МНС України, після реорганізації представлена на рис. 1.

Реформування територіальних органів управління визначається тим, що 27 головних обласних управлінь МНС реорганізовані у три категорії, відповідно до рівня техногенного навантаження, чисельності жителів областей та інших чинників. У результаті реформування територіальних органів управління вивільняється 500 осіб керівного складу, яких ми спрямовуємо на підсилення низових підрозділів МНС. Як наслідок, МНС України має 10 ГУ МНС та 17 У МНС (рис. 2). Зокрема "Головне управління МНС України в Черкаській області", реорганізоване в Управління МНС України в Черкаській області та в його штат на даний час має чисельність: 65 осіб, у тому числі 52 особи начальницького складу та 13 працівників [7].

Також, відповідними нормативними актами МНС України було ліквідовано Центр швидкого реагування, який базувався в селі Ценжів, Тисменицького району, Івано-Франківський гірський пошуково-рятувальний загін та Івано-Франківський річковий координаційний аварійно-рятувальний центр. Натомість людськими та матеріально-технічними ресурсами ліквідованих структур було суттєво підсилено Аварійно-рятувальний загін спеціального призначення, що організаційно входить до структури УМНС в області і базується в місті Івано-Франківську. Тобто, вказаний підрозділ перетворився на потужний багатофункціональний загін, готовий оперативно реагувати на надзвичайні ситуації будь-якого виду і походження. Для цього до його складу увійшла ціла низка функціональних підрозділів, таких як: пожежний, піротехнічний, порятунку на воді, гірських рятувальників та боротьби з радіаційним, хімічним і біологічним забрудненням місцевості [7].

За підрахунками, Міністерства надзвичайних ситуацій України, економія від реорганізації регіональних підрозділів МНС України становить близько 7,5 млн. грн.

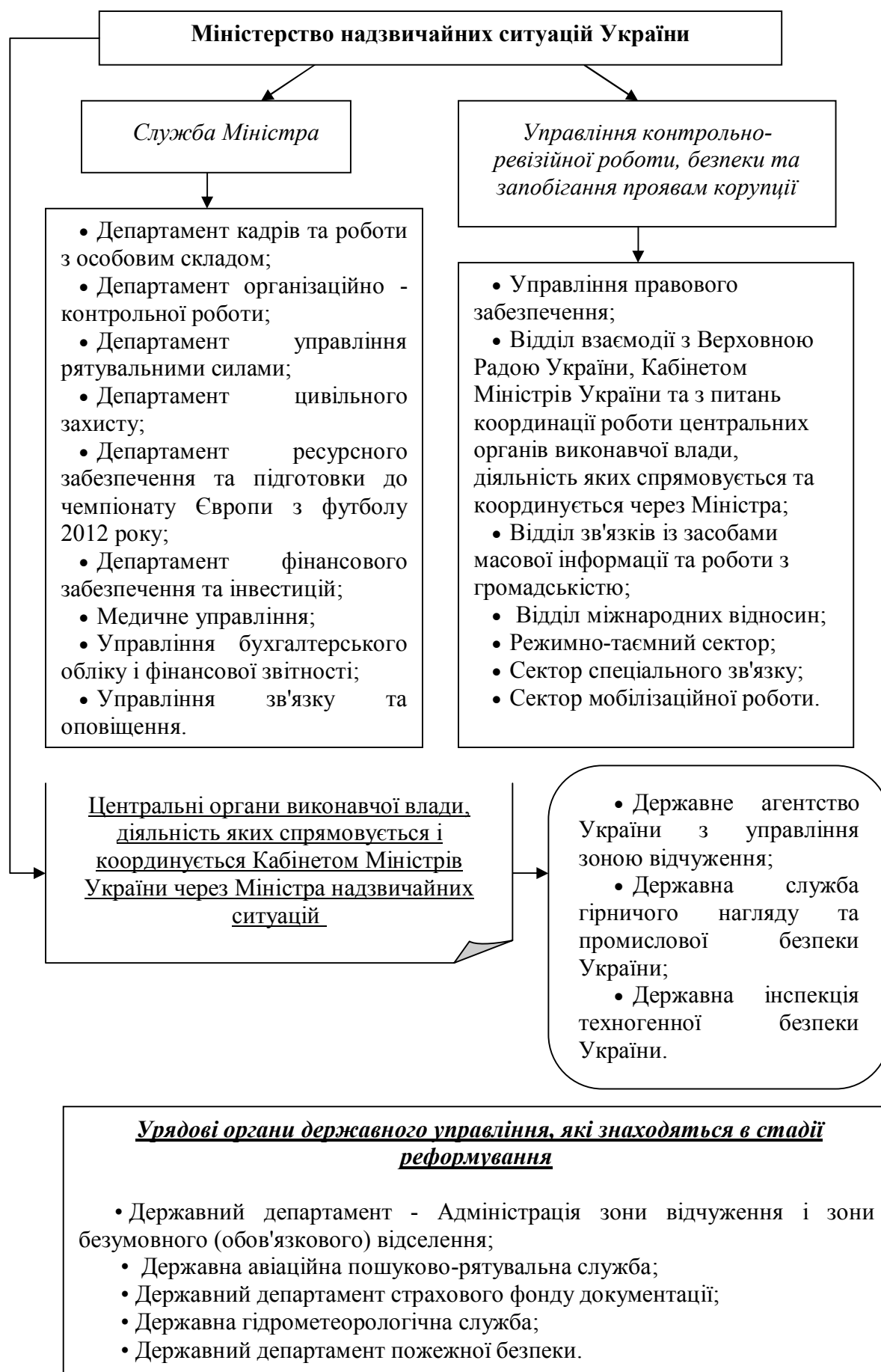


Рис. 1. Організаційна структура центрального апарату МНС України, після реорганізації

На сьогодні результати практичної діяльності МНС України засвідчили його поступовий рух вперед на шляху розвитку і вдосконалення в нормативно-правовій сфері. Зростає координаційна роль МНС України, постійно реалізується ідея створення єдиної державної системи запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру і реагування на них. Однак існує ряд проблем, які необхідно вирішувати й усувати. Так, майже на всіх рівнях організаційної побудови цивільного захисту завдання розв'язуються досить формально, особливо з питань запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, повільно проводяться роботи і щодо створення місцевих сил реагування та запровадження заходів з метою мінімізації можливих втрат та збитків.

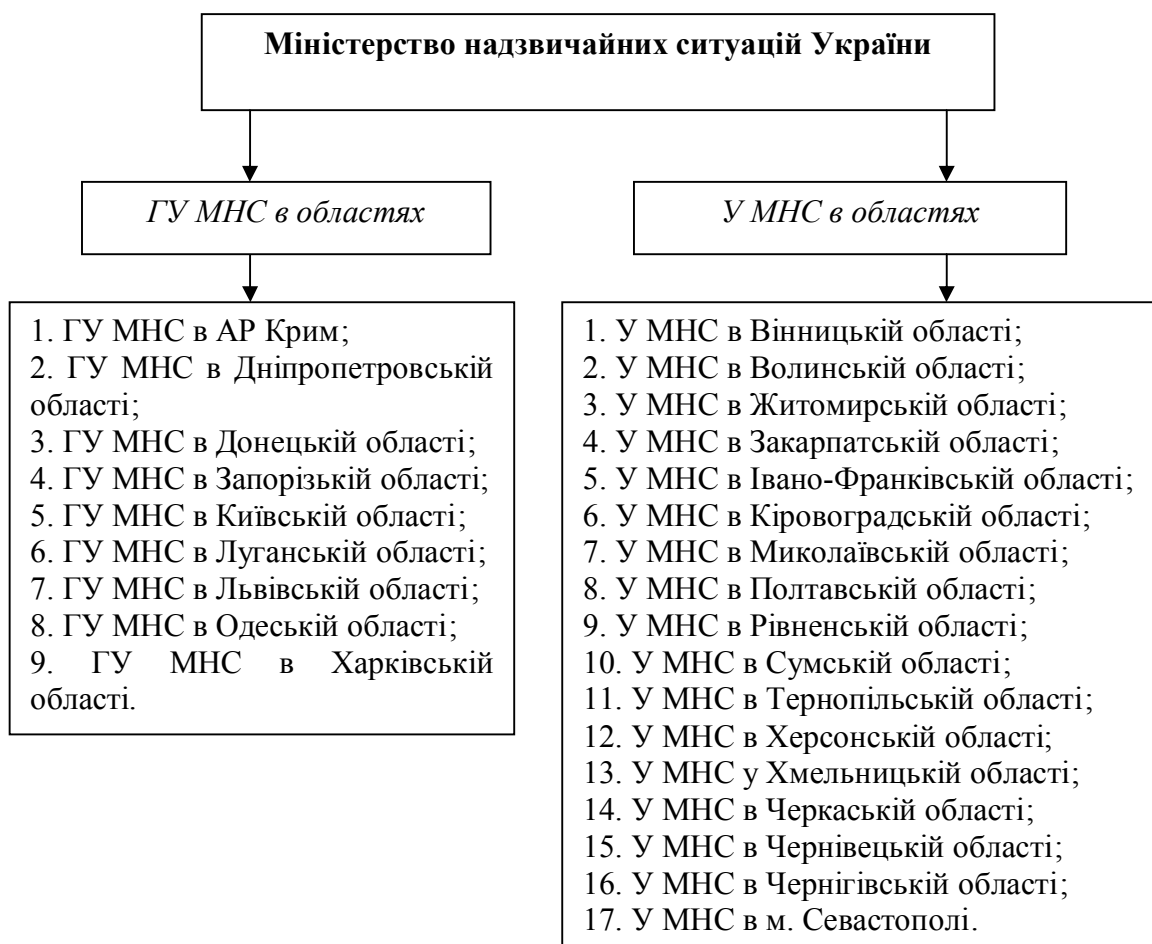


Рис. 2. Територіальні органи управління МНС України, після реорганізації

Таким чином, слід відзначати, що реформування органів управління МНС України є нагальною потребою, продиктованою корінними змінами в політичній і соціально-економічній сферах. Подібне реформування має проводитись при відповідному нормативно-правовому забезпеченні, що потребує як теоретичних досліджень, так і розв'язання завдань практичного характеру.

Висновки. Вважаємо, що структурна перебудова діяльності МНС України на сучасному етапі та у подальшому повинна здійснюватись у таких напрямках: створення цілісної концепції забезпечення пожежної безпеки держави відповідно до історичних, економічних, соціальних та культурних особливостей розвитку українського суспільства; удосконалення чинного законодавства у сфері пожежної безпеки України; адекватна зміна правовідносин органів державного управління з юридичними і фізичними особами у сфері пожежної безпеки в умовах ринкових відносин. Вважаємо, що 7,5 млн. грн., які зекономлені від реорганізації регіональних підрозділів МНС України, доцільно використати для покращення матеріально-технічного оснащення підрозділів реагування на надзвичайні ситуації.

Перспективи подальших досліджень. Реформування системи цивільного захисту держави (в тому числі зміни складу та основних завдань МНС України), які були проведені в останні роки, у певній мірі призвели до розрегульованості законодавчої, нормативно-правової та організаційно-методичної бази функціонування системи, розбалансованості системи управління та угруповання сил реагування на надзвичайні ситуації. Матеріально-технічне оснащення підрозділів реагування на надзвичайні ситуації залишається на низькому рівні та не відповідає сучасним вимогам. Технології захисту територій та ліквідації наслідків техногенних та природних катастроф, єдина база прогнозно-моделюючих систем та комплексів з прогнозування загрози і виникнення надзвичайних ситуацій, масштабів їх наслідків щодо підготовки управлінських рішень, створюються та впроваджуються в практику повільно. Тому, як ніколи раніше, управління в даній системі необхідно здійснювати на науковій основі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про правові засади цивільного захисту” від 24 червня 2004 р. – Режим доступу : <http://www.rada.gov.ua>
2. Указ Президента України “Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади” від 9 грудня 2010 р. № 1085/2010. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua>
3. Указ Президента України “Про заходи щодо вдосконалення державного управління в сфері пожежної безпеки, захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій” від 27 січня 2003 р. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua>
4. Указ Президента України “Про заходи щодо підвищення рівня захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру” від 9 лютого 2001 р. – Режим доступу: www.president.gov.ua
5. Наказ МНС України «Про здійснення організаційно-штатних заходів у структурних підрозділах центрального апарату МНС» від 09.12.2010 № 1087. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/mes1087.html?PrintVersion>
6. Данилишин Б. М. Природно-техногенні катастрофи: проблеми економічного аналізу та управління / Б. М. Данилишин; НАН України; Рада по вивч. продукт. сил України. – К. : ЗАТ “Нічлава”, 2001. – 259 с.
7. Офіційний сайт МНС. – Режим доступу : www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/
8. Приходько Р.В. Сучасний стан структури органів державного управління у сфері протидії виникненню і ліквідації НС / Р.В. Приходько. - Режим доступу: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/apdu/2011-1/doc/2/11.pdf>
9. Труш О. О. Досвід побудови та функціонування систем цивільного захисту країн-членів Європейського Союзу Південної Європи / О. О. Труш // Теорія та практика державного управління : зб. наук. пр. – 2010. – № 1. – Режим доступу: <http://www.kbuapa.kharkov.ua/e-book/tpdu/2010-1/index.html>

УДК 624.012

О.М. Нуянзін, С.В. Поздєєв, к. т. н., доцент,
АПБ ім. Героїв Чорнобиля

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АРМАТУРИ ВОГНЕВИХ ПЕЧЕЙ НА АДЕКВАТНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

У роботі показано основні принципи побудови математичної моделі вертикальної печі на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса за допомогою програмного комплексу CFD FlowVision 2.5. Проаналізовано результати дослідів на адекватність температур в камері печі та термопарі.

Ключові слова: метрологічні характеристики, випробування на вогнестійкість, вогнева піч, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Дослідження у сфері пожежної безпеки показують, що в умовах пожежі порушення загальної стійкості будівлі завжди відбувається внаслідок руйнування окремих елементів несучих конструкцій. Зважаючи на це, а також на використання нових технологій у будівництві, одним із важливих аспектів забезпечення пожежної безпеки будинків і споруд у наш час є застосування в будівлях і спорудах будівельних конструкцій із гарантованою межею вогнестійкості [2]. Для визначення фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш ефективним метод вогневих випробувань [1, 2]. Тому питання удосконалення та покращення характеристик установок для вогневих випробувань є актуальним і важливим.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. До вогневих печей висуваються особливі вимоги, які полягають в тому що, нагрівальний факел повинен створюватися на рідкому паливі, полум'я факела не повинне торкатися поверхонь елементів конструкцій, що нагріваються, по об'єму нагрівальної камери повинен бути рівномірний розподіл температури і температура протягом випробування в об'ємі нагрівальної камери повинна мінятися за температурним режимом пожежі, визначеним в стандарті [1]. Внаслідок того, що управління паливною системою не може забезпечити повну відповідність режиму нагріву камери печі стандартному температурному режиму пожежі, існує певна похибка реалізації режиму нагріву елемента [4].

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Стандартні методи вогневих випробувань достатньо добре вивчені і їм присвячено багато робіт де висвітлені основні аспекти вогневих випробувань на вогнестійкість несучих залізобетонних конструкцій, але в даних роботах недостатня увага приділяється вивченню метрологічних характеристик випробувальних установок та впливу конструктивних особливостей цих установок на адекватність отриманих результатів.

Існує багато конструкцій печей, які розрізняються геометричними конфігураціями, видом паливно-форсуночної системи, схемами розташування та конструкцією вимірювальної арматури. Це може призвести до того, що різні випробувальні установки можуть давати результати, які відрізняються на 30 і більше відсотків. Якщо йдеться про час, що визначає настання граничного стану, а це фактично час, який потрібен для евакуації людей та матеріальних цінностей, то для REI 60 відхилення може складати близько 20 хвилин, REI 120 – 40 хвилин, REI 150 – 50 хвилин. Це значний проміжок часу, в якому визначається межа вогнестійкості тією чи іншою лабораторією і при цьому немає гарантій, що це не може бути дуже завищений результат. У такому випадку не можна гарантувати безпеку людей та матеріальних цінностей у відповідності до існуючих нормативів.

Постановка задачі та її розв'язання. Створити математичну модель вертикальної печі на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Перевірити адекватність створеної моделі. Відповідно до результатів проведених чисельних експериментів зробити висновки щодо показників температури у камері печі, термопарі та досліджуваному зразку. Виділити особливості, які можуть впливати на результати випробувань у вогневих печах.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Як було відзначено у роботі [7] сучасне програмне забезпечення, зокрема моделювання теплових процесів засобами обчислювальної газогідродинаміки (CFD), дозволяє врахувати всі необхідні параметри досліджувальних процесів та дослідити вплив геометричних та конструктивних характеристик печі для випробувань залізобетонних конструкцій на адекватність результатів.

Для розрахунків пропонується використовувати систему FlowVision 2.5. У теоретичній базі системи FlowVision 2.5 [6] розвинений узагальнений підхід, заснований на усереднюванні за часом (усереднювання по Рейнольдсу), повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Для вирішення системи рівнянь застосовується метод контрольних об'ємів.

Тому, як основні принципи побудови математичної моделі були використані наступні:

1. Як основний інструмент побудови моделі і проведення чисельного експерименту використовується програмний комплекс FlowVision 2.5.

2. В процесі чисельного експерименту враховується конвективний і радіаційний теплообмін поверхні випробуваної стіни і простору камери печі.

3. В камері передбачається модель термопарі у вигляді стержня довжиною 100 мм і діаметром 6 мм з урахуванням конвективного і радіаційного теплообміну.

На рис. 1 показана геометрична конфігурація вертикальної печі, яка використовується для проведення вогневих випробувань.

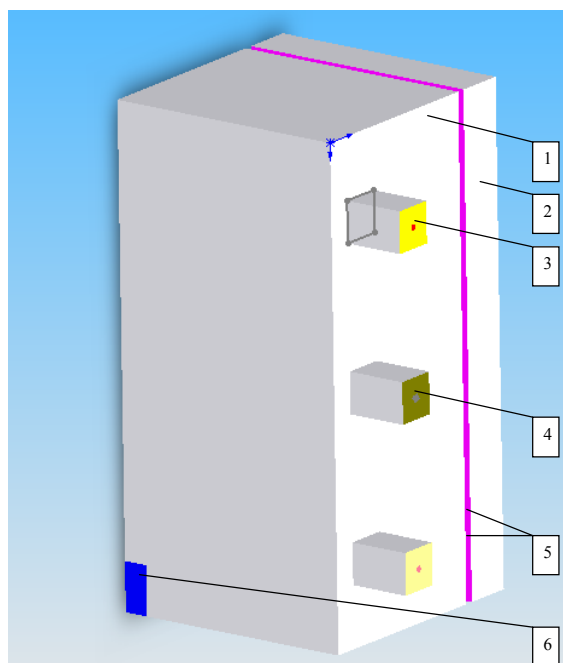


Рисунок 1. Геометрична конфігурація вертикальної печі (показано лише симетричну половину): 1 – огороження печі; 2 – залізобетонна стіна; 3 – регіон вдуву; 4 – регіон форсунок; 5 – поверхні, що сполучаються; 6 – регіон виходу продуктів горіння.

В таблицю 1 зведено параметри математичної моделі процесів тепломасообміну печі для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій згідно номенклатурі FlowVision 2.5

Таблиця 1. - Параметри математичних моделей газодинаміки печі для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій згідно номенклатурі FlowVision 2.5

№ п/п	Математична модель	Теоретична база	Назва моделі згідно номенклатурі FV 2.5
1.	Модель механіки руху газів	Система рівнянь Нав'є-Стокса	Модель 2Фазного горіння Швидкість
2.	Модель газу	Ідеальний газ	
3.	Модель теплопереносу	Рівняння енергії	Енергія
4.	Модель турбулентності	Стандартна k - ε	Турбулентність Стандартна модель k-ε
5.	Модель реагуючого потоку	Двофазний потік рідких частинок	Частинки
6.	Модель хімічної реакції	Одноступінчата хімічна брутто-реакція формула	5 газів
7.	Модель горіння	Модель Магнуссена (турбулентна модель)	Модель горіння Магнуссена
8.	Модель випромінювання газу в об'ємі.	Дифузна модель (P1)	Випромінювання Дифузна модель (P1)
9.	Модель теплопередачі в твердих тілах	Рівняння теплопровідності	Твердий матеріал Енергія
10.	Модель радіаційного теплообміну між поверхнями моделей	Рівняння радіаційного теплопереносу	ПП випромінювання
11.	Метод чисельної реалізації	Метод контрольних об'ємів	Базовий метод реалізації розрахунку FV 2.5

Сутність проведення чисельного експерименту полягає в ініціації процесу горіння з контролем температури в середині моделі термопари так, щоб температурний режим її нагріву по можливості точно співпадав з температурною стандартною кривою пожежі. Для цього засобами контролю системи FlowVision в інтерактивному режимі знімаються поточні дані з термопари, і, при досягненні максимальної температури для певного кроку за часом параметри процесу горіння змінюються. Потім процедура зміни параметрів процесу горіння повторюється для наступного часового інтервалу. При цьому фіксуються дані про температуру поверхні, арматурного шару і середини залізобетонного виробу для даного інтервалу.

Для проведення обчислювального експерименту з використанням створеної математичної моделі вогневої печі для випробувань використана нижченаведена послідовність розрахункових процедур.

1. Ініціюється процес горіння.
2. Значення температури термопари візуалізується і контролюється порівнянням для часового кроку випробувань.
3. При досягненні температури термопари відповідної температури стандартного температурного режиму пожежі для даного інтервалу параметри процесу горіння змінюються.
5. Після вигорання всіх частинок палива (визначається по температурі факелів) встановлюється ще більш грубий крок до настання наступного тимчасового інтервалу.
6. Для наступного часового інтервалу розрахункові процедури повторюються.

7. При проведенні розрахунку контролюється температура відповідних точок стіни і простору печі.

З цією метою було побудовано сіткову модель простору вертикальної печі (див. рис. 2).

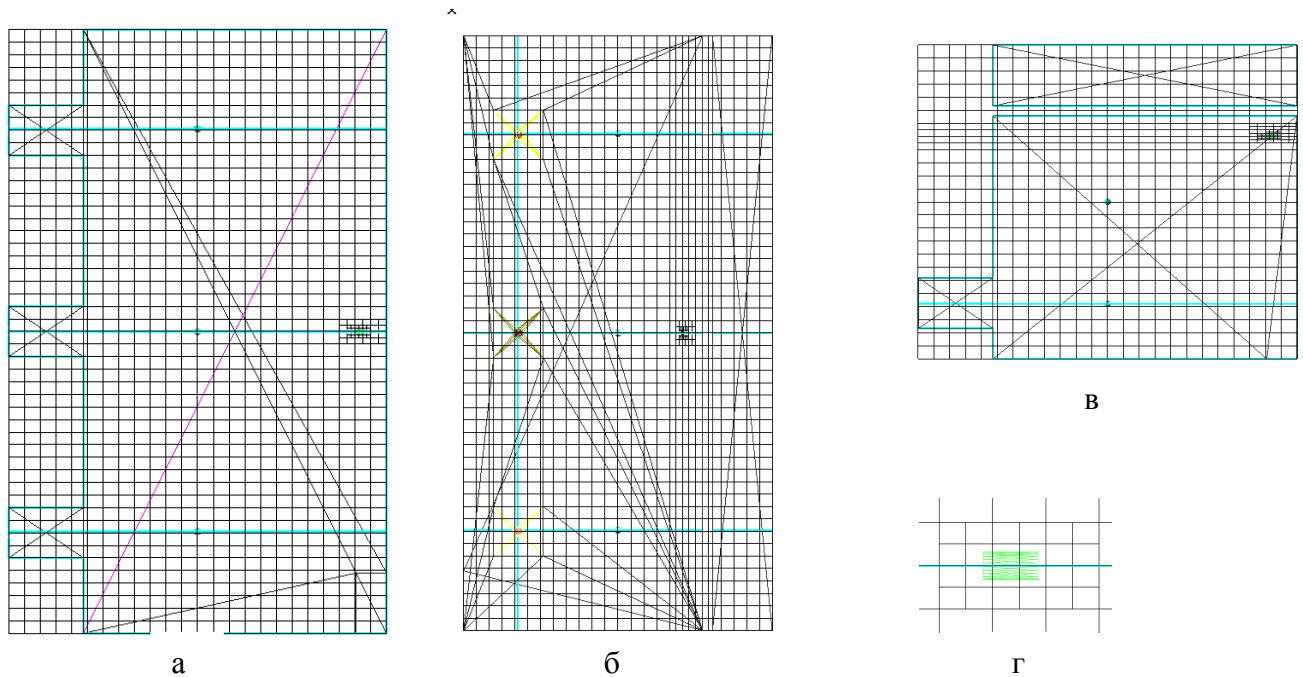


Рисунок 2. Сіткова модель простору вертикальної печі (показано лише симетричну половину). а – вид по осі Y ; б – вид по осі X ; в – вид по осі Z ; г – адаптивна сітка для термопар (вид на бокову поверхність термопар).

Для того, щоб врахувати конвективний і радіаційний теплообмін поверхні термопар і простору камери печі, адаптивну сітку для термопар було значно подрібнено (рис. 2).

Дані щодо температури знімалися щосекунди в 7 місцях всередині камери печі, та в 18 місцях всередині стіни, як показано на рис. 3.

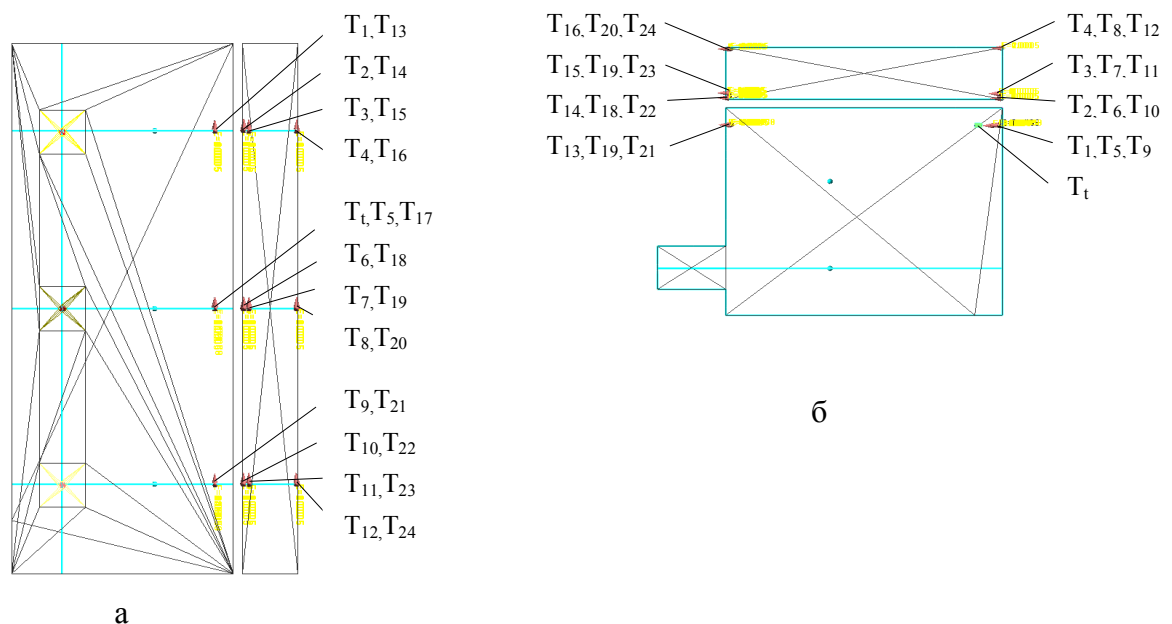


Рисунок 3. Місця де відбувалося зняття температури (показано лише симетричну половину): T_t , T_1 - T_{24} – місця де відбувалося зняття температури; а – вид по осі X ; б – вид по осі Z ;

Результати чисельного експерименту. Під час проведення чисельного експерименту контроль температури відбувався так, щоб температурний режим нагріву термопарі по можливості точно співпадав з температурною стандартною кривою пожежі і не виходив за допустимі межі випробування [1]. Для цього засобами контролю системи FlowVision 2.5 в інтерактивному режимі знімалися поточні дані з термопарі, і, при досягненні максимальної температури для певного кроку за часом, параметри процесу горіння змінювалися. Дані щодо температури у місцях вказаних на рис. 3 фіксувалися щосекунди для досягнення необхідної точності при побудові графіків.

На рис. 4 показано графік зміни показів температури термопарі за час чисельного експерименту.

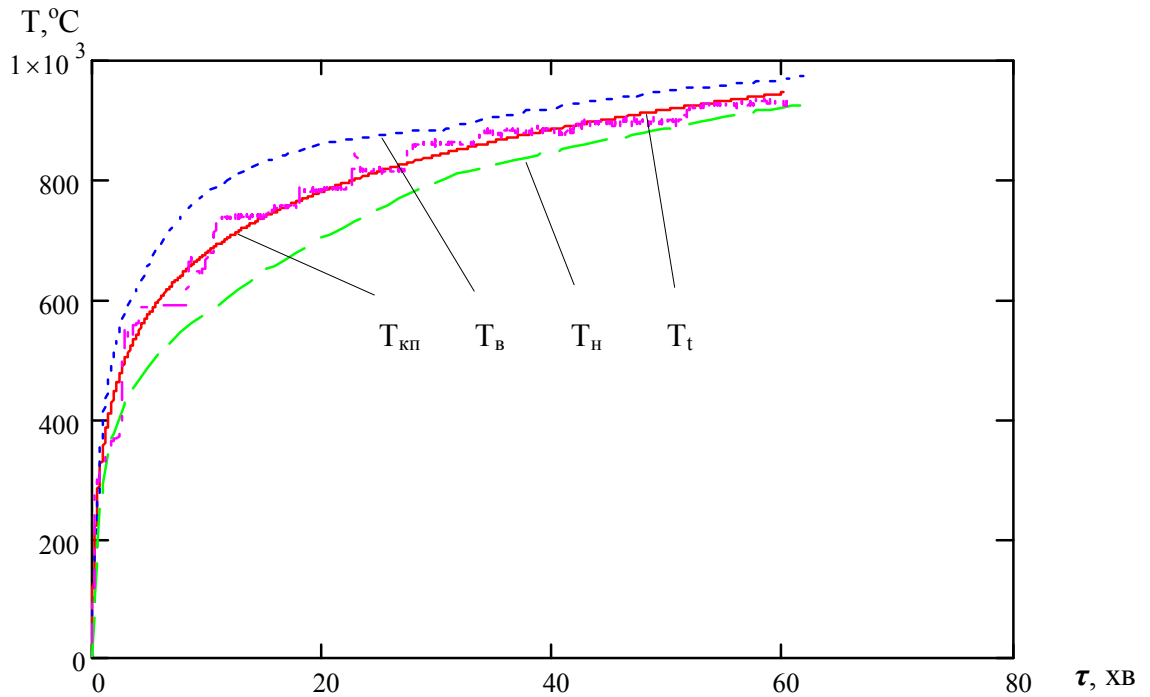


Рисунок 4. Графік зміни температури всередині змодельованої термопарі: $T_{кп}$ - стандартна температурна крива пожежі; $T_в$ - верхня межа випробувань; $T_н$ - нижня межа випробувань; T_t – показники всередині змодельованої термопарі (див рис. 3).

Відповідно до результатів чисельного експерименту температура кривої пожежі на 60-й хвилині $T_{кп}$ рівна $945,3^{\circ}\text{C}$. Як видно з графіка (рис. 5) у цей же час температура у різних місцях камери печі та термопарі різна. При цьому температурні рамки випробування обмежуються від 922°C до 960°C . Лише температура T_t , яка відображає покази термопарі не вийшла за межі випробувань і склала 928°C . При цьому температура безпосередньо поруч з термопарою T_5 дорівнює 890°C . Можна робити висновок щодо похибки, яку дає термопара внаслідок урахування конвективного і радіаційного теплообміну. Ця похибка складає 38°C . Якщо врахувати тривалість випробувань, то це суттєво впливає на адекватність їх результатів.

Температура у камері вертикальної вогневої печі розподіляється нерівномірно. У верхній частині камери печі перевищує межі випробувань ($T_9=964,59^{\circ}\text{C}$), а в нижній необхідна температура у потрібний проміжок часу не досягається ($T_1=829,19^{\circ}\text{C}$). Різниця температур складає $135,4^{\circ}\text{C}$. Необхідно відмітити те, що температура $829,19^{\circ}\text{C}$ у верхній частині камери печі була досягнута вже на 20-й хвилині випробувань, а в середній частині камери на 30-й. Навіть, якщо врахувати похибку математичного моделювання за допомогою комп'ютерної програми, то результат залишається значним.

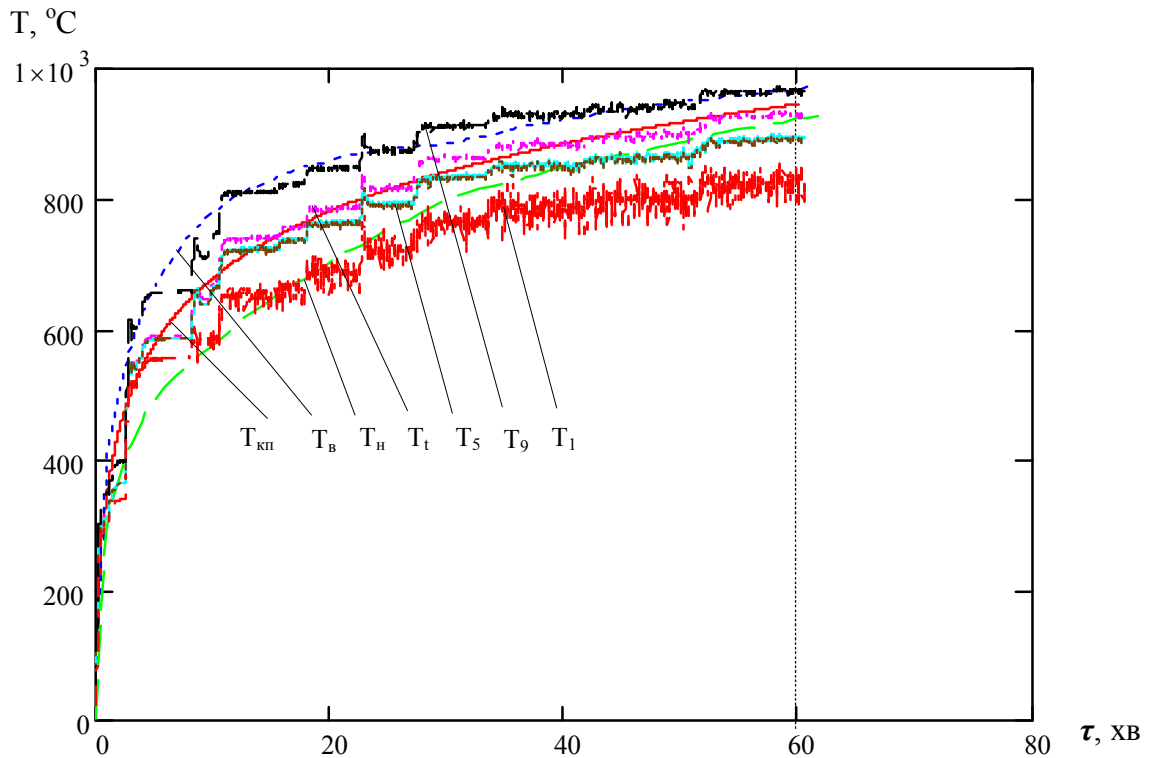


Рисунок 5. Графік зміни температури в різних місцях камери печі: $T_{кп}$ - стандартна температурна крива пожежі; $T_в$ - верхня межа випробувань; $T_н$ - нижня межа випробувань; T_t - показники термопари; T_5 - показники температури за термопарою; T_9 - показники температури на рівні термопари вгорі камери печі; T_1 - показники температури на рівні термопари внизу камери печі (див. рис. 3).

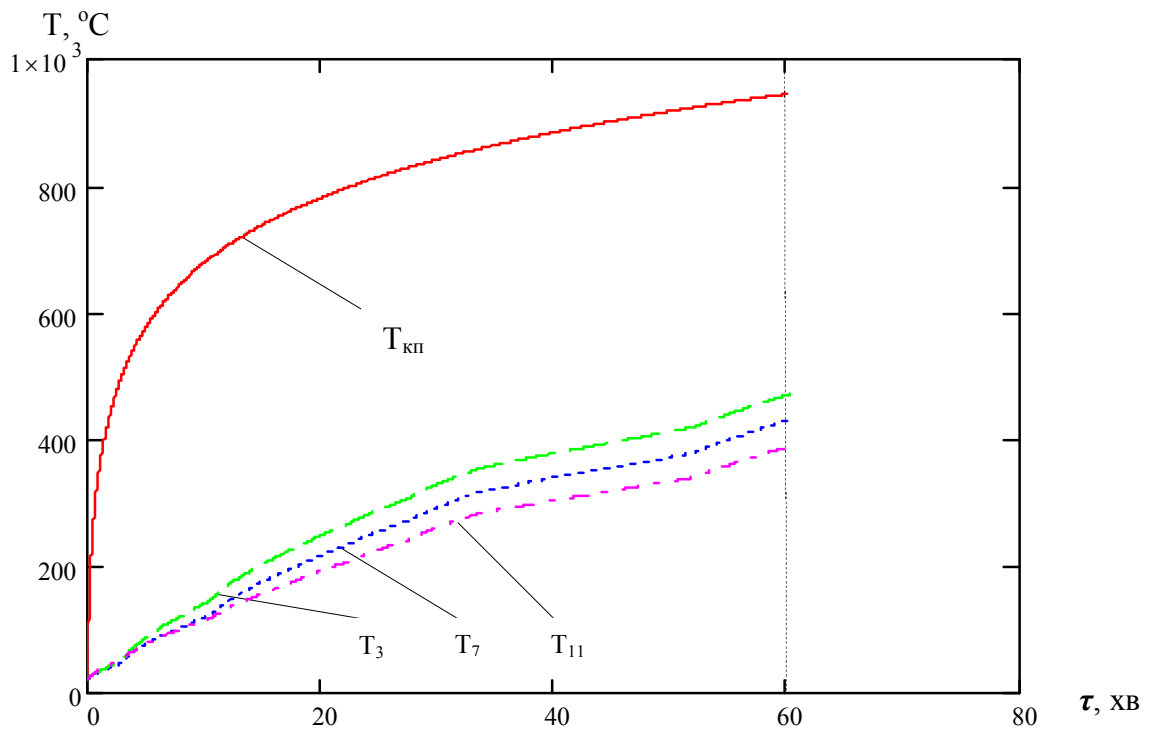


Рисунок 6. Графік зміни температури в приарматурному шарі стіни: $T_{кп}$ - стандартна температурна крива пожежі; T_3 - температура арматури у верхній частині стіни; T_7 - температура арматури у середній частині стіни; T_{11} - температура арматури у нижній частині стіни (див. рис. 3).

Наступним етапом досліджень є аналіз температурних показників у при арматурному шарі стіни. Для порівняння на рис. 6 показано графік температур напроти кожного з пальників у середній частині стіни.

Температура у приарматурному шарі стіни на 60-й хвилині досліді розподіляється нерівномірно. У верхній частині $T_3=470,1^{\circ}\text{C}$, а в нижній $T_{11}=387,6^{\circ}\text{C}$. Різниця температур складає $82,5^{\circ}\text{C}$. Необхідно відмітити те, що температура $387,6^{\circ}\text{C}$ у верхній частині приарматурного шару була досягнута на 43-й хвилині випробувань, а в середній частині камери на 53-й. Навіть, якщо врахувати похибку математичного моделювання за допомогою комп'ютерної програми, то результат залишається значним і складає майже 30%.

З огляду на проведенні дослідження можна зробити такі висновки.

Висновки.

1. Створено математичну модель вертикальної печі на основі повної системи рівнянь Нав'є-Стокса за допомогою програмного комплексу CFD FlowVision 2.5;

2. Відповідно до проведених дослідів показники температури поруч з термопарою відрізняються від показників самої термопари. На кінцевому етапі температура термопари склала 928°C , а безпосередньо поруч з термопарою дорівнює 890°C , що виходить за межі температур у яких повинний проводитися дослід;

3. Температура у камері вертикальної вогневої печі розподіляється нерівномірно. У верхній частині камери печі перевищує межі випробувань, а в нижній необхідна температура у потрібний проміжок часу не досягається. Різниця температур на 60-й хвилині складає $135,4^{\circ}\text{C}$;

4. Вказані особливості можуть впливати на адекватність результатів випробувань у вогневих печах.

Перспективи подальших досліджень. Провести додаткові досліді за допомогою математичного моделювання та удосконалити нормативні документи щодо вимог до конструктивних особливостей та метрологічного забезпечення вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. - К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).

ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. – 2000.

2. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002. - [Чинний від 2003-05-01]. - К.: Держпожбезпека, 2003. – 87с. – (Державні будівельні норми).

3. Новак С.В. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість / Новак С.В., Нефедченко Л.М., Абрамов О.О. – Київ: Пожінформтехніка, 2010. – 132 с.

4. Згуря В.І. Удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.02 „Пожежна безпека” / Згуря В.І. – Київ, 2007. – 21 с.

5. Хасанов И.Р. Развитие методов исследования огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций и инженерного оборудования / Хасанов И.Р., Голованов В.И. В кн. Юбилейный сборник трудов ФГУ ВНИИПО МЧС России./ Под общей редакцией Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2007. – С. 121 – 158.

6. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.

7. Поздеев С.В. Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість / Поздеев С.В., Нуянзін О.М., Нуянзін В.М. Збірник наукових праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля № 8 2011 рік. Серія КВ № 13745-2719.

УДК 624. 012

А.В. Поздеев, А.М. Тищенко, к.т.н., доцент, О.В. Некора, к.т.н., с.н.с., Рудик И.В.
АПБ им. Героев Чернобыля

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК, ПОВЫШАЮЩИХ ПОДВИЖНОСТЬ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ПОЖАРЕ

Проведено исследование влияния модифицирующих добавок в бетоны на их поведение в условиях высокотемпературного нагрева при пожаре. Получены температурные зависимости прогрева кубических образцов из бетона с суперпластификаторами и противоморозными добавками при их нагреве с использованием стандартной температурной кривой пожара, и на основе полученных результатов определены теплофизические характеристики модифицированного бетона. Полученные теплофизические характеристики дают возможность оценить влияние модификаторов бетона на пределы огнестойкости железобетонных конструкций.

Постановка проблемы. На современном этапе развития строительства при производстве бетона и железобетона экономически и практически обоснованным является повсеместное применение добавок-модификаторов, которые улучшают свойства и качества бетонной смеси при этом, не снижая, или улучшая свойства затвердевшего бетона. Анализ существующих научных публикаций свидетельствует о том, что вопрос влияния модифицированного состава бетона на огнестойкость железобетонных строительных конструкций исследован недостаточно. Наличие таких добавок в составе бетона в совокупности с характеристиками основных компонентов бетона вместе составляют технологическую наследственность бетона, которая может заметно отразиться на поведении бетона в условиях нагрева при пожаре.

Анализ последних достижений и публикаций. На основе проведенного анализа [1] исследований в области строительства установлено, что за последние годы, значительно возросло число работ в области разработки составов добавок в бетон и их применения в различных отраслях строительства. Так, за последнее двадцатилетие опубликовано несколько тысяч патентов только на составы добавок. Бетоны с добавками используются для изготовления сборных и монолитных армированных и неармированных изделий и конструкций. Ожидаемые эффекты, улучшающие свойства бетона, определяют существование широкого спектра добавок. Анализ их применения [1] показал, что наиболее часто применяются суперпластификаторы, морозостойкие добавки, а также комплексные составы (2 добавки и более).

Постановка задачи и ее решение. Таким образом, одной из целей реализации определения возможного влияния использования добавок в бетонной смеси на поведение железобетонных конструкций во время пожара было проведение комплекса экспериментов, частью которого являются огневые испытания кубических образцов. Для получения достоверных результатов теплофизических характеристик максимально близких к реальным, необходимо провести ряд огневых испытаний для габаритных образцов (300×300×300).

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.

Проведение огневых испытаний габаритных кубических образцов с последующей идентификацией теплофизических характеристик предусматривает определение влияния модифицированного бетона на поведение железобетонных конструкций (балок) в условиях действия высоких температур во время пожара.

Выкладка основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Оборудование и материалы для изготовления образцов. При изготовлении образцов использовались материалы, соответствующие тяжелому бетону на гранитном щебне: портландцемент марки «500»; кварцевый речной песок фракции ~1 мм; щебень гранитный фракций от 5–10 мм до 45–50 мм; вода водопроводная; добавки: суперпластификаторы «РЕЛАМИКС»; противоморозные добавки «КРИОПЛАСТ СП15-1».

Для взвешивания материалов использовались весы бытовые. Формование образцов проводилось с помощью кубических форм 300×300×300.

Для сушки образцов использовались сушильные шкафы СНОЛ 3,5.35.3,5/3М (мощность 2,5 кВт); СЭШ-3М (мощность 1,2 кВт)

Для исследования теплофизических характеристик образцов использовалось такое оборудование:

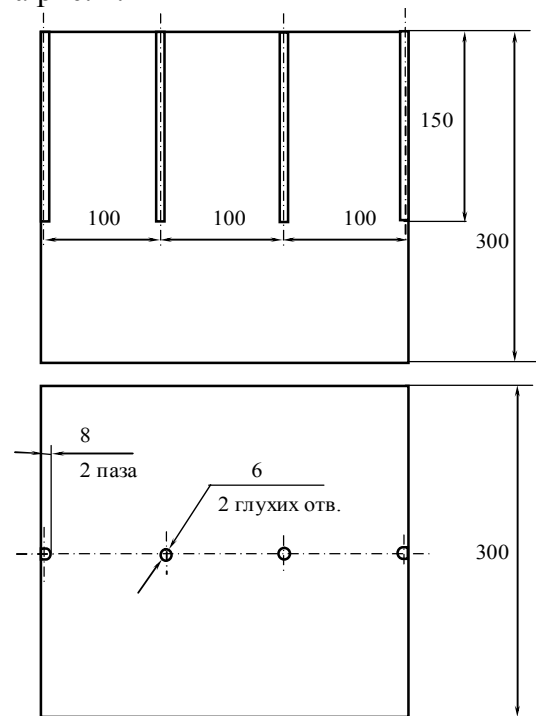
– термопары хромель-алюмелевые проволочные (изготовление и аттестация фирма «ТЭРА» г.Чернигов.

– цифровой мультиметр Dt830b.

Основной вид и геометрия образца приведена на рис. 1.



а)



б)

Рисунок 1 - Образец для исследования: а) общий вид; б) геометрические параметры.

Формирование образцов происходило с помощью форм, изготовленных из металлических кубов соответствующих размерам образца. При изготовлении образцов предусматривались 4 глухие продольные отверстия для термопар в центре образца таким образом, чтобы слой бетона между поверхностью термопары и воздухом составлял 2-3 мм для устранения влияния теплового излучения между поверхностью образца и поверхностью термопары. С помощью цементного раствора перед каждым опытом термопары уплотнялись.

Для испытаний было изготовлено 3 партии по 3 образца с разными добавками и без них.

– 1 партия бетон без добавок;

– 2 партия бетон с добавкой «РЕЛАМИКС» – 3 шт.;

– 3 партия бетон с добавкой «КРИОПЛАСТ СП15-1» – 3 шт.

Бетон заливается в формы после чего уплотняется на вибростоле ВМ-6.4 (80кг/2900/0,35...0,55), предназначенном для бетонных, асфальтобетонных и растворов смесей в формах по ГОСТ 10180, ГОСТ 12801 и ГОСТ 310.4.

В дальнейшем образцы выдерживались в сушильном шкафу в течение 28 суток. Для сушки образцов использовался сушильный шкаф СНОЛ 3,5.35.3,5/3М.

Исследования режимов прогрева образцов проводились на полигоне при огневом испытании с помощью специальной печи. Схема испытательной установки представлена на рис. 2.

Металлическая печь представляет собой куб (без стенки с одной стороны), изготовленная из стали и имеет размеры 3200х3200х3000 мм. На противоположной стороне предусмотрено отверстие диаметром 50 мм. Внутри печи предусмотрено крепление для теплоизоляции. Нагрев образцов проводился через отверстие с помощью газовой горелки ГВ «ДОНМЕТ» 231 (7, рис. 2), интенсивность подачи газа изменялась с помощью регулятора (9, рис. 2), которым поддерживался необходимый температурный режим во время проведения испытания. Горелка состоит из ствола, соединенного с резиновым шлангом (рукавом), который в свою очередь соединенный с газовым баллоном. Горючий газ поступает в горелку по рукаву (тип I по ГОСТ 9356-75), через ниппель, вентиль, патрубок в инжектор. Горючий газ смешивается с воздухом всередине мундштука, образуя горючую смесь.

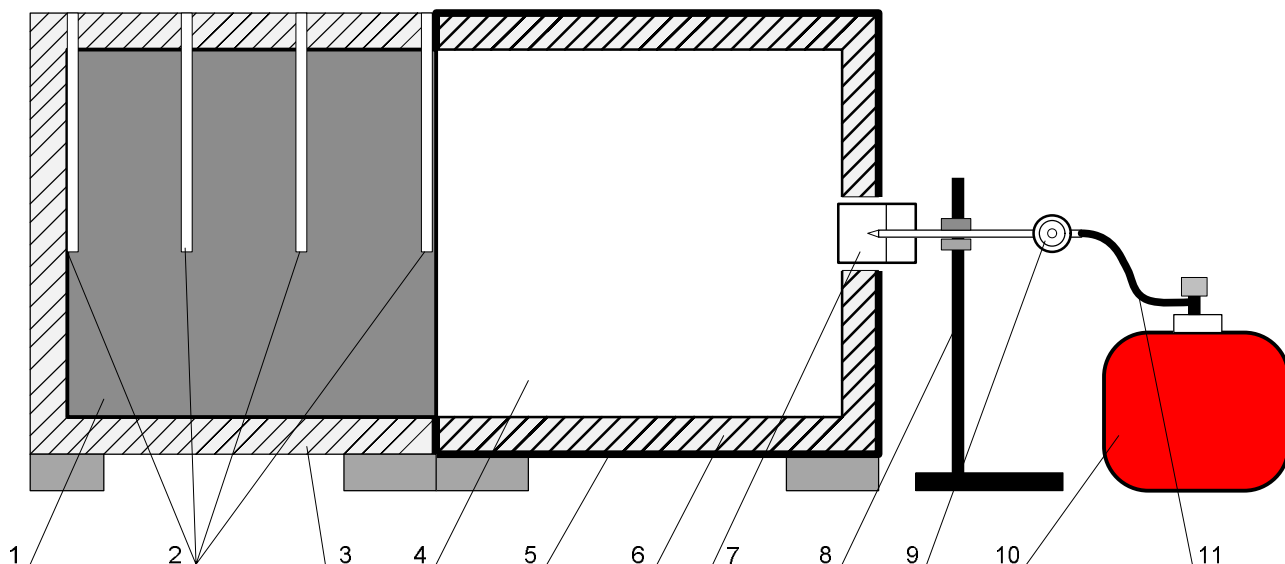


Рисунок 2 - Экспериментальная установка для огневых испытаний бетонных образцов: 1 – образец для исследования; 2 – места установки термопар; 3 – теплоизоляция образца; 4 – камера теплового воздействия печи; 5 – корпус печи; 6 – теплоизоляция камеры теплового воздействия печи; 7 – газовая горелка; 8 – штатив; 9 – регулятор подачи газа; 10 – баллон с горючим газом; 11 – трубка подачи топлива.

Во время опыта измерялась и регистрировалась температура в камере теплового действия печи и в 4-х местах образца 2 (рис. 2) с интервалом не больше 1 мин. Одновременно проводилось наблюдение за целостностью образца.

Для измерения температуры в печи использовались термопары с диаметром провода 1,5 мм типа ТХА (по ГОСТ 3044-84), которые можно использовать для измерения температуры в диапазоне от 0 до 1100 °С.

Для снятия цифровых значений температуры в местах установки термопар использовались вторичные электронные приборы Digital Multimeter Dt830b, которые

подключены к термопарам. Диапазон измерения температур данного прибора составляет от -20°C до 1370°C Погрешность составляет $\pm 1.0\%$.

Испытание проходило на открытой площадке при ясной безветренной погоде в следующей последовательности.

1. Подготовительные процедуры:

- монтаж термопар в бетонном образце в количестве 4 шт. (за 2 дня до испытания);
- сборка установки, подсоединения горелки, к баллону, установка горелки на штатив;
- установка образца, тщательная теплоизоляция образца с оборудованием отверстия для выхода продуктов горения;
- монтаж измерительных приборов к термопарам и их настройка.

2. Проведение эксперимента:

- открывается вентиль на баллоне и открывается подача газа на горелке с помощью регулятора, поджигается газ;
- горелка устанавливается в отверстии, включается секундомер, проверяется чувствительность вторичного прибора термопары, которая находится в середине печи;
- с помощью регулятора на первой минуте и дальнейших поддерживается температурный режим максимально близок к стандартному согласно [5] в контрольные точки времени (каждые 15 сек.);

– снимаются показатели через каждую минуту с пяти приборов и заносятся в протокол в течение 2 часов нагрева;

3. Окончание эксперимента:

- остывания образца, визуальное исследование поверхности испытуемого образца с фотофиксацией;
- разборка установки;
- обработка полученных результатов.

В соответствии с [5] во время проведения испытания среднеобъемная температура в печи T_f должна изменяться по стандартному температурному режиму, который определяется зависимостью (1).

$$T_p = T_0 + 345 \cdot \lg(8\tau + 1) \quad (1)$$

Стандартный температурный режим выдерживался в печи с помощью регулировки интенсивности подачи топлива вентилем 9 (рис. 2.) на газовой горелке путем контроля соответствия значений по таблице значений найденных по формуле (1) и показателей вторичного прибора термопары, что находилась в камере огневого воздействия. Отклонения не превышали допустимых значений [5].

Допустимые отклонения d средней температуры в печи T_f от стандартного температурного режима не превышало таких значений:

- а) $\pm 15\%$ для $0 < t \leq 10$
- б) $\pm 15 - 0,5(1-10) \%$ для $10 < t \leq 10$
- в) $\pm 5 - 0,083(t - 30) \%$ для $30 < t \leq 60$
- г) $\pm 2,5\%$ для $t > 60$

Отклонение d рассчитывалось по формуле:

$$d = \frac{T_f - T_s}{T_s} \cdot 100\% \quad (2)$$

Во время испытаний образцов, которые выполнены из негорючих материалов, на отдельных термопарах после 10 мин. испытания допускаются отклонения температуры от стандартного температурного режима не более чем на 100°C .

С целью получения достоверных результатов эксперимента и создания необходимых условий прогрева бетона печь со стороны камеры огневого воздействия и сам испытуемый образец был теплоизолирован так как указано на рис 2 (3 и 6). В качестве теплоизоляции при испытании применялся утеплитель БестИзол типа А изготовленный из минераловаты, который имеет оптимальные параметры при огневом воздействии.

При испытаниях были получены режимы прогрева внутренних слоев образцов, которые показаны на рис. 3-6.

Анализ полученных данных также показал, что образцы с добавками прогреваются существенно быстрее чем образцы из бетона без добавок.

Поскольку проведенные результаты показывают, что наличие добавок оказывает существенное влияние на режимы прогрева образцов, необходимо провести дополнительные исследования влияния добавок в бетоны на огнестойкость железобетонных конструкций.

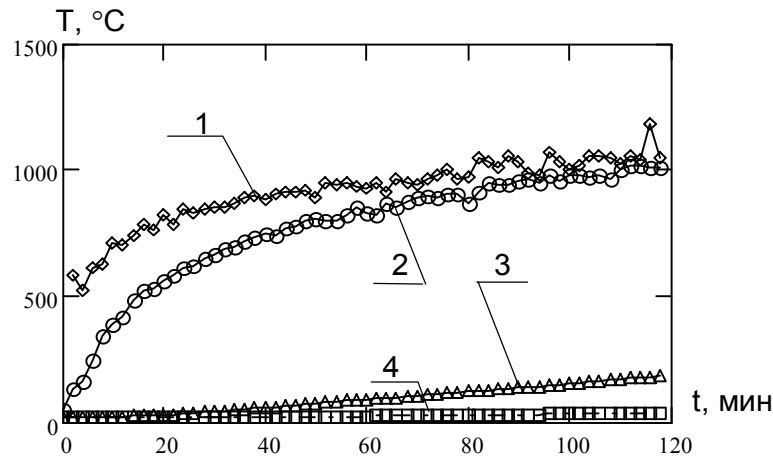


Рисунок 3 - Средние температуры прогрева слоев образцов из бетона без добавок: 1 - температура камеры печи; 2 - температура поверхностного слоя (термопара №1); 3 - температура на уровне термодатчика №2; 4 - температура на уровне термодатчика №3.

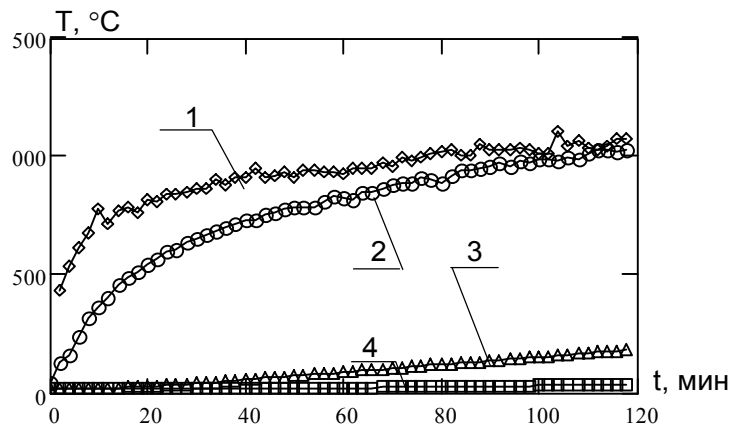


Рисунок 4 - Средние температуры прогрева слоев образцов из бетона с добавкой РЕЛАМИКС: 1 - температура камеры печи; 2 - температура поверхностного слоя (термопара №1); 3 - температура на уровне термодатчика №2; 4 - температура на уровне термодатчика №3

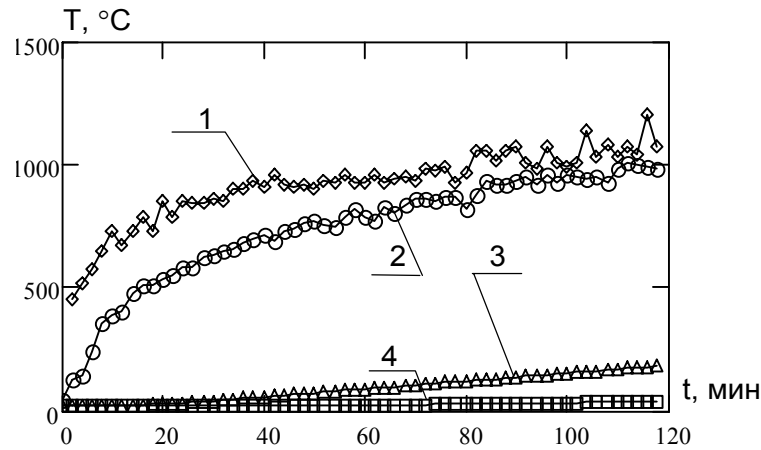


Рисунок 5 - Средние температуры прогрева слоев образцов из бетона с добавкой КРИОПЛАСТ СП15-1: 1 - температура камеры печи; 2 - температура поверхностного слоя (термопара №1); 3 - температура на уровне термопары №2; 4 - температура на уровне термопары №3

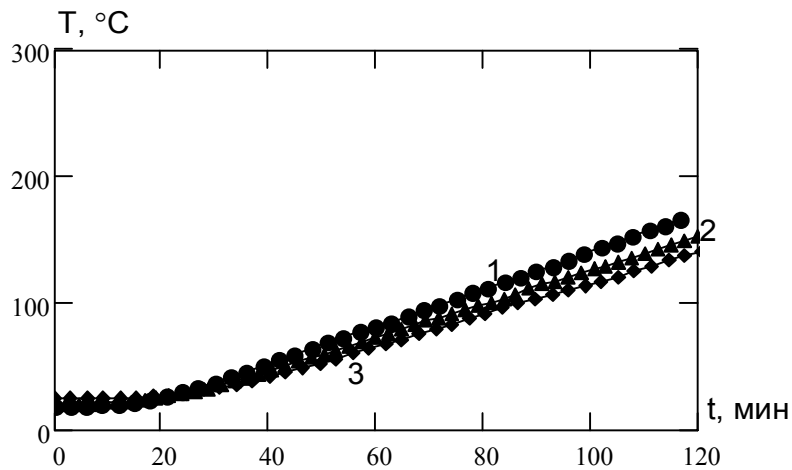


Рисунок 6 - Температуры прогрева слоев образцов из бетона на уровне термопары №2: 1 - с добавкой РЕЛАМИКС; 2 - с добавкой КРИОПЛАСТ СП15-1; 3 – без добавок.

Граничные условия эксперимента по испытаниям кубических бетонных образцов позволяют использования такого же математического обеспечения с тем различием, что квазилинейное уравнение теплопроводности будет иметь такой вид:

$$c_p(T) \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), T_w = f(t) \text{ при } x = x_{\max}. \quad (2)$$

Для решения уравнения (2) используется математический аппарат [4]. При этом для решения прямой задачи теплопроводности была создана конечно-элементная модель, показанная на рис. 7.

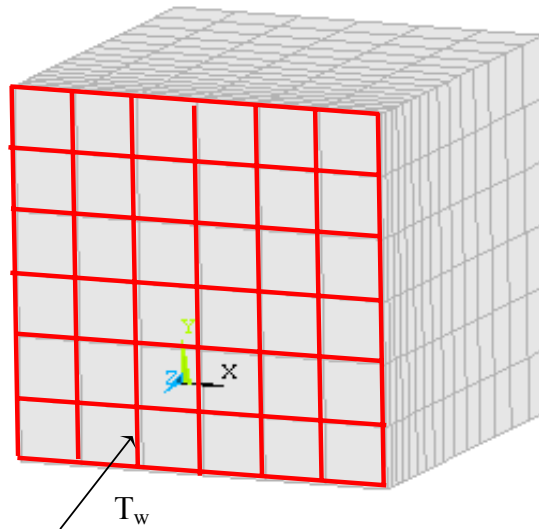


Рисунок 7 - Конечно-элементная модель кубического образца для решения прямой задачи теплопроводности.

Параметрами, которые подвергались идентификации, были числовые характеристики, описывающие ТФХ бетона согласно [4]. На рис. 8 и рис. 9 показано как определяются ТФХ бетона на основе идентифицированных параметров.

Используя расчетную методику [4], были идентифицированы ТФХ бетона кубических образцов по результатам их огневых испытаний. В табл. 1 приведены идентифицированные параметры температурных зависимостей ТФХ бетона кубических образцов.

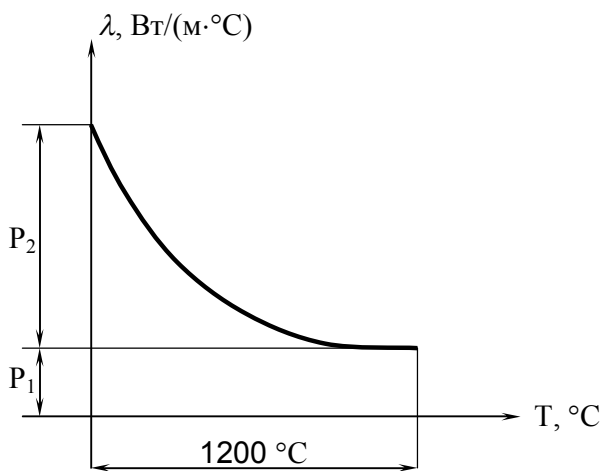


Рисунок 8 - Параметры, определяющие вид зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

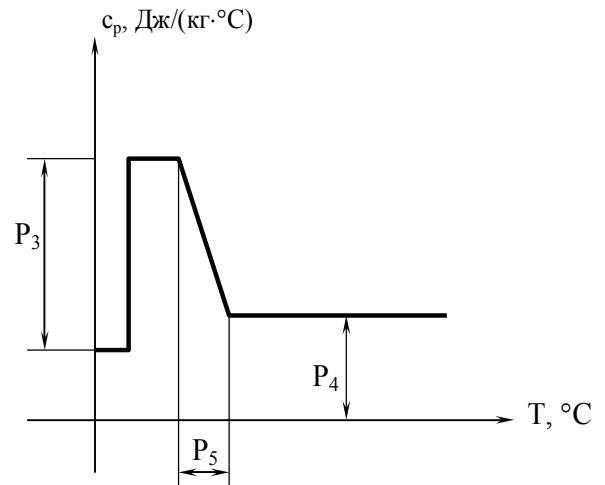


Рисунок 9 - Параметры, определяющие вид зависимости удельной теплоемкости от температуры..

Таблица 1. Идентифицированные параметры теплофизических характеристик модифицированного бетона кубических образцов.

№ доб.*	Параметр P ₁ , Вт/(м·°С)	Параметр P ₂ , Вт/(м·°С)	Параметр P ₃ , Дж/(кг·°С)	Параметр P ₄ , Дж/(кг·°С)	Параметр P ₅ , °С	Ср-квадр откл., °С
1.	0,9	1,5	1934	1145	199,3	5,3
2.	0,77	1,14	2015	910	156	4,7

*1 – суперпластификатор «РЕЛАМИКС»; 2 - противоморозная добавка «КРИОПЛАСТ СП15-1».

На рис. 9 показаны идентифицированные температурные зависимости коэффициента теплопроводности.

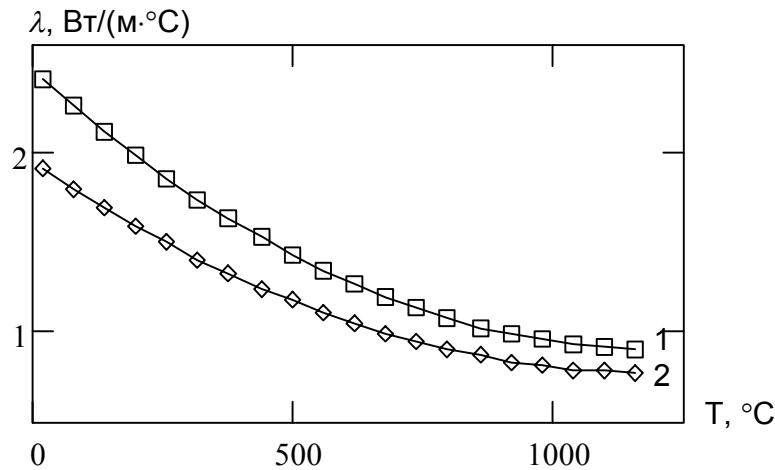


Рисунок 9 - Идентифицированные температурные зависимости коэффициента теплопроводности бетона с добавками кубических образцов: 1 – суперпластификатор «РЕЛАМИКС»; 2 – противоморозная добавка «КРИОПЛАСТ СП15-1».

На рис. 10. показаны идентифицированные температурные зависимости удельной теплоемкости.

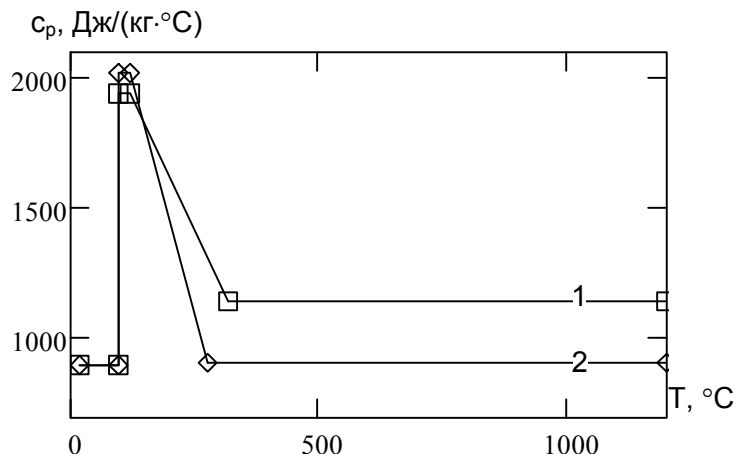


Рисунок 10. Идентифицированные температурные зависимости удельной теплоемкости кубических образцов: 1 – суперпластификатор «РЕЛАМИКС»; 2 – противоморозная добавка «КРИОПЛАСТ СП15-1».

Выводы: В результате проведенных исследований режимов прогрева модифицированного бетона при его тепловых испытаниях установлено, что наличие модификаторов повышает скорости прогрева бетонных образцов, причем наибольшим эффектом обладают пластификаторы.

На основе полученных экспериментальных данных были рассчитаны теплофизические характеристики для модифицированного бетона испытанных образцов.

Перспективы дальнейших исследований. Полученные результаты дают возможность проводить исследования железобетонных конструкций на основе модифицированного состава бетона комплексно. В дальнейшем предполагается осуществление математического моделирования поведения железобетонных балок в условиях высокотемпературного нагрева под действием статической нагрузки и определение пределов огнестойкости.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поздеев А.В., Осипенко В.И., Гвоздь В.М., Сташенко С.И., Нуянзин В.М. Влияние модифицирующих добавок в бетоны на обеспечение огнестойкости железобетонных строительных конструкций.//Пожежна безпека: теорія і практика. Збірник наукових праць. Черкаси: АПБ. – Випуск 7. - 2011 - С. 123-129.
2. Добавки в бетон: Справочное пособие. [Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М.и др.]; под ред. В.С. Рамачандрана; пер. с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
3. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов. Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 188 с.
4. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (Общий инженерный подход) / Круковский П.Г. – К.: НАНУ Институт технической теплофизики, 1998. – 224 с.
5. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – Київ: Укрархбудінформ, 2005.

УДК 614.3

С.А. Соколовський, АВВУ, В.Л. Лагутін,
Є.М. Грінченко, к. т. н., доцент, НУЦЗУ

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОЗАХИСНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Запропоновано алгоритм визначення та розрахунку параметрів віброзахисної системи для транспортування вибухонебезпечних вантажів автошляхами України. Проаналізовано і доведено ефективність використання віброзахисної системи з ділянками квазінульової жорсткості при гармонічному впливі з боку основи. Доведено, що найбільший вплив на ефективність розглянутої віброзахисної системи здійснює демпфування. Проведені розрахунки дозволяють використовувати вказані віброзахисні системи для захисту вибухонебезпечних вантажів при їх транспортуванні

Ключові слова: вибухонебезпечний вантаж, віброзахисна система, коливання, квазінульова жорсткість.

Постановка проблеми. За статистикою в країнах Європи 50-60% всіх вантажів, що перевозяться становлять небезпечні. Українська статистика набагато скромніше - небезпечні вантажі в загальному обсязі перевезень становлять близько 15%. Це говорить про те, що в нашій країні велика частина небезпечних вантажів перевозиться як безпечні, що істотно знижує безпеку їх перевезення і значно збільшує шкоду від інцидентів під час перевезення даних вантажів. Однією з проблем, які виникають при транспортуванні небезпечних, а тим більше вибухонебезпечних вантажів є вплив вібрації з боку дорожнього покриття на вантаж, що перевозиться.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Шкідливий вплив вібрації на елементи конструкцій, механізми і машини розглянуто в значній кількості наукових праць [1-5], підручників [6-8] і довідників [9]. Використання віброзахисних систем з коректорами жорсткості розглянуто в роботах [10-13]. Але в розглянутих роботах недостатня увага приділена можливості використання віброзахисних систем з квазінульовою жорсткістю для захисту вибухонебезпечних вантажів від вібрацій з боку дорожнього покриття.

Постановка завдання та його вирішення. Для захисту об'єктів від динамічних дій широко застосовуються віброзахисні системи, що встановлюються між джерелом вібрації і ізольованим об'єктом. Найбільш поширеними з них є пружні амортизатори. В даний час існує велика кількість конструктивних різновидів амортизаторів, призначених як для захисту приладів і обладнання, що встановлюються на підставах, що коливаються, так і для захисту основ і фундаментів від динамічних дій на них з боку працюючого обладнання. Створення амортизуючих пристроїв, здатних захистити об'єкти від вібрацій і ударів і, разом з тим, такими, що володіють обмеженими розмірами, є складною технічною проблемою, правильне рішення якої можливе лише при всебічному обліку характеру збурень і конструктивних властивостей амортизаторів.

У монографії [10] наведено класифікацію пасивних віброзахисних систем з ділянками квазінульової жорсткості. Відповідно до запропонованої класифікації все конструктивне розмаїття пружних коректорів жорсткості, що містять лінійні пружні елементи, можна звести до трьох основних схем, що наведені на рис.1.

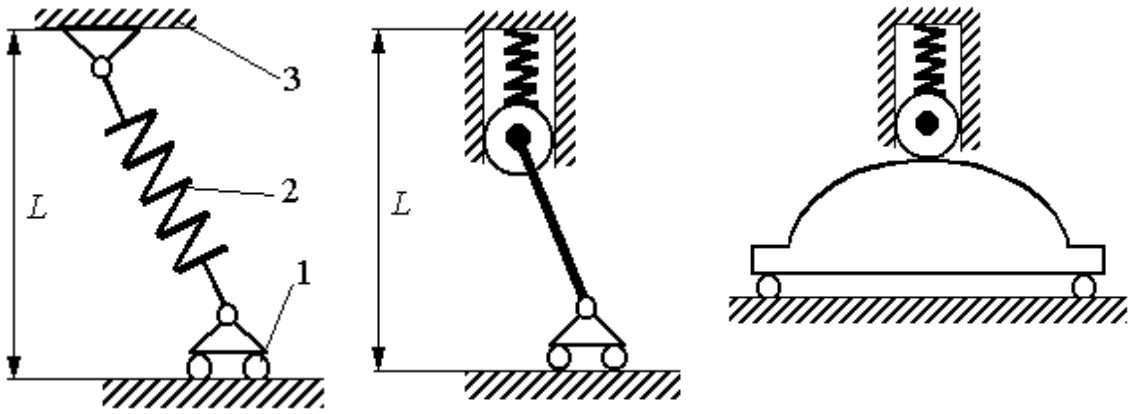


Рисунок 1 – Принципові схеми пристроїв з коректором жорсткості

Наявність декількох положень рівноваги, серед яких одне або більше - нестійкі є однією з характерних особливостей пружних систем з корекцією жорсткості. Основною особливістю таких систем є, отже, явище втрати стійкості.

Для зменшення впливу вібрації на вибухонебезпечний вантаж пропонується використовувати пристрій, принципова схема якого наведена на рис. 2, Пропонований пристрій є модифікацією пристрою, запропонованого в роботі [11].

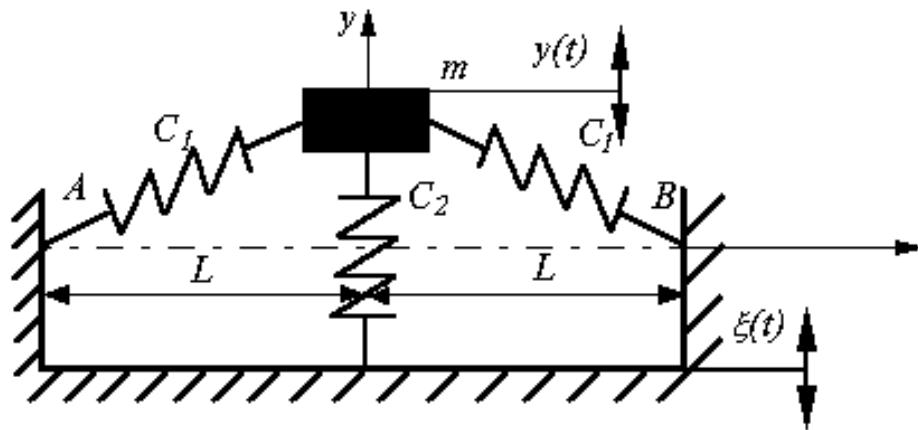


Рисунок 2 – Пропонована конструкція віброзахисного пристрою

Динамічні процеси, що відбуваються в моделі, представленої на рис. 2, описуються нелінійним диференціальним рівнянням в безрозмірних координатах:

$$q'' + \tilde{\beta}q' + 2q \left(1 - \frac{(1 + \alpha)}{\sqrt{1 + \tilde{\varepsilon}q^2}} \right) + \tilde{C}q(1 + k\tilde{\varepsilon}_1q^2) = \sin(\tilde{\omega}\tau + \theta), \quad (1)$$

$$\text{де } \tilde{\varepsilon}_1 = \frac{P_0}{\omega_0^4}, \quad \tilde{\beta} = \frac{\beta}{\sqrt{C_1 m}}, \quad \alpha = \frac{\Delta}{L}, \quad \tilde{\varepsilon} = \frac{P_0^2}{L^2 \omega_0^4}, \quad \tilde{C} = \frac{C_2}{C_1}, \quad \tilde{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}, \quad q = \frac{\omega_0^2}{P_0} x.$$

Далі дослідимо динамічні властивості віброзахисної системи при гармонійному впливі. У загальному випадку досліджувана віброзахисна система має три положення рівноваги:

$$q_1 = 0, \quad q_{2,3} = \pm L \sqrt{\frac{4(1 + \alpha)^2}{(2 + \tilde{C})^2} - 1}. \quad (2)$$

Стійким положенням рівноваги залежно від початкових умов, рівня зовнішнього впливу й співвідношення параметрів у системі відповідають різні режими руху:

- «малі» коливання біля одного зі стійких положень рівноваги;
- «великі» коливання біля нестійкого положення рівноваги.

Можливі також зриви з коливань біля одного стійкого положення рівноваги до коливань біля іншого стійкого положення рівноваги (прояв феномена проклацування системи), а також перехід з «малих» коливань на «великі».

Варто відмітити, що якщо параметри системи задовольняють умові забезпечення нульової жорсткості, то всі три положення рівноваги зливаються в одну точку, тобто $q_{1,2,3} = q = 0$, і вимушені колювання завжди відбуваються стосовно нестійкого положення рівноваги.

Для ілюстрації наведеного були проведені розрахунки коливань системи, приведені на рис. 3. При проведенні розрахунків віброзахисної системи спеціально виводилася зі стану із квазінульової жорсткості шляхом зміни попереднього підтиснення коригувальних пружин.

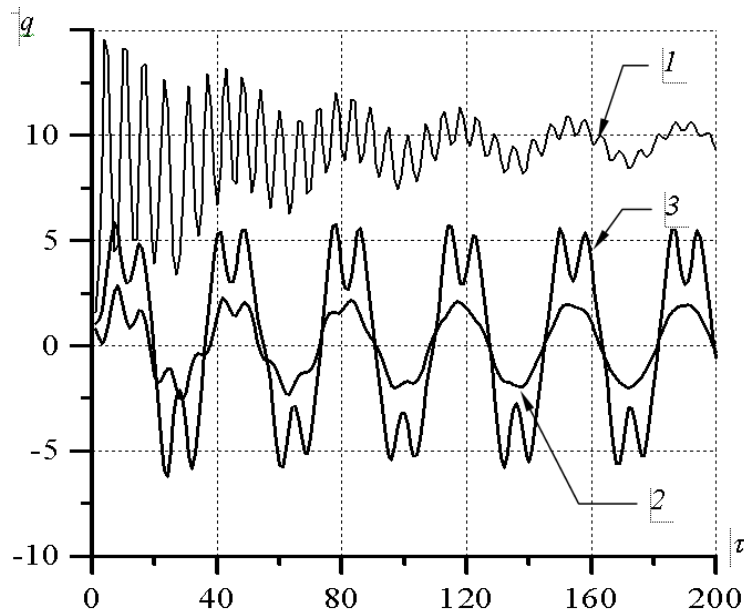


Рисунок 3 – Колювання системи при відсутності в ній квазінульової жорсткості

Параметри розрахунків приймалися такі ж, як і при розрахунках вільних коливань, крім параметра $\tilde{\beta} = 0,078$. При цьому параметр Δ приймався в інтервалі від $0,04$ (крива 1) до $0,02$ м (крива 3). Нульова жорсткість у цій системі забезпечується при $\Delta = 0,03$ м (крива 2). Аналізуючи наведені графіки можна відзначити, що при збільшенні підтиснення до $0,04$ м колювання відбуваються біля верхнього стійкого положення рівноваги при цьому частота коливань досить велика. При зменшенні підтиснення до $0,02$ м колювання відбуваються біля нестійкого положення рівноваги, однак їхні амплітуди значно (більш ніж в 2 рази) більше, ніж амплітуди коливань системи при забезпеченні в ній стану із квазінульовою жорсткістю, а також відзначається наявність у вихідному сигналі високочастотних складових.

Найбільш цікаві результати для дослідженого діапазону дає застосування в системі параметрів, що забезпечують у ній стан із квазінульовою жорсткістю. При цьому відзначається зниження рівня амплітуд коливань об'єкта, що захищається, у порівнянні з рівнем коливань амплітуд основи, а також відсутність у вихідному спектрі складових з високими частотами.

Аналіз динамічного поведіння віброзахисних систем виконано за результатами розрахунків вимушених коливань віброізолюваного тіла, описуваних рівнянням (1). При цьому отримані криві вимушених коливань $q(\tau)$ щораз піддавалися гармонійному аналізу з виділенням частот й амплітуд періодичних складових.

У роботі досліджувався розвиток динамічних процесів у побудованій віброзахисній системі при впливі на неї різних по величині амплітуд і частот гармонійних сил.

На рис. 4 наведені зведені результати розрахунків вимушених коливань при однаковій амплітуді збурювання $P_0=5$ і різних безрозмірних частотах ($\tilde{\omega} = 0,55$ (крива 1), $1,1$ (крива 2), $1,55$ (крива 3)).

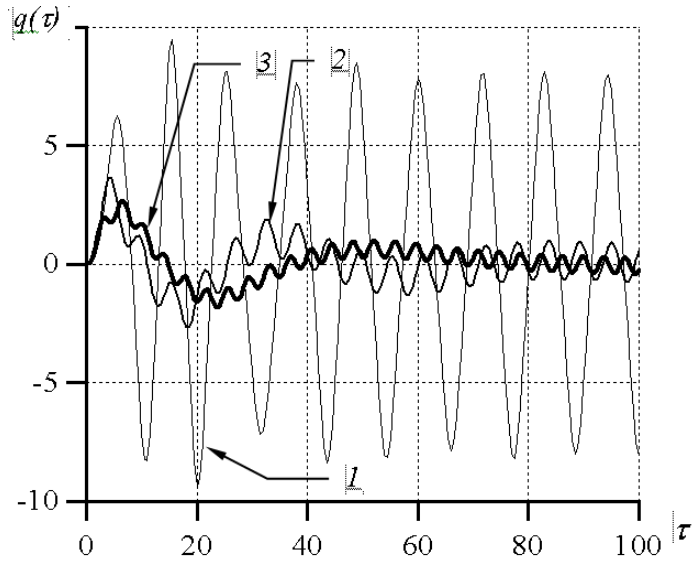


Рисунок – 4 Коливання віброзахисної системи при дії гармонійного впливу

Аналізуючи наведений графік можна відзначити, що значне зниження амплітуди вихідного сигналу в порівнянні з амплітудами вхідного сигналу відзначається тільки при частотах починаючи з 1. На частотах, менших одиниці, спостерігається навіть збільшення амплітуди вихідного сигналу в порівнянні з амплітудою вхідного сигналу. Тому необхідно забезпечувати роботу запропонованої віброзахисної системи на частотах, що лежать за скелетною кривою, де відбувається істотне придушення амплітуд. Відзначена властивість може служити запорукою прийнятних віброзахисних властивостей віброзахисної системи.

На рис. 5 наведені результати спектрального аналізу отриманих результатів: частоти періодичних рухів й їхньої амплітуди.

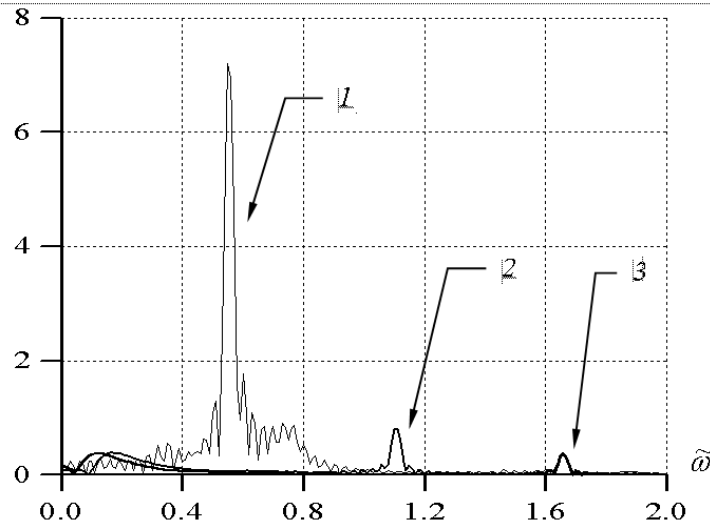


Рисунок 5 – Спектральний аналіз віброзахисної системи при гармонійному впливі

Отримані результати гармонійного аналізу дозволяють зробити висновки про зниження амплітуд об'єкта віброізолювання на частотах, більших 1. У вихідному сигналі практично відсутні високочастотні складові. Наявність у вихідних сигналах низькочастотних складових (криві 2 й 3 на рис. 5) проявляється супровідними коливаннями. Досить вузькі спектри вихідного сигналу дають можливість зробити висновок про прийнятні віброзахисні властивості віброзахисної системи.

Оцінювати ефективність віброзахисної системи будемо з використанням коефіцієнтів віброізоляції. Оскільки на систему діє кінематичний вплив, то ефективність віброзахисту оцінюється так:

$$k = \frac{\sqrt{\lambda^2(q) + 4\tilde{\beta}^2\tilde{\omega}^2}}{\sqrt{(\lambda^2(q) - \tilde{\omega}^2)^2 + 4\tilde{\beta}^2\tilde{\omega}^2}}, \quad (3)$$

де $\lambda(a)$ — частота вільних коливань при заданій амплітуді P_0 впливу, що збуджує $\tilde{\omega}$, - частота коливань основи $\tilde{\beta}$, - коефіцієнт демпфірування.

Таким чином, завдання вибору оптимальних параметрів віброзахисної системи зводяться до вибору такої пари параметрів \tilde{C} і α в умовах забезпечення нульової жорсткості, які б забезпечили при частоті $\tilde{\omega}$ вібрації основи мінімальне значення коефіцієнта віброізоляції k . Оскільки в коефіцієнт k входить параметр скелетних кривих $\lambda(a)$, то при кожній зміні параметрів \tilde{C} й α будується скелетна крива системи.

Коефіцієнт віброізоляції k характеризує відношення амплітуд переміщення віброізольованого тіла й віброуючої основи. Тому що у виразі для k , використовується $\lambda(a)$, то відповідним вибором параметрів \tilde{C} й α можна досягти найбільш ефективної віброізоляції. Використавши формулу (3) для віброзахисної системи, схема якої наведена на рис. 1, було побудовано графіки залежності коефіцієнта віброізоляції для розглянутої системи від величини підтиснення коригувальної пружини (рис. 6) і від частоти впливу, що збуджує (рис. 7).

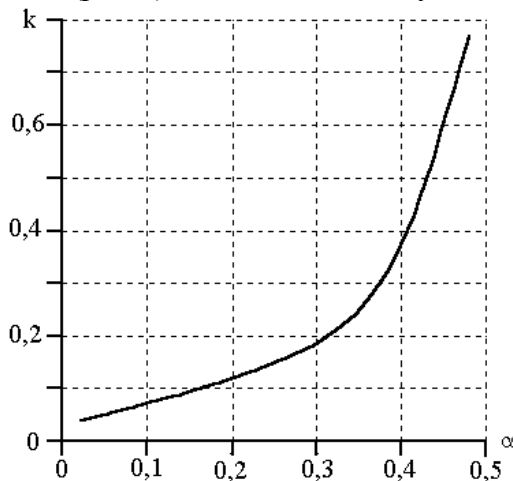


Рисунок 6 – Залежність коефіцієнта віброізоляції від α

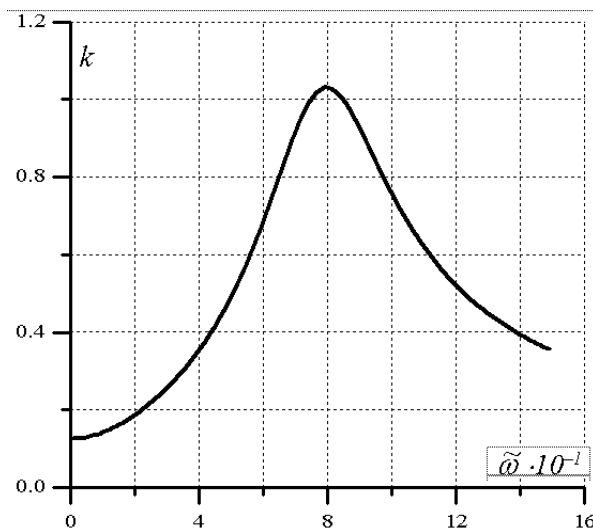


Рисунок 7– Залежність коефіцієнта віброізоляції від $\tilde{\omega}$

Висновки. Як слідує з рис. 6 і 7, ефективність застосування віброзахисної системи характеризується широким діапазоном зміни параметра α . Функціонуючи з підтисненням $\Delta=0,04\div 0,1$ м ($0,2\div 0,5L$), віброзахисна система забезпечує значення коефіцієнта віброізоляції $k < 0,4$ на всіх частотах впливу $\tilde{\omega} \geq 1,2$.

Підвищення ефективності віброізоляції для досліджуваної віброзахисної системи можна забезпечити збільшуючи параметри α до максимально можливого з позицій міцності й надійності конструкції значення, що ще раз підтверджує раніше зроблений висновок стосовно вибору параметра α .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Куценко Л.М., Грінченко Є.М. Геометричне моделювання нестійкості фазових траєкторій рівняння Дуффінга // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2007. Вип. 4. - Т. 36. - С. 22-28
- 2 Зотов А. Н. Материалы и технологии XXI века: Сборник статей II Международной научно-технической конференции. – Пенза, 2004.
- 3 Анищенко В.С. Динамические системы. Соросовский образовательный журнал, № 11, 1997. С. 77 – 84.
- 4 Каудерер Г. Нелинейная механика. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. — 771 с., ил.
- 5 Зотов А. Н. «Нелинейный виброизолятор нового принципа действия». Динамика систем, механизмов и машин: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004.
- 6 Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. 915 с.; Наука, 1981. 568 с.
- 7 Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров.–М.: Мир, 1990. – 312 с.
- 8 Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. — М.: Наука, 1966 г. 320 с., ил.
- 9 Вибрации в технике. Справочник. В 6-ти томах. Т. 6. Защита от вибраций и ударов. /Под ред. Фролова К.В. М.: Машиностроение, 1981 г. 456 с., ил.
- 10 Алабужев П.М., Гритчин А.А., Ким Л.И. и др. Виброзащитные системы с квазиулевым жесткостью. /Под редакцией Рагульскиса К.М. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1986 г. 96 с., ил.
- 11 Гринченко Е.Н., Пиксасов М.М. Использование уравнения Дуффинга для исследования виброзащитной системы с квазиулевым жесткостью // Геометричне та комп'ютерне моделювання – Харків: ХДУХТ, 2007. – Вип.17.–С. 268-277.
- 12 Драгун С.В. Гринченко Е.Н., Чернобай Г.А. К вопросу оценки эффективности виброзащитной системы с квазиулевым жесткостью // Проблемы пожарной безоп. Харьков: ХИПБ, 1999. -Вьп. 5 - С. 83–86.
- 13 Куценко Л.М., Грінченко Є.М. Геометричне моделювання нестійкості фазових траєкторій рівняння Дуффінга // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2007. Вип. 4. - Т. 36. - С. 22-28

УДК 618.5:614.844

А.А. Тимченко, д. т. н., проф., М.В. Підгорний к. т. н., ЧДТУ,
В.П. Мельник, Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля

ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВАНТАЖІВ

Розглядається питання створення систем моніторингу транспортування небезпечних вантажів на основі концепції життєвих циклів об'єктів нової техніки та послідовності етапів розвитку даних систем.

Ключові слова: життєвий цикл (ЖЦ), об'єкти нової техніки (ОНТ), нова техніка (НТ), системи автоматизованого проектування (САПР), великі технічні системи (ВТС).

Постановка проблеми.

Сучасні інформаційні технології дають можливість вести цілодобовий моніторинг за безпекою перевезення небезпечних вантажів різними видами транспорту. Велика небезпека під час транспортування небезпечних речовин вимагає не тільки проводити моніторинг але вчасно попереджувати виникнення надзвичайних ситуацій. Для швидкого реагування на надзвичайні ситуації при перевезенні небезпечних вантажів у світі розробляються глобальні навігаційні супутникові системи моніторингу які наділені функціями: прогнозування можливих ситуацій, та розвиток подій під час перевезення небезпечного вантажу; ситуаційне керування транспортом для уникнення аварій, створення безпечного коридору для прямування до місця призначення з координацією в автоматичному режимі з аварійними службами та рятувальними підрозділами.

Останнім часом намітилася тенденція до глобального моніторингу системи перевезень. Ці системи призначені для дистанційного збору інформації про стан об'єкту та аналізу інформації (стан обладнання, різних підсистем) подій, що відбуваються, використовуючи канали зв'язку, з метою оперативного реагування у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Розвиток різноманітних видів перевезень та вимоги до безпеки повинні закладатись ще на стадії проектування (або планування) для ефективної роботи системи моніторингу. На сьогодні сучасні структури проектування порівняно легко застосовуються для простих, локальних систем моніторингу, разом з тим проектування багатоканальних систем моніторингу викликає труднощі, пов'язані з їхньою складністю. Суть проектування системи моніторингу полягає в створенні функціональної моделі їх роботи та планування технології одержання інформації.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Концепція життєвих циклів (ЖЦ) об'єктів нової техніки (ОНТ) започаткована в середині 70-х років стосовно до проблем підвищення ефективності використання нової техніки (НТ) як основної матеріальної бази сучасного суспільства. Як відомо, узагальнене поняття техніка — деяка об'єктивна категорія, яка поєднує в собі машини, споруди, засоби комунікації та ін. Техніку можливо розглядати також як деяку узагальнену систему, що має дві структури: структура видів техніки (видова структура) та структура життєвого циклу (цільова структура) [1]. Основоположниками концепції ЖЦ об'єктів нової техніки є В.М. Глушков, А.Г. Івахненко, К.Д. Жук, Г.В. Пухов, А.А. Тимченко та ін.

Постановка задачі та її розв'язання.

В роботі досліджується життєвий цикл (ЖЦ) систем моніторингу перевезення небезпечних вантажів (СМПНВ) як основу техніко-економічної структури, що упорядковує у часі систему взаємопов'язаних процесів наукових досліджень, проектування, виготовлення та цільового використання об'єктів нової техніки ОНТ до яких відносяться СМПНВ.

Обґрунтування структура життєвих циклів створення систем моніторингу перевезення небезпечних вантажів та послідовність етапів їх розвитку.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Розвиток НТ має два аспекти. З одного боку, НТ виступає як об'єкт досліджень, проектування, будівництва і використання, що об'єднується єдиною структурою ЖЦ, у межах якого здійснюються витрата ресурсів і досягнення народногосподарських цілей. З іншої сторони, НТ створюється, функціонує і розвивається як система, для досягнення цілей якої необхідно вирішувати «внутрішні» питання динамічної відповідності технічних засобів споживчим задачам. Ефективність вирішення «зовнішніх» цільових задач буде визначатися ефективністю вирішення «внутрішніх» задач. На основі цих взаємозв'язків необхідно установити взаємні вимоги й обмеження, без коректного урахування яких поняття ефективності майже цілком втрачає зміст.

Одним з основних питань створення СМПНВ як великих технічних систем (ВТС) є створення сучасних систем інформації і процесів їхньої обробки. Існують принаймні два основних принципи функціонування систем інформації в інтегрованих автоматизованих системах управління (ІАСУ). Перший - функціональний - повинний визначити організацію загальносистемної інформаційної бази, що повинна створюватися, функціонувати і розвиватися по своїх законах, що має юридичну чинність. Другий - цільовий - принцип, що має прикладний зміст, повинний ґрунтуватися на механізмі відображення, інформаційного моделювання реальних об'єктів і процесів у середовищі ВТС для рішення цільових задач. Ці принципи повинні бути розвиті в концепції ВТС як складові задачі внутрішнього і зовнішнього проектування систем інформації ВТС.

Життєвий цикл СМПНВ. Сучасна СМПНВ є складною людино-машинною системою. Складність СМПНВ визначається складністю об'єктів техніки, складністю тих систем, що проектують цю техніку і забезпечують цільове використання об'єктів нової техніки, і складністю самих процесів взаємозалежного функціонування різноманітних видів техніки. Для вирішення задач цільового використання ОНТ необхідний апарат опису самих об'єктів нової техніки і процесів, що відбуваються в цих об'єктах.

На сьогодні є дві основні проблеми в системних дослідженнях в області техніки: по перше це питання програмованої експлуатації нової техніки інтенсивно розробляється в даний час у теоретичному, методологічному і прикладному аспектах, та по друге це проблема системного проектування об'єктів сучасної техніки. Ціллю розробки такого апарата є не тільки рішення конкретних прикладних задач проектування, виготовлення і цільового використання нової техніки, а також створення наукової основи про керований розвиток нових СМПНВ. Однією із задач програмування життєвих циклів нової техніки є дослідження:

1. Структури системи «об'єкт техніки - середовище функціонування».
2. Структури задач системного проектування і системних властивостей складних об'єктів.
3. Цілеорієнтація нової техніки в структурах життєвих циклів.
4. Механізми адаптації великих технічних систем в життєвих циклах.

СМПНВ проходять три основних етапи: проектування, виготовлення, цільове використання. На перших двох етапах об'єкт є пасивною категорією, лише на останньому він стає активною системою. Системи проектування і виготовлення є активними як і середовище функціонування об'єкта на фінальному етапі.

Життєвий цикл СМПНВ це послідовність етапів його розвитку від ідеї створення до використання за прямим призначенням, а саме (рис.1): дослідження, проектування, виготовлення, використання.

ЖЦ є також основною техніко-економічною структурою, що упорядковує у часі систему взаємопов'язаних процесів наукових досліджень, проектування, виготовлення та

цільового використання СМПНВ, в рамках якої реалізуються процеси цілепокладання, цільового планування, розподілу ресурсів та керування ціледосягненням.

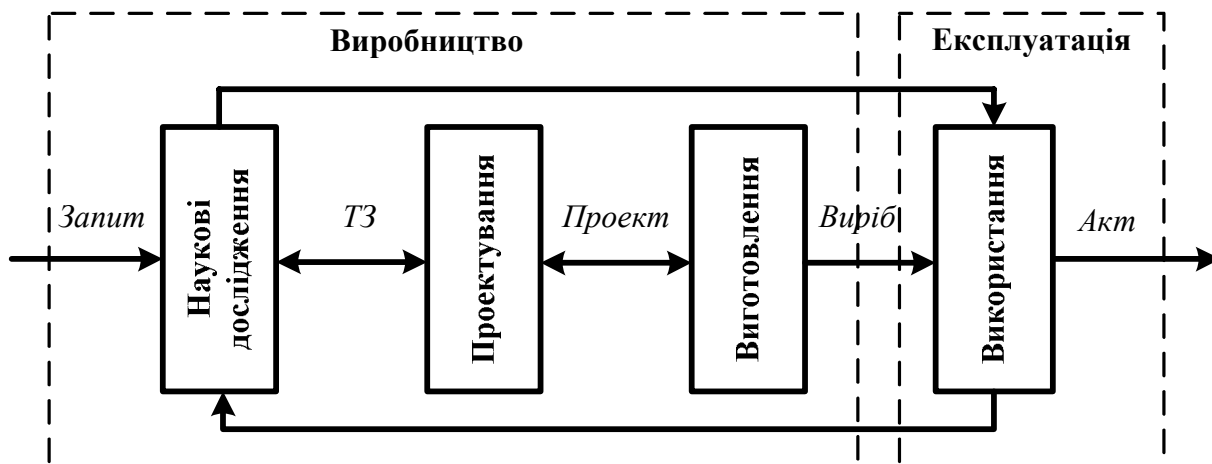


Рис. 1. Загальна схема етапів ЖЦ СМПНВ

Проектування ЖЦ розпочинається з формування концепції майбутньої СМПНВ. Цілі, для досягнення яких створюється сукупність об'єктів, визначаються координаційним органом, що здійснює макропланування. Техніко-економічний аналіз можуть проводити головні науково-дослідні інстанції галузей, що використовують СМПНВ. Таким чином, в ЖЦ закладається засобами автоматизованої системи наукових досліджень або САПР проблемної орієнтації. Такі САПР повинні створюватися по цільовій програмі відомств, що використовують СМПНВ. Подальший розвиток концепції СМПНВ повинен виконуватись галуззю, що розробляє і створює СМПНВ, а об'єктами автоматизації є процеси проектування та виготовлення СМПНВ. Процес закінчується випробуваннями готового зразка, запуском у серію і передачею в експлуатацію всього покоління СМПНВ. На цьому етапі «стикуються» галузь, що виготовляє, і галузь, що використовує СМПНВ. При цьому об'єктом автоматизації є процес випробувань, який проводять спільно обидві сторони.

Завершальним етапом ЖЦ СМПНВ є експлуатація (або його цільове використання) для задоволення суспільних потреб. На цьому етапі об'єктом автоматизації є програмована експлуатація СМПНВ (управління планування та процесу досягнення цілей).

Структура ЖЦ є стійкою компонентою при побудові глобального процесу досліджень — процесу розвитку СМПНВ. Всім елементам декомпозиції відповідають інформаційні моделі об'єкта та процесу на всіх етапах ЖЦ (табл. 1).

Відсутність загальної теорії СМПНВ як складних систем та об'єктивна потреба в такій теорії стали причиною широкого використання концепції ЖЦ для інформаційного доозначення різноманітних задач проектування [1].

Процес ЖЦ СМПНВ є багатоетапним (тобто таким, що розвивається у часі) та багаторівневим (оскільки схеми наукових досліджень, проектування і т.д. є ієрархічними).

Табл. 1 – Структура життєвих циклів СМПНВ

Глобальний життєвий цикл	Вкладені структури циклів				Вихідні рішення циклів	Інфраструктура циклів
	Макро цикли	Цикли стадій	Цикли фаз	Цикли етапів ЖЦ		
Цикл програмування ідеї-замислу	Планування	Комплексно-цільове планування	1-Комплексно-цільові стратегічні дослідження. Прогностичний аналіз цілей розвитку суспільства.	Макроідея-замисел комплексу СМПНВ	Комплексно-цільова АСЦП	
		Проблемно-цільове планування	2-Оперативно-тактичні проблемно-цільові дослідження.	Ідея-замисел проблематики СМПНВ		
		Цільове планування	3-Системні дослідження: аналіз та декомпозиція ближніх цілей. Формування вимог до ТЗ на розробку СМПНВ.	Вимоги до ТЗ на розробку СМПНВ		
	Цикл існування СМПНВ	Створення	Проектування	4-Системні проєктні дослідження	ТЗ	АСНД-САПР
				5-Науково-дослідне проєктування	Задум СМПНВ	АСНД-САПР
				6-Ескізне проєктування	Ескізний проєкт	САПР
				7-Технічне проєктування	Технічний проєкт	САПР
				8-Робоче проєктування	Робочий проєкт	АСТПВ
				9-Побудова, монтаж	СМПНВ	АСУТП
			Доводка	10-Прийомоздаточні випробування, доводка	Введення в експлуатацію	АСВД
			Функціонування	11-Програмована експлуатація	Елімінація	АСЦП-АСПЕ
Елімінація ЖЦ			12-Модернізація, зміна ЖЦ	Зміна ЖЦ	АСЦП	

Розглядаючи ЖЦ СМПНВ як деякий процес у суперсистемі, в якій існують системи, що виробляють, та системи, що забезпечують виробництво, в ЖЦ СМПНВ можна виділити такі цільові структури:

- структуру процесів наукових досліджень, проектування, побудови, використання;
- структуру самих підсистем, що виробляють та забезпечують виробництво;
- системну структуру вищого рівня, що визначає послідовність процесів у часі та їх взаємозв'язку та характеризує підлеглисть цілей кожного процесу цілям процесів вищих рівнів;
- зовнішня структура ЖЦ віддзеркалює взаємодію з іншими системами та дозволяє визначити важливі питання спільного функціонування та оптимальної взаємодії систем, що виробляють, і СМПНВ в середовищі функціонування при їх цільовому використанні [2].

Програмування ЖЦ СМПНВ. Методологічно програмування процесів розвитку СМПНВ повинне бути забезпечене розвитком банку моделей, інформаційною базою та апаратом моделювання цих процесів. Структура банку моделей повинна включати в себе моделі: СМПНВ як системи, що розвивається; ЖЦ поколінь СМПНВ; розподілу ресурсів, що забезпечують програму розвитку СМПНВ. Засобами цього банку можуть вирішуватися основні завдання програмування процесів розвитку СМПНВ. Сюди входять системний аналіз цілей, для досягнення яких створюється СМПНВ; побудова структури систем, що виробляють СМПНВ; інноваційний аналіз інформаційних ресурсів розвитку СМПНВ, оптимізація всіх ресурсів та програми розвитку НТ [3].

Інформаційна структура моделей ЖЦ дозволяє формувати та вирішувати завдання програмування ЖЦ НТ в існуючому соціотехнічному середовищі.

Під програмуванням життєвих циклів СМПНВ розуміють багатоетапний та багаторівневий процес прийняття рішень, який здійснюється в САПР (у системі програмування ЖЦ нової техніки) з метою [4]:

- досягнення якості проектних рішень СМПНВ;
- аналізу розв'язуваності завдань розробки та створення СМПНВ по всьому ЖЦ СМПНВ;
- створення проекту.

Базовим для програмування ЖЦ СМПНВ є системне інформаційне зображення ОНТ R у вигляді впорядкованої трійки:

$$R = \langle V, U, B \rangle W, \quad (1)$$

де B - керовані підсистеми СМПНВ; U - керуючі підсистеми СМПНВ; V - інфраструктура СМПНВ, яка включає системи, що виробляють та обслуговують СМПНВ; W - зовнішнє середовище, що взаємодіє з B, U, V .

Складність системного проектування СМПНВ на основі принципу програмування ЖЦ визначається різноманітністю:

- а) складу елементів функціональних підсистем B , визначених функцією складності $S(B)$;
- б) сигнатури S_B — схеми співвідношень (керування) над елементами B , визначеної функцією складності $S(S_B)$;
- в) сигнатури S_{BV} — схеми співвідношень між підсистемами B та інфраструктурою $V(S(S_{BV}))$;
- г) сигнатури S_W — схеми співвідношень $\langle V, U, B \rangle$ із зовнішнім середовищем $W(S(S_W))$.

Нова техніка є складною системою, обумовленою як власне складністю її складових, так і складністю процесів створення, використання та функціонування видів СМПНВ.

Допускаючи адитивність функції складності, можна записати загальну складність СМПНВ:

$$S_r = S(B) + S(S_B) + S(S_{BV}) + S(S_W). \quad (2)$$

Складність СМПНВ та його ЖЦ роблять практично непридатною традиційну схему, при якій дослідження об'єкта суворими математичними методами може виконуватися тільки тоді, коли побудована його математична модель (або, іншими словами, описані його властивості на певній формальній мові) та доведена її адекватність фізичній ситуації (відсутність протиріч у логіці функціонування моделі та об'єкта). Це визначено рядом системних факторів:

- складність СМПНВ, що проектується, та створюється з різних частин і яка вирішується тільки в вигляді сукупності моделей;
- некоректність у формально-логічному об'єднанні постановки проблеми розробки та створення СМПНВ;
- відсутність об'єктивних прогнозованих даних внаслідок унікальності СМПНВ;
- неможливість ототожнення об'єкта проектування з об'єктом дослідження, а також пошуковий, творчий характер розробки складного об'єкта, що вимагає брати до уваги всю гамму засобів і методів моделювання, у тому числі й евристичні розумово-мовні (ментально-вербальні) ситуації як засіб моделювання очікуваних фізичних ситуацій;
- динаміка суспільного розширеного відтворення, зміна науково-технічного світогляду людства внаслідок відкриттів, винаходів приводить до безперервної еволюції погляду на те, якою повинна бути СМПНВ, що проектується, і як його слід проектувати.

Еволюційно СМПНВ як складну систему можна виразити наступним чином:

$$\Sigma = \left(E, (\omega_\alpha)_{\alpha \in A}, (Z_\tau(s))_{\substack{\tau \in T \\ s \in S}}, (f_{e\alpha\tau})_{\substack{e \in E, \alpha \in A \\ \tau \in T}}, (\chi_{\alpha\tau})_{\substack{\alpha \in A \\ \tau \in T}}, (J_{\alpha\tau})_{\substack{\alpha \in A \\ \tau \in T}}, \chi, J \right) \quad (3)$$

де E - множина елементів СМПНВ; (ω_α) - сімейство структур, що реалізуються в Σ ;

$(Z_\tau(s))$ — сімейство просторів сигналів; $(f_{e\alpha\tau})$ — сімейство операторів елементів системи E ;

$\chi_{\alpha\tau}, \chi$ — простори цілей; $J_{\alpha\tau}, J$ — цільові функції [6].

Задачі проектування СМПНВ характеризуються високою складністю та відносяться до слабо структурованих проблем. Практичною основою розв'язування цих задач залишається комплексний підхід та методи моделювання. Концентрованим виразом такого підходу є системні моделі систем, що проектуються.

Логічною основою програмування ЖЦ СМПНВ повинні бути взаємопов'язані процедури аналізу вирішуваності задач та інтегральні оцінки техніко-економічної ефективності розв'язків цих задач, виходячи з оперативної інформації, що є в системі програмування ЖЦ СМПНВ.

Висновки. Узагальнення досвіду проектування складних систем дало можливість комплексно представити процеси проектування СМПНВ. Серед комплексу нових задач створення СМПНВ, для розв'язання яких створюються сучасні автоматизовані системи, однією з центральних є задача програмованого розвитку (планування і керування) СМПНВ, як деякого цільового процесу, що організує в єдиний цикл процеси проектування, побудови та експлуатації.

Пов'язана послідовність етапів проектування, виготовлення та експлуатації СМПНВ визначається як їх життєвий цикл. Кожен із цих етапів як виробничий цілеспрямований процес реалізується у відповідній системі: системі проектування, системі побудови і системі програмованої експлуатації.

Задача програмування ЖЦ СМПНВ має чіткий економічний зміст і цільову постановку, а ЖЦ є основною техніко-економічною структурою, що задовольняє в часі систему взаємозалежних процесів проектування, побудови та цільового використання, у межах якої реалізуються процеси цілепокладання, цільового планування і керування.

Зміст задачі програмування ЖЦ СМПНВ зрештою полягає в досягненні необхідних цільових показників СМПНВ у середовищі функціонування за умови оптимального

розподілу обмеженого ресурсу за всіма етапами ЖЦ і в досягненні необхідної техніко-економічної ефективності систем і процесів проектування, побудови та забезпечення оптимального функціонування СМПНВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ивахненко А. Г. Моделирование сложных систем / Ивахненко А. Г. — К. : Вища школа, 1987. — 136 с.
2. Математическая теория оптимальных процессов./ [Понтрягин Л. С. , Болтянский В. Г., Гамкrellидзе Р. В., Мищенко Е. Ф.]. — М. : Издательство "Наука" 1983 — 393 с.
3. Жук К. Д. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем / Жук К. Д., Тимченко А.А., Доленко Т.И. ; К.: – Наукова думка, 1975. – 199 с.
4. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів / Тимченко А.А. – К. : Либідь. 2004. – 288с. – (Основи системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки: Навч. Посібник за ред. Ю.Г. Леги).
5. Пухов Г.Е. Синтез многосвязных систем управления по методу обратных операторов / Г.Е.Пухов, К.Д. Жук. – К. : Наук. Думка. 1966 г. – 215 с.
6. Тимченко А.А. Эволюционное определение сложной системы. Вісник ЧІТІ.-№1 – Черкаси:2000. – с.105-110.

УДК 614.841.332

Є.О. Тищенко, к. т. н., М.В. Андрієнко, к. і. н., І.О. Трояновська,
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля МНС України;

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Проведено аналіз сучасного стану протипожежного захисту резервуарів з нафтопродуктами при проведенні планових та аварійних ремонтних робіт. Науково обґрунтовано ефективне та економічно доцільне вирішення даної проблеми.

Ключові слова: резервуар, нафтопродукти, теплообмін, ізоляційний шар, піна.

Постановка проблеми. У резервуарах з легко летючими нафтопродуктами початкова концентрація звичайно перевищує верхню межу запалення. При вентиляванні концентрація пального знижується і пароповітряні суміші неминуче проходять крізь область запалення [1,2,4].

У резервуарах з заважкими нафтопродуктами, що мають температуру спалаху вище температури навколишнього середовища, горючі концентрації парів навіть у стані насичення ніколи не утворюються. Отже небезпека початкового вибуху тут не існує. Однак, реальна небезпека вибуху може з'явитися при локальному загоранні важких залишків, тому що тепло виникаючого вогнища горіння здатне викликати розкладання й випаровування цих залишків з утворенням горючої суміші[3].

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Всі горючі рідини при горінні з вільної поверхні можуть бути розділені на дві групи – що не прогриваються та прогриваються.

До першої групи відносяться гас, дизельне паливо та інші, які при тривалому горінні в резервуарах практично не прогриваються.

До другої групи відносяться сирі нафти, мазут та інші. При тривалому горінні цих рідин утворюється прогрітий киплячий шар, товщина якого безупинно росте й досягає значних розмірів.

Нині відомо, що вирішити питання забезпечення пожежовибухобезпечності на неочищених резервуарах з-під нафтопродуктів при виконанні вогневих, ремонтних і демонтажних робіт можна такими способами [4,5,6]:

- 1.Ізоляція повітряно-механічними та хімічними пінами.
- 2.Ізоляція швидкоотвердуючими пінами.
- 3.Ізоляція порошками.
- 4.Ізоляція плівкоутворювачами.
- 5.Ізоляція негорючими тканинами (волокна, полотно азбестове).

Передбачається, що застосування одного з перерахованих вище способів ізоляції при рішенні поставленого завдання буде більш ефективно, безпечно й економічно вигідно в залежності від конкретних реальних умов проведення пожежно-профілактичних заходів.

Постановка задачі та виділення невирішених частин загальної проблеми. Зазначені способи ізоляції на сьогоднішній день недостатньо вивчені й науково не обґрунтовані, що й буде одним з головних завдань дослідження в даному напрямку.

У першу чергу необхідно дослідити й визначити критичну товщину ізоляційних покриттів ($K_{кр}$), оскільки поки незрозуміло:

а) яка $K_{кр}$ повинна бути, щоб в умовах впливу теплового потоку через шар не виходили гази (пари)?;

б) при яких умовах над поверхнею ізоляційного покриття утвориться локальна вибухонебезпечна концентрація? (див рис. 1 та 2):

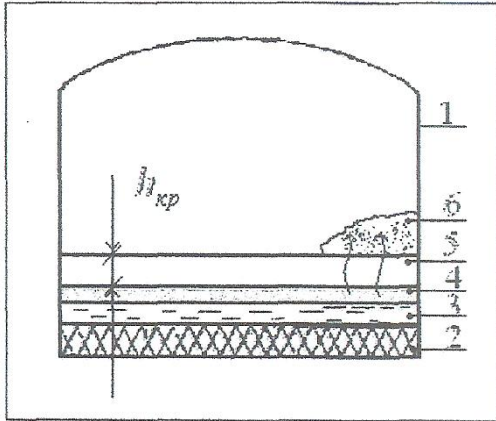


Рис. 1. Схема ізоляції за допомогою пін, плівкоутворювачів та порошків.
1 – резервуар; 2 - відкладення;
3 - вода; 4 – нафта;
5 – ізоляційний прошарок;
6 – локальна вибухонебезпечна концентрація.

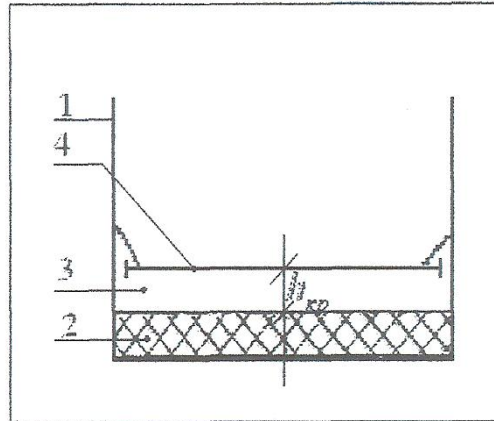


Рис. 2. Схема ізоляції за допомогою негорючих тканин
1 – резервуар; 2 – відкладення;
3 – повітряний прошарок;
4 – негорюча тканина;

в) при ізоляції негорючою тканиною, де вона повинна перебувати: на поверхні відкладень або на певній відстані?

Виклад основного матеріалу досліджень з обґрунтуванням отриманням наукових результатів.

Незалежно від способу ізоляції пароповітряного простору від можливого джерела запалювання теплообмін через ізоляційний шар відбувається як показано на рис.3.

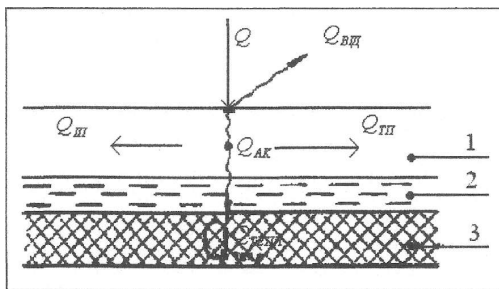


Рис. 3. Схема теплообміну через ізоляційний шар
1 - шар відкладень;
2 - шар нафти (нафтопродукту);
3 - ізолюючий шар.

Умови теплообміну можна виразити наступним рівнянням теплового балансу:

$$Q = Q_{\text{від}} + Q_{\text{ш}} + Q_{\text{ак}} + Q_{\text{тп}}, \quad (1)$$

де: Q - підведене тепло;

$Q_{\text{від}}$ - віддане тепло;

$Q_{\text{ш}}$ - тепловтрати за рахунок теплопровідності ізоляційного покриття;

$Q_{\text{ак}}$ - кількість акумульованого тепла;

$Q_{\text{тп}}$ - тепловтрати через шар ізоляційного покриття й нафти (нафтопродукту).

Одним із завдань дослідження буде уточнення й рішення зазначеного рівняння теплового балансу. Рішення рівняння теплового балансу необхідно, тому що газонепроникність може бути визначена з умови:

$$P_S \geq \Delta P_{\Pi}, \quad (2)$$

де: P_S - тиск насичених парів;

ΔP_{Π} - гідравлічні втрати при фільтрації через ізолюючий шар;

Якщо $P_S < \Delta P_{\Pi}$ - гази (пари) через ізолюючий шар не проникають.

Шар піни, нанесений на поверхню горючої рідини, зверху піддається впливу теплового випромінювання полум'я й потоків гарячих газоподібних продуктів. Теплове випромінювання прискорює процес руйнування незначно [7,9]. Вирішальний вплив, на піну робить, рідина. У порожнину бульбашок пін проникають пари, які збільшують його обсяг доти, поки усередині його парціальний тиск парів горючих рідин не стане рівним тиску насичених парів. З підвищенням температури рідини здатність піни перешкоджати прориву парів різко знижується.

Для кожного виду горючої рідини існує критична температура, при якій піна, нанесена на поверхню цієї рідини, повністю втрачає свої ізолюючі властивості.

При високій температурі рідини розміри бульбашок піни збільшуються настільки, що відбувається прорив пінного шару. Чим дрібніші, бульбашки піни й більше поверхневий натяг розчину піноутворювача, тим вище ізолююча здатність піни.

Руйнування може відбуватися за рахунок адсорбційного витиснення з оболонок бульбашок піни поверхнево-активної речовини, а також проникнення парів горючої рідини (при достатній пружності її пари) у бульбашки піни [8].

При зіткненні піни з більш активною речовиною, чим піноутворювач, останній витісняється із плівок піни. При цьому плівка бульбашок стає слабкою і руйнується.

Піна, що перебуває на поверхні рідини, може руйнуватися також за рахунок прориву парів рідини через шар піни. Пари рідини прориваються через ослаблені ділянки, причому на їхньому місці можуть утворюватися канали, по яких буде йти безперервне виділення парів.

Руйнування піни під дією теплового випромінювання досліджувалося [7,9]. Піна містилася в скляну посудину і піддавалася впливу променистої теплоти від тепловипромінювача, розташованого над поверхнею. У результаті дослідів встановлено, що теплове випромінювання практично не змінює швидкості руйнування піни [9].

Основним, вирішальним фактором вогнегасячої дії піни є ізолююча здатність, тобто створення на поверхні горючої рідини суцільного, паронепроникного шару.

Ізолююча здатність-це здатність піни перешкоджати випаровуванню горючої рідини, яку вона покриває. Ізолююча здатність визначається часом, протягом якого пари рідини проходять через певний шар піни й утворюють над цим шаром пароповітряну суміш, що здатна займатись від джерела запалювання.

Шар піни на поверхні рідини являє собою, газоповітряну суміш в замкнутих мікроб'ємах бульбашок пінної рідини, у якій знижується швидкість випаровування. Крім того рідкі плівки між бульбашками піни також сильно гальмують випаровування горючого за рахунок того, що коефіцієнт дифузії парів через них значно менше, ніж у повітрі [7,8].

Кількість випарованої рідини з відкритої поверхні можна визначити за формулою

$$G = \mu P_s F (0,000352 + 0,000786 W); \text{ кг/г}, \quad (3)$$

де: μ - молекулярна маса рідини;

P_s - парціальний тиск пари рідини над поверхнею рідини, мм.вод.ст.;

F -поверхня випаровування, м;

W -швидкість руху повітря над поверхнею рідини м/с.

Кількість рідини, що випаровується з відкритої поверхні в нерухоме середовище можна визначити за формулою:

$$G = 2C_s \frac{M}{v_t} F \sqrt{\frac{D_t \tau}{3(1-C_s)}} \quad (4)$$

де: C_s -концентрація насичених парів при даній температурі;

M -молекулярна маса пари рідини;

V_t -об'єм грам-молекул парів рідини при температурі випаровування, куб.см;

D -коефіцієнт дифузії з виправленням на температуру, м/год..

Гранично допустима вибухонебезпечна концентрація (ГПВК)дорівнює:

$$\Gamma_{ДВК} = \frac{\varphi^0 H_t}{K_{BE}} \quad (5)$$

Коефіцієнт дифузії при температурі t дорівнює:

$$D_t = D_0 \left(\frac{T}{273} \right)^4 \quad (6)$$

де: D_0 - коефіцієнт дифузії газу або пари в повітрі при тиску 1 атм. і $t=0^\circ\text{C}$.

Концентрація газоповітряної суміші в резервуарі, в ідеальних умовах, буде вибухонебезпечною при:

$$t_n \leq t_p \leq t_v \quad (7)$$

де: t_p - робоча температура рідини в апараті [$^\circ\text{C}$];

t_n , t_v - нижня та верхня температурні межі розповсюдження полум'я [$^\circ\text{C}$].

Концентрація насичених парів визначається за формулою:

$$C_s = \frac{P_s}{P_0} \quad (8)$$

де: P_s -тиск насичених парів визначається за рівнянням Антуана:

$$\ln P_s = A - \frac{B}{t_{\text{рід}} + C} \quad (9)$$

де: A, B, C -константи рівня Антуана;

$t_{\text{рід}}$ - середня температура на поверхні рідини.

У цьому випадку концентрація C_s визначається в об'ємних відсотках, а переведення C_s у вагову концентрацію відбувається за формулою:

$$C_s = \frac{10M C_{s \text{ об.}}}{v_t} \quad (10)$$

Висновки. Використовуючи методику що встановлює залежність між товщиною шару піни й швидкістю випаровування рідини, можна зробити висновок, що для зниження концентрації до безпечних меж для дизельного палива й нафти, досить нанести шар піни товщиною 1-1,5 см.

Для вирішення поставлених завдань досліджень необхідно розробити рекомендації та інструкції, які б регламентували техніку, технологію й пожежовибухонебезпечність способів ізоляції

джерела запалення від горючих речовин для забезпечення пожежовибухонебезпечності в замкнутих об'ємах газоповітряного простору резервуарів з наявністю рідких та газоподібних речовин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение.- М.: Химия, 1991.
2. Гіроль М.М., Ниник Л.Р., Чабан В.Й. Техногенна безпека: Підручник.- Рівне: УДУВГП, 2004.- 452 с.
3. Клепоносов Н.Н., Сорокин А.И. Пожарная защита объектов нефтяной и газовой промышленности.- М.: Недра.- 1983.- 190 с.
4. Михайлюк О.П., Олійник В.В., Мозговий Г.О. Теоретичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів. – Харків: АЦЗУ МНС України, 2004. – 406с.
5. Михайлюк О.П., Сирих В.М. Задачник "Теоритичні основи пожежної профілактики технологічних процесів та апаратів".-Харків.- ХІПБ МВС України, 1998.-119 с.
6. Сучков В.П. Пожарная безопасность при хранении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей на промышленных предприятиях.-М.-1985.-95с.
7. Шароварников А.Ф. К вопросу о механизме контактного разрушения пен органическими веществами // Коллоидн. журн. – 1983. – Т.45 - №3 – С. 616
8. Шароварников А.Ф. О характере взаимодействия горючих гидрофильных растворителей с пенами // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов: Сб.науч.тр. – М.:ВНИИПО, 1982. – С.51.
9. Шароварников А.Ф., Теплов Г.С. Анализ основных соотношений в теории тушения пожаров пенами // Пожарная техника и тушение пожаров: Сб.научн. тр. – М.: ВНИИПО, 1990. – С.111-119.
10. Шароварников С.А., Корольченко А.Я., Кримов А.М.. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров со смесевыми топливами // Пожарная безопасность96: Тезисы докладов Научно практической конференции. – М.: МИПБ, 1996. – С.167-170.

УДК 614.8

Р.М. Федоренко, Ларін О.М., д-р техн. наук, професор, НУЦЗУ,
Шостак Р.М., КНДІСЕ

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ТА НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖУВАНOSTІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ЦИСТЕРН ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

Запропоновано алгоритм визначення та розрахунку параметрів надійності резервуару (залізничної цистерни) з нафтопродуктом з механічними uszkodженнями, що виникають під час експлуатації. Отримані вирази для визначення вірогідності відмови та щільності вірогідності відмови для uszkodженого резервуару з нафтопродуктом. Доведено, що uszkodження некритичного розміру значно впливають на надійність uszkodженого резервуару з нафтопродуктом та на можливість виникнення надзвичайної ситуації

Ключові слова: надійність, накопичення пошкоджуваності, резервуар з нафтопродуктами

Постановка проблеми. Для сталого розвитку транспортного комплексу необхідне гармонійне поєднання технічного розвитку рухомого складу та інфраструктури залізниць з розвинутою системою реагування на надзвичайні ситуації, які можуть виникнути при перевезенні небезпечних вантажів.

Особливо небезпечними є надзвичайні події, які супроводжуються пожежами (вибухами) цистерн з легкозаймистими і горючими рідинами та зрідженими вуглеводневими газами, а також розливанням (викиданням) горючих рідин і сильнодіючих отруйних речовин.

Аварії на залізничному транспорті являють собою небезпечні події техногенного характеру, що призводять до загибелі людей, або створюють на об'єкті чи окремій території загрозу життю та здоров'ю людей, призводять до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу, або завдають шкоду довкіллю.

Ситуація, що склалася, змушує суттєво посилити контроль за технічним станом резервуарів (ємностей) для зберігання та перевезення нафтопродуктів [8]. Важливим питанням, таким чином, є визначення граничних розмірів ушкоджень типу вм'ятин для різних місць виникнення цього ушкодження, а також для прогнозування надійності залізничної цистерни в експлуатації, що пов'язана з розгерметизацією ушкодженої цистерни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В процесі експлуатації котли цистерн, що використовуються для транспортування нафти і нафтопродуктів, накопичують ті або інші пошкодження і поступово знижують свої технічні кондиції. Питання фізичного зносу казанів цистерн найфундаментальніше розглядалися в роботах [1-3], а питання підвищення надійності використовуваного парку цистерн в роботах [4-6]. Проте управлінню надійністю цистерн в експлуатації, що враховує механічні ушкодження, і дозволяє продовжувати терміни корисного використання з погляду надійності приділена недостатня увага.

Постановка завдання та його вирішення Реальна експлуатація залізничних цистерн зв'язана з випадковими пульсаціями навантажень. Дійсний рух поїзда відбувається з деяким довільним розкидом швидкості руху навколо її середнього значення, нерівності шляхів мають випадковий характер через розкид неточностей стиків сусідніх рейок і через невизначеність рельєфу, по якому буде направлений потяг. Випадкове навантаження, очевидно, викликає випадкові вібрації цистерн. Останнє приводить до необхідності вирішувати кінетичні рівняння накопичення пошкоджуваності

$$\sigma_{ae} = \sigma_a + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \cdot \sigma_m \quad (1)$$

або

$$D(t) = \int_0^t \frac{\sigma_a^m \cdot \omega_e \cdot dt}{N_0 \cdot \sigma_{-1}^m} \quad (2)$$

в імовірнісній постановці.

При цьому як модель відмови виступає рівняння

$$\frac{dD}{dt} = F(D(t), y(t), R) \quad (3)$$

а параметром працездатності Z є пошкодженість D , область працездатних станів Ω : $D \in [D_0, D_c]$. Таким чином, прогнозування надійності слід виконувати по наступних етапах:

1) рішення задачі статистичної динаміки (випадкових коливань) - визначення імовірнісних характеристик відгуку системи по заданих імовірнісних характеристиках параметрів системи і зовнішньої дії;

2) визначення механізму накопичення мікрodefektів в матеріалі з часом (модель відмови: втома, корозія, повзучість. - визначення виду функції $F(D, y, r)$ в рівнянні (3))

3) рішення задачі обчислення імовірнісних характеристик пошкодженості по відомих імовірнісних характеристиках відгуку системи і параметрах конструкційної міцності;

4) визначення параметрів надійності (вірогідність безвідмовної роботи, ризик, характеристики ресурсу).

Слід зазначити, що при вирішенні кінетичного рівняння еволюції пошкодженості в імовірнісній постановці не можна залишатися в рамках кореляційної теорії, оскільки для визначення основних показників надійності на стадії проектування необхідно мати одновимірні і, іноді, двовимірні щільності вірогідності.

Дійсно, основні параметри надійності (ресурс, ризик, вірогідність відмови) системи визначається по вірогідності безвідмовної роботи, а вірогідність безвідмовної роботи це події, що полягають в знаходженні параметра працездатності в рамках області працездатних станів. З урахуванням введених визначень і позначень

$$R : D(t) \in \Omega \quad (4)$$

$$P(t) = \Pr[R] = \Pr[D(t) \in \Omega] = \int_{\Omega} f_D(D, t) dD \quad (5)$$

або

$$\Omega = [D_0, D_c] \Rightarrow R : D(t) \in [D_0, D_c] \quad (6)$$

$$P(t) = \Pr[D(t) \in [D_0, D_c]] = \int_{D_0}^{D_c} f_D(D, t) dD \quad (7)$$

Для цього доцільно представити інтеграл у виразі (2) у вигляді ряду:

$$D(t) = \eta \cdot \sum_{i=1}^K \sigma_a^m(t_i) \cdot \Delta t \quad (8)$$

Кількість доданків в ряду можна узяти скільки завгодно великим, зменшуючи при цьому крок дискретизації Δt . Проте для процесів відмінних від шумів (наприклад, випадкові коливання механічних систем є вузько смуговими процесами або суперпозицією таких процесів) кореляційна функція відмінна від нуля на деякому проміжку часу. Таким чином, крок дискретизації для коректної інтеграції повинен бути більшим ніж час кореляції. Разом з тим збільшення кроку дискретизації більш ніж час кореляції приводить до некоректної інтеграції амплітуд напруги за допомогою ряду (8). В зв'язку з цим крок інтеграції слід строго задати рівним часу кореляції випадкових коливань.

При цьому слід контролювати кількість доданків в ряду, оскільки формально цей ряд при введених обмовках буде сходиться до інтеграла, але число доданків може бути вже не достатньо великим для того, щоб задовольняти умовам центральної граничної теореми теорії ймовірності.

Таким чином, пошкоджуваність $D(t)$ - підкоряється нормальному закону Гауса, а рішення задачі визначення її імовірнісних характеристик зводиться до обчислення параметрів розподілу.

Математичне очікування може бути обчислене безпосереднім застосуванням оператора усереднювання до виразу:

$$m_D = \langle D(t) \rangle = \left\langle \frac{1}{T_\lambda \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m} \cdot \int_0^t \sigma_a^m(t) \cdot dt \right\rangle = \frac{1}{T_\lambda \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m} \cdot \int_0^t \langle \sigma_a^m(t) \rangle \cdot dt \quad (9)$$

$\langle \sigma_a^m(t) \rangle$ – m-й момент амплітуд напруження. З урахуванням того, що випадкові коливання розглядаються, як стаціонарні m-й момент такого випадкового процесу є постійною величиною.

$$m_D = \frac{\langle \sigma_a^m \rangle}{T_e \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m} \cdot \int_0^t dt = \frac{\langle \sigma_a^m \rangle}{T_e \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m} \cdot t = k_1 \cdot t, \quad (10)$$

$$k_1 = \frac{\langle \sigma_a^m \rangle}{T_e \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m}, \quad \langle \sigma_a^m \rangle = \int_0^\infty \sigma_a^m \cdot f(\sigma_a) d\sigma_a, \quad (11)$$

де $f(\sigma_a)$ – щільність вірогідності амплітуд напруги (підкоряється закону Релея).

Таким чином, накопичення пошкоджуваності є нестационарний випадковий процес, математичне очікування якого змінюється по лінійному закону.

Аналогічно визначається дисперсія пошкоджуваності як функція часу.

$$\sigma_\psi^2 = \frac{k_1^2}{\xi} \cdot t, \quad (12)$$

де ξ – коефіцієнт загасання кореляційної функції напруження.

Розглядаючи накопичення пошкоджуваності при експлуатації цистерни з вм'ятинами не критичного розміру отримаємо характерні залежності накопичення пошкоджуваності під час реальної експлуатації (рис. 1).

По відомих значеннях параметрів випадкового накопичення пошкоджуваності можуть бути визначені значення середнього і гарантованого ресурсу.

$$T_{cp} : m_D = 1; \quad T_{гар} : m_D + 3\sigma_D = 1; \quad T_{max} : m_D - 3\sigma_D = 1$$

Рішення першого рівняння може бути знайдене аналітично з лінійного рівняння:

$$T_{cp} : k_1 \cdot t = 1 \Rightarrow T_{cp} = t = \frac{1}{k_1} \Rightarrow T_{cp} = \frac{T_\lambda \cdot N_0 \cdot \sigma_{-1}^m}{\langle \sigma_a^m \rangle} \quad (16)$$

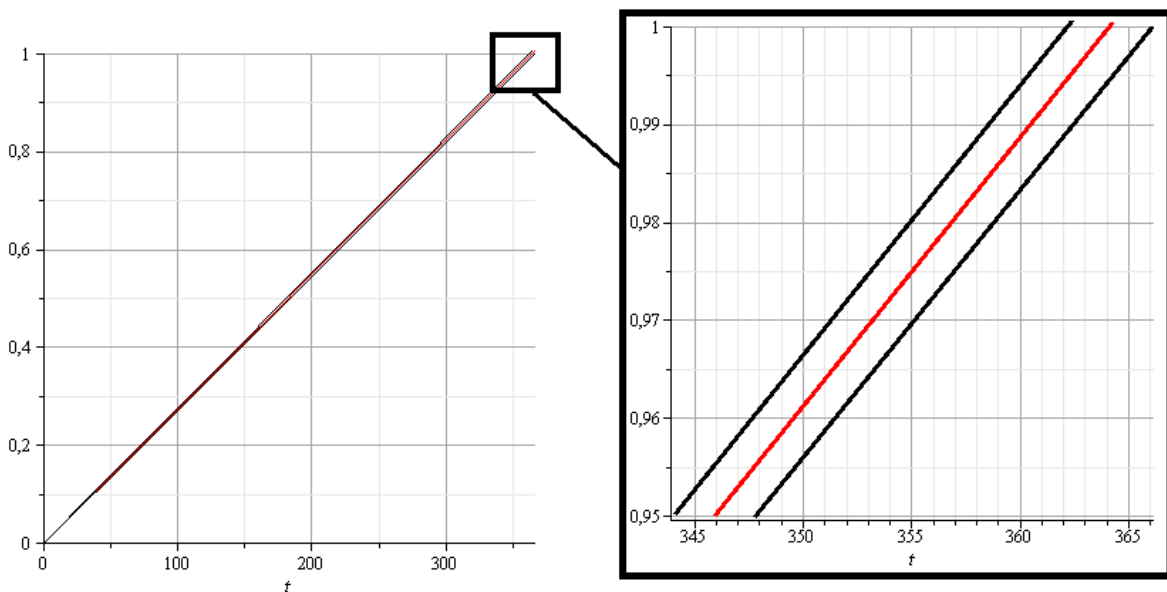


Рисунок 1 – Імовірнісні параметри пошкоджуваності накопичуваної у експлуатованій цистерні з вм'ятиною

Гарантований ресурс визначається вирішенням нелінійного алгебраїчного рівняння

$$T_{гар} : k_1 \cdot t + 3 \frac{k_1}{\xi} \sqrt{t} = 1$$

Певні імовірнісні характеристики нестационарного процесу накопичення пошкоджуваності дозволяють визначити одновимірну щільність вірогідності пошкоджуваності, як функцію пошкоджуваності і часу. Дійсно через центральну граничну теорему пошкоджуваність підкоряється нормальному закону Гауса, який з урахуванням своїх параметрів, як функцій часу, отримає вигляд

$$f_D(D, t) = \frac{\xi}{\sqrt{2\pi} \cdot k_1 \cdot \sqrt{t}} \cdot \exp\left(-\frac{\xi^2 (D - k_1 t)^2}{2 \cdot k_1^2 t}\right) \quad (17)$$

На рисунку 2 приведено поле щільності вірогідності пошкоджуваності в часі. У смугу червоного кольору потрапляє реалізація пошкоджуваності з вірогідністю 30%, в жовту і червону 64,2%, в зелену по 13,6%, в синю по 2,1% (в цілому всі можливі реалізації лежать в кольоровій смузі).

Всі параметри надійності можуть бути легко знайдені через щільність вірогідності пошкоджуваності.

Так за визначенням вірогідність безвідмовної роботи визначається як:

$$P(t) = \Pr[D \in \Omega] = \Pr[0 \leq D \leq 1] = \int_0^1 f_D(D, t) \cdot dD \quad (18)$$

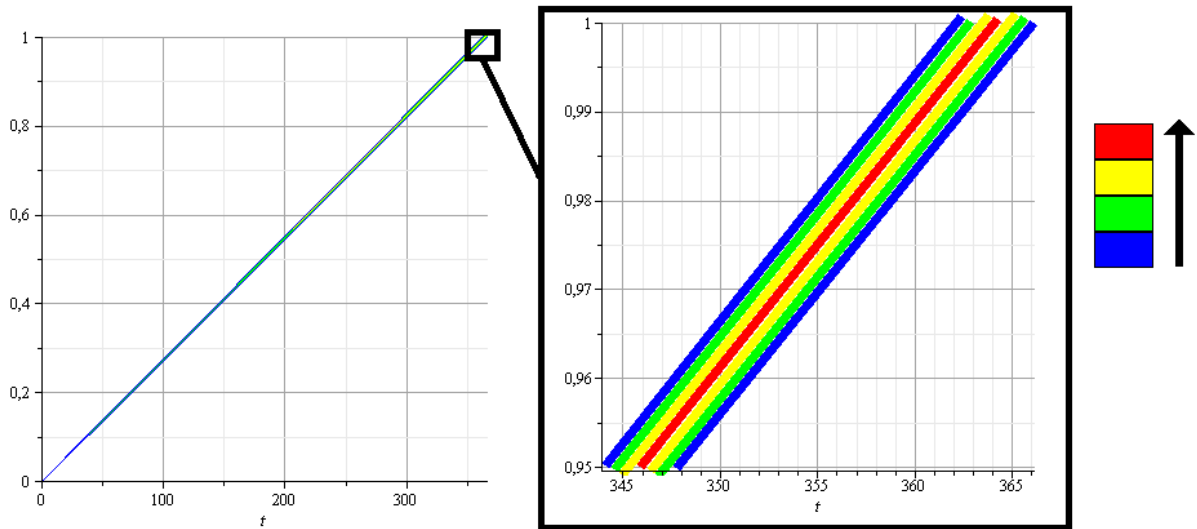


Рисунок 2 – Одновимірна щільність вірогідності пошкоджуваності

Розрахунки по формулі (18) для пошкоджень різного розміру приведені на рис. 3.

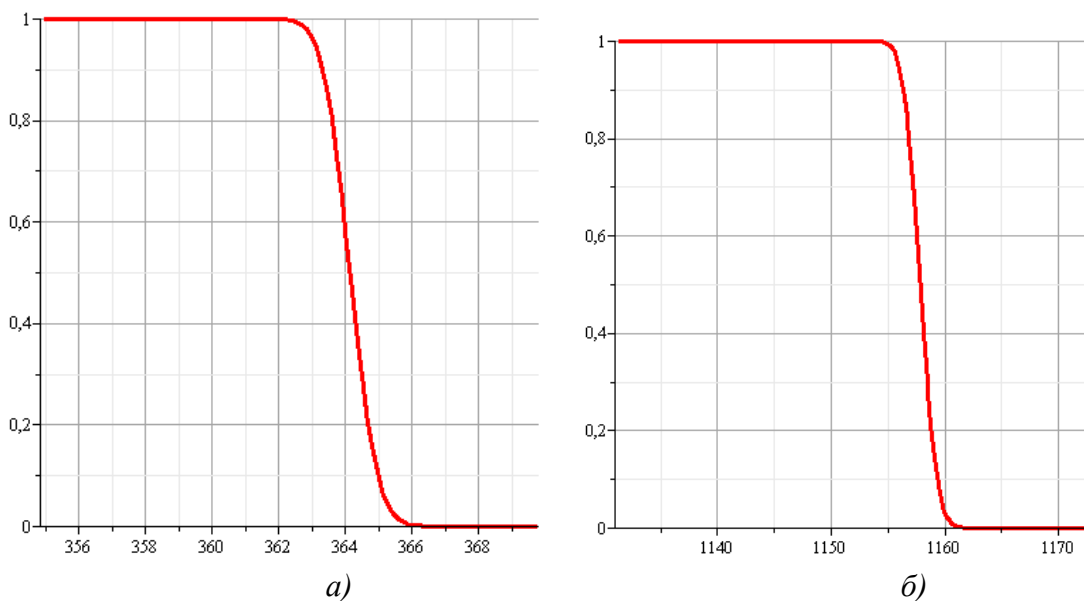


Рисунок 3 – Вірогідність безвідмовної роботи, визначена для відмов багато циклової втоми

При підстановці в (17) (18) виходить відома в математиці узагальнена функція – функція помилки. Дана функція табульована в широкому діапазоні значень, а також має асимптотичне розкладання, яке добре сходиться, що дозволяє для кожного значення часу визначити вірогідність безвідмовної роботи.

Через функцію вірогідності безвідмовної роботи можна обчислити решту всіх параметрів надійності: вірогідності відмови Q , щільності вірогідності відмови q .

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (19)$$

$$q(t) = -\frac{dP}{dt} \quad (20)$$

Розрахунки по формулі (19) для пошкоджень різного розміру приведені на рис. 4, а по формулі (20) – на рис. 5.

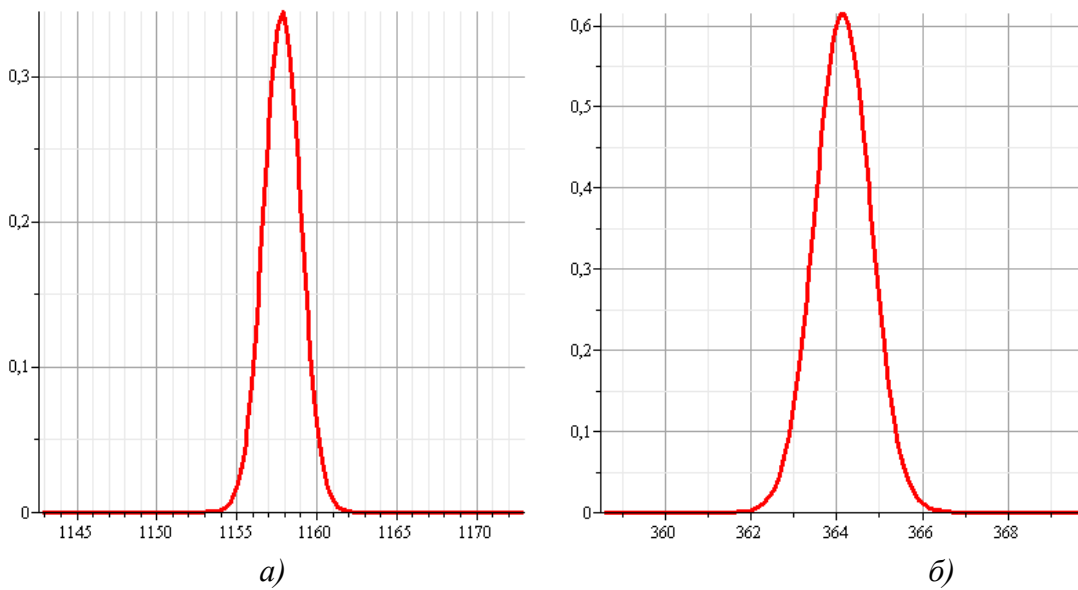


Рисунок 4 – Щільність вірогідності відмови
 а) – вм'ятина з глибиною 5 см; б) – вм'ятина з глибиною 12 см

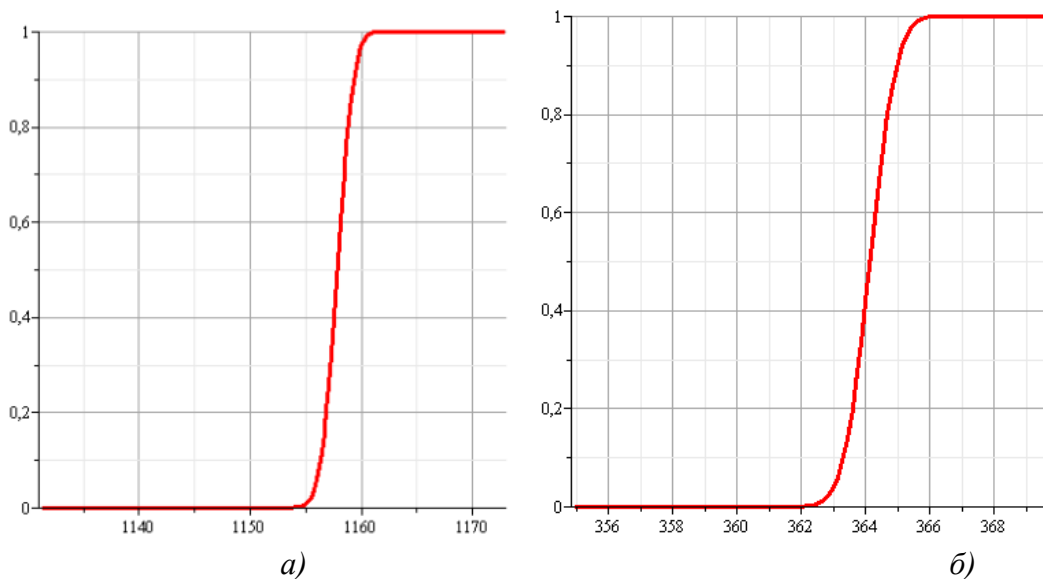


Рисунок 5 – Вірогідність відмови
 а) – вм'ятина з глибиною 5 см; б) – вм'ятина з глибиною 12 см

Висновки. Проведені розрахунки показують, що при наявності ушкодження котла [9] цистерни навіть не критичного розміру накопичення ушкоджень при дії багато циклової втоми можуть призвести до втрати цілісності котла цистерни, виникнення наскрізних ушкоджень, витікання продукту перевезення з котла, і, як наслідок, до виникнення надзвичайної ситуації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеленько Ю.В., Плахотник В.Н., Ярышкіна Л.А. Ликвидация экологических последствий железнодорожных аварий с нефтепродуктами // Залізничний транспорт України. -Кит, 2005, №2, С. 59-62.
2. Третьяков А. В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов. СПб.: ООО «Издательство «ОМ-Пресс», 2004. 348 с.
3. Смольянинов А. В. Анализ конструктивного исполнения котлов цистерн для перевозки опасных грузов за рубежом // РЖ ВИНТИ «Железнодорожный транспорт». – 1989. – №10. – С. 97.
4. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность.- М.: Мир, 1965.- С. 210.
5. Егоров Е.А. Проблемні аспекти методу граничних станів і можливі шляхи їх вирішення//Металеві контрукції.-Макіївка: ДонДАБтаА, 1999.-Т.2.-№1.-С.23-25
6. Третьяков А. В. Управление индивидуальным ресурсом вагонов. СПб.: ООО «Издательство «ОМ-Пресс», 2004. 348 с.
7. Жовдак В.А., Тарасова Л.Ф. Прогнозирование надежности механических систем: Учеб.-метод. пособие, Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. 108 с.
8. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т./ За ред. В.С.Білецького – Донецьк: «Донбас», 2004. – 966-7804-14-3.
9. Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.: ил.

УДК 656.1

Яценко І.П., Каракоця А.В., Поліщук В.Д.

МЕТОД ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ І ДИНАМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ДВИГУНА

В статті викладена актуальність застосування озонатора для двигуна внутрішнього згорання. Проведено кілька досліджень.

Ключові слова: автомобіль, іонізатор повітря, детонація .

Аналіз спостережень. Із багаторічного досвіду керування автомобілем можна помітити цікаву річ - автомобіль завжди має більшу потужність після дощу. Це можна пояснити тим, що під час грози, або дощу приземна атмосфера насичується негативними іонами, що позитивно впливає на якість згорання паливної суміші в циліндрах двигуна. Таким чином, якщо примусово наситити паливну суміш негативними іонами, то можна отримати такий же результат. Задача полягає в тому, щоб побудувати електронний пристрій для створення негативних іонів з повітря та насичення ними паливної суміші. Конструкція іонізатора повітря відома, але вона розроблялась для інших цілей, тому для використання в двигуні внутрішнього згорання не підходить.

З підручних матеріалів був зібраний іонізатор повітря і встановлений перед повітряним фільтром системи живлення карбюраторного двигуна. Для дослідження ефективності застосування іонізатора в лабораторних умовах було використано силовий агрегат пожежного автомобіля ЗІЛ-130.

До лабораторної установки входили:

1. Двигун ЗІЛ - 508.100 400-64 , бензин А-76;
 - кількість циліндрів – 8;
 - потужність кВт (л\с) 110 (150);
 - робочий об'єм (л) - 6;
 - оберти мінімальні – 550, максимальні - 3200.
2. 5-ти ступенева коробка перемикачів передач (ЗІЛ-130);
3. Спеціальний барабан для прикладання та зміни навантажень на силовий агрегат.

В результаті використання цього іонізатора - вже через 30 хв, роботи двигуна при обертах 1200-1800 об\хв на 3-й передачі з середнім навантаженням, робота двигуна помітно поліпшилась. А вже через 1,5 години роботи на 4-й передачі при обертах двигуна 1500-2200 об\хв з таким же навантаженням, якість і його потужність значно підвищилась. Тепер уже можна було легко розпочати обертати барабан з навантаженням з 2-ої передачі, та легко перейти до вищих передач з незначним збільшенням обертів і це не становило жодних проблем. Двигун впевнено набирає оберти без провалів і детонації. Із використанням іонізатора двигун має кращу динаміку в інтервалі 1500- 2000 об\хв., хоча максимальна потужність розвивається при 3200 об\хв .

Режим роботи бензинового двигуна характеризується частотою обертання n і кутом відкриття дросельної заслінки $\phi_{др}$. Як видно із рис 1. до 78% год, встановлений двигун працює із відкритою дросельною заслінкою до 50% частота обертів не перевищує 1300-2000 об\хв⁻¹ (до 70% год).

З іонізатором динаміка рівномірна на всіх обертах, навіть з навантаженням при різкому збагаченню пальної суміші, максимальні оберти двигун набирає миттєво. Можна сміливо заявити, причиною зменшення потужності двигуна на великих обертах більшою частиною є нагар в циліндрах двигуна.

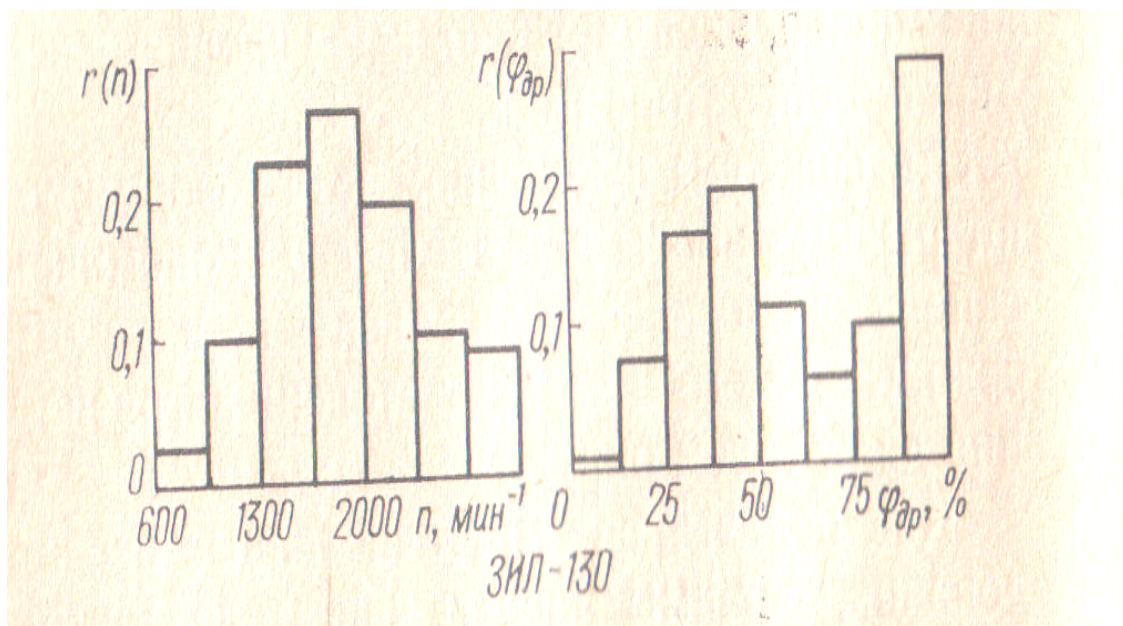


Рис 1.

Мал. 3. Розподіл навантажувальних режимів роботи двигуна.

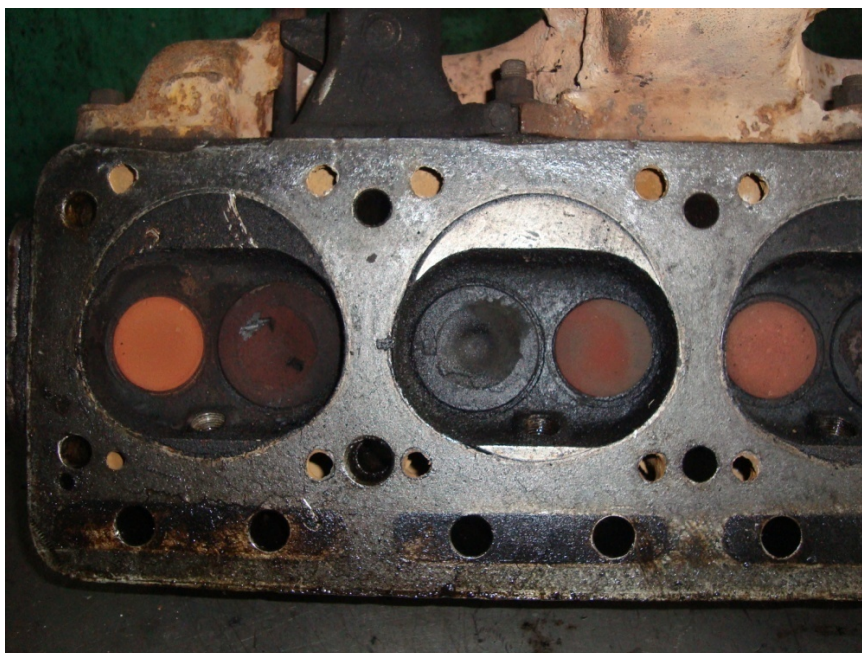


Рис 2.

Головка блока (камера запалення) автомобіля ЗІЛ-130 до використання іонізатора повітря.

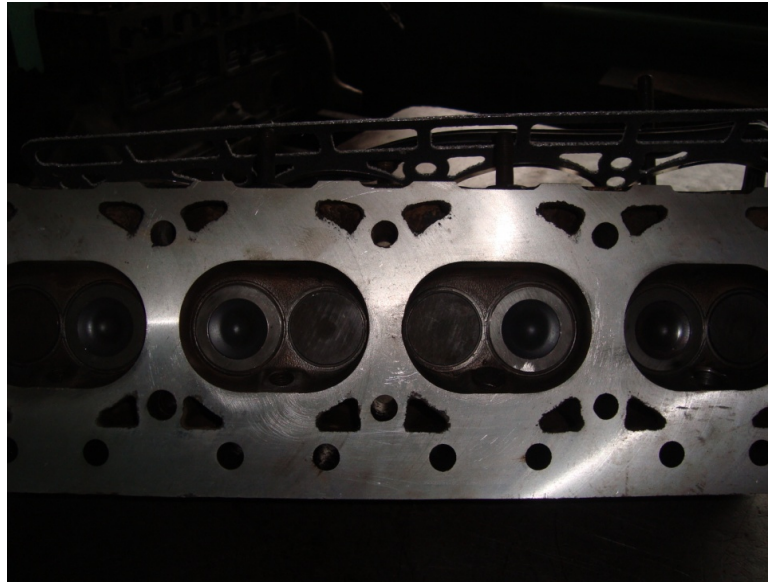


Рис 3.

Головка блока (камера запалення) автомобіля ЗІЛ-130 після використання іонізатора повітря.

Ще у більшості присутній такий момент – під час роботи двигуна на обертах 200 – 1300 об/хв різко відкриваючи дросельну заслінку, деякий час двигун не реагує. Лише через дві-три секунди поступово починаються збільшуватися оберти двигуна. Можна з упевненістю заявити, що не в карбюраторі і запалюванні пальної суміші справа, а у нагарі в камерах згорання циліндрів двигуна. Навіть легкий коричневий нагар може провокувати аномальне горіння пальної суміші.

Застосувавши цей іонізатор на пожежному автомобілі та експлуатуючи його в різні погодні умови швидкість горіння пальної суміші має широкий діапазон. Якщо після грози автомобіль рухається з легкістю і при різкому збільшенні обертів можна навіть не спостерігати детонації, то в туман або перед грозою, з'являється сильне гальмування двигуном, детонація, двигун працює на великих обертах, а динаміка знижується. У таку погоду відбувається активне накопичення нагару в камерах згорання за рахунок вологості повітря.

Широке використання режимів малих навантажень самостійного і примусового холостого ходу являється причиною підвищеного викиду в атмосферу перш за все продуктів неповного згорання. На рис 4. Показані залежності викидів шкідливих речовин (G_{CO} , G_{CH} , G_{NOx}) і повітря (G_B) в залежності від кута відкриття дросельних заслінок $\varphi_{др}$ двигуна ЗІЛ -130 при частоті обертання 2000 об/хв⁻¹.

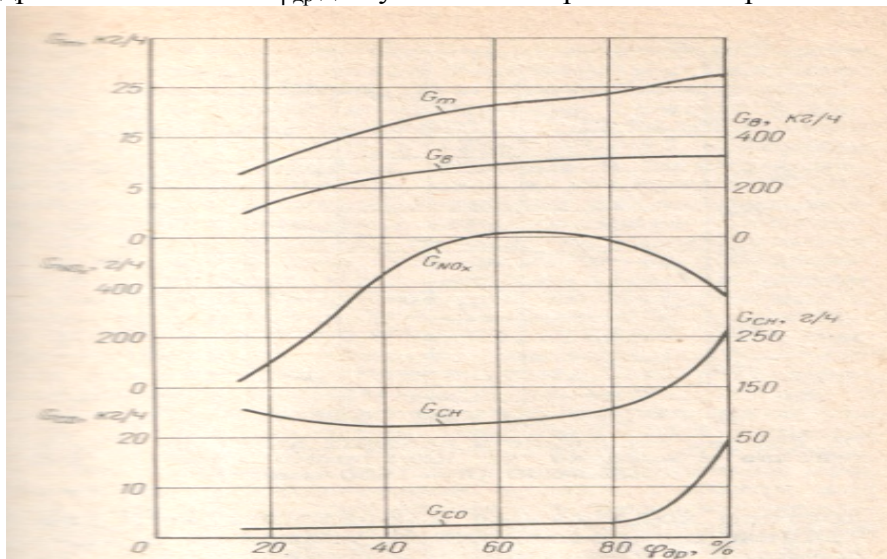


Рис 4.

Графік залежності шкідливих викидів і розходу палива і повітря від кута відкриття дросельних заслінок двигуна ЗІЛ-130 ($n=2000 \text{ хв}^{-1}$.)

Для зменшення споживання палива та викидів CO впроваджували пристрій додаванням води в паливну суміш, нагар був відсутній, CO практично пропало і двигун працював добре. Тому на процес горіння впливає не вода, а наявність негативних іонів у навколишньому повітрі.

В лабораторії автомобільної техніки Академії пожежної безпеки був розроблений пристрій який дозволив змітувати вищеописаний склад повітря і використати його в практичній роботі. Він являє собою високовольтний перетворювач низької бортової напруги автомобіля + 12 вольт у високу, яка дорівнює приблизно 30 кВ. Пропускаючи повітряну суміш через металевий циліндр на корпусі якого знаходиться - 30 кВ, а на стержні який встановлено в центрі циліндра - + 30 кВ ми отримуємо іонізовану повітряну суміш.

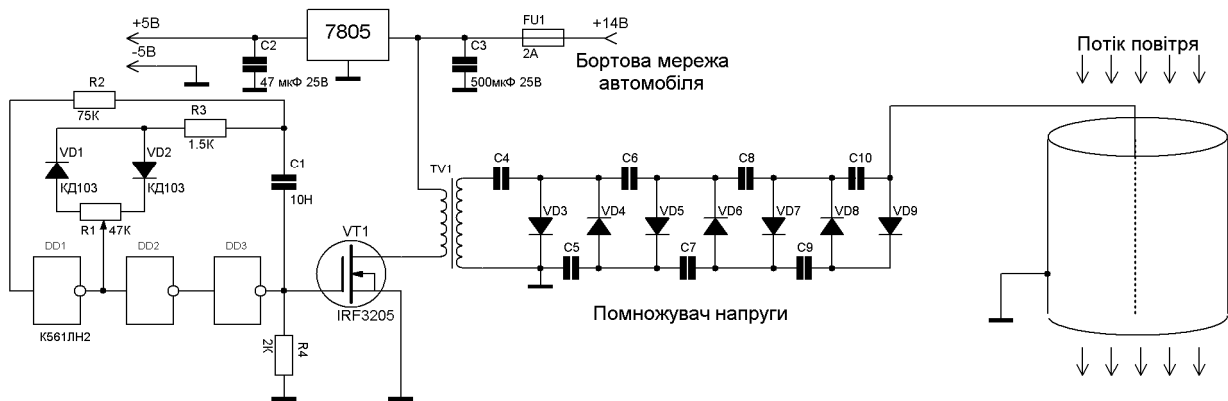


Рис 5. Електрична схема іонізатора.

Застосування польового транзистора дозволяє максимально спростити схему. Високовольтні конденсатори в помножувачі краще використовувати такого типу який вказаний, велика ємність при малих габаритах і зручно з ними працювати.

Розрахунок трансформатора помножувача

Особливі вимоги: забезпечити заданий коефіцієнт спотворень плоскої вершини імпульсу $\gamma_i = U_{2R}/U_2$ і величину фронтів t_ϕ імпульсу загальною тривалістю t_u (рис 6). Особливість робочого процесу Т-однополярне намагнічування сердечника по частному циклу від залишкового значення B_r до B_n (в межі $B_n = B_S$)

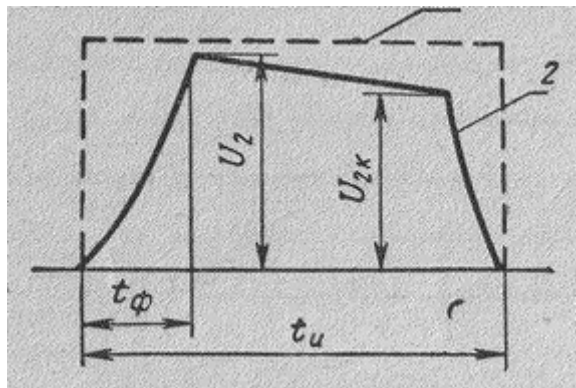


Рис 6. Параметри імпульса напруги: 1-ідеальний імпульс; 2-реальний.

УТ в звичайному виконання для блокінг-генераторів (Б-Г) та інших пристроїв мають масу до 200г, максимальний розмір до 50мм. Середній струм Т на феритових тороїдальні осердя досягає 100мА, на розрізних ЛЗ-800мА. Основні параметри УТ дані в табл. 1.

Тип УТ	Область застосування	Тривалість.		Напруга обмотки $I U_1, V$	k_T для обмоток	
		мкс			II	III
		імпульс t_i	Фронтів t_f			
Звичайне виконання						
ИТ	При високих умовах до форми імпульса	0,1-20	0,05-0,5	125	1,4-1,5	1
ИТМ	Прилади на електронних лампах	0,05-8	0,01-0,8	175	1	1
ИТП	Прилади на напівпровідникових пристроях	0,1-1000	0,05-5	10	0,2	0,05-1
Теплостійке виконання						
ИТТ	Спеціальні Б-Г і електронні схеми з напругою до 1600 В	0,05-20	0,03-4	85-1600	1-0,3	1-0,3
ИТТП	Напівпровідникові Б-Г	0,7-15	0,3-0,9	5-15	0,3	0,3-1
ИТТС	Напівпровідникові відео підсилювачі	0,7-5	0,5-0,8	0,7-1,3	0,5-0,1	-

Таблиця 1. Основні параметри уніфікованих імпульсних Т.

Кращу форму імпульсу забезпечують стрижневі й тороїдальні Т, а при малій потужності - на феритових сердечниках. Бажано мати максимальне збільшення індукції $\Delta B = B_n - B_r$, в межі $\Delta B = B_s - B_r$. Тому сплави з прямокутною петлею гістерезису непридатні. Для зменшення залишкової індукції B_r іноді вводять зазор або розмагнічування сердечника від джерела постійного струму. Кращі матеріали - сталь Е340-360, сплави 50Н, 35НКМП, ферити НМ, ПН. Значення ΔB вибирають у функції потужності (зазвичай 0,1-0,5 тесла). Товщина магнітного матеріалу Δs (з

умови обмеження екрануючої дії вихрових струмів):

$$\Delta_c = \sqrt{\frac{V}{\mu_{\Delta}}}, \quad (1)$$

де t_u тривалість імпульсу

ρ_c -питомий опір матеріалу

μ_{Δ} -диференціальна магнітна проникність, яка дорівнює $\Delta B / \Delta H$.

Величина μ_{Δ} при цьому матеріалі залежить від тривалості імпульсу, збільшуючись з ростом t_u і навпаки, а також від Δ_c .

Визначення розмірів сердечника

Об'єм

(2)

Де μ_{Δ} - диференціальна магнітна проникність, яка дорівнює $\Delta B / \Delta H$;

$\Delta B = B_s - B_r$ - максимальний приріст індукції;

P – потужність;

t_u – тривалість імпульсу;

Переріз

$$S_c = k_c \sqrt{V_c \left(\frac{S_c}{l_c} \right)}, \quad (3)$$

де середня довжина магнітної лінії

$$l_c = k_c S_c \left(\frac{l_c}{S_c} \right), \quad (4)$$

Де k_c -коефіцієнт заповнення (табл. 2). Значення $S_c / l_c = 0,15-0,35$, $b / a = 1$ ч 2

Марка матеріала	Коефіцієнт k_p
Э310-Э330	1,8-2,2
Э340-Э360	1,5-1,8
50Н, 33НК МС	1,5-,1,8
79НМ, 80НХС	2,5-3,0

Таблиця 2. Зростання втрат з ростом частоти в розрізних сердечниках

Розрахунок електричних параметрів

Число витків обмоток:

$$\omega_1 = \frac{U_1 t_n * 10^{-2}}{k_c S_c \Delta B}, \quad (5)$$

t_n – довжина імпульсу в мікросекундах;

u_1 – напруга першої обмотки в вольтах;

$$\omega_2 = \omega_1 \frac{U_2}{U_1}, \quad (6)$$

де u_2 - напруга другої обмотки в вольтах;

Тривалість t_i береться в мікросекундах.

Опір обмоток

$$, \quad (7)$$

Де r_i знаходять за даними табл. 12.1, коефіцієнт збільшення опору k_r внаслідок поверхневого ефекту та наведення вихрових струмів прямокутним імпульсом напруги становить: для обмоток високої напруги 3-4,5 (коефіцієнт k_r зростає в міру збільшення числа шарів і зменшення тривалості імпульсу t_i)

Щільності струму J можна збільшити проти звичайних для даних розмірів T в $\sqrt{\frac{q_p k_r}{\dots}}$ раз, где q_p коефіцієнт тривалості роботи. Максимальний струм намагнічування (до кінця імпульсу)

(8)

Втрати: в сердечнику $p_c = p_{вт} + p_\mu$, де втрати на вихрові струми

$$= \quad (9)$$

на намагнічування

$$p_\mu = I_{0\mu} U_1 \text{ Вт.} \quad (10)$$

Коефіцієнт спотворення $\gamma_i = I_{0\mu} / I$, де I -наведений струм навантаження: Якщо γ_i більше заданої величини, збільшують розмір сердечника.

Допустимі паразитні параметри:

1

(12)

(13)

$R'_н$, - приведені до первинної обмотці опір (Ом) і ємність навантаження (Ф)

еквівалентний опір втрати в осерді (Ом)

$$r_c = \frac{1,2 k_c S_c \omega_1^2 \rho_c 10^3}{l_c \Delta_c^2}$$

параметр θ знаходять з графіка 3, у функції $\gamma_-(\theta)$ і величини $R'_н$, де $R'_н$ - опір джерела е. д.

с. Значення параметра γ_{Π} (рис 7.) в залежності від величин γ_R и $\frac{t_{\Phi}}{C R_{nc}^*}$. Перевірка величин L_s і C_e проводиться виходячи з конструктивних даних за допомогою табл.3. Характер перехідного процесу визначається параметром

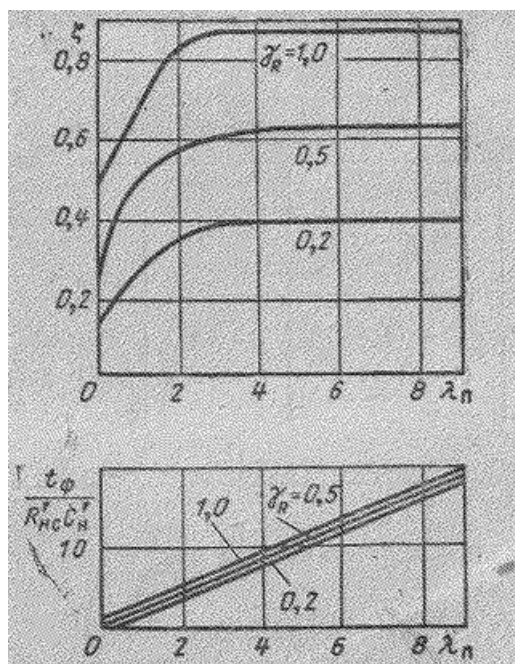


Рис 7. До розрахунку паразитних параметрів ІТ.

Параметри узгоджуючих трансформаторів

Параметри	Тип трансформатора			
	ТВЛ	ТБГ	ТОЛ	ТОГ
Індуктивність первинної обмотки L_1, Γ	0,16-16	0,35-175	1-11	0,02-8
Вхідний опір, Ом	$50-20 \cdot 10^3$	$50-500 \cdot 10^3$	$(1,7-37) \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^1 - 22 \cdot 10^3$
Потужність В.А	-	-	0,1-6,3	0,025-25
Вага, г	15	6-35	18-100	18-100

Таблиця 3. Перевірка величин L_s і C_e проводиться виходячи з конструктивних даних.

Характеристика перехідного процесу визначається відношенням

(15)

Якщо відношення більше одиниці, має місце аперіодичний процес, якщо менше – коливальний.

Результатом проведення розрахунків повинна бути конструкція підвищувального трансформатора для помножувача. Для сердечника трансформатора використовуємо феритовий прямокутний сердечник висотою 60 мм шириною 50 мм і товщина 20 мм. Первинна обмотка складається із 9 витків дроту ПЕЛШО – 0,5 розміщений зліва на довжині 1 см. Вторинну обмотку використовуємо від трансформатора стрічного розвертання транзисторного телевізора і розміщуємо на правій стороні трансформатора. Після цього стягуємо трансформатор металевою скобою та заливаємо епоксидною смолою. Після висихання смоли встановлюємо трансформатор в конструкцію.

Висновки:

1. При першій установці іонізатора на пожежний автомобіль, кут випередження запалення буде йти в позитивну сторону за рахунок видалення нагару з камер згоряння (детонація зникає). Однак при його відключенні кут випередження запалення може ще істотніше збільшитися. В подальшому динаміка автомобіля зменшується до попередніх показників. Після значного пробігу з іонізатором при його відключенні відчувається зменшення потужності двигуна.
2. Двигун з іонізатором прогрівається швидше, але підвищена температура горіння паливної суміші впливає на роботу двигуна. Через 25000 км пробігу з іонізатором отримуються тільки позитивні показники. Паливна суміш горить швидше, що вказує на появу детонації після включення іонізатора, тому доводиться зменшувати кут випередження запалення на 1-3 градусів. Але якщо не використовувати іонізатор, то кут випередження запалення все одно доведеться зменшувати на кілька градусів через утворення нагару.

3. Схема добре себе зарекомендувала, хоча проста і далека від ідеалу. Дуже якісні зазначені польові транзистори. Під час роботи двигуна на холостих оборотах температура радіатора транзистора буде високою, але схема працює без нарікань. Принаймні, ці транзистори в подібних умовах працюють бездоганно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Варламов Р.Г. Короткий довідник конструктора радіоелектронної апаратури.
2. Агафонов О. П., Плеханов І. П., Рублях В. Е., Шестопапов К. С. Автомобіль. - К.: Освіта, 1992.
3. Алексеев В. П., Иващенко Н. А., Ивин В. И. и др. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. - М.: Машиностроение, 1980.
4. Михайловский Е. В., Серебряков К. Б., Тур Е. Я. Устройство автомобиля. Учебник для учащихся автотранспортных техникумов. - М.: Машиностроение, 1987.
5. Вишняков Н. Н., Вахламов В. К., Нарбут А. Н. и др. Ав-томобиль. Основы конструкции. - М.: Машиностроение, 1986.

ABSTRACTS / АННОТАЦІЇ

UDC 504.3.054

S. Azarov, Dr. Of Sc. (Eng), V. Sidorenko, Cand. Of Sc. (Eng), O. Rudenko, A. Pruskyi, Cand. Of Sc. (Eng)

**INVESTIGATION OF ^{137}Cs ENTERING INTO ATMOSPHERE AIR
DURING FOREST FIRES IN CHERNOBYL ZONE**

The changes of ^{137}Cs content in combustion products were studied during forest fires in Chernobyl zone.

Key words: forest fire, Chernobyl zone, caesium-137.

УДК 504.3.054

С.И. Азаров, д. т. н., с. н. с., В.Л. Сидоренко, к. т. н., Е.В. Руденко, А.В. Прусский, к. т. н.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ ^{137}Cs В ВОЗДУХ
ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ**

Исследовались изменения содержания ^{137}Cs в продуктах горения при пожарах в лесах Чернобыльской зоны.

Ключевые слова: лесной пожар, Чернобыльская зона, цезий-137.

UDC 614.841

A.B. Babich, A.A. Barchan, A.B. Bukhantsov, S.D. Muravyov, A.L. Troyan

DEVICE FOR EXTINGUISHING (INERTING) COMPOSITION FOR METAL BARRIER

The dynamic telescopic design providing a punched hole of a metal wall and a lining of a highway for giving of structure in an emergency cavity is offered. Possibility of realization of the device is mathematically well-founded and the variant of its design is resulted.

Key words: device, a metal barrier, fire extinguishing and inerting composition, feed composition.

УДК 614.841

О.В. Бабич, О.О. Барчан, А.В. Буханцов, С.Д. Муравйов, А.Л. Троян

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПОДАЧІ ВОГНЕГАСНОГО (ФЛЕГМАТИЗУЮЧОГО) СКЛАДУ ЗА
МЕТАЛЕВІ ПЕРЕШКОДИ**

Запропонована динамічна телескопічна конструкція, яка забезпечує пробивання металевої стінки та прокладку магістралі для подачі складу в аварійну порожнину. Математично обґрунтовано можливість реалізації пристрою та наведений варіант його конструктивного виконання.

Ключові слова: пристрій, металева перешкода, вогнегасний та флегматизуючий склад, подача складу.

UDC 533.6.011.6:614.628

A. Vynogradov, PhD of physics, Y. Gayev, PhD of math., Dr. of tech. sci.

**MATHEMATICAL MODELLING OF FREE FALLING SPHERICAL WATER DROPLET
IN A GASEOUS ENVIRONMENT**

Propriety of sphere aerodynamic resistance approximations has been determined compared with those for Stokes and Newton resistance force laws. Terminal speed of freely falling droplets and the distance at which they reach this value have been plotted against the droplet size. An artificial „laminar” resistance coefficient was suggested that provides an approximate analytical

solution of motion equations after the Newton law. Analytical formulas have been derived for the droplet speed gradually approaching the terminal value according to droplet size.

УДК 533.6.011.6:614.628

А.Г. Виноградов, к. ф.-м. н., Е.А. Гаев, д. т. н.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ КАПЛИ ВОДЫ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ

Определены условия применения различных аппроксимаций аэродинамического сопротивления сферы, сравнивая их с такими для законов Стокса и Ньютона. На их основе построены графики установившейся скорости падения капли и длины, на которой она достигается, в зависимости от ее радиуса. Предлагается искусственное "ламинарное" задание сопротивления, которое дает приближенное решение уравнений движения по закону Ньютона. Получены аналитические формулы для постепенного приближения скорости капель к предельному (установившемуся) значению и предложены масштабы для наиболее удобного анализа такого типа.

UDK 69.059.22:699.8

Golodnov O.I., Otrosh Y.A., Tkachuk I.A., Seminog M.M.

DETERMINATION OF DESCRIPTIONS OF DURABILITY OF CONCRETE AND ARMATURE DURING LEADTHROUGH OF RESEARCHES OF FIRE-RESISTANCE OF REINFORCE-CONCRETE COLUMNS.

The methodical going is Expounded near determination of fire-resistance of reinforce-concrete columns. Methodology over and results of experimental researches of reinforce-concrete column are brought on a fire-resistance.

Keywords: reinforced-concrete columns, tests, fire-resistance, descriptions of durability.

УДК 69.059.22:699.8

Голоднов А.И., Отрош Ю.А., Ткачук И.А., Семиног М.М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ БЕТОНА И АРМАТУРЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН.

Изложены методические подходы к определению огнестойкости железобетонных колонн. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований железобетонных колонн на огнестойкость.

Ключевые слова: железобетонные колонны, испытания, огнестойкость, прочностные характеристики.

UDC 614.842

V.M.Zhartovskyi, Doctor of Engineering, Professor, S.V. Zhartovskyi, Candidate of Engineering Science

ACTIVE AND PASSIVE FIRE PROTECTION OF OBJECTS WITH FIRE LOAD OF MATERIALS CONTAINED CELLULOSE

It is experimentally researched the combining of active and passive fire protection of objects with fire load of materials combined cellulose using complex compound polyhexamethylenguanidinephosphate carbamide as water fire extinguishing and fire-bio-proof substance. The general technology of fire protection of under dome space of hieratic buildings is suggested.

УДК 614.842

В.М.Жартовський, д.т.н., професор, С.В.Жартовський, к.т.н.

АКТИВНИЙ І ПАСИВНИЙ ПРОТИПОЖЕЖНИЙ ЗАХИСТ
ОБ'ЄКТІВ З ПОЖЕЖНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІЗ
ЦЕЛЮЛОЗОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

Експериментально досліджено об'єднання активного і пасивного протипожежного захисту об'єктів з пожежним навантаженням із целюлозовмісних матеріалів з використанням комплексної сполуки полігексаметиленгуанідинфосфат карбаміду в якості водної вогнегасної та вогнебіозахисної речовини. Запропонована загальна технологія протипожежного захисту підкупольного простору культових споруд.

UDC 614.48

S.V. Zhartovskyi, Candidate of Science (Engineering), A.D. Koval, Candidate of Science (Engineering), associated professor, I.G. Maladyka, Candidate of Science (Engineering), associated professor, V.M. Kryshstal.

RESEARCH OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WATER FIRE EXTINGUISHING AGENT
FSG-2

Viscosity anomaly is researched, features of stream pattern and size of drops of water fire extinguishing agent FSG-2 are determined. Use perspectiveness of water fire extinguishing FSG-2 for extinguishing different classes fires is represented.

УДК 614.48

*С.В. Жартовский, к. т. н., А.Д. Коваль, к. т. н., доцент,
І.Г. Маладыка, к. т. н., доцент, В.М. Крышталъ.*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДНОГО
ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ФСГ-2

Исследованы аномалии вязкости, определены особенности формы струи и размер капель водного огнетушащего вещества ФСГ-2. Показана перспектива использования водного огнетушащего вещества ФСГ-2 для тушения разных классов пожаров.

UDC 614.841.42

Kalinowski A.J, Sokolowski S.A.

SIMULATION OF LANDSCAPE FIRES, TAKING INTO ACCOUNT THE MOISTURE
CONTENT OF COMBUSTIBLE MATERIAL AND THE FLUCTUATIONS OF WIND

The influence of random fluctuations of wind and the heterogeneity of combustible material in moisture on the propagation velocity of the contour of the landscape fire. It is shown that for a uniform distribution of random variables of wind speed and direction, velocity hodograph fire significantly affected by fluctuations in wind direction, and from fluctuations in strength depends weakly. Shows the effect of humidity on the in homogeneity of the field distribution of the contour of the landscape fire, which leads to a complication of his form.

УДК 614.841.42

Калиновский А.Я., Соколовский С.А.,

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОЖАРА С УЧЕТОМ
ВЛАЖНОСТИ ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА И ФЛУКТУАЦИЙ ВЕТРА

Исследовано влияние случайных колебаний ветра и неоднородности горючего материала по влажности на скорость распространения контура ландшафтного пожара. Показано, что при равномерном распределении случайных величин скорости ветра и его направления, годограф скорости движения пожара значительно зависит от флуктуации ветра по направлению, а от флуктуации по силе зависит слабо. Показано влияние неоднородности поля влажности на распространение контура ландшафтного пожара, который приводит к усложнению его формы.

UDC 351.862.4

A. Kaplya, Cand. Of Sc. (Eng), major of c.d., V.Chuban, Cand. Of Sc. (Eng), V. Rotar senior lieutenant of c.d.

THE MANAGERIAL MEASURES OF REFORMATION OF THE ADMINISTRATIVE BODIES
AND THE CIVIL DEFENSE FORCES

The trends of theoretical and practical improvement of public administration of fire safety and its organizational constituents in Ukraine have been substantiated. The principal directions of restructuring of the Ministry of Emergency Situations in the context of administrative reform in Ukraine at the current stage have been studied.

УДК 351.862.4

А.Н. Капля, к.пед.н., доцент, В.С. Чубань, к.э.н., В.Б. Ротар

ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ РЕФОРМИРОВАНИЯ
ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ И СИЛ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ

Обоснованно направления теоретического и практического совершенствования государственного управления пожарной безопасностью в Украине и его организационных составляющих. Исследовано основные направления реформирования МЧС в контексте административной реформы в Украине на современном этапе.

UDK 662.613.12:669.046(024.2)

Kiritchenko O. V., Akinshin V. D., Vaschenko V. A., Tsybulin V. V.

SELF-IGNITION OF PARTICLES OF ALUMINIUM IN PRODUCTS OF DECOMPOSITION
OF NITRATE-CONTAINING OXIDANTS AND ORGANIC MATTERS OF PYROTECHNIC
MIXTURES AT PROMOTED TEMPERATURES OF HEATING

The results of experimental researches of process of self-ignition of particles of aluminium in the gaseous products of thermal decomposition of nitrate-containing oxidants and organic matters which are a member of pyrotechnic mixtures, at the temperatures incident to the reactionary area of the condensed phase in the conditions of their self-ignition, are presented.

УДК 662.613.12:669.046.44(024.2)

О. В. Кириченко, В. Д. Акинъин, В. А. Ващенко, В. В. Цыбулин

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В ПРОДУКТАХ РАЗЛОЖЕНИЯ
НИТРАТОСОДЕРЖАЩИХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ НАГРЕВА

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса воспламенения частиц алюминия в газообразных продуктах термического разложения нитратосодержащих окислителей и органических веществ, которые входят в состав пиротехнических смесей, при температурах, свойственных реакционной зоне конденсированной фазы в условиях их возгорания.

UDC 614.842.415

V. Kovalyshyn

A UNIFIED APPROACH TO MATHEMATICAL MODELING OF DEVELOPMENT AND
EXTINGUISHING FIRE WITH VARIOUS MEANS

A universal mathematical model is elaborated on the basis of results of theoretical and experimental investigations and a unified approach to application of various means of fire extinguishing in extensive channels. Implementation of the model in computer enables to forecast with the help of graphic means the efficiency of one of the means of fire extinguishing: by recirculation of fire gases, powder, dispersed water, gas-vapor mixture or foam on the basis of combustion products.

УДК 614.842.415

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц.

ЕДИНЫЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ РАЗВИТИЯ И
ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ РАЗЛИЧНЫМИ СРЕДСТВАМИ

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований и единственного подхода к применению средств тушения пожаров в протяжных каналах разработана универсальная математическая модель, реализация которой на ЭВМ позволяет в наглядном графическом виде спрогнозировать эффективность применения одного из пяти возможных средств пожаротушения: рециркуляцией пожарных газов, порошком, диспергированной водой, парогазовой смесью или пеной на основании продуктов сгорания.

UDC 614.846.35

Krivoshey B.I.; Chigrin V.V.

THE CAUSES OF IMBALANCE IN THE WORK OF A CENTRIFUGAL PUMP

The article examined the causes of imbalance impeller centrifugal fire pump that caused ingress of various objects in the flow of the pump.

УДК 614.846.35

Кривошей Б.И., Чигрин В.В.

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДИСБАЛАНСА ПРИ РАБОТЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО
НАСОСА

В статье рассматриваются причины возникновения дисбаланса рабочего колеса центробежного пожарного насоса, вызванные попаданием различных предметов в проточную часть насоса.

UDC 614.843

Litvinenko I.V., G.I.Yelagin, Ph doctor of chemistry, Oldest scientific collaborator

THE EXPERIMENTAL TESTING OF SOME WITH FIRES IN UKRAINE IN 2000-2009 FOR THERMAL SELF-HEATING MECHANISM

The analysis found that in Ukraine for the period 2000-2009 in areas of availability, storage or processing of fats, oils or compositions based on them there was a certain number of fires caused by self-heating and then recognized spontaneous combustion. In this case the root cause of self-heating (thermal, chemical or microbiological self-heating mechanism of appearance) in most cases is not clear, resulting in the cause of the fire remained fixed not sure. To confirm the possibility of some of these fires on the mechanism of thermal self-heating of the thermal conditions of their occurrence are modeled in the laboratory.

Key words: fats, oils, self-heating, self-ignition.

УДК 614.843

Литвиненко И.В., Елагин Г.И., к. х. н., с. н. с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НЕКОТОРЫХ ПОЖАРОВ В УКРАИНЕ В 2000-2009 Г.Г. ПО МЕХАНИЗМУ ТЕПЛООВОГО САМОНАГРЕВАНИЯ

Проведенным анализом установлено, что в Украине за период 2000-2009 г.г. в местах наличия, хранения или переработки жиров, масел или композиций на их основе возникло определенное количество пожаров, причиной которых признано самонагревание с последующим самовозгоранием. При этом первопричина самонагревания (тепловой, химический или микробиологический механизм появления самонагревания) в большинстве случаев не выяснена, в результате чего причина пожара оставалась установленной не точно. Для подтверждения возможности возникновения некоторых из этих пожаров по механизму теплового самонагревания обстоятельства их возникновения смоделированы в лабораторных условиях.

Ключевые слова: жиры, масла, самонагревание, самовозгорание.

UDC. 614.484

V.Marievskiy, T. Strikalenko, T. Maglyovana, T. Nyzhnyk.

EFFECTIVE DISINFECTANTS AS IMPORTANT ASPECT OF EPIDEMIOLOGICAL AMPLIFICATIONS PREVENTION IN CASE OF EMERGENCIES CAUSED BY FLOODS

Study results of such qualities as mutagenesis induction and forming of resistance in some reagents, which are used as disinfectants of environment are presented.

Key words: disinfection, resistance, polyhexamethelenguanidine hydrochloride, microorganisms.

УДК 614.484

Мариевский В.Ф., Стрикаленко Т.В., Маглевая Т.В., Нижник Т.Ю.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ДЕЗИНФЕКТАНТЫ КАК ВАЖНЫЙ АСПЕКТ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ВЫЗВАННЫХ НАВОДНЕНИЯМИ

Представлены результаты изучения таких свойств, как индуцирование мутагенеза и формирование резистентности у некоторых реагентов, которые используются в качестве дезинфектантов окружающей среды.

Ключевые слова: дезинфекция, резистентность, полигексаметиленгуанидин гидрохлорид, микроорганизмы.

UDC 624.012

O.M. Nuyanzin, S.V. Pozdeyev

RESEARCH OF INFLUENCE OF CONSTRUCTION OF MEASURING ARMATURE OF FIRE STOVES ON ADEQUACY OF RESULTS OF TESTS ON A FIRE-RESISTANCE

Basic principles of construction of mathematical model of vertical stove are in-process rotined on the basis of the complete system of equalizations of Navier-Stokes by a programmatic complex CFD FlowVision 2.5. The results of experience are analysed on adequacy of temperatures in the chamber of stove and thermocouple.

УДК 624.012

A.M. Нуянзин, С.В. Поздеев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ОГНЕВЫХ ПЕЧЕЙ НА АДЕКВАТНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

В работе показаны основные принципы построения математической модели вертикальной печи на основе полной системы уравнений Навье-Стокса с помощью программного комплекса CFD FlowVision 2.5. Проанализированы результаты опыта на адекватность температур в камере печи и термопаре.

UDC 614.84

A.V. Pozdeev, A.M. Tischenko, Cand. Of Sc. (Eng), O.V. Nekora, Cand. Of Sc. (Eng), Rudyk I.V.

INFLUENCE OF ADDITIONS, STEP-UP MOBILITY OF CONCRETE MIXTURE ON THERMOPHYSICAL DESCRIPTIONS AT FIRE

Research of influencing of modifying additions in concretes on their conduct in the conditions of the high temperature heating at a fire is conducted. Temperature dependences of warming up of cube standards from a concrete with superplasticizer and antifrosty additions at their heating with the use of standard temperature curve of fire are got, and on the basis of the got results thermophysical descriptions of the modified concrete are certain. The got thermophysical descriptions gave possibility to estimate influence of modifiers of concrete on the limits of fire-resistance of reinforced concrete structures.

УДК 624. 012

A.V. Поздеев, А.М. Тищенко, к.т.н., доцент, О.В. Некора, к.т.н., с.н.с., Рудик И.В.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК, ПОВЫШАЮЩИХ ПОДВИЖНОСТЬ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ПОЖАРЕ

Проведено дослідження впливу модифікуючих добавок в бетони на їх поведінку в умовах високотемпературного нагріву при пожежі. Отримані температурні залежності прогрівання кубічних бетонних зразків з суперпластифікаторами та морозостійкими добавками при їх нагріві з використанням стандартної температурної кривої пожежі. На основі отриманих результатів визначені теплофізичні характеристики модифікованого

бетону. Отримані теплофізичні характеристики дають можливість оцінити вплив модифікаторів бетону на поведінку залізобетонних конструкцій під час пожежі.

UDC 614.3

Sokolovskiy S.A., Lagutin V.L., Grinchenko Ye.N.

DETERMINING THE PARAMETERS OF VIBRATION PROTECTION SYSTEM FOR THE TRANSPORTATION OF EXPLOSIVE DANGEROUS GOODS

We propose an algorithm for calculating the parameters and vibration protection systems for the transportation of hazardous goods by road in Ukraine. Analyzed and proved the effectiveness of vibration protection systems with patches of quasi-zero stiffness harmonic action on the part of the base. It is proved that the greatest impact on the efficiency of the considered vibration protection system provides damping. Our calculations allow the use of these protective systems, vibration isolation for hazardous goods during transport

УДК 614.3

С.А. Соколовский, В.Л. Лагутин, Е.Н.Гринченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГРУЗОВ

Предложен алгоритм определения и расчета параметров виброзащитных систем для транспортировки взрывоопасных грузов по автодорогам Украины. Проанализирована и доказана эффективность использования виброзащитных систем с участками квазинулевой жесткости при гармоническом воздействии со стороны основания. Доказано, что наибольшее влияние на эффективность рассматриваемой виброзащитной системы осуществляет демпфирование. Проведенные расчеты позволяют использовать указанные виброзащитные системы для изоляции взрывоопасных грузов при их транспортировке.

UDC 618.5:614.844

A.A. Timchenko, Dr. Of Sc. (Eng), M. Pidhorny, Cand. Of Sc. (Eng), V.P. Melnik

THE LIFE CYCLE OF SYSTEMS FOR MONITORING THE TRANSPORT OF DANGEROUS CARGOES

The question of establishing systems for monitoring the transport of dangerous goods based on the concept of life cycles of objects of new technology and sequence of stages of development of these systems.

Key words: life cycle (LC), the objects of new technology (ONT), a new technology (NT), Computer Aided Design (CAD), large technical systems (LTS).

УДК 618.5:614.844

А.А. Тимченко д. т. н., проф., Н.В. Подгорный к. т. н., В.П. Мельник

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТИРОВКИ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

Рассматривается вопрос создания систем мониторинга транспортировки опасных грузов на основе концепции жизненных циклов объектов новой техники и последовательности этапов развития данных систем.

Ключевые слова: жизненный цикл (ЖЦ), объекты новой техники (ОНТ), новая техника (НТ), системы автоматизированного проектирования (САПР), большие технические системы (БТС).

UDK 614.841.332

E.A. Tishchenko, PhD of Technical sciences, N.V. Andrienko, PhD in History, I.A. Troyanovska

THE PROBLEMS OF FIRE SAFETY OF OIL TANKS

The current state of fire protection of oil tanks during routine and emergency repairs is analysed. Effective and economically appropriate solution of the problem is scientifically justified.

Key words: tank, oil, heat exchange, insulating layer, foam

УДК 614.841.332

Є.А. Тищенко, к. т. н., Н.В. Андриенко, к. и. н., И.А. Трояновская

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Проведен анализ современного состояния противопожарной защиты резервуаров с нефтепродуктами при проведении плановых и аварийных ремонтных работ. Научно обосновано эффективное и экономически целесообразное решение данной проблемы.

Ключевые слова: резервуар, нефтепродукты, теплообмен, изоляционный слой, пена.

UDC 614.8

Fedorenko R.N., Larin A.N., Shostak R.N.

DETERMINATION OF RELIABILITY PARAMETERS OF THE BOILER TANK WITH DAMAGE

The algorithm definition and calculation of reliability parameters of the boiler tank with mechanical injuries that occur during its operation. Expressions to determine the probability of rejection and failure probability density for the boiler tank with injuries. Proved that the damage uncritical size significantly affect the reliability of the boiler tank with damage and the possibility of an emergency.

УДК 614.8

Р.Н. Федоренко, А.Н. Ларин, Р.Н.Шостак

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ И НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Предложен алгоритм определения и расчета параметров надежности котла железнодорожной цистерны с механическими повреждениями, которые возникают при ее эксплуатации. Получены выражения для определения вероятности отказа и плотности вероятности отказа для котла с повреждениями. Доказано, что повреждения некритического размера значительно влияют на надежность котла цистерны с повреждением и на возможность возникновения чрезвычайной ситуации.

UDC 656.1

Yatsenko I.P., Karakotsya A.V., Polischuk V.D.

POWER A DYNANICE INCREASE IN OF AUTOMOBYLENOH ENGINE

The actuality of the ionizer usage for the internal combustion engine is delt with in the article. Several investigation have been done concerning the usage of the ionizer.

Key words: car, ionizer, detonation.

УДК 656.1

И.П. Яценко, А.В. Каракоця, В.Д. Полищук

МЕТОД УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ И ДИНАМИЧНОСТИ
АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статье изложена актуальность применения озонатора для двигателя внутреннего сгорания. Проведено несколько исследований по использованию озонатора.

Ключевые слова: автомобиль, ионизатор, детонация.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, ЯКІ ПОДАЮТЬСЯ У НАУКОВЕ ФАХОВЕ ВИДАННЯ «ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА»

**(ВИХОДИТЬ 3 РАЗИ НА РІК, РУКОПИСИ СТАТЕЙ ПРИЙМАЮТЬСЯ
ДО 01.03, ДО 01.07 ТА ДО 01.11 ПОТОЧНОГО РОКУ)**

Тематична спрямованість видання «Пожежна безпека: теорія і практика» – висвітлення проблемних питань і результатів фундаментальних і прикладних наукових досліджень в сфері пожежної безпеки, а також психології діяльності в особливих умовах.

Згідно з постановою ВАК України від 15 січня 2003 р. «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліку ВАК України» у науковій статті мають бути наявні такі необхідні елементи:

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- висновки з даного дослідження;
- перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. Матеріали для публікації в друкованому та електронному вигляді повинні бути написані українською, англійською або російською мовою й оформлені таким чином:

- у першому рядку ліворуч вказують індекс **УДК** (виділити жирним);
- через рядок (у називному відмінку, прямим шрифтом, по центру) ініціали, прізвище, науковий ступінь, учене звання, місце роботи автора (скорочення наукових ступенів та вчених звань оформити згідно з вимогами ВАК);
- через рядок (по центру великими літерами, виділити жирним) **НАЗВА СТАТТІ**;
- через рядок анотація українською мовою (рекомендований обсяг не більше 500 друкованих знаків), яка вміщує характеристику основної теми, проблеми об'єкта, мету роботи та її результати, представлені в статті (друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 10, ліве поле – 3,75 см, праве – 2,75 см).
- через рядок: ключові слова (не менше 3);
- через рядок текст статті;
- через рядок (по центру, великими літерами, жирним шрифтом) **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**. Список літератури оформляється відповідно до стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 *Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання*;

2. Текст статті має бути набраний шрифтом Times New Roman, 12 кеглем, міжрядковий інтервал одинарний; верхнє і нижнє поле – 2 см, ліве – 2,5 см, праве – 1,5 см; абзац – 1,25 см. **Обсяг матеріалу статті не менше 5 сторінок.**

3. Рисунки та графіки у статтю вставляють в одному з форматів (jpeg, bmp, tif, gif) з роздільною здатністю не менше ніж 300 dpi (якісні оригінали). Написи на рисунках виконують шрифтом основного тексту та розміру. Всі об'єкти в простих рисунках, які зроблені у Word, мають бути обов'язково згруповані.

Текст статті не повинен містити рисунків і/або тексту в рамках, рисунків, розташованих зверху/за текстом тощо. Складні, багатооб'єктні рисунки слід готувати за допомогою графічних редакторів (CorelDraw, PhotoShop та ін.). Підписи під рисунками виконують згідно з ДСТУ 3008-95 *Документація. Звіти у сфері науки і техніки*, виділяють курсивом.

4. Таблиці подають як окремі об'єкти у форматі Word з розмірами, приведеними до сторінки складання.

Підписи заголовків таблиць виконуються згідно з ДСТУ 3008-95 *Документація. Звіти у сфері науки і техніки*.

5. Формули подають у форматі Microsoft Equation 3.0, вирівнюють по центру посередині тексту і нумерують в круглих дужках з правого краю. Шрифт: звичайний – 12 пт, індекс – 58 %, маленький індекс – 42 %, символ – 150 %, маленький символ – 100 %.

В розмірностях величин як букви, так і цифри записують прямим шрифтом.

6. Вимоги до друкованого рукопису: стаття роздрукована на білих аркушах паперу формату А4 в якості, достатній для коректорського опрацювання, з підписами авторів на кожній сторінці.

7. Вимоги до електронної копії статті: стаття має бути в одному файлі, названому за прізвищем першого автора (латинськими літерами). Для передачі електронної версії статті можна скористатися адресою e-mail: **naucovec@ukr.net**

8. Якщо автори не мають наукового ступеня та вченого звання, то до статті додається рецензія кандидата або доктора наук за профілем даного наукового дослідження.

9. Відповідальність за науковий зміст статті, точність фактів, дат, формул, прізвищ тощо несе автор.

10. Статті, переклад яких здійснено електронними перекладачами, статті з великою кількістю помилок або такі, що не відповідають вимогам щодо технічного оформлення (див. пп. 1-7), до розгляду не приймаються. Рішення про публікацію рукопису статті приймає редакційна колегія збірника. Прорецензована стаття може бути повернута автору на доопрацювання, відхилений оригінал авторові не повертається. В одному номері може бути опублікована тільки одна стаття кожного автора.

До статті на окремому аркуші додаються:

- анотація англійською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12);

- анотація російською мовою у такому порядку й вигляді: індекс УДК (прямим шрифтом); наступний рядок: *ініціали та прізвища авторів, їх наукові ступені* (виділити курсивом); через рядок НАЗВА СТАТТІ (по центру великими літерами); текст анотації (з абзацу, друкується по ширині, через 1 інтервал, кегль шрифту 12).

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 614.84

Ю.П. Рақ, д.т.н., проф., ЛДУБЖД, О.В. Савченко, к.т.н., доц., НУЦЗУ,
О.І. Шкоруп, к.т.н., с.н.с., УкрНДІПБ

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

Представлено розрахунки економічних показників використання гелеутворюючої системи для ліквідації пожеж на об'єктах житлового сектору

Ключові слова: гасіння, гелеутворююча система, житловий сектор, економічний ефект.

Постановка проблеми. Загальноприйнятим критерієм ефективності вогнегасної речовини (ВР) або технічного пристрою для її подачі є час гасіння пожежі. Дослідникам та конструкторам під час їх розробки також доводиться враховувати й низку інших вимог, у тому числі прораховувати питання економічної доцільності їх використання та експлуатації. Окремо стоїть питання розрахунку економічної ефективності нової ВР при гасінні пожеж у житлових будівлях.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Практично у повному обсязі проблему заливання нижніх поверхів при гасіння пожеж у житловому секторі дозволяє вирішити застосування гелеутворюючих систем (ГУС) [1]. До їх переваг відноситься спроможність легко утримуватись на вертикальних і похилих поверхнях. Отже, коефіцієнт використання гелю ≈ 1 . В результаті досліджень було з'ясовано, що ГУС ефективні до протидії займанню матеріалів, які найбільш широко представлені у будівлях [2].

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є визначення економічної ефективності використання води та ГУС для гасіння пожеж у житлових будівлях. Вирішення поставленої задачі відбувалось шляхом порівняння двох варіантів: базового та нового. Базовий варіант передбачав гасіння пожежі водою. За новим варіантом для гасіння передбачалось використання ГУС $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2 - 3,8\%$, $\text{CaCl}_2 - 11,4\%$ [3,4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Для з'ясування економічної ефективності ГУС необхідно проведення відповідних розрахунків, які дозволять порівняти ГУС і традиційну ВР – воду. Задача ускладнюється тим, що на відміну від виробничих приміщень, складів матеріалів тощо, кількість і склад горючого завантаження у квартирах не регламентується.

Із аналізу роботи [2-4] відомі дані стосовно середньої кількості горючого завантаження в сучасній квартирі. Найбільшу частку горючого завантаження складає деревина та вироби на її основі – 47,1%, оббивка меблів – 34,1%, вироби з пластмаси – 11,1%, килими – 7,8%. Але безпосередньої інформації стосовно середньої «ціни» 1 м² квартири, яка включає в себе вартість меблів, майна, оздоблення тощо, в літературі немає.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Економічний результат Р від використання ГУС буде визначатися за формулою:

$$P = W_B - W_H, \quad (1)$$

де W_B та W_H – відповідно збитки від пожеж для базового (гасіння водою) та нового варіанту (гасіння ГУС).

Таблиця 1 - Характеристика фізико-механічних властивостей вогнезахисних покриттів, що спучуються

Матеріал	ρ_o , кг/м ³	φ_0	λ_0 , Вт/(м·К)	μ_n	K	Θ , кДж/кг	$T_{нп}$, °C	$T_{кп}$, °C	κ_v	$\Theta \cdot 10^{11}$, Вт/(м·К ⁴)	ψ
ВПМ-2	1150	0,25	0,23	0,085	0,25	1500	100	500	7	9,6	2,0
ВПМ-2	1100	0,28	0,29	0,073	0,25	1500	100	510	7	8,5	0,5
СГК-1	950	0,27	0,53	0,043	0,44	3000	150	400	25	9,1	0,5
Эндотерм ХТ-1500	930	0,3	0,46	0,160	0,45	2500	150	400	18	8,0	0,5

Пожежі у житловому секторі є найбільш поширеними у більшості країн світу. Не є виключенням й Україна. За останні роки від 70 до 85% пожеж відбувалось саме у житлових будівлях, на них припадає 95-98% загиблих. Щороку збитки від цих пожеж складають сотні мільйонів гривень. Але ще більшу суму складають побічні збитки. Наприклад, у 2006 році побічні збитки (547067 тис. грн.) перевищували прямі (200552 тис. грн.) більше ніж у 2,7 раз. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 2030 від 26 грудня 2003 року, до побічних збитків від пожеж відносяться оцінені у грошовому вираженні витрати на гасіння пожежі (вартість вогнегасних речовин, паливно-мастильних матеріалів тощо), ліквідацію її наслідків (враховуючи соціально-економічні та екологічні втрати), у тому числі на відбудову об'єкту; втрати, зумовлені простоем у виробництві, перервою в роботі, зміною графіка руху транспортних засобів тощо. Майже 68% загальної кількості побічних збитків припадає саме на пожежі у житловому секторі.

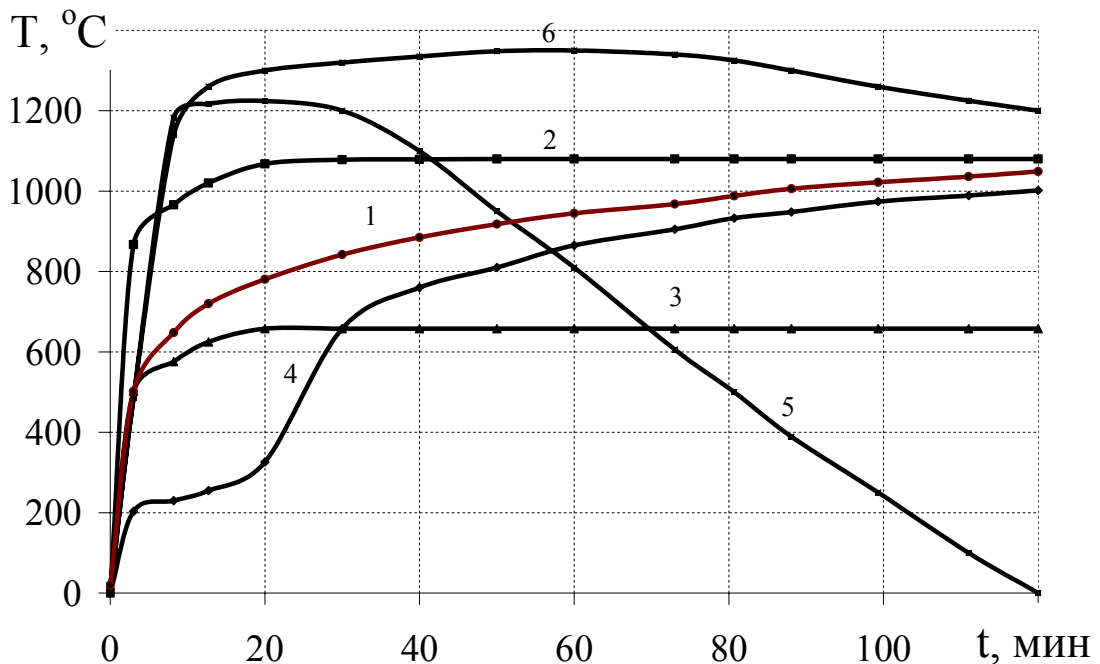


Рисунок 1 - Залежність зміни температури від тривалості вогневого впливу при різних темпах нагріву, де:

- 1 - стандартна температурна крива по ISO 834 і Держстандарт 30247.0-94;
- 2 - крива згідно EN 1363-2: 1999;
- 3 - мінімізована єдина стандартна температурна крива згідно ISO 834;
- 4 - крива тліючої пожежі згідно EN 1363-2: 1999;
- 5 - тунельна крива згідно стандарту Німеччини (RABT);
- 6 - тунельна крива згідно стандарту Нідерландів (RWS).

Висновки. Проведені розрахунки економічних показників засвідчили економічну доцільність використання ГУС для ліквідації пожеж на об'єктах житлового сектору. Екстраполяція одержаного результату дозволяє стверджувати, що використання даного складу дозволить зменшити матеріальні втрати від пожеж на об'єктах житлового сектору на $\approx 10\%$.

Перспективи подальших досліджень.

У цей момент в Україні відсутня нормативна база по визначенню вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів на залізобетонних конструкціях. Тому, метою подальших досліджень є вивчення особливостей підвищення вогнестійкості залізобетонних конструкцій за допомогою ВОП і можливості застосування розрахунково-експериментального підходу для визначення вогнезахисної здатності ВОП на залізобетонних конструкціях при різних режимах пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захматов В.Д. Новые методы и техника для тушения лесных пожаров / В.Д. Захматов, Н.Я. Откидач, Н.В. Щербак // Пожаровзрывобезопасность. – 1998. – №4. – С.69-77.
2. Бондарев В.Ф. Организация и проведение водозащитных работ при тушении пожаров / В.Ф. Бондарев, П.М. Агеев // Крупные пожары: предупреждение и тушение/ Материалы 16 научно-практической конференции, Ч 2 . – М.: Изд-во ВНИИПО, 2001.– С. 239-241.
3. Савченко О.В. Попередження надзвичайних ситуацій при горінні полівінілхлориду / О.В. Савченко, О.О. Кіреєв, В.В. Тригуб, К.В. Жернокльов // Проблеми надзвичайних ситуацій: Сб. наук. пр. УЦЗ України – Харків, 2007. – Вип. 5. – С. 177 – 181.

ABSTRACTS

UDC 614.84

P. Krukovsky, Dr. Of Sc. (Eng), Y. Kachkar, Cand. Of Sc. (Eng), A. Kovalyov

APPLICATION OF SWELLING FIREPROOFING SURFACES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN DIFFERENT FIRE CONDITIONS

Was analyzed the application of swelling fireproofing surfaces in modern building and their physicochemical features. Was considered a question of fire-protective ability of fireproofing surfaces for reinforced concrete structures and parameters which influence on this ability. Was analyzed the existing fire conditions and their influence on fire-protective abilities, the problems of applying of experiment-calculated method of identification of this ability for protecting reinforced concrete structures.

УДК 614.84

Ю.П. Рак, д.т.н., проф., А.В. Савченко, к.т.н., доц., О.И. Шкоруп, к.т.н., с.н.с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОЖАРА

Проведен анализ применения вспучивающихся огнезащитных покрытий в современном строительстве и физико-механические характеристики таких покрытий. Рассмотрен вопрос огнезащитной способности вспучивающихся огнезащитных покрытий для железобетонных конструкций и параметры, от которых она зависит. Приведен анализ существующих режимов пожаров, их влияния на огнезащитную способность, возможности и проблемы применения расчетно-экспериментального подхода определения этой способности для защиты железобетонных конструкций.

ВРАЗКИ БІБЛОГРАФІЧНИХ ОПИСІВ

Бібліографічний опис або **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**, на яку здійснюється посилання в науковій статті, оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

Слова і словосполучення скорочуються відповідно до:

1. ДСТУ 3582–97 «Скорочення слів в українській мові у бібліографічному описі. Загальні вимоги і правила».- К.: Держстандарт України, 1998. 2. ГОСТ 7.12.93 «Библиографическая запись. Сокращения слов на русском языке. Общие требования и правила».

Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел до наукової роботи:

Характеристика джерела	Приклад оформлення
Книги : Один автор	1. Василій Великий. Гомілії / Василій Великий ; [пер. з давньогрец. Л. Звонська]. – Львів : Свічадо, 2006. – 307 с. – (Джерела християнського Сходу. Золотий вік патристики IV – V ст. ; № 14). 2. Коренівський Д. Г. Дестабілізуючий ефект параметричного білого шуму в неперервних та дискретних динамічних системах / Коренівський Д. Г. – К. : Ін-т математики, 2006. – 111 с. – (Математика та її застосування) (Праці / Ін-т математики НАМ України ; т. 59). 3. Матюх Н. Д. Що дорожче срібла-золота / Наталія Дмитрівна Матюх. – К. : Асамблея діл. кіл : Ін-т соц. іміджмейкінгу, 2006. – 311 с. – (Ювеліри України ; т. 1). 4. Шкляр В. Елементал : [роман] / Василь Шкляр. – Львів : Кальварія, 2005. – 196, [1] с. – (Першотвір).
Два автори	1. Матяш І. Б. Діяльність Надзвичайної дипломатичної місії УНР в Угорщині : історія, спогади, арх. док. / І. Матяш, Ю. Мушка. – К. : Києво-Могилян. акад., 2005. – 397, [1] с. – (Бібліотека наукового щорічника "Україна дипломатична" ; вип. 1). 2. Ромовська З. В. Сімейне законодавство України / З. В. Ромовська, Ю. В. Черняк. – К. : Прецедент, 2006. – 93 с. – (Юридична бібліотека. Бібліотека адвоката) (Матеріали до складання кваліфікаційних іспитів для отримання Свідоцтва про право на заняття адвокатською діяльністю ; вип. 11). 3. Суберляк О. В. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підруч [для студ. вищ. навч. закл.] / О. В. Суберляк, П. І. Баштанник. – Львів : Растр-7, 2007. – 375 с.
Три автори	1. Акофф Р. Л. Идеализированное проектирование : как предотвратить завтрашний кризис сегодня. Создание будущей организации / Акофф Р. Л., Магидсон Д., Эддисон Г. Д. ; пер. с англ. Ф. П. Тарасенко. – Днепропетровск : Баланс Бизнес Букс, 2007. – XLIII, 265 с.
Чотири автори	1. Методика нормування ресурсів для виробництва продукції рослинництва / [Вітвіцький В. В., Кисляченко М. Ф., Лобастов І. В., Нечипорук А. А.]. – К. : НДІ "Укragenпромпродуктивність", 2006. – 106с. – (Бібліотека спеціаліста АПК. Економічні нормативи). 2. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу : [підруч. для учнів проф. – техн. навч. закл.] / О. В. Гвоздев, Ф. Ю. Ялпачик, Ю. П. Рогащ, М. М. Сердюк. – К. : Вища освіта, 2006. – 478, [1] с. – (ПТО : Професійно-технічна освіта).

П'ять і більше авторів	<p>1. Психологія менеджмента / [Власов П. К., Липницький А. В., Луцихина И. М. и др.] ; под ред. Г. С. Никифорова. – [3-е изд.]. – Х. : Гуманитар, центр, 2007. – 510с.</p> <p>2. Формування здорового способу життя молоді : навч. – метод, посіб. для працівників соц. служб для сім'ї, дітей та молоді / [Т. В. Бондар, О. Г. Карпенко, Д. М. Дикова-Фаворська та ін.]. – К. : Укр. ін-т соц. дослідж., 2005. – 115с. – (Серія "Формування здорового способу життя молоді" : у 14 кн., кн. 13).</p>
Без автора	<p>1. Історія Свято-Михайлівського Золотоверхого монастиря / [авт. тексту В. Клос]. – К. : Грані-Т, 2007. – 119с, – (Грані світу).</p> <p>2. Воскресіння мертвих : українська барокова драма : антологія / [упорядкув., ст., пер. і прим. В. О. Шевчук]. – К. : Грамота, 2007. – 638, [1] с.</p> <p>3. Тіло чи особистість? Жіноча тілесність у вибраній малій українській прозі та графіці кінця ХІХ – початку ХХ століття : [антологія / упоряд. : Л. Таран, О. Лагутенко]. – К. : Грані-Т, 2007. – 190, [1] с. Проблеми типологічної та квантитативної лексикології : [зб.наук.праць / наук, ред. Каліущенко В. та ін.]. – Чернівці : Рута, 2007. – 310 с.</p>
Словники	<p>1. Географія : словник-довідник / [авт. – уклад. Ципін В. Л.]. – Х. : Халімон, 2006. – 175, [1] с.</p> <p>2. Тимошенко З. І. Болонський процес в дії : словник-довідник основ, термінів і понять з орг. навч. процесу у вищ. навч. закл. / З. І. Тимошенко, О. І. Тимошенко. – К. : Європ. ун-т, 2007. – 57 с.</p> <p>3. Українсько-німецький тематичний словник [уклад. Н. Яцко та ін.]. – К. : Карпенко, 2007. – 219 с.</p> <p>4. Європейський Союз : словник-довідник / [ред. – упоряд. М. Марченко]. – 2-ге вид., оновл. – К. : К.І.С., 2006. – 138 с.</p>
Багатотомний документ	<p>1. Історія Національної академії наук України, 1941 – 1945 / [упоряд. Л. М. Яременко та ін.]. – К. : Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського, 2007 – . – (Джерела з історії науки в Україні). Ч. 2 : Додатки – 2007. – 573, [1] с.</p> <p>2. Межгосударственные стандарты : каталог в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Рубцова Е. Ю. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ "Леонорм-Стандарт", 2005 – . – (Серия "Нормативная база предприятия"). Т. 1. – 2005. – 277с.</p> <p>3. Дарова А. Т. Неисповедимы пути Господни... : (Дочь врага народа) : трилогия / А. Дарова. – Одесса : Астропринт, 2006 – . – (Сочинения : в 8 кн. /А. Дарова ; кн. 4).</p> <p>4. Кучерявенко Н. П. Курс налогового права : Особенная часть : в 6 т. / Н. П. Кучерявенко. – Х. : Право, 2002– . Т. 4 : Косвенные налоги. – 2007. – 534 с.</p> <p>5. Реабілітовані історією. Житомирська область : [у 7 т.]. – Житомир : Полісся, 2006 – . – (Науково-документальна серія книг "Реабілітовані історією" : у 27 т. / голов, редкол. : Тронько П. Т. (голова) [та ін.]). Кн. 1 / [обл. редкол. : Синявська І. М. (голова) та ін.]. – 2006. – 721, [2] с.</p> <p>6. Бондаренко В. Г. Теорія ймовірностей і математична статистика. 4.1 / В. Г. Бондаренко, І. Ю. Канівська, С. М. Парамонова. – К. : НТУУ "КПІ", 2006. – 125с.</p>

Матеріали конференцій, з'їздів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Економіка, менеджмент, освіта в системі реформування агропромислового комплексу : матеріали Всеукр. конф. молодих учених-аграрників ["Молодь України і аграрна реформа"], (Харків, 11 – 13 жовт. 2000 р.) / М-во аграр. політики, Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва. – Х. : Харк. держ. аграр. ун-т ім. В. В. Докучаєва, 2000. – 167 с. 2. Кібернетика в сучасних економічних процесах : зб. текстів виступів на республік, міжвуз. наук. – практик. конф. / Держкомстат України, Ін-т статистики, обліку та аудиту. – К. : ІСОА, 2002. – 147 с. 3. Матеріали ІХ з'їзду Асоціації українських банків, 30 червня 2000 р. інформ. бюл. – К. : Асоц. укр. банків, 2000. – 117 с. – (Спецвип. : 10 років АУБ). 4. Оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій : праці конф., 6 – 9 черв. 2000 р., Київ. Т. 2 / відп. Ред. В. Т. Трощенко. – К. : НАН України, Ін-т пробл. міцності, 2000. – С. 559– 956, XIII, [2] с. – (Ресурс 2000). 5. Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій : зб. наук, праць / наук. ред. В. І. Моссаковський. – Дніпропетровськ : Навч. кн., 1999. – 215 с. 6. Ризикологія в економіці та підприємстві : зб. наук, праць за матеріалами міжнар. наук. – практик. конф., 27-28 берез. 2001 р. / М-во освіти і науки України, Держ. податк. адмін. України [та ін.]. – К. : КНЕУ : Акад. ДПС України, 2001. – 452с.
Препринти	<ol style="list-style-type: none"> 1. Шиляев Б. А. Расчеты параметров радиационного повреждения материалов нейтронами источника ННЦ ХФТИ/ANL USA с подкритической сборкой, управляемой ускорителем электронов / Шиляев Б. А., Воеводин В. Н. – Х. ННЦ ХФТИ, 2006. – 19 с. – (Препринт / НАН Украины, Нац. науч. центр "Харьк. физ. – техн. ин-т" ; ХФТИ 2006-4). 2. Панасюк М. І. Про точність визначення активності твердих радіоактивних відходів гамма-методами / Панасюк М. І., Скорбун А. Д., Сплошной Б, М. – Чорнобиль : Ін-т пробл. безпеки АЕС НАМ України, 2006. – 7, [1] с. – (Препринт / НАН України, Ін-т пробл. безпеки АЕС ; 06-1).
Депоновані наукові праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Социологическое исследование малых групп населения / В.И.Иванов [и др.] ; М-во образования Рос. Федерации, Финансовая академия. – М., 2002. – 110 с. – Деп. в ВИНТИ 13.06.02, № 145432. 2. Разумовский В. А. Управление маркетинговыми исследованиями в регионе / В. А. Разумовский, Д. А. Андреев. – М., 2002. – 210 с. – Деп. в ИНИОН Рос. акад. наук 15.02.02, № 139876.
Атласи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Україна : екол. – геогр. атлас : присвяч. всесвіт, дню науки в ім'я миру та розвитку згідно з рішенням 31 сесії ген. конф. ЮНЕСКО / [наук. редкол. : С. С. Куруленко та ін.] ; Рада по вивч. продукт, сил України НАН України [та ін.]. – / [наук. редкол. : С. С. Куруленко та ін.]. – К. : Варта, 2006. – 217, [1] с. 2. Анатомія пам'яті : атлас схем і рисунків провідних шляхів і структур нервової системи, що беруть участь у процесах пам'яті : посіб. для студ. та лікарів / О. Л. Дроздов, Л. А. Дзяк, В. О. Козлов, В. Д. Маковецький. – 2-ге вид., розшир. та доповн. – Дніпропетровськ : Пороги, 2005. – 218 с. 3. Куерда Х. Атлас ботаніки / Хосе Куерда ; [пер. з ісп. В. Й. Шовкун]. – Х. : Ранок, 2005. – 96 с.
Законодавчі та нормативні документи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кримінально-процесуальний кодекс України : за станом на 1 груд. 2005 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К. : Парлам. вид-во, 2006. – 207 с. – (Бібліотека офіційних видань). 2. Медична статистика : зб. нормат. док. / упоряд. та голов. ред. В. М. Заболотько. – К. : МНІАЦ мед. статистики : Медінформ, 2006. – 459 с. – (Нормативні директивні правові документи). 3. Експлуатація, порядок і терміни перевірки запобіжних пристроїв посудин, апаратів і трубопроводів теплових електростанцій : СОУ-Н ЕЕ 39.501 : 2007. – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2007. – VI, 74 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).

Стандарти	<p>1. Графічні символи, що їх використовують на устаткуванні. Показчик та огляд (ISO 7000 : 2004, IDT) : ДСТУ ISO 7000 : 2004. – [Чинний від 2006-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – IV, 231 с. – (Національний стандарт України).</p> <p>2. Якість води. Словник термінів : ДСТУ ISO 6107-1 : 2004 – ДСТУ ISO 6107-9 : 2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).</p> <p>3. Вимоги щодо безпечності контрольно-вимірювального та лабораторного електричного устаткування. Частина 2-020. Додаткові вимоги до лабораторних центрифуг (EN 61010-2-020 : 1994, IDT) : ДСТУ EN 61010-2-020 : 2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – IV, 18 с. – (Національний стандарт України).</p>
Каталоги	<p>1. Межгосударственные стандарты : каталог : в 6 т. / [сост. Ковалева И. В., Павлюкова В. А. ; ред. Иванов В. Л.]. – Львов : НТЦ "Леонорм-стандарт", 2006 – . – (Серия "Нормативная база предприятия"). Т. 5. – 2007. – 264 с. Т. 6. – 2007. – 277с.</p> <p>2. Пам'ятки історії та мистецтва Львівської області : каталог-довідник / [авт. – упоряд. М. Зобків та ін.]. – Львів : Новий час, 2003. – 160 с.</p> <p>3. Університетська книга : осінь, 2003 : [каталог]. – [Суми : Унів. кн., 2003]. – 11 с. 4. Горницкая И. П. Каталог растений для работ по фитодизайну / Горницкая И. П., Ткачук Л. П. – Донецк : Лебедь, 2005. – 228 с.</p>
Частина книги, періодичного, продовжаного видання	<p>1. Козіна Ж. Л. Теоретичні основи і результати практичного застосування системного аналізу в наукових дослідженнях в області спортивних ігор / Ж. Л. Козіна // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 6. – С. 15–18, 35–38.</p> <p>2. Гранчак Т. Інформаційно-аналітичні структури бібліотек в умовах демократичних перетворень / Тетяна Гранчак, Валерій Горовий // Бібліотечний вісник. – 2006. – № 6. – С. 14–17.</p> <p>3. Валькман Ю. Р. Моделирование НЕ-факторов – основа интеллектуализации компьютерных технологий / Ю. Р. Валькман, В. С. Быков, А. Ю. Рыхальский // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 1. – С. 39–61.</p> <p>4. Ма Шуїн. Проблеми психологічної підготовки в системі фізкультурної освіти / Ма Шуїн // Теорія та методика фізичного виховання. – 2007. – № 5. – С. 12–14.</p> <p>5. Регіональні особливості смертності населення України / Л. А. Чепелевська, Р. О. Моїсеєнко, Г. І. Баторшина [та ін.] // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – 2007. – № 1. – С. 25–29.</p> <p>6. Валова І. Нові принципи угоди Базель II / І. Валова ; пер. з англ. Н. М. Середи // Банки та банківські системи. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 13–20.</p> <p>7. Зеров М. Поетична діяльність Куліша // Українське письменство XIX ст. Від Куліша до Винниченка : (нариси з новітнього укр. письменства) : статті / Микола Зеров. – Дрогобич, 2007. – С. 245–291.</p> <p>8. Третьяк В. В. Возможности использования баз знаний для проектирования технологии взрывной штамповки / В. В. Третьяк, С. А. Стадник, Н. В. Калайтан // Современное состояние использования импульсных источников энергии в промышленности : междунар. науч. – техн. конф., 3-5 окт. 2007 г. : тезисы докл. – Х., 2007. – С. 33.</p> <p>9. Чорний Д. Міське самоврядування : тягарі проблем, принади цивілізації / Д. М. Чорний // По лівий бік Дніпра : проблеми модернізації міст України : (кінець XIX– початок XX ст. / Д. М. Чорний. – Х., 2007. – Розд. 3. – С. 137– 202.</p>

Бібліографічні показники	<p>1. Куц О. С. Бібліографічний покажчик та анотації кандидатських дисертацій, захищених у спеціалізованій вченій раді Львівського державного університету фізичної культури у 2006 році / О. Куц, О. Вацеба. – Львів : Укр. технології, 2007. – 74 с.</p> <p>2. Систематизований покажчик матеріалів з кримінального права, опублікованих у Віснику Конституційного Суду України за 1997 – 2005 роки / [уклад. Кириш Б. О., Потлань О. С.]. – Львів : Львів, держ. ун-т внутр. справ, 2006. – 11 с. – (Серія : Бібліографічні довідники ; вип. 2).</p>
Дисертації	<p>1. Петров П. П. Активність молодих зірок сонячної маси : дис.... доктора фіз., -мат. наук : 01.03.02 / Петров Петро Петрович. – К., 2005. – 276 с.</p>
Автореферати дисертацій	<p>1. Новосад І. Я. Технологічне забезпечення виготовлення секцій робочих органів гнучких гвинтових конвеєрів : автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 "Технологія машинобудування" / І. Я. Новосад. – Тернопіль, 2007. – 20, [1] с.</p> <p>2. Нгуен Ші Данг. Моделювання і прогнозування макроекономічних показників в системі підтримки прийняття рішень управління державними фінансами : автореф. дис. на здобуття наук, ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.06 "Автоматиз. системи упр. та прогрес, інформ. технології" / Нгуен Ші Данг. – К., 2007. – 20с.</p>
Авторські свідоцтва	<p>1. А. с. 1007970 СССР, МКМ³ В 25 J 15/00. Устройство для захвата неориентированных деталей типа валов / В. С. Ваулин, В. Г. Кемайкин (СССР). – № 3360585/25-08 ; заявл. 23.11.81 ; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12.</p>
Патенти	<p>1. Пат. 2187888 Российская Федерация, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Приемопередающее устройство / Чугаева В. И. ; заявитель и патентообладатель Воронеж, науч. – исслед. ин-т связи. – № 2000131736/09 ; заявл. 18.12.00 ; опубл. 20.08.02, Бюл. № 23 (II ч.).</p>
Електронні ресурси	<p>1. Богомольний Б. Р. Медицина екстремальних ситуацій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. мед. вузів III – IV рівнів акредитації / Б. Р. Богомольний, В. В. Кононенко, П. М. Чуєв. – 80 Міп / 700 МВ. – Одеса : Одес. мед. ун-т, 2003. – (Бібліотека студента-медика) – 1 електрон, опт. диск (CD-ROM) ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; Windows 95, 98, 2000, XP ; MS Word 97-2000. – Назва з контейнера.</p> <p>2. Розподіл населення найбільш численних національностей за статтю та віком, шлюбним станом, мовними ознаками та рівнем освіти [Електронний ресурс] : за даними Всеукр. перепису населення 2001 р. / Держ. ком. статистики України ; ред. О. Г. Осауленко. – К. : CD-вид-во "Інфодиск", 2004. – 1 електрон, опт. диск (CD-ROM) : кольор. ; 12 см. – (Всеукр. перепис населення, 2001). – Систем. вимоги : Pentium-266 ; 32 Mb RAM ; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул, екрану.</p> <p>3. Бібліотека і доступність інформації у сучасному світі: електронні ресурси в науці, культурі та освіті (підсумки 10-ї Міжнар. конф. "Крим-2003") [Електронний ресурс] / Л. Й. Костенко, А. О. Чекмарьов, А. Г. Бровкін, І. А. Павлуша // Бібліотечний вісник – 2003. – № 4. – С. 43. – Режим доступу до журн. : http://www.nbu.gov.ua/articles/2003/03klinko.htm.</p>