

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

ISSN 2304-6112

ПРОБЛЕМЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Выпуск 32

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

Утверждено к печати ученым советом
НУГЗ Украины
(протокол № 4 от 18.10.2012г.)

Харьков
НУГЗУ - 2012

УДК 614.8 + 614.84 + 621.3 + 614.841 + 614.842 + 614.843 + 536.46 + 614.841.12 + 699.61 + 519.85 + 541.678.686.01 + 551.515 + 331.436 + 532.517.4 + 532.13 + 678.744.7 + 515.2

Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 32. – 250с.

Издание основано в 1997 году. Включено в Перечень научных специализированных изданий Украины (постановление № 1-03/8 от 11.10.2000г.).

Представлены результаты научных исследований в области пожарной безопасности. Рассматриваются организационно-технические аспекты совершенствования пожарной безопасности, отражающие современные методы повышения эффективности противопожарной защиты и тенденции развития научных исследований в данной области.

Материалы предназначены для инженерно-технических работников пожарной охраны, научно-педагогического персонала, адъюнктов, слушателей и курсантов пожарно-технических учебных заведений.

Ил. – 72, табл. – 32.

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

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

Видання засноване у 1997 році. Включене до Переліку наукових фахових видань України (постанова № 1-03/8 від 11.10.2000р.).

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

Матеріали призначені для інженерно-технічних робітників пожежної охорони, науково-педагогічного персоналу, ад'юнктів, слухачів та курсантів пожежно-технічних навчальних закладів.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.А. Антошкин</i> Определение потерь напора для различных типов автоматических установок водяного и пенного пожаротушения.....	3
<i>К.А. Афанасенко, А.П. Михайлюк</i> Влияние полимерных связующих, склонных к интенсивному коксообразованию, на показатели горючести композиционных материалов.....	7
<i>В.С. Бабенко, А.П. Кремена</i> Дальнобойность гидроимпульсной струи.....	13
<i>А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк, Я.С. Кулик</i> Математическая модель нагрева температурного датчика под тепловым воздействием пожара разлива нефтепродукта.....	21
<i>С.Н. Бондаренко, М.А. Дрога</i> Формализация методики размещения спринклерных оросителей по шахматной схеме.....	26
<i>П.Ю. Бородич</i> Оцінка функціонального стану та динамічної стійкості газодимозахисників.....	32
<i>В.П. Ворон, Є.Є. Мельник, С.Г. Сидоренко</i> Тенденції виникнення пожеж в лісах зеленої зони м. Харкова.....	37
<i>В.М. Гвоздь, О.Е. Безуглов, Ю.А. Абрамов</i> Математическая модель терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя при внутреннем тепловом воздействии в виде синусоидального импульса электрического тока.....	43
<i>И.А. Горпинич</i> Моделирование динамики разлива горючей жидкости на горизонтальной поверхности.....	50
<i>А.Н. Григоренко</i> Исследование эффективности огнезащиты древесины эпоксидными композициями с пониженной дымообразующей способностью.....	57
<i>Е.М. Гуліда, А.А. Ренкас</i> Вогнестійкість залізобетонних плит перекрыття житлових та адміністративних будівель.....	62
<i>В.А. Дуреев, А.Н. Литвяк</i> Математическое описание чувствительного элемента максимального теплового пожарного извещателя с терморезистором.....	74
<i>А.Я. Калиновский, И.Л. Ущиповский</i> Оценка ущерба, наносимого пожаром при учете влажности и изменений параметров ветра.....	78
<i>А.А. Киреев, В.Ю. Купка, К.В. Жерноклёв</i> Исследование стойкости гелевых слоёв на поверхностях горючих жидкостей.....	84
<i>О.В. Кириченко, В.А. Ващенко, В.В. Цибулін</i> Пожежовибухонебезпечні термовпливи на поверхню металевих корпусів піротехнічних виробів в умовах пострілу та польоту.....	89

А.Н. Коленов, А.А. Киреев, Р.Г. Мелешенко Исследование пенообразования и кинетики разрушения пен, полученных при использовании пенообразующей системы $Al_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2CO_3$ с добавлением поверхностно активных веществ.....	101
В.В. Комяк, А.Н. Соболев, А.Г. Коссе Подход к определению рациональных путей (планов) эвакуации для высотных зданий.....	107
Н.І. Коровникова, В.В. Олійник, С.Ю. Гонар Кінетичні параметри термічної деструкції волокна нітрон.....	113
В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка Определение времени до возникновения пожаровзрывоопасных концентраций в помещении при истечении водорода из системы его хранения.....	119
О.В. Кулаков Особливості категорювання за вибухопожежною та пожежною небезпекою електро-приміщень.....	125
Т.Н. Курская Анализ критических тепловых режимов многослойных конструкций.....	129
М.В. Кустов Влияние скорости ветра, влажности воздуха и горючего материала на скорость распространения ландшафтных пожаров.....	133
А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев Исследование эффективности создания водяных завес оросителями различного назначения.....	142
Ю.В. Луценко, А.Б. Васильев, Е.А. Яровой Определение влияния давления на физико-химические свойства газов подземной газификации угля и их пожаровзрывоопасность.....	145
О.П. Михайлюк, С.Я. Кравців Проблеми забезпечення пожежовибухобезпеки автозаправних станцій.....	149
І.О. Мовчан, Е.М. Гуліда Вибір та обґрунтування критерія для оптимізації та управління пожежним ризиком об'єктів міста.....	155
Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко Рабочие характеристики пожарных извещателей систем пожарной автоматики.....	166
Е.А. Рыбка Идентификация динамических моделей комплекса по определению теплофизических свойств строительных материалов.....	174
О.В. Савченко, О.О. Островерх, О.М. Семків, С.В. Волков Використання гелеутворюючих систем для оперативного захисту конструкцій та матеріалів при гасінні пожеж на об'єктах житлового сектору.....	180
В.О. Самарін Моделирование запалования шару горючого матеріалу сфокусированным потоком випромінювання.....	188
А.П. Симоненко Повышение эффективности работы противопожарной техники путём применения гидродинамически активных водорастворимых полимерных композиций.....	195

<i>А.Н. Сиротенко, Д.П. Дубинин, А.А. Лисняк</i> К вопросу о практической реализации способа создания противопожарных разрывов объемными шланговыми зарядами.....	207
<i>О.В. Тарахно, В.М. Сирих, Р.В. Тарахно</i> Експертне дослідження версії виникнення пожежі внаслідок хімічного самозаймання.....	215
<i>Д.Г. Трегубов, О.В. Тарахно, С.Ю. Гонар</i> Визначення температури самоспалахування кетонів різної будови.....	221
<i>В.В. Чигрин, Б.І. Кривошей</i> Визначення величини дисбалансу при роботі відцентрових пожежних насосів.....	226
<i>И.А. Чуб</i> Оптимальное размещение пожароопасных объектов с минимизацией уровня загрязнения атмосферы аэрозольными продуктами горения.....	231
<i>А.Я. Шаршанов, А.А. Чернуха</i> Моделирование огнезащитного действия вспучивающегося неорганического покрытия.....	237

СПИСОК АВТОРОВ

Абрамов Ю. А.	43	Купка В.Ю.	84
Антошкин А.А.	3	Курская Т.Н.	129
Афанасенко К.А.	7	Кустов М.В.	133
Бабенко В.С.	13	Лисняк А.А.	207
Басманов А.Е.	21	Литвяк А.Н.	74, 142
Безуглов О.Е.	43	Луценко Ю.В.	145
Бондаренко С.Н.	26	Мелешенко Р.Г.	101
Бородич П.Ю.	32	Мельник Є.Є.	37
Васильев А.Б.	145	Михайлюк А.А.	21
Ващенко В.А.	89	Михайлюк А.П.	7, 149
Волков С.В.	180	Мовчан І.О.	155
Ворон В.П.	37	Олійник В.В.	113
Гвоздь В.М.	43	Островерх О.О.	180
Гонар С.Ю.	113, 221	Поспелов Б.Б.	166
Горпинич И.А.	50	Ренкас А.А.	62
Григоренко А.Н.	57	Рыбка Е.А.	174
Гуліда Е.М.	62, 155	Савченко О.В.	180
Дрога М.А.	26	Самарін В.О.	188
Дубинин Д.П.	207	Семків О.М.	180
Дуреев В.А.	74, 142	Сидоренко С.Г.	37
Жерноклёв К.В.	84	Симоненко А.П.	195
Калиновский А.Я.	78	Сирих В.М.	215
Киреев А.А.	84, 101	Сиротенко А.Н.	207
Кириченко О.В.	89	Соболь А.Н.	107
Ключка Ю.П.	119	Тарахно О.В.	215, 221
Коленов А.Н.	101	Тарахно Р.В.	215
Комяк В.В.	107	Трегубов Д.Г.	221
Коровникова Н.І.	113	Ущапивский И.Л.	78
Коссе А.Г.	107	Цибулін В.В.	89
Кравців С.Я.	149	Чернуха А.А.	237
Кремена А.П.	13	Чигрин В.В.	226
Кривошей Б.І.	226	Чуб И.А.	231
Кривцова В.И.	119	Шаршанов А.Я.	237
Кулаков О.В.	125	Шевченко Р.И.	166
Кулик Я.С.	21	Яровой Е.А.	145

*Е.М. Гуліда, д.т.н., професор, ЛДУБЖД,
А.А. Ренкас, ад'юнкт, ЛДУБЖД*

ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ЖИТЛОВИХ ТА АДМІНІСТРАТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Розглянуто та проаналізовано існуючі методи забезпечення вогнестійкості несучих конструкцій з урахуванням тепломасообміну в приміщенні при пожежі. Запропонований метод розрахунку часу втрати несучої здатності залізобетонної плити перекриття з використанням зонної інтегральної моделі пожежі в закритому приміщенні. Даний метод дозволяє врахувати всі можливі чинники, які впливають на розвиток пожежі в приміщенні, та визначити температуру в зоні конвекційної колонки пожежі. За допомогою рівняння теплопровідності, розв'язаного методом Дюамеля, проведено теплотехнічну частину розрахунку часу досягнення критичної температури на арматурі плити перекриття. Записано умову стійкості залізобетонної плити, з урахуванням зменшення допустимих напружень при збільшенні температури. Запропоновані заходи щодо забезпечення вогнестійкості залізобетонного перекриття.

Ключові слова: пожежа, площа пожежі, температура, вогнестійкість.

Постановка проблеми. При пожежі відбувається знищення та пошкодження майна, яке знаходиться в приміщенні, що призводить до значних матеріальних втрат. Максимальні збитки завдаються при втраті несучої та огорожувальної здатності будівельних елементи. Будівельні конструкції, які розраховані за всіма правилами будівельної механіки на десятки років, можуть руйнуватися при пожежі за декілька хвилин. Це зумовлено тим, що при дії високих температур, змінюються механічні властивості матеріалів, з яких вони виготовлені. Тому виникає необхідність надійного забезпечення вогнестійкості конструкцій будівель та споруд.

Вогнестійкість будівельних конструкцій збільшують шляхом підбору матеріалів, конструктивних схем, розмірів конструкції та використанням вогнезахисту. При цьому останній вважається найбільш дешевим.

Проектування конструкцій, які забезпечують необхідну межу вогнестійкості, можливе з використанням двох підходів. При першому підході мінімальну межу вогнестійкості конструкції визначають згідно таблиці 4 ДБН В.1.1-7-2002 залежно від ступені вогнестійкості будівлі. Обирають конструкцію, яку розраховують з врахуванням стан-

дартного температурного режиму. При другому підході аналізують планувальні рішення приміщень, їх архітектурні особливості, пожежне навантаження та розраховують межу вогнестійкості з врахуванням сценарію розвитку реальної пожежі. Другий метод є більш ефективним, оскільки при використанні стандартного температурного режиму межі вогнестійкості можуть бути як завищені так і занижені.

Як показує практика при пожежі в приміщенні утворюється нижня (холодна) зона та верхня (гаряча). Крім того існує зона конвекційної колонки, яка знаходиться над осередком пожежі. Саме в цій зоні буде найвища температура. Тому була поставлена задача розробити уточнений метод розрахунку часу втрати несучої здатності залізобетонної плити перекриття з використанням зонної інтегральної моделі пожежі в закритому приміщенні.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Для визначення вогнестійкості залізобетонного перекриття існує ряд зарубіжних методик та стандартів [1,2,3,4,5]. Але для вирішення цієї задачі необхідно врахувати всі чинники, які впливають на розвиток пожежі в приміщеннях, де дані конструкції будуть застосовуватись. В роботі [6,7] наводяться моделі розвитку пожежі і їх використання для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій. Зокрема, розглядається інтегральна, зонна модель пожежі та модель, яка базується на вирішенні повної системи рівнянь Нав'є-Стокса. Для приміщень, в яких висота приміщення не перевищує лінійних розмірів підлоги, може бути використана зонна модель пожежі. Розглянута спільна модель динаміки зміни середньо-об'ємної температури в приміщенні при пожежі та теплопровідності будівельних конструкцій з урахуванням тепло- та масообміну з оточуючим середовищем. Як показало порівняння цієї моделі з результатами натурних випробувань, вона може бути застосована для оцінки вогнестійкості в умовах реальної пожежі.

У роботі [8] розглянуті методи оцінки вогнестійкості та необхідної товщини вогнезахисного покриття для різних типів конструкцій. Вирішена задача нестационарної прогріву конструкцій з вогнезахистом, в основу якої була покладений закон збереження маси, кількості руху і енергії, а також диференціальне рівняння переносу субстанції для бетону та вогнезахисних покриттів. Також розрахована несуча здатність конструкцій в умовах пожежі. Розрахунку є складними і проводять з допомогою ЕОМ.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є розроблення методу оцінки вогнестійкості залізобетонного перекриття житлових та адміністративних будівель з урахуванням тепло- та масообміну в приміщенні при пожежі та підбір необхідного вогнезахисного покриття для забезпечення нормованої межі вогнестійкості за втратою несучої здатності.

Розв'язання даної задачі проводиться в чотири етапи:

1. Визначення температури в приміщенні, в якому виникла пожежа.
2. Розв'язання теплотехнічної задачі з використанням рівняння теплопровідності.
3. Розрахунок навантаження на плиту та перевірка міцності залізобетонної плити з урахуванням її прогріву.
4. Вибір необхідного вогнезахисного покриття та визначення товщини шару його нанесення.

Як зазначалося вище, для моделювання пожежі в приміщенні, висота якого не перевищує лінійних розмірів підлоги, може використовуватися зонна модель пожежі. Відомими вченими експериментально та теоретично встановлено, що найвища температура під стелею спостерігається в зонні конвекційної колонки.

Температуру газової суміші в конвекційній колонці можна визначити за допомогою залежностей (1), (2) [9], які отримані при розв'язанні системи диференціальних рівнянь балансу пожежі, її енергії, а також рівняння Менделєєва-Клапейрона. В цьому випадку густина нагрітого газового середовища в залежності від часу пожежі можна визначити за залежністю

$$\rho_c = \left(\rho_0 - \frac{c_p \rho_0 T_0}{Q_{\min} \eta (1 - \varphi)} \right) \exp \left[- \frac{\psi_n S_{II} Q_{\min} \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 V} \tau \right] + \frac{c_p \rho_0 T_0}{Q_{\min} \eta (1 - \varphi)}. \quad (1)$$

де T_0 – початкова температура в приміщенні, К; ρ_0 – початкова густина газового середовища, кг/м³; ρ_c – густина газового середовища при пожежі, кг/м³; Q_{\min} – нижча теплота згорання, Дж/кг; φ – коефіцієнт теплопоглинання; ψ_n – питома швидкість вигорання, кг/м²·с; S_{II} – площа пожежі, м²; V – вільний об'єм приміщення, м³; τ – час пожежі, с; c_p – ізобарна теплоємність, Дж/°К; η – коефіцієнт повноти згорання.

Для переходу від середнього значення густини газової суміші ρ_c до температури використовуємо наступну залежність

$$T_c = T_0 \frac{\rho_0}{\rho_c}. \quad (2)$$

Щоб визначити розподіл температури на деякій відстані від межі конвекційної колонки на плиті перекриття, скористаємось наступною залежністю, яка була отримана на підставі результату повнофакторного експерименту пожежі в закритому приміщенні в лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_n^{0,13}}{x^{0,71}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

де $T_{o.n.}$ – температура осередку пожежі, $^\circ\text{C}$; G – пожежне навантаження в приміщенні, $\text{кг}/\text{м}^2$; τ – час вільного горіння, хв ; Z – висота, на якій шукається температура, м ; S_n – площа пожежі, м^2 ; x – радіус, на якому шукається температура, м ; C_T – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу;

$$C_T = 0,0065 \frac{M^{0,45}}{x^{0,18} \cdot K^{0,75}}$$

Якщо криву розвитку пожежі можна умовно розділити на дві прямолінійні ділянки, тоді для розв'язання теплотехнічної задачі можна використати рівняння теплопровідності $\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$, розв'язавши його методом Дюамеля [10]. Отримаємо наступне рівняння (4)

$$t(y, \tau) = t_0 \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}}\right) + t_1 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}}\right) + (t_n - t_1) \cdot \operatorname{erfc}\left[\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot (\tau - \tau_1)}}\right], \quad (4)$$

де $\operatorname{erf}\left(\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}}\right)$ - інтеграл помилок Гауса; $\operatorname{erfc}\left(\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}}\right) = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2 \cdot \sqrt{a \cdot \tau}}\right)$; $t(y, \tau)$ – температура в точці y в момент часу τ , $^\circ\text{C}$; t_0 – початкова температура, $^\circ\text{C}$; y – відстань від поверхні, що обігривається, до точки, на якій визначається температура, м ; a – коефіцієнт теплопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – час від початку пожежі, год ; t_1 – температура на границі першої прямолінійної ділянки кривої розвитку температури пожежі, $^\circ\text{C}$; t_n – температура на границі другої прямолінійної ділянки кривої розвитку температури пожежі, $^\circ\text{C}$; τ_1 – час, який відповідає t_1 , год .

Коефіцієнт теплопровідності для бетону визначається за наступною залежністю [2]

$$a = \frac{\lambda_{t \text{сеп}}}{(c_{t \text{сеп}} + 50W)\gamma_c}, \quad (5)$$

де $\lambda_{t \text{сеп}}$, $c_{t \text{сеп}}$ – розрахункові середні коефіцієнти теплопровідності і теплоємності бетону, які вираховуються при температурі 723 К; W – масова експлуатаційна вологість бетону, $\text{кг}/\text{кг}$; γ_c – густина сухого бетону, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для розрахунку навантаження на залізобетонну плиту та її міцності використаємо залежності (6-11). Визначення розподіленого навантаження на балку $q_{p.n.}$ проводиться з використанням наступної за-

лежності

$$q_{p.n.} = \frac{q \cdot S \cdot g}{b}, \quad (6)$$

де q – пожежне навантаження, кг/м²; S – площа плити перекриття, м²; g – прискорення вільного падіння, м/с², b – ширина плити, м.

Визначення розподіленого навантаження на балку $q_{пл.}$ від маси плити $m_{пл.}$:

$$q_{пл.} = \frac{m_{пл.} \cdot g}{b}. \quad (7)$$

Визначення максимального моменту [11]

$$M_{\max} = \frac{(q_{p.n.} + q_{пл.}) \cdot L^2}{8}, \quad (8)$$

де L – довжина плити, м.

Для визначення допустимих допустимого згинального моменту необхідно знайти значення висоти стисненої зони бетону δ . Для цього скористаємося рівнянням суми проєкцій внутрішніх зусиль на повздовжню вісь перерізу плити [12]:

$$R_s A_s - R_b b \delta = 0, \quad (9)$$

де R_s – допустимі напруження в розтягнутій арматурі, МПа; A_s – площа поперечного перерізу арматури, м²; R_b – допустимі напруження в бетоні стиснутої зони, МПа; δ – стиснена зона бетону, м.

Виходячи з суми згинальних моментів всіх зусиль відносно осі, яка проходить через центр ваги стиснутої зони бетону, допустимий момент визначається за залежністю (10) [12]

$$M_{\text{дон}} = R_s A_s (h_0 - 0,5\delta), \quad (10)$$

де h_0 – робоча висота перерізу плити, м.

Умову міцності можна записати так

$$M_{\max} < M_{\text{дон}}. \quad (11)$$

де M_{\max} – максимальний згинальний момент, Н·м; $M_{\text{дон}}$ – допустимий згинальний момент, Н·м.

При збільшенні температури на арматурі в залізобетонному перекритті, допустимі напруження зменшуються. При досягненні критичної температури умова перестає виконуватись і плита втрачає несучу здатність. Для забезпечення нормованої межі вогнестійкості необхідно збільшити захисний шар бетону або накласти шар вогнетривкої штукатурки.

Розглянемо використання методу для визначення необхідного вогнезахисного шару матеріалу на залізобетонну плиту перекриття, який би забезпечував нормовану межу вогнестійкості.

Приклад. Необхідно визначити вид вогнезахисту та товщину його нанесення для стандартної залізобетонної плити перекриття розміром $2 \times 6 \times 0,24$ м з розрахованою межею вогнестійкості REI 60 [5]. Товщина захисного шару бетону до краю арматури $0,02$ м, діаметр пустот $d_n=0,16$ м. Бетон важкий на гранітному заповненні класу B15, $R_b=13,25$ МПа. Арматура розтягнута класу Ат-V [$R_{sn}=785$ МПа; $R_s=785/0,9=872$ МПа], 7 стержнів діаметром 12 мм, площа поперечного перерізу $A_s=5,04 \cdot 10^{-4}$ м². Плита повинна бути використана для міжповерхового перекриття в приміщенні з розмірами $6 \times 4 \times 2,5$ м житлового будинку. Пожежне навантаження в приміщенні 50 кг/м², початкова температура в приміщенні 20 °С, початкова густина газового середовища $1,217$ кг/м³, нижча теплота згорання горючого матеріалу 13800 кДж/кг, питома швидкість вигорання горючого матеріалу $0,0145$ кг/м²·с. Приймаємо, що пожежа виникла в центрі приміщення.

За допомогою залежності (1) та (2) розрахуємо температуру в конвекційній колонці та зобразимо динаміку підвищення температури на рис. 1.

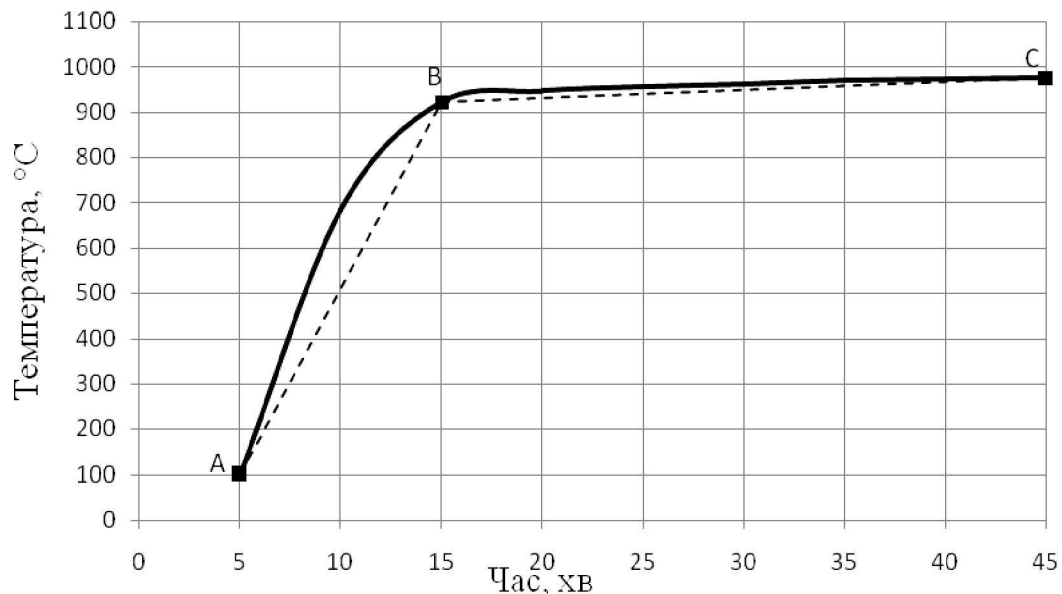


Рис. 1 – Залежність температури в зоні конвекційної колонки від часу пожежі

Дану криву можна умовно розділити на дві прямолінійні ділянки АВ та ВС.

Використовуючи залежність (3), отримаємо наступну зміну температури в часі для відстані від межі конвекційної колонки $x=1\text{ м}$, $x=2\text{ м}$, $x=3\text{ м}$, що зображено на рис. 2.

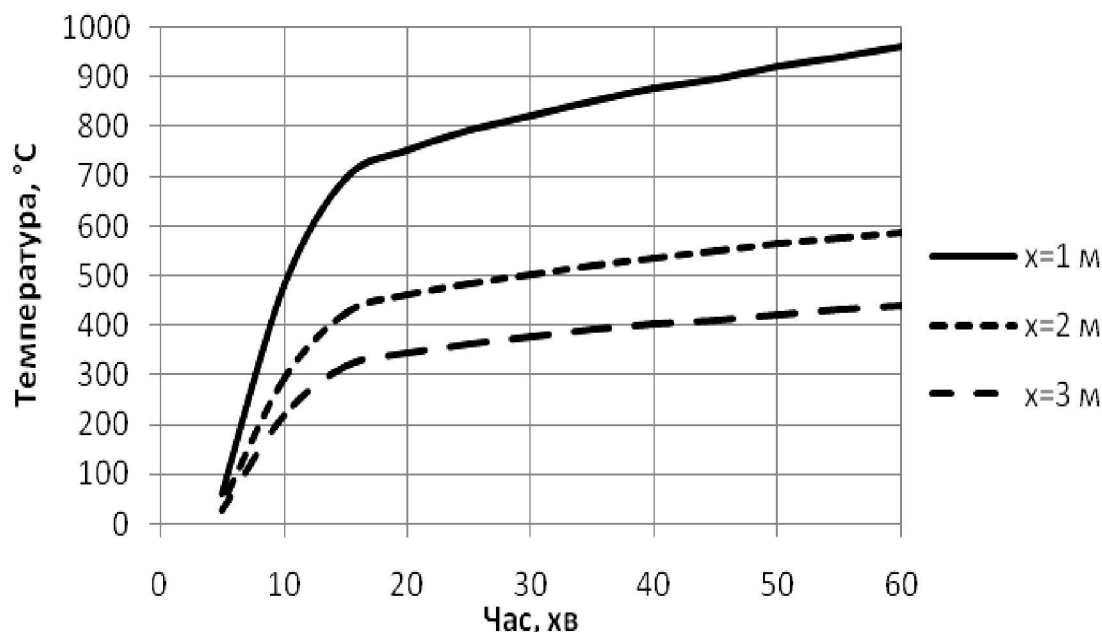


Рис. 2 – Залежність температури в прилеглому просторі на різних відстанях від центру осередку пожежі в залежності від її часу пожежі

Криві, зображені на рис. 2 також можна замінити двома прямолінійними ділянками.

Отримавши температури на поверхні плити перекриття, використовуючи рівняння теплопровідності (4) знайдемо розподіл температур на арматурі плити перекриття (арматура розміщена на глибині $y=0,02\text{ м}$) при $x=0..3,0\text{ м}$.

Таблиця 1 – Розподіл температур в арматурі по ширині плити при $y=0,02\text{ м}$

Час, хв \ x, м	20	30	40	50	60
0	485	576	630	667	695
0,5	446	553	612	651	679
1	407	530	594	636	665
2	253	327	366	391	409
3	192	247	276	295	308

Зобразимо епюру температур на арматурі залізобетонної плити перекриття в залежності від часу пожежі $\tau=20\text{ хв}$; $\tau=40\text{ хв}$; $\tau=60\text{ хв}$.

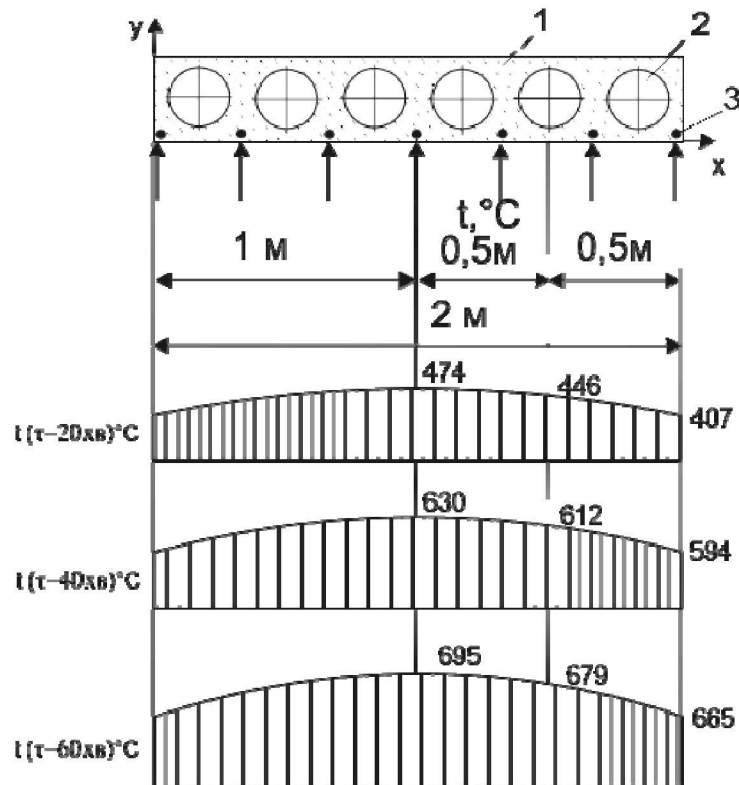


Рис. 3 – Епюра температури на арматурі ($y=0,02\text{м}$) залізобетонної плити перекриття на 20, 40 та 60 хв пожежі: 1 – бетон; 2 – пустоти; 3 - арматура

Визначаємо розподілене навантаження на балку $q_{p.n.}$:

$$q_{p.n.} = \frac{q \cdot S \cdot g}{b} = \frac{50 \cdot 12 \cdot 9,8}{2} = 2940 \text{ Н/м.}$$

Визначаємо розподілене навантаження на балку від маси плити $q_{пл.}$:

$$q_{пл.} = \frac{m_{пл.} \cdot g}{b} = \frac{300 \cdot 9,8}{2} = 1470 \text{ Н/м.}$$

Визначаємо максимальний момент:

$$M_{\max} = \frac{(q_{p.n.} + q_{пл.}) \cdot L^2}{8} = \frac{(2940 + 1470) \cdot 6^2}{8} = 19845 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Розв'язавши рівняння (9), отримаємо величину стиснутої зони бетону $\delta=0,0277\text{м}$.

При нормальних умовах середовища ($t=20^\circ\text{C}$) допустимий момент буде дорівнювати

$$M_{\text{дон}} = R_s A_s (h_0 - 0,5\delta) = 872 \cdot 10^6 \cdot 5,04 \cdot 10^{-4} (0,214 - 0,5 \cdot 0,0277) = 88000 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова міцності при $t=20^\circ\text{C}$

$$M_{\text{max}} = 19845 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{дон}} = 88000 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

що забезпечує міцність залізобетонної плити перекриття.

При збільшенні температури на арматурі класу Ат-V внутрішні допустимі напруження в ній зменшуються, як показано на рис. 4 [13].

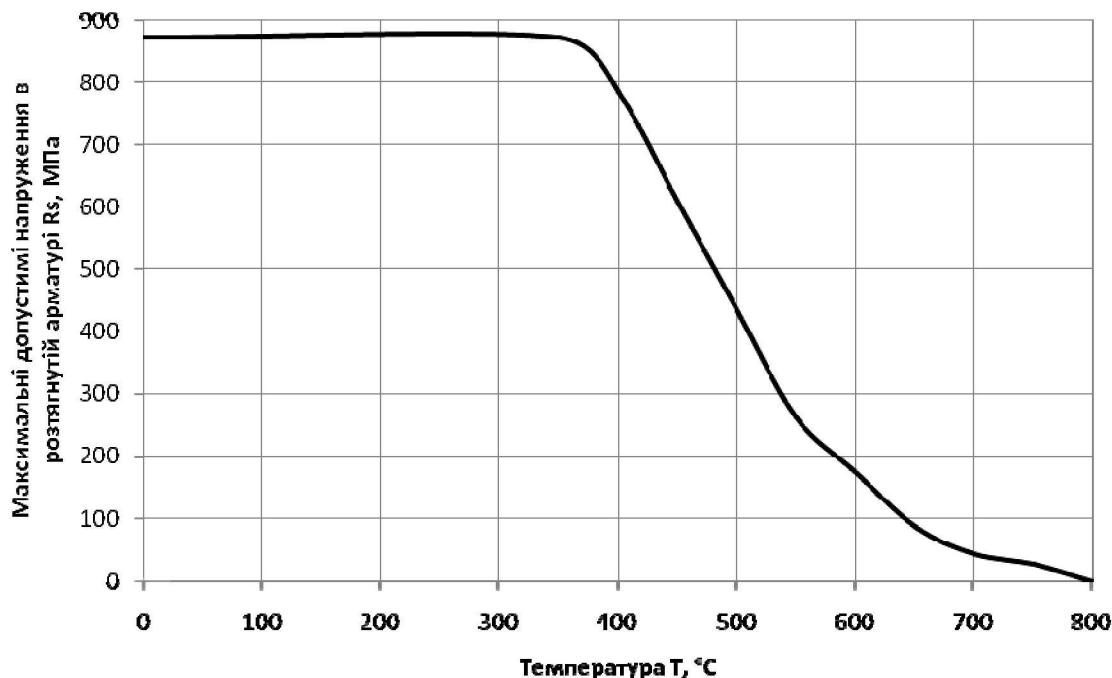


Рис. 4 – Залежність максимально допустимих напружень R_s від температури її нагріву

На підставі аналізу результатів розподілу температури (табл.1) можна зробити висновок, що температура на 60 хв пожежі в арматурі буде набувати середнє значення 680°C . При цій температурі допустимі напруження на арматурі дорівнюють $R_s=70$ МПа. Тоді допустимий момент при $t=680^\circ\text{C}$ за залежністю (10) буде

$$M_{\text{дон}} = R_s A_s (h_0 - 0,5\delta) = 70 \cdot 10^6 \cdot 5,04 \cdot 10^{-4} (0,214 - 0,5 \cdot 0,0277) = 7063 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

що не задовольняє умову міцності

$$M_{\text{max}} = 19845 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{дон}} = 7063 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для забезпечення нормованої межі вогнестійкості залізобетонного перекриття є декілька способів, а саме: збільшення захисного

шару бетону, штукатурення, створення теплозахисних екранів покриттями та фарбами, що спучуються[14]. Для вибору способу вогнезахисту необхідно врахувати коефіцієнт теплопровідності та теплоємності матеріалу, його густини, оскільки матеріал не повинен суттєво збільшувати навантаження на конструкцію та захищати від впливу високих температур пожежі. Ці дані наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Характеристики вогнезахисних матеріалів

Спосіб вогнезахисту	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°С	Питома теплоємність, кДж/кг·°С	Густина матеріалу, кг/м ³
Бетон на гранітному заповнювачі	1,3	0,71	2350
Цементна штукатурна	0,9	0,84	1800
Перлітова штукатурка	0,12-0,22	0,84	600-1000

З умови міцності (11) та з використанням залежності (10) бачимо, що допустимі напруження в арматурі не повинні бути меншими 200 МПа, а з рис.5, що температура на арматурі не повинна перевищувати 580°С. Використовуючи залежність (4) визначаємо, за який час арматура прогріється до критичної температури при заданій товщині захисного шару нанесеного на залізобетонну плиту перекриття, та вносимо ці дані в таблицю 3.

Таблиця 3 – Товщина захисного шару для залізобетонної плити перекриття

Спосіб вогнезахисту	Товщина захисного шару, м	Дійсне значення часу τ втрати несучої здатності залізобетонної плити, хв
Шар бетону на гранітному заповнювачі без нанесення штукатурки	0,01	15
	0,02	32
	0,03	68
Цементна штукатурна	0,005	20
	0,01	34
	0,015	62
Перлітова штукатурка	0,005	35
	0,006	49
	0,007	65

Висновки:

1. Розроблено уточнений метод розрахунку часу втрати несучої здатності залізобетонної плити перекриття при пожежі з урахуванням тепломасообміну в приміщенні та надані рекомендації щодо забезпечення нормованої межі вогнестійкості.

2. Результати дослідження вогнестійкості стандартної залізобетонної плити перекриття житлових та адміністративних будівель

тонної плити з урахуванням тепломасообміну при пожежі в закритому приміщенні показують, що вона не відповідає вимогам державних будівельних норм, тому необхідно підвищити вогнестійкість шляхом нанесення захисного шару бетону або вогнезахисної штукатурки. Наприклад, нанесення перлітової штукатурки товщиною 0,007 м дозволяє підвищити вогнестійкість залізобетонного перекриття приблизно в два рази, що тільки в цьому разі відповідає межі вогнестійкості REI 60.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б.В.1.1-4-98. Захист від пожеж. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. К.: Держбуд України, 1999. – 19 с.
2. Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций – М.: ГУП «НИИЖБ», 2000 – 92 с.
3. Пособие по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций из тяжелого бетона к СТО36554501-006-2006. – Москва 2008. — 134 с.
4. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules - Structural fire design
5. Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций – М.: НИИЖБ, 1986. - 40 с.
6. Копиленко М.Э. Моделирование реальных пожаров в помещениях: проблемы и решения / Промышленная теплотехника: [международный научно-прикладной журнал]. – Том 23, № 1-2 – К.: 2001. – С. 16-20.
7. Копиленко М.Э. Моделирование огнестойкости элементов строительных конструкций в условиях реального пожара / М.Э. Копиленко, П.Г. Круковский, Е.С. Картавова // Промышленная теплотехника: [международный научно-прикладной журнал]. – Том 21, № 4-5 – К.: 1999. – С. 16-21.
8. Страхов В.Л. Оптимальное проектирование огнестойких строительных конструкций // Моделирование пожаров и взрывов / Под. Общ. Ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченка. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. С. 365-446.
9. Гуліда Е.М. Забезпечення вогнестійкості залізобетонного перекриття житлових будівель в процесі пожежі / Е.М. Гуліда, А.А. Ренкас, О.В. Меньшикова // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – №19. – с. 34-40.
10. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожарном деле. – М: ВШ МВД СССР, 1969. – 425 с.
11. Гуліда Е.М., Дзюба Л.Ф., Ольховий І.М. Прикладна механіка:

Підручник / За ред. Е.М.Гуліди. – Львів: Світ, 2007. – 384 с. з іл.

12. Стасюк М.І. Залізобетонні конструкції Ч.1. Основи розрахунку залізобетонних конструкцій за граничними станами: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1997. – 272 с.

13. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001 г. – 382 с.: ил УДК614.841,34:699,81.

14. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.: ил.

Э.Н. Гулида, А.А. Ренкас

Огнестойкость железобетонных плит перекрытия жилых и административных зданий

Рассмотрены и проанализированы существующие методы обеспечения огнестойкости несущих конструкций с учетом тепломассообмена в помещении при пожаре. Предложен метод расчета времени потери несущей способности железобетонной плиты перекрытия с использованием зонной интегральной модели пожара в закрытом помещении. Данный метод позволяет учесть все возможные факторы, влияющие на развитие пожара в помещении, и определить температуру в зоне конвекционной колонки пожара. С помощью уравнения теплопроводности, развязанного методом Дюамеля, проведено теплотехническую часть расчета времени достижения критической температуры на арматуре плиты перекрытия. Записано условие устойчивости железобетонной плиты, с учетом уменьшения допустимых напряжений при увеличении температуры. Предлагаемые меры по обеспечению огнестойкости железобетонного перекрытия.

Ключевые слова: пожар, площадь пожара, температура, огнестойкость.

E.M. Gulida, A.A.Rencas

The fire-resistant of concreteslabs in residential and administrative buildings

Reviewed and analyzed existing methods of providing fire-resistance load-bearing structures, taking into account heat and mass transfer in a room with a fire. Proposed method for calculating the time of loss of bearing capacity of reinforced concrete slabs using an advanced integrated model of fire indoors. This method allows to take into account all possible factors influencing the development of a fire in the room, and to determine the temperature in the convection zone of the column of fire. Conducted thermal part of the calculation - time required to reach the critical temperature of the fixture floor slab using the heat equation that has solved by Duhamel. Recorded on the condition of stability of reinforced concrete slabs, taking into account the reduction of allowable stress with increasing temperature. Proposed measures to ensure the fire resistance of concrete floors.

Keywords: fire, fire area, temperature, fire-resistant.