



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,  
РОСІЙСЬКОЮ, ПОЛЬСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ  
ТА АНГЛІЙСЬКОЮ МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**ПОЖЕЖНА  
БЕЗПЕКА**

**ЛДУ БЖД**

**№ 23, 2013**

заснований у 2002 році

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

- |                    |   |
|--------------------|---|
| канд. техн. наук   | <b>Рак Т.Є.</b> – головний редактор                 |
| канд. техн. наук   | <b>Антонов А.В.</b> – заступник головного редактора |
| д-р техн. наук     | <b>Семерак М.М.</b> – науковий редактор             |
| д-р сільгосп. наук | <b>Кузик А.Д.</b> – заступник наукового редактора   |
| д-р техн. наук     | <b>Єжи Волянін</b> (Республіка Польща)              |
| д-р техн. наук     | <b>Гащук П.М.</b>                                   |
| д-р техн. наук     | <b>Грицюк Ю.І.</b>                                  |
| д-р техн. наук     | <b>Гудим В.І.</b>                                   |
| д-р техн. наук     | <b>Гуліда Е.М.</b>                                  |
| д-р техн. наук     | <b>Гивлюд М.М.</b>                                  |
| д-р техн. наук     | <b>Жартовський В.М.</b>                             |
| д-р техн. наук     | <b>Ковалишин В.В.</b>                               |
| д-р пед. наук      | <b>Козяр М.М.</b>                                   |
| д-р хім. наук      | <b>Михалічко Б.М.</b>                               |
| д-р техн. наук     | <b>Мичко А.А.</b>                                   |
| д-р техн. наук     | <b>Пашковський П.С.</b>                             |
| д-р техн. наук     | <b>Рак Ю.П.</b>                                     |
| д-р техн. наук     | <b>Сидорчук О.В.</b>                                |
| д-р хім. наук      | <b>Сушко В.О.</b>                                   |
| д-р фіз.-мат. наук | <b>Тацій Р.М.</b>                                   |
| д-р фіз.-мат. наук | <b>Юзевич В.М.</b>                                  |
| канд. техн. наук   | <b>Баланюк В.М.</b>                                 |
| канд. техн. наук   | <b>Болібрух Б.В.</b>                                |
| канд. техн. наук   | <b>Бабаджанова О.Ф.</b>                             |
| канд. техн. наук   | <b>Гуцуляк Ю.В.</b>                                 |
| канд. техн. наук   | <b>Клімкін В.І.</b> (Російська Федерація)           |
| канд. пед. наук    | <b>Коваль М.С.</b>                                  |
| канд. техн. наук   | <b>Откідач М.Я.</b>                                 |

**ISSN 2078-6662**

**ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ** Львівський державний університет безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД),

**ЗАРЕЄСТРОВАНО** Міністерством юстиції України 26. 06. 2008 р. Серія КВ №14342-3313ПР

**ВКЛЮЧЕНО 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*)

**ПОШТОВИЙ ІНДЕКС** 94657

**РЕКОМЕНДОВАНО ДО ВИДАННЯ** рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД  
(*Протокол № 4 від 27. 11. 2013 р.*)

**Літературний редактор** Падик Г.М.

**Редактор англійської мови** Маслюк Д.

**Технічний редактор** Сорочич М.П.

**Комп'ютерна верстка** Хлевной О.В.

**Відповідальний за друк** Фльорко М.Я.

**Друк на різнографі** Климус М.В.

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:** ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007

**Контактні телефони:** (032) 233-24-79, 233-14-97, тел./факс 233-00-88

**E-mail:** mail@ubgd.lviv.ua, ndr@ubgd.lviv.ua

Здано в набір 5. 12. 2013. Підписано до друку 12. 12. 2013.

Формат 60x84<sup>1/3</sup>. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 14,5.

Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.

Наклад: 100.

**Друк:** ЛДУ БЖД

вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

*О.Б. Андрусейко; Ю.І. Грицюк,*  
СКЛАДИ ЗБЕРІГАННЯ  
ПИЛОМАТЕРІАЛІВ: ОСОБЛИВОСТІ  
ЗАПОБІГАННЯ ВИНИКНЕННЮ  
ПОЖЕЖІ

7

*O.B. Andruseyko, Yu.I. Grytsyuk*  
STORAGE WAREHOUSE OF SHAPED-  
TIMBER: PECULIARITIES OF FIRE  
BREAKING-OUT WARNINGS

*В.М. Баланюк, О.І. Гарасимюк,  
П.В. Пастухов*  
ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ  
ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЯКИХ  
АЕРОЗОЛЬУТВОРЮЮВАЛЬНИХ  
СПОЛУК

14

*V.M. Balanyuk, O.I. Herasymyuk,  
P.V. Pastukhov*  
EXTINGUISHING EFFICIENCY OF SOME  
AEROSOL-POIETIC COMPOSITION

*О.І. Балицький, М.М. Семерак,  
В.О. Балицька, А.В. Субота,  
Я.Еліаш, О.Б. Вус*  
ЗМІНА МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
ВОДНЕВИХ БАЛОНІВ НА  
ЕНЕРГОБЛОКАХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ  
ЗА ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

20

*A.I. Balitskii, M.M. Semerak,  
V.A. Balitska, A.V. Subota,  
Ya. Eliaz, O.B. Vus*  
STRENGTH PROPERTIES CHANGE OF  
HYDROGEN CYLINDERS AT POWER  
GENERATING UNITS OF POWER  
PLANT FOR CONTINUOUS OPERATION

*О.І. Башинський, М.З. Пелешко,  
Т.Г. Березжанський*  
ВПЛИВ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА  
ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ  
ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ

29

*O.I. Bashynskyy, M.Z. Peleshko,  
T.G. Berzhanskyi*  
HIGH TEMPERATURE INFLUENCE  
ON THE PROCESS OF CEMENT ROCK  
STRUCTURING

*Р.Б. Веселівський, А.П. Половко,  
О.О. Василенко*  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ  
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
З ФІБРОЛІТОВИМИ ПЛИТАМИ

33

*R.B. Veselivskiy, A.P. Polovko,  
O.O. Vasylenko*  
EXPERIMENTAL STUDY OF WALLING  
FIRE RESISTANCE WITH FIBERBOARD  
PLATES

*D. Wróblewski, M. Kędzierska, B. Poleć*  
KONCEPCJA REALIZACJI PROJEKTU  
„ZINTEGROWANY SYSTEM BUDOWY  
PLANÓW ZARZĄDZANIA  
KRYZYSOWEGO W OPARCIU  
O NOWOCZESNE TECHNOLOGIE  
INFORMATYCZNE”

39

*D. Wróblewski, M. Kędzierska, B. Poleć*  
CONCEPTION OF THE REALISATION  
OF THE PROJECT “INTEGRATED  
SYSTEM OF CREATING EMERGENCY  
MANAGEMENT PLANS BASED ON  
MODERN INFORMATION  
TECHNOLOGIES”

*П.М. Гащук*  
ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ДИНАМІКИ  
КОЛЕСА ПОЖЕЖНОЇ МАШИНИ  
У ФЕНОМЕНОЛОГІЧНИХ ТЕРМІНАХ

50

*P.M. Hashchuk*  
WHEEL DYNAMICS GENERAL  
DESCRIPTION OF FIRE-ENGINE IN  
PHENOMENOLOGICAL TERMS

*В.І. Гудим, А.Ф. Гаврилюк*  
АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА АГРЕГАТІВ  
АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗА  
РІВНЕМ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

58

*V.I. Hudym, A.F. Gavrylyuk*  
SYSTEMS AND AGGREGATES  
ANALYSIS OF MOTOR VEHICLES  
BY THE LEVEL OF FIRE HAZARD

**Е.М. Гуліда**

ЗМЕНШЕННЯ ТРИВАЛОСТІ  
ВІЛЬНОГО РОЗВИТКУ ПОЖЕЖІ  
НА ОСНОВІ ОПТИМІЗАЦІЇ ШЛЯХУ  
СЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖНИКІВ  
ДО МІСЦЯ ЇЇ ВИНИКНЕННЯ

**Ю.В. Гуцуляк, В.В. Артеменко,  
С.Я. Вовк**

ВОГНЕЗАХИСНІ РЕЧОВИНИ НА  
ОСНОВІ НАПОВНЕНИХ  
ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНІВ ДЛЯ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**А.М. Домінік, В.М. Байтала,  
М.М. Семерак, В.В. Чернецький**  
ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНОЇ  
КОЛОНИ В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

**В.В. Ковалишин, В.М. Ковальчик,  
Т.В. Бойко**

МОДЕЛЮВАННЯ ІНЕРТИЗАЦІЇ  
ОБ'ЄКТА ВЕЛИКОЇ ПРОТЯЖНОСТІ  
З МЕТОЮ ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

**А.Д. Кузык, С.О. Ємельяненко,**  
ОЦІНЮВАННЯ ЧАСУ СЛІДУВАННЯ  
ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ  
ПІДРОЗДІЛІВ ДО МІСЦЯ ПОЖЕЖІ

**М.В. Кустов, В.Д. Калугин**  
ВЛИЯНИЕ МЕЖЧАСТИЧНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕСС  
ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В  
ИСКУССТВЕННО  
ИОНИЗИРОВАННОЙ ОБЛАСТИ  
АТМОСФЕРЫ

**А.П. Кушнір, Б.Л. Копчак, І.П. Кравець**  
ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ  
РЕАЛІЗАЦІЇ БЛОКА НЕЧІТКОЇ  
КОРЕКЦІЇ ДЛЯ ДИМОВО-ТЕПЛОГО  
ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

**В.І. Лушч, О.В. Лазаренко,  
М.А. Наливайко, Р.Ю. Сукач**  
АНАЛІЗ ПІДГОТОВКИ  
ГАЗОДИМОЗАХИСНИКІВ ДСНС  
УКРАЇНИ В ТЕПЛОДИМОКАМЕРІ ТА  
ДИМОКАМЕРАХ

64

**E.M. Gulida**

REDUCTION OF FREE FIRE  
DEVELOPMENT DURATION BASED ON  
FIREFIGHTER ITINERARY  
OPTIMIZATION TO FIRE ORIGIN POINT

71

**Yu.V. Hutsulyak, V.V. Artemenko,  
S. Ya. Vovk**

DETERMINING UNPROTECTED METAL  
COLUMN FIRE RESISTANCE LIMIT  
WITH CONSIDERING CHANGES OF  
MECHANICAL METAL PROPERTIES  
UNDER HEATING

76

**A.M. Dominik., V.M. Baytala.,  
M.M. Semerak, V.V. Chernetskyi**  
FIRE RESISTANCE OF CYLINDRICAL  
COLUMN IN FIRE CONDITION

81

**V.V. Kovalyshyn, V.M. Kovalchuk,  
T.V. Boyko**

INERTISATION MODELLING OF LONG  
MILEAGE OBJECT WITH THE AIM OF  
FIRE EXTINGUISHING

86

**A.D. Kuzyk, S.O. Emelyanenko**  
RUNNING TIME EVALUATION OF  
FIRE AND RESCUE UNITS TO  
FIRE LOCATION (BY THE  
EXAMPLE OF LVIV)

93

**M.V. Kustov, V.D. Kalugin**  
INTERPARTICLES INFLUENCE ON  
SEDIMENTATION PROCESS IN  
ARTIFICIALLY IONIZED  
ATMOSPHERIC AREA

102

**A. Kushnir, B. Kopchak, I. Kravets**  
ALGORITHMS REALIZATION  
RESEARCH OF FUZZY CORRECTION  
BLOCK FOR SMOKE-HEAT  
ANNUNCIATOR

111

**V.I. Lushch, O.V. Lazarenko,  
M.A. Nalyvayko, P. Yu. Sukach**  
SMOKE DIVER TRAINING ANALYSIS  
OF SES OF UKRAINE IN THERMAL  
AND SMOKE CHAMBER

*О. Б. Михалічко, О. М. Щербина,  
Б. М. Михалічко, О. І. Лавренюк*  
КВАНТОВО-ХІМІЧНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ КІЛЬКІСНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖОВИБУХО-  
НЕБЕЗПЕКИ АНІЛІНУ У ЗВ'ЯЗАНОМУ  
З КУПРУМ(ІІ) ХЛОРИДОМ СТАНІ

*О.В. Міллер, А.І. Харчук, Ю.Є. Шелюх*  
НОРМАТИВНО-ПРАВОВА  
НЕВІДПОВІДНІСТЬ ПОЖЕЖНОЇ  
БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТАХ З МАСОВИМ  
ПЕРЕБУВАННЯМ ЛЮДЕЙ

*М.І. Пашечко, Т.Г. Бережанський,  
В.Й. Кузиляк*  
ПОКРАЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖЕЖНОГО  
ІНСТРУМЕНТУ ПОКРИТТЯМИ НА  
ОСНОВІ ЕВТЕКТИЧНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*А.А. Ренкас, Е.М. Гуліда*  
ВРАХУВАННЯ РЕАЛЬНОГО  
РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ  
ПОЖЕЖІ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА  
ЗАЛИШКОВУ МІЦНІСТЬ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ

*А.Г. Ренкас, А.А. Ренкас,  
І.В. Волинський*  
РОЗРОБЛЕННЯ ЗАСОБІВ ГАСІННЯ  
ПОЖЕЖІ В ПІДКАПОТНОМУ  
ПРОСТОРИ АВТОМОБІЛЯ

*О.М. Рymar*  
КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ В  
ЛІНІЙНОМУ КОНТАКТІ ДЕТАЛЕЙ  
ПІДШИПНИКІВ З ПЕРЕКОСОМ  
ТВІРНИХ

*Ю.П. Стародуб, Б.Є. Купльовський,  
Ю.Є. Шелюх, А.П.Гаврись,*  
ЛОКАЛІЗАЦІЯ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧ-  
НИХ ДІЛЯНОК З ВИКОРИСТАННЯМ  
СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ  
СЕЙСМОАКТИВНИХ ЗОН УКРАЇНИ

*І.Л. Ущипівський, Я.Б. Кирилів,  
О.О. Водка, О.О. Ларін*  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ  
ВІДЦЕНТРОВОГО ПОЖЕЖНОГО  
НАСОСА ЗІ ЗНОШЕНИМИ  
ПІДШИПНИКАМИ

116

*О. В. Mykhalitchko, O. M. Shcherbyna,  
B. M. Mykhalitchko, O. I. Lavreniuk*  
QUANTUM-CHEMICAL MODELLING OF  
THE QUANTITATIVE PARAMETERS  
THAT DETERMINE THE FIRE SAFETY  
OF THE ANILINE IN BOUND STATE  
WITH COPPER (II) CHLORIDE

121

*O.V. Miller, A.I. Kharchuk, Y.E. Shelyuh*  
REGULATORY DISPARITY OF FIRE  
SAFETY ONSITE CROWDED PLACES

125

*M. I. Pashechko, T.G. Berezhanskyi,  
V. Y. Kuzlyak*  
IMPROVING FIRE DEPARTMENT TOOL  
MECHANICAL CHARACTERISTICS BY  
APPLYING COATINGS BASED ON  
EUTECTIC COMPOSITE MATERIALS

131

*A.A. Renkas, E.N. Gulida*  
INFLUENCE OF NATURAL  
TEMPERATURE DISTRIBUTION ON  
RESIDUAL STRENGTH OF METAL  
DECK SLAB DURING FIRES

139

*A.G. Renkas, A.A. Renkas, I.V. Volynskyi*  
DEVELOPMENT OF EXTINGUISHING  
INSTALLATION IN CAR ENGINE ROOM

144

*A.M. Rymar*  
CONCENTRATION OF TENSIONS IN  
LINEAR CONTACT OF DETAILS OF  
BEARINGS WITH DEFECT OF  
FORMATIVE

151

*Y.P. Starodub, B.E. Kuplovskyi,  
Y.E. Shelyukh, A.P. Havrys*  
FIRE AREAS LOCALIZATION USING  
SATELLITE DATA FOR SEISMIC  
ZONES OF UKRAINE

158

*I.L. Ushapivskyi, Ya.B. Kyryliv, O.O. Vodka,  
O.O. Larin*  
AN EXPERIMENTAL STUDY OF  
CENTRIFUGAL FIRE PUMP  
VIBRATIONS WITH WORN-OUT  
BEARING

*Н.О. Ференц, М.М. Кучерява*  
ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА  
ЕЛЕКТРОЛІЗНИХ УСТАНОВОК

166

*N.A. Ferents, M.N. Kucheryava*  
FIRE SAFETY OF ELECTROLYSIS  
PLANTS

*Р.С. Яковчук, Р.В. Пархоменко,  
М.М. Гивлюд, С.П. Брайченко*  
РОЗКРИТТЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ  
ІНТУМЕСЦЕНТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
АТМОСФЕРО-ВОГНЕЗАХИСНИХ  
ПОКРИТТІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ  
ВИРОБІВ НА ОСНОВІ БЕТОНУ

170

*R.S. Yakovchuk, R.V. Parkhomenko,  
M.M. Huvlyud, S.P. Braychenko*  
FEATURES DISCLOSURE OF  
INTUMESCENT TECHNOLOGY OF FIRE  
AND ATMOSPHERIC PROTECTIVE  
COATINGS FOR BUILDING PRODUCTS  
BASED ON CONCRETE

**ВРАХУВАННЯ РЕАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ ПОЖЕЖІ ТА ЙОГО  
ВПЛИВ НА ЗАЛИШКОВУ МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ**

Проаналізовано методики щодо визначення залишкової міцності після пожежі. Розроблено метод, що базується на визначенні залишкової міцності з урахуванням даних про розвиток пожежі. При цьому враховані всі стадії розвитку та гасіння пожежі. З використанням рівняння теплопровідності з граничними умовами третього роду, де температура середовища – функція від часу, розраховані температурні поля в залізобетонній плиті. За результатами розрахунків температурного поля перевірено умову міцності плити. Встановлено, що при гасінні пожежі, коли температура в приміщенні знижується, температура в перерізі плити деякий час продовжує зростати. При досягненні критичної температури арматури можливе руйнування конструкції.

*Ключові слова:* залишкова міцність, температурний режим, час вільного розвитку пожежі, залізобетонна плита перекриття

**Постановка проблеми.** При пожежі в приміщенні здійснюється високотемпературний вплив на будівельні конструкції, внаслідок якого відбувається незворотна зміна їх міцності. Після пожежі виникає необхідність підсилення чи розбирання будівельних елементів, що були охоплені вогнем. Для того, щоб дати оцінку носійної здатності залізобетонних плит перекриття після пожежі, необхідно на основі даних про її розвиток визначити температурний режим у приміщенні та температурні поля у поперечному перерізі цієї конструкції.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існує ряд методик [1, 2] для визначення залишкової міцності залізобетонних конструкцій, в яких наведені коефіцієнти умов роботи. У роботі [1] рекомендується при розрахунках приймати прогрів за стандартним температурним режимом. У роботі [2] наведена методика приведення стандартного температурного режиму до реального, яка базується на порівнянні часу досягнення максимальної температури з часом її досягнення у стандартному режимі, і не враховує всіх стадій розвитку пожежі. У зв'язку з тим, що в Україні відсутні норми для визначення залишкової міцності конструкцій, користуються рекомендаціями [2]. У роботі [3] авторами проведені експериментальні дослідження значень коефіцієнтів умов роботи арматури та бетону під час дії місцевого нагрівання. Встановлено, що значення цих коефіцієнтів, що наведені в роботі [1], найбільш наближені до експериментальних. У роботі [4] також наведені експериментальні дані щодо зниження міцності бетону (на стиск і на розтяг) та арматури при пожежі та після неї. Автори вказують на необхідність враховувати реальну зміну температури, що діє на конструкцію. Крім того в роботі запропоновані методи оптимізації складу бетону для забезпечення міцності після пожежі.

*Невирішеною раніше частиною загальної проблеми* є моделювання пожежі в приміщенні з урахуванням початкової та розвинутої її стадії з метою визначення температурних полів у конструкціях для визначення залишкової міцності.

**Мета роботи.** Метою роботи є розроблення методу визначення залишкової міцності залізобетонних плит перекриття після пожежі у приміщенні.

**Постановка задачі та її розв'язок.** Для визначення залишкової міцності будь-яких конструкцій необхідно враховувати температурний вплив з урахуванням всіх стадій пожежі, а саме: початкової, розвинутої та стадії гасіння або затухання. Крім того необхідно враховувати різні обставини, що виникають у процесі пожежі (руйнування віконного скла, відкриття дверей та ін.). Також необхідно визначити причину та місце виникнення горіння для того, щоб змодельовати зростання площі пожежі (кутової 90°, кутової 180°, кругової). Деякі дані можна отримати в процесі розвідки пожежі (час повідомлення, час прибуття, час введення стволів та ін.), в процесі її гасіння (час локалізації, час ліквідації) та у результаті дослі-

дження пожежі (причину, час, місце виникнення та ін.). Решту даних отримують з довідкової літератури (теплота згорання горючого матеріалу, лінійна швидкість розповсюдження полум'я, питома швидкість вигорання, повнота згорання та ін.). На основі цієї інформації можна змоделювати пожежу в приміщенні, яка вже відбулася.

Час вільного розвитку пожежі складається з таких складових: часу до виявлення пожежі, часу збору і виїзду пожежно-рятувальних підрозділів, часу слідування до місця виклику і часу оперативного розгортання. Час до виявлення пожежі становить в містах від 8 до 14 хвилин. Час збору та виїзду в більшості випадків не перевищує однієї хвилини. Час слідування залежить від відстані від місця розташування пожежно-рятувального підрозділу до місця виклику. Радіус району обслуговування частин не повинен перевищувати 3 км [5], хоча в деяких випадках шлях до крайньої точки району може бути більший за 5 км. Залежно від ситуації на дорогах міста, час, за який пожежний автомобіль доїжджає до місця виникнення надзвичайної ситуації, в середньому дорівнює 17 хв [6], хоча може бути більшим. Час оперативного розгортання залежить від кількості відділень, кількості пожежних стволів, кількості гідрантів та поверху, на якому виникла пожежа. Ця складова розраховується відповідно з Довідником КГП [7], і в середньому становить 10 хв. Отже, зважаючи на вищезазначене, час вільного розвитку пожежі в деяких умовах може становити 45 хв і більше. Хоча для кожної пожежі він різний.

Для визначення середньооб'ємної температури в приміщенні використаємо інтегральну модель пожежі. На основі диференціальних рівнянь матеріального стану та енергії пожежі нами отримано аналітичний розв'язок для визначення середньооб'ємної густини середовища приміщення при пожежі в закритому приміщенні [8]

$$\rho_m = \left( \rho_0 - \frac{c_m \rho_0 t_0}{\eta Q_n^p (1 - \varphi)} \right) \exp \left( - \frac{\eta \psi_n S_{II} Q_n^p (1 - \varphi)}{c_m \rho_0 t_0 V} \tau \right) + \frac{c_m \rho_0 t_0}{\eta Q_n^p (1 - \varphi)}, \quad (1)$$

де  $\rho_m$  – середньооб'ємна густина газового середовища в приміщенні, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – початкова густина газового середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $c_m$  – ізобарна питома теплоємність, Дж/°С;  $t_0$  – початкова температура, °С;  $\eta$  – повнота згорання;  $Q_n^p$  – теплота згорання, Дж/кг;  $\varphi$  – коефіцієнт теплопоглинання;  $\psi_n$  – питома швидкість вигорання матеріалу, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $S_{II}$  – площа пожежі, м<sup>2</sup>;  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – час пожежі, с.

Також на основі диференціальних рівнянь нами отримано аналітичний розв'язок для визначення середньооб'ємної густини газоповітряної суміші в приміщенні з відкритими віконними та дверними отворами [9]

$$\frac{2\rho_0 VA}{\psi_{num} S_{II} DB} \left[ \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_m}} - \frac{DB^2 - A^2 + DA^2}{ABD} \cdot \left( \frac{1}{2} \ln \left| \left( \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_m}} + \frac{A - DA}{2BD} \right)^2 - \frac{(A - AD)^2 + 4B^2 D}{4B^2 D^2} \right| - \left( \frac{A - DA}{2BD} + \frac{AB}{DB^2 + A^2 - DA^2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{BD}{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}} \cdot \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_m}} + \frac{A - DA}{2BD} - \frac{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}}{BD}}{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_m}} + \frac{A - DA}{2BD} + \frac{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}}{BD}} \right| \right) \right] = \quad (2)$$

$$= \tau + \frac{2\rho_0 VA}{\psi_{num} S_{II} DB} \left[ 1 - \frac{DB^2 - A^2 + DA^2}{ABD} \cdot \left( \frac{1}{2} \ln \left| \left( 1 + \frac{A - DA}{2BD} \right)^2 - \frac{(A - AD)^2 + 4B^2 D}{4B^2 D^2} \right| - \left( \frac{A - DA}{2BD} + \frac{AB}{DB^2 + A^2 - DA^2} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{BD}{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}} \cdot \ln \left| \frac{1 + \frac{A - DA}{2BD} - \frac{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}}{BD}}{1 + \frac{A - DA}{2BD} + \frac{\sqrt{(A - DA)^2 + 4B^2 D^2}}{BD}} \right| \right) \right],$$



де  $D = \frac{Q_{\min} \cdot \eta \cdot (1 - \varphi)}{c_m \cdot t_0}$ ,  $A = s \cdot (y_* - y_n)^{\frac{1}{2}}$ ,  $B = s \cdot (y_e - y_*)^{\frac{3}{2}}$ ,  $s$  – ширина вікна, м;  $y_n$  – відстань від підлоги до нижнього краю вікна, м;  $y_e$  – відстань від підлоги до верхнього краю вікна, м;  $y_*$  – відстань від підлоги до позначки в приміщенні, на якій тиск дорівнює зовнішньому (атмосферному) тиску, м.

Для переходу від середньооб'ємної густини середовища до температури використовують таку залежність [12]:

$$t_m = \frac{\rho_0 t_0}{\rho_m}. \quad (3)$$

Для визначення значень температури в перерізі плити перекриття, де температура середовища – функція часу  $t_m = f(\tau)$ , розглянемо задачу теплопровідності з граничними умовами третього роду, яка математично записується так:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a_{red} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}; \quad (4)$$

з початковими умовами

$$t(x, 0) = t_0; \quad (5)$$

та граничними умовами

$$\text{при } x = 0 \quad \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\alpha}{\lambda} \cdot (t_c - t_w) = 0, \quad (6)$$

де  $t_w$  – температура поверхні конструкції, °С;  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності бетону, Вт/(м·°С);  $a_{red}$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с.

Розглядаємо плиту перекриття як напівобмежене тіло, оскільки за короткий час пожежі, плита не прогріється до протилежної сторони. Розв'язок рівняння (4) з початковими та граничними умовами (5), (6), отриманий в роботі [10], має такий вигляд:

$$t(x, \tau) = \int_0^{\tau} f(\tau) \cdot \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a_{red}}{\pi \cdot v}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot a_{red} \cdot v}\right) dv - \int_0^{\tau} a_{red} \cdot \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \cdot \exp\left(\frac{\alpha}{\lambda} \cdot x + a_{red} \cdot \left(\frac{\alpha}{\lambda}\right)^2 \cdot v\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{a_{red} \cdot v}} + \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a_{red} \cdot v}\right) dv, \quad (7)$$

де  $v$  – змінна, яка набуває значення від  $\tau$  до 0;  $x$  – глибина прогріву, м.

При цьому вплив води, якою гасять пожежу, на залізобетонну плиту перекриття не враховувався. Для того, щоб визначити залишкову міцність, необхідно міцність арматури та бетону на  $i$ -ій товщині помножити на коефіцієнти зниження міцності після температурного впливу (табл. 1 та 2).

Таблиця 1

Зниження міцності арматури після пожежі [2]

Клас арматури	Коефіцієнт зниження міцності після пожежі, %, при температурі її прогрівання, °С		
	300	400	500
А-I, А-II, А-III	1	1	1
А-IV, А-V, А-VI	1	0,95	0,9
АТ-IV, АТ-V, АТ-VI	1	0,9	0,8
В-II, Вр-II, К7	1	0,7	0,4

Зниження міцності бетону після пожежі [2]

Вид бетону і умови твердіння	Коефіцієнт зниження міцності після пожежі, %, при температурі його прогрівання, °С						
	60	120	150	200	300	400	500
Важкий на гранітному заповнювачі, природне	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3
Важкий на гранітному заповнювачі, теплово-логісна обробка	0,85	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,55
Важкий на вапняному заповнювачі, теплово-логісна обробка	0,85	0,8	0,8	0,75	0,75	0,6	60
Легкий на керамзитовому заповнювачі, природне	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,85	0,8

Міцність залізобетонної плити перекриття за максимальним та допустимим згинальними моментами перевіряють з такої умови [11]:

$$M_{\max} \leq f_{d,sk} \cdot A_s \cdot z_b + f_{d,ck} \cdot b \cdot \chi \cdot z_b, \quad (8)$$

де  $M_{\max}$  – згинальний момент, Н·м;  $f_{d,sk}$  – міцність арматури на розтяг, МПа;  $A_s$  – площа поперечного перерізу арматури, м<sup>2</sup>;  $z_b$  – відстань від арматури до середини стиснутої зони, м,

$$z_b = h - (0,5 \cdot \chi + \delta + 0,5 \cdot d_s), \quad (9)$$

де  $h$  – товщина залізобетонної плити перекриття, м;  $\delta$  – товщина захисного шару бетону, м;  $d_s$  – діаметр арматурного стержня, м;  $\chi$  – висота стисненого шару бетону, м,

$$\chi = \frac{f_{d,sk} \cdot A_s}{f_{d,ck} \cdot b}, \quad (10)$$

де  $b$  – ширина плити, м;  $f_{d,ck}$  – міцність бетону на стиск, МПа.

Під дією високих температур міцність знижується. При розрахунку допустимого згинального моменту це враховують шляхом введення коефіцієнта зниження міцності арматури на розтяг  $k_s(t)$  та коефіцієнтів зниження міцності  $i$ -ого шару  $\chi_i$  стисненої зони бетону  $k_{bi}(t)$ . Ці коефіцієнти отримують з табл. 1 та табл. 2, залежно від температури в перерізі плити. Тоді умова міцності за згинальним моментом запишеться

$$M_{\max} \leq k_s(t) \cdot f_{d,sk} \cdot A_s \cdot z_b + z_b \cdot b \cdot \sum_{i=0}^n k_{bi}(t) \cdot \chi_i \cdot f_{d,ck} \quad (11)$$

Розглянемо визначення залишкової міцності залізобетонної плити перекриття на прикладі.

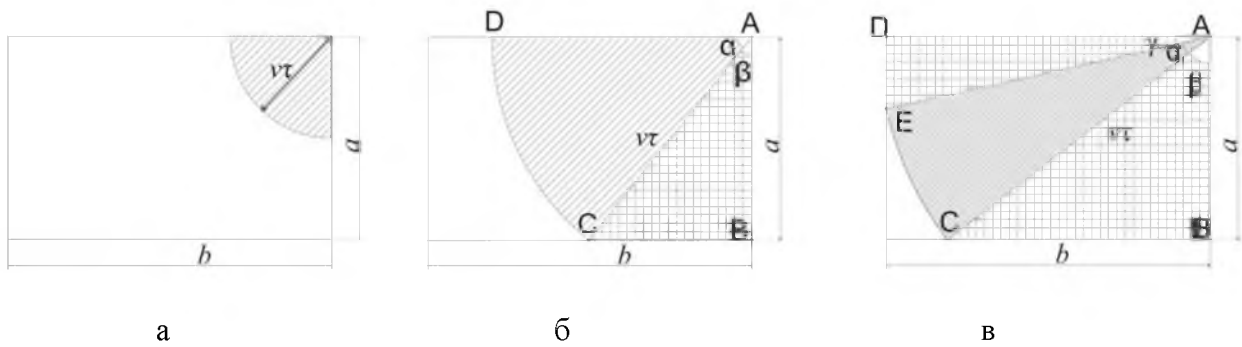
**Приклад.** Пожежа виникла в куті житлового приміщення розміром 6х4 м та висотою 2,5 м. У приміщенні було відкрите вікно розміром 1,3х1 м. Нижча температура згорання пожежного навантаження – 13800 КДж/кг, питома швидкість згорання – 0,0145 кг/(м<sup>2</sup>·с), лінійна швидкість розповсюдження полум'я – 0,0108 м/с. Час до виявлення пожежі дорівнює 14 хв, час збору та виїзду – 1 хв, час слідування склав 10 хв, а тривалість оперативного розгортання – 5 хв. Пожежу вдалося ліквідувати за 10 хв після введення пожежних стволів. Перекриття приміщення – залізобетонна монолітна плита розміром 6280х1790х220 мм. Бетон важкий на гранітному заповнювачі В15. Арматура: 6 шт. класу Ат-V, діаметром 12 мм. Нормативне навантаження на залізобетонну плиту становить 4903 Н/м<sup>2</sup>, а навантаження від власної ваги – 2927 Н/м<sup>2</sup>.

1. Визначаємо площу пожежі в приміщенні.

Радіус пожежі визначається добутком лінійної швидкості пожежі на час. На початковій стадії пожежі, доки фронт пожежі не досягне огорожувальної конструкції, площа пожежі визначається як площа чверті кола (рис. 1 а)

$$S_{\Pi} = \frac{\pi \cdot (v \cdot \tau)^2}{4}, \quad (12)$$

де  $v$  – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/с.



**Рис. 1.** Площа пожежі при її виникненні в куті приміщення:

а) радіус пожежі  $vt \leq a$ ; б) радіус пожежі  $a < vt \leq b$ ; в) радіус пожежі  $b < vt < \sqrt{a^2 + b^2}$

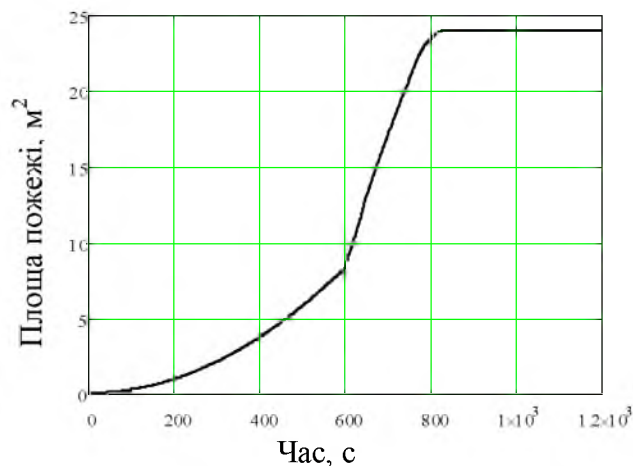
Після того, як фронт пожежі дійде до ближньої огорожувальної конструкції, площа пожежі рівна сумі площі сектора ACD та прямокутного трикутника ABC (рис. 1 б)

$$S_{II} = \frac{90 - \arctg \frac{\sqrt{(v\tau)^2 - a^2}}{a}}{360} \cdot \pi(v\tau)^2 + \frac{a \cdot \sqrt{(v\tau)^2 - a^2}}{2} \quad (13)$$

Після того, як фронт пожежі дійде до віддаленої огорожувальної конструкції, площа пожежі дорівнює сумі площі сектора ACE та двох прямокутних трикутників – ABC та ADE (рис. 1 в)

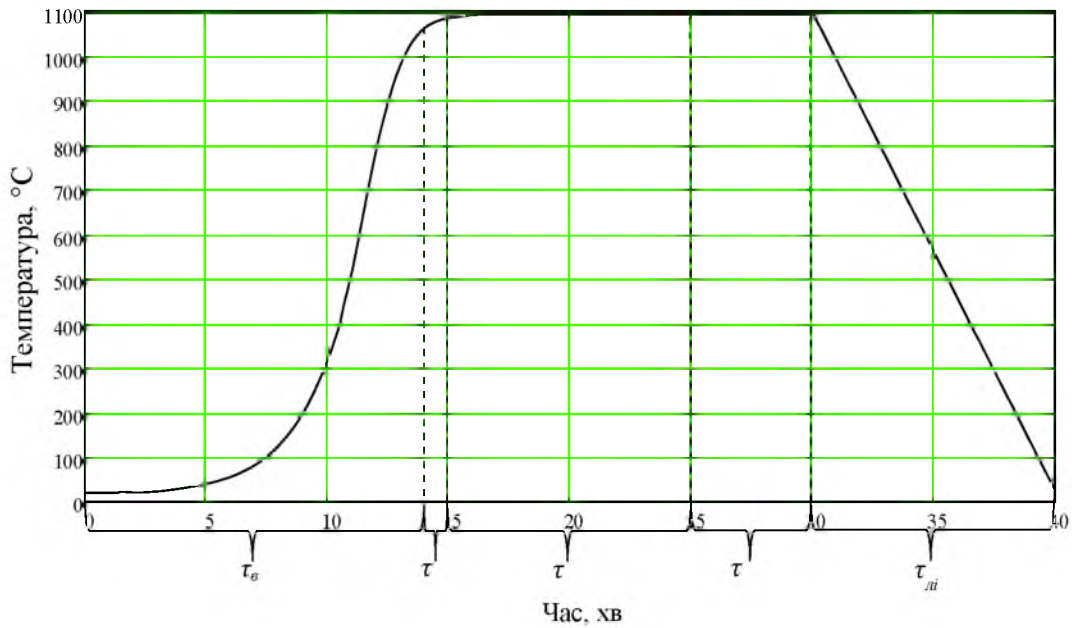
$$S_{II} = \frac{90 - \arctg \frac{\sqrt{(v\tau)^2 - a^2}}{a} + \arctg \frac{\sqrt{(v\tau)^2 - b^2}}{b}}{360} \cdot \pi(v\tau)^2 + \frac{a \cdot \sqrt{(v\tau)^2 - a^2}}{2} + \frac{b \cdot \sqrt{(v\tau)^2 - b^2}}{2} \quad (14)$$

Протягом наступного часу площа пожежі дорівнює площі приміщення. При цьому слід врахувати, що перші 10 хв лінійна швидкість розповсюдження полум'я дорівнює  $0,5 \cdot v$ . Провівши розрахунки отримаємо таку залежність площі пожежі від часу (рис. 2).



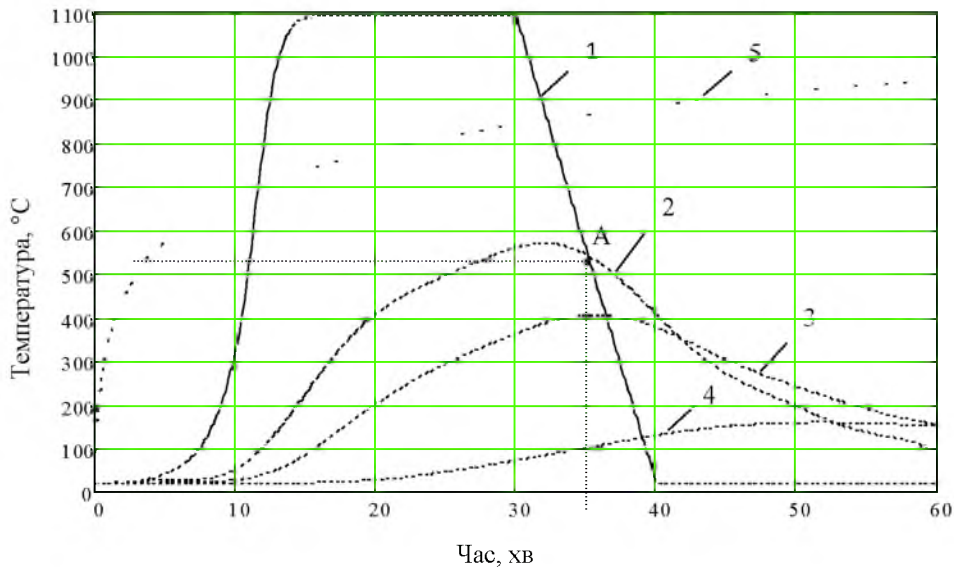
**Рис. 2.** Зміна площі кутової пожежі ( $90^\circ$ ) з часом

2. Визначаємо температурний режим за допомогою залежності (2) та (3). Результати розрахунків середньооб'ємної температури в приміщенні під час пожежі наведені на рис. 3. При розрахунках необхідно врахувати зміну площі пожежі в приміщенні. Розрахунки проводились за допомогою пакета прикладних програм MathCad.



**Рис. 3.** Температурний режим пожежі в житловому приміщенні

3. Визначаємо зміну температури в різних точках перерізу залізобетонної плити. Використаємо залежність (7), підставивши функцію зміни температури з часом  $f(\tau)$ , отриману за залежностями (2) та (3), та визначаємо температуру в перерізі плити (рис. 4). Розрахунки проводились за допомогою пакета прикладних програм MathCad.



**Рис. 4.** Температура: 1 – середовища; 2 – на глибині прогріву 0,01 м залізобетонної плиті; 3 – арматури, 4 – на глибині прогріву 0,05 м залізобетонної плити; 5 – температура середовища за стандартним температурним режимом

Як бачимо з рис. 4, т. А, всередині плита продовжує нагріватись до певного моменту. Так арматура на 35 хв прогрівається до температури більше 400°C (вже у процесі гасіння пожежі). Згідно [2], при такій температурі міцність арматури знижується від 5 до 30 % залежно від класу арматури. У стиснутій зоні важкого бетону на гранітному заповненні його міцність знижується від 30 % при 60°C до 70% при 500°C. У нашому випадку бетон в стисненій зоні прогрівся до температури 38 °С.

4. Перевіряємо умову міцності плити перекриття. Максимальний згинальний момент в однопролітній плиті буде становити

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{(q_n + p) \cdot b \cdot l^2}{8} = \frac{(4903 + 2927) \cdot 1,79 \cdot 6,28^2}{8} = 80330 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $q_n$  – нормативне навантаження на плиту,  $\text{Н/м}^2$ ;  $p$  – навантаження від ваги плити,  $\text{Н/м}^2$ ;  $l$  – довжина плити, м.

Оскільки температура в зоні арматури сягає максимального значення  $400^\circ\text{C}$ , то коефіцієнт зниження міцності арматури  $k_s(400^\circ\text{C})$  буде дорівнює 0,9 (табл. 1). Температура в стисненій зоні не перевищує  $38^\circ\text{C}$ , при якій міцність не знижується, тому коефіцієнт зниження міцності  $k_b(38^\circ\text{C})$  дорівнює 1 (табл. 2). Знаходимо значення правої частини залежності (11)

$$k_s(t) \cdot f_{d,sk} \cdot A_s \cdot z_b + z_b \cdot b \cdot \sum_{i=0}^n [k_{bi}(t) \cdot \chi_i \cdot f_{d,ck}] =$$

$$= 0,9 \cdot 706 \cdot 10^6 \cdot 6,78 \cdot 10^{-4} \cdot 0,18 + 0,18 \cdot 1,79 \cdot 1 \cdot 0,026 \cdot 9,35 \cdot 10^6 = 156100 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Як бачимо, умова міцності задовольняється ( $80330 \text{ Н} \cdot \text{м} < 156100 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ). Отже, після пожежі для цього випадку можлива подальша експлуатація існуючої залізобетонної плити перекриття. При стандартному температурному режимі арматура прогрівається до температури  $350^\circ\text{C}$ . Значення коефіцієнта зниження міцності арматури на розтяг при цій температурі буде дорівнювати 0,95. Тоді значення допустимого моменту сил буде  $163200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

#### Висновки:

1. Розроблено метод визначення залишкової міцності залізобетонної плити перекриття після пожежі, який дає змогу отримати значення залишкової міцності, з використанням основних положень теплопередачі.

2. Проведені розрахунки залишкової міцності при пожежі в житловому приміщенні тривалістю 40 хв, в тому числі 30 хв вільного розвитку та 10 хв локалізації та гасіння, показали, що в зоні арматури температура сягає  $400^\circ\text{C}$  при температурі на зовнішній поверхні плити –  $798^\circ\text{C}$ , а її міцність зменшується на 10 %. Бетон прогрівається на глибині 1 см до температури  $550^\circ\text{C}$ , на глибині 2 см – до  $400^\circ\text{C}$ , на 5 см – до  $150^\circ\text{C}$ , на 11 см (половина товщини плити) – до  $40^\circ\text{C}$ . Стиснута зона бетону не нагрівається до критичних температур за наведений час ліквідації пожежі. В цьому випадку умова міцності забезпечується.

3. Значення допустимого моменту сил при розрахунках з використанням розробленого методу буде на 4,35% меншим, ніж при розрахунку за стандартним температурним режимом, що показує ефективність розробленої методики.

4. Наведений метод потребує подальшого удосконалення і може бути рекомендований для розрахунку міцності залізобетонних конструкцій за згинальним моментом після пожежі з використанням прикладних програм у будівельній практиці.

#### Список літератури:

1. **СТО36554501-006-2006** «Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций» – М., 2006. – 81 с
2. **Рекомендации** по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром – М., 1987. – 80 с.
3. **Була С.С.** Дослідження залишкової міцності залізобетонних елементів при дії місцевого нагрівання / Була С.С., Стойко Т.В. // Теорія і практика будівництва. – 2010. – №662. – С. 69-73.
4. **György L. Balázs, Éva Lublóy.** Reinforced concrete structures in and after fire / Concrete structures. – 2012. – P. 72-80.
5. **ДБН 360–92\***. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень

6. **Крайнюк О.І.** Підходи до визначення місць дислокації та площі обслуговування підрозділів місцевої пожежної охорони / Науковий вісник УкрНДІПБ – К. : УкрНДІПБ. – 2008. – № 2 (18) – С. 180-185.

7. **Теребнев В.В.** Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. – М.: Пожкнига, 2004 г. – 256 с.

8. **Гуліда Е.М.** Забезпечення вогнестійкості залізобетонного перекриття житлових будівель в процесі пожежі / Гуліда Е.М., Ренкас А.А. // Збірник наукових праць: «Пожежна безпека». Львів. 2011. – № 11. – С. 34-40.

9. **Гуліда Е.М.** Моделювання пожежі в приміщенні житлових та громадських споруд з урахуванням тепломасообміну з оточуючим середовищем / Гуліда Е.М., Ренкас А.А. // Збірник наукових праць: «Пожежна безпека: теорія і практика». Черкаси. 2012. - № 11. – С. 16-24.

10. **Лыков А.В.** Тепломассообмен: Справочник. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. - 480 с.

11. **Байков В.Н.** Железобетонные конструкции / Байков В.Н., Сигалов Э.Е. – М. : СТОРЙИЗДАТ, 1984. – 728 с.

12. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

*А.А. Ренкас, Э.Н. Гуліда*

### **УЧЕТ РЕАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПОЖАРЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ**

Проанализированы методики по определению остаточной прочности после пожара. Разработан метод, основанный на определении остаточной прочности с учетом данных о развитии пожара. При этом учтены все стадии развития и тушения пожара. С использованием уравнения теплопроводности с граничными условиями третьего рода, где температура среды – функция от времени, рассчитанные температурные поля в железобетонной плите. По результатам расчетов температурного поля проверено условие прочности плиты. Установлено, что при тушении пожара, когда температура в помещении снижается, температура в сечении плиты некоторое время продолжает расти. При достижении критической температуры арматуры возможно разрушение конструкции.

**Ключевые слова:** остаточная прочность, температурный режим, время свободного развития пожара, железобетонная плита перекрытия

*А.А. Renkas, E.N. Gulida*

### **INFLUENCE OF NATURAL TEMPERATURE DISTRIBUTION ON RESIDUAL STRENGTH OF METAL DECK SLAB DURING FIRES**

The methodologies of determining residual strength after fires were analyzed. Method based on the determination of residual strength with fire development data was elaborated. All development and fire extinguishing stages were taken into account. Reinforced concrete slab temperature fields were calculated with the use of heat transfer equation with third kind boundary conditions. Strength plate condition was tested on the results of temperature field calculations. It is found that during fire extinguishing when the room temperature decreases, the temperature in the plate section continues to grow for a while. When the critical temperature on armature is achieved, metal deck slab can be destroyed.

**Keywords:** residual strength, temperature regime, free fire spread, metal deck slab