

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. И.Ф.Кимстач, П.П.Девлишев, М.М.Евтушкин. Пожарная тактика. М.: Стройиздат, 1984. – 590 С.
2. Рекомендации Рослесхоза от 17 декабря 1997 г. по обнаружению и тушению лесных пожаров (утв. Рослесхозом 17 декабря 1997 г.). - <http://rosgidproles.park.ru/public/210>
3. Концепция развития лесного хозяйства Российской Федерации // Альманах "Природные ресурсы России. Нефтегазовый комплекс. Энергетика (год 2002-й)". - 2002, АСМО-пресс. - <http://analitics.ex.ru/cgi-bin/txtinser.pl?node=664&txt=1774&lang=1&sh=1>.
4. Forest Fire Lookout Association Home Page. - <http://www.firelookout.org/>
5. О. Дорофеев. Космонавтика. Многопрофильность "Полема". - [http://aviaraportna.narod.ru/journal/1999\\_5/20.HTM](http://aviaraportna.narod.ru/journal/1999_5/20.HTM)
6. Самолет для тушения лесных пожаров АН-32П. - [http://vi21.mvdv.ru/expo/775/prod\\_491\\_r.htm](http://vi21.mvdv.ru/expo/775/prod_491_r.htm)
7. Многоцелевой самолет-амфибия БЕ-200. - <http://www.aviaport.ru/news/MarketNews/13819.html>.
8. Бищенко В.И. НК-мониторинг пожароопасных регионов с летательных аппаратов.// Проблемы региональной экологии. - № 8, 2000. – С. 167.
9. В.В.Азатян, И.А.Болодьян, Ю.Н.Шебеко, С.Н.Копылов. Применение летательных аппаратов для обнаружения и тушения лесных пожаров. – М.: Изд Фгу ВНИИПО МЧС России. - № 2, 2003. – С. 140-141.
10. Дубровський В., Пархісенко Я.В., Потопенко Л.С., Рябоконеко О.Д., Штепа Ю.Н. Український центр менеджменту землі і ресурсів (УЦМЗР). Космічний моніторинг лісових пожеж за знімками NOAA в УЦМЗР // Космічна наука і технологія. – Т. 8, № 2-3. – 2002. С. 246-248.
11. В. А. Коршунов, С. С. Хмелевцов, Д. И. Бусыгина, В. С. Хмелевцов. Непрерывные синхронные измерения концентрации диоксида серы, формальдегида, диоксида азота и озона с помощью трассового газоанализатора "Доас-4р в г.Обнинск летом 2002 г. - [http://eridan.mega.ru/publications\\_rus/DOAS\\_ismere\\_n\\_stat\\_mg.pdf](http://eridan.mega.ru/publications_rus/DOAS_ismere_n_stat_mg.pdf).
12. Г.М.Нугметов, Д.И.Попелков. Мониторинг опасностей и риска лесных пожаров// Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников – М.: ИИЦ ВНИИ ГОЧС, 2001. – С. 44-45.

УДК 691.32.699.81

Ю. Е. Павлюк (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

### БЕТОН ТА ЗАЛІЗОБЕТОН В УМОВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ТА ПОЖЕЖІ

У статті запропоновано методику комплексного дослідження поведінки бетону при дії високих температур в режимі "стандартної пожежі" при активному захисті покриттями базового складу, що знімаються та його вдосконалення стосовно вогнезахисту бетонних та залізобетонних конструкцій.

Дослідження проводились на зірках двох видів бетонів: на важкому звичайному та легкому керамзитобетоні, захищеному та незахищеному покриттями, що знімаються.

На сьогодні значна увага приділяється пожежній безпеці в будівництві. Це викликано частими пожежами, в тому числі спричиненими багатьма терористичними актами. Бетон та залізобетон відносяться до негорючих матеріалів, але дослідження показують, що основний вплив високих температур та вогню на поведінку бетонних та залізобетонних конструкцій

виражається в зміні їх напруженого стану, що спричиняє розтріскування бетону, його відшарування та небезпечні деформації, котрі призводять до втрати несучої здатності конструкцій. Особливо небезпечним при пожежі є крихке вибухонебезпечне руйнування бетону, тому що воно може швидко призводити до руйнування конструкцій. В цьому випадку межа їх вогнестійкості може опинитися значно нижче потрібної в результаті зменшення розмірів перерізів, зменшення товщини чи повного руйнування захисного шару робочої арматури, а також утворення наскрізних тріщин.

Статична робота згинних залізобетонних елементів та конструкцій в умовах високих температур вивчена найбільш повно [1, 2, 3]. Відомо, що в момент обвалювання конструкції утворюється пластичний шарнір в нормальному перерізі середньої третини прольоту. При цьому, межа текучості розтягнутої арматури, нагрітої до критичної температури (в середньому до  $500^{\circ}\text{C}$ ), знижується до величини робочих напружень в її перерізі.

Не менше значення для поведінки в умовах високих температур мають питання, пов'язані з деградацією властивостей та структури матеріалів, котрі складають такий композит як залізобетон. Поведінка сталі при високих температурах вивчена досить повно. Більш складним є питання поведінки бетону та його сумісна робота з арматурою, хоча ці питання також широко обговорювались останнім часом [3-7, 11]. Однак до теперішнього часу немає ясного та простого уявлення про поведінку бетону в умовах пожежі. Це пояснюється декількома причинами. Кількість параметрів, що характеризують бетон різних видів та складів дуже велика. Властивості бетонів залежать від виду заповнювача, складу бетонної суміші, водоцементного співвідношення, міцності на стиск та розтяг, модуля пружності, коефіцієнтів температурного розширення, повзучості, релаксації та усадки, теплопровідності, адгезії з арматурою. випробування проводились як при високих температурах, так і при охолодженні бетону. Порівняти результати часто трудно, оскільки випробування відрізняються методами, віком та розмірами взірців, величиною напружень, способами їх охолодження. Проведення випробувань при високих температурах та вогневій дії значно складніше і дорожче порівняно із звичайними умовами. У зв'язку з цим більшість результатів отримано при випробуванні взірців малих розмірів. Кількість експериментів з елементами наближеними до розмірів натурних конструкцій дуже незначна.

На нашу думку, з точки зору вогнестійкості конструкцій, найбільш суттєвими є результати досліджень, що стосуються міцності бетону. Оскільки характер деградації інших характеристик – модуля пружності, адгезії до арматури та ін. носить аналогічний характер. На рис. 1 і 2 показана, як приклад, деградація міцності бетону на стиск в залежності від часу випробувань, напруженого стану та виду заповнювача [6, 11].

Нагрів бетону до температури близько  $100^{\circ}\text{C}$  суттєво не впливає на його міцність. При нагріві до  $400^{\circ}\text{C}$  найбільший вплив чинять процеси, що проходять в розчинній частині. Вище цієї температури переважаючий вплив чинять процеси, котрі протікають за участю заповнювачів. Нагрів бетону до  $500^{\circ}\text{C}$ , як правило, призводить до значного зниження показників міцності.

Вирішальний вплив на деградацію міцності бетону чинить вид заповнювача. Причому максимальна деградація відбувається при використанні силікатних матеріалів. Розмір заповнювача та вид цементу мають другорядне значення. Вплив чинить також співвідношення компонентів суміші. Суттєве значення має спосіб охолодження бетону після випробувань. В елементах та взірцях, які після нагріву були охолоджені струменем води чи занурені у воду, відбувається більш значне зниження міцності, ніж при поступовому охолодженні на повітрі.

Міцність нагрітого бетону при високій температурі більша, ніж після його охолодження. Різниця в міцності може досягати 40%. Це явище є досить важливим з точки зору оцінки технічного стану конструкцій після пожежі. Однак, в деяких випадках, з часом відбувається поступове відновлення міцності бетону.

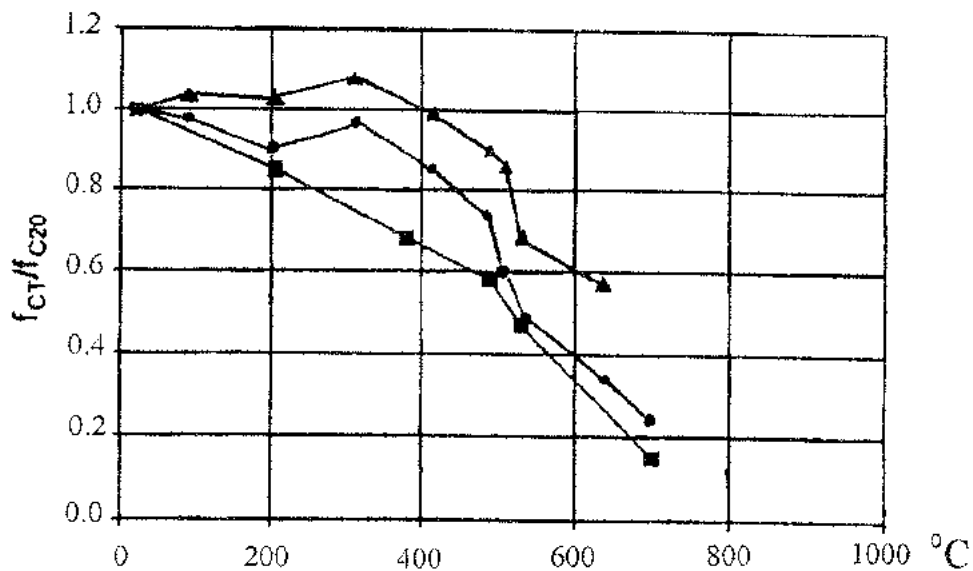


Рис. 1. Деградація міцності бетону на силікатному заповнювачі на стиск в залежності від часу випробування і рівня напруження [6, 11]: ▲ - навантаження до  $0.4 f_c$ ; ● - ненавантажений бетон; ■ - ненавантажений бетон після охолодження.

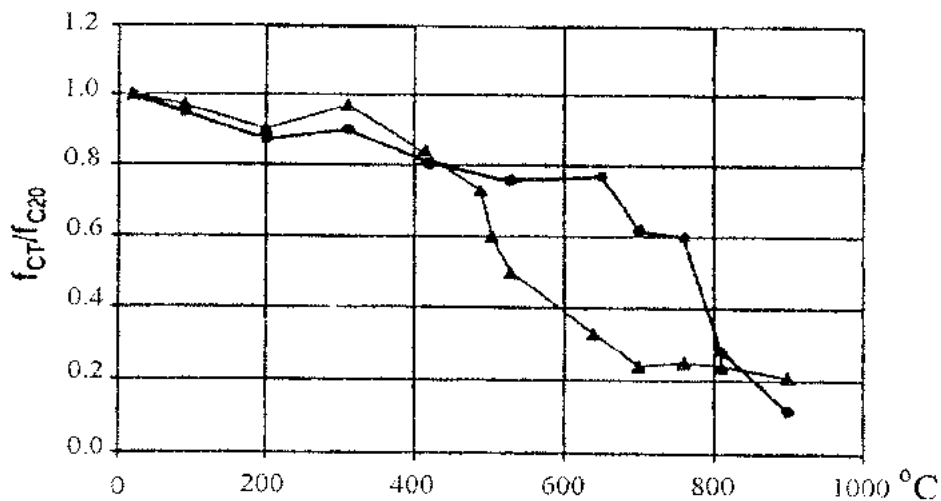


Рис. 2. Деградація міцності ненавантаженого бетону на стиск в залежності від виду заповнювача [6, 11]: ● - карбонатний; ▲ - силікатний.

Поява при нагріві в бетоні стискуючих напружень порядку 0,2-0,4 впливає на величину деградації міцності. Однак, слід відмітити, що навантажений бетон, наприклад, колон, нагрітих в процесі пожежі повинен показувати менший спад стискуючих напружень, ніж не навантажений при випробуванні в лабораторних умовах. При стискуючих напруженнях, які близькі до міцності бетону на стиск, навіть при відносно невисокій температурі нагріву можна очікувати втрату несучої здатності. Практично не проведені дослідження деградації бетонів у результаті дії розтягуючих напружень. Можна прогнозувати, що їх вплив буде негативним при розгляді несучої здатності конструкції. Відсутня єдина думка про деградацію при високих температурах бетонів високої міцності, однак слід очікувати, що процент зниження міцності таких бетонів буде вищим ніж у звичайних.

Дуже суттєвим є вплив вологості бетону при нагріві. У випадку взірців, котрі перед нагрівом були висушені до постійної маси при  $105^{\circ}\text{C}$  відзначається значно менша деградація міцності, ніж у випадку вологих. Однак випробувань такого роду проведено небагато. Теплофізичні дослідження властивостей бетонів мають суттєве значення при розрахунку та аналізі температурних полів, однак вважається, що перевагу слід віддавати дослідженням на елементах, близьких до натурних.

Особливу групу характеристик бетонів становлять усадка та повзучість. В результаті нагріву як бетон, так і заповнювачі розширюються, в той час як розчинна частина навпаки, зменшується в об'ємі. На рис.3 представлені результати досліджень ненавантажених взірців із різних видів бетонів та цементного розчину [7, 11]. Різниця між температурними деформаціями заповнювачів та цементного розчину повинна приводити до деградації структури бетону вже на першій стадії його нагріву. Однак на практиці це не відбувається в результаті відомого з літератури явища "transient creep", яке полягає в повзучості (переміщенні) компонентів бетону під час першого нагріву та описане в роботах [5, 7, 11].

$\delta \cdot 10^6$

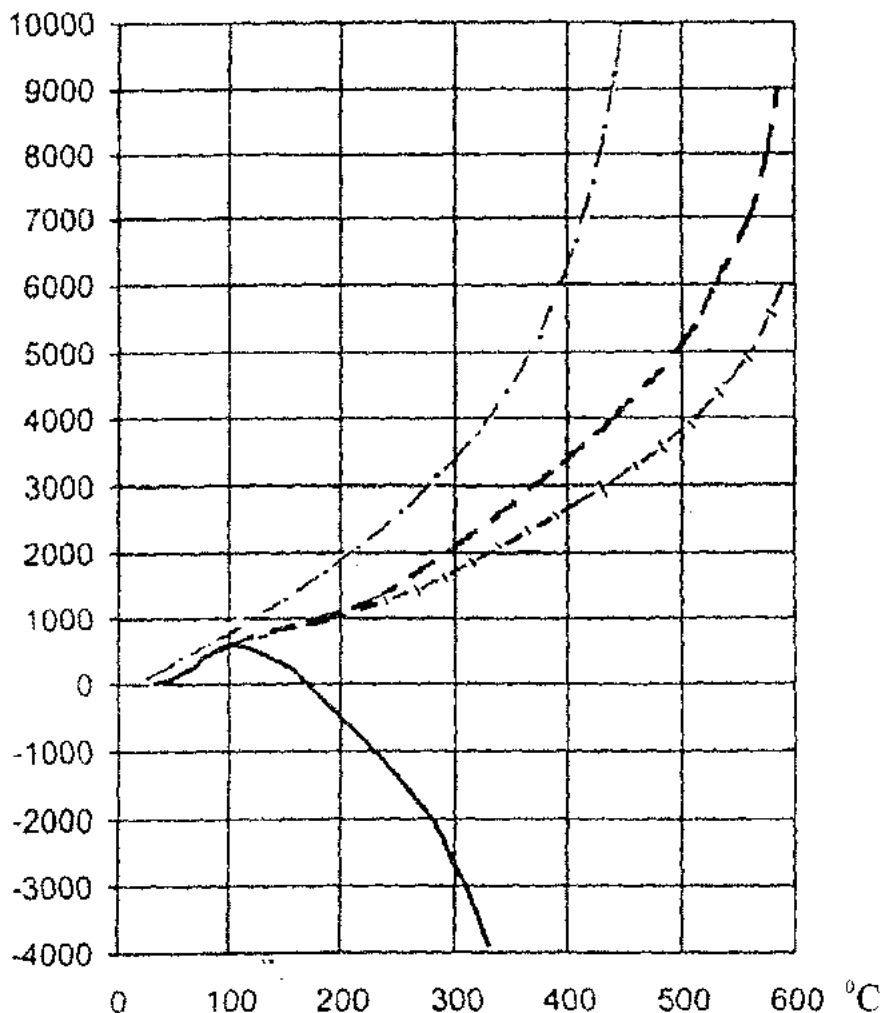


Рис.3. Деформація прогрітих ненавантажених зразків із різних бетонів і цементного розчину [7, 11]: - ● - силікатний заповнювач; --- ватно; - I - базальт; — цементний розчин.

З вищесказаного випливає, що прогнозування зміни властивостей бетону в конструкціях при дії високих температур потребує подальших комплексних досліджень у зв'язку з появою нових видів бетонів, бетонів нової генерації та розмаїття факторів, які можуть впливати на бетон та залізобетон в умовах пожежі.

Другою задачею досліджень є розробка ефективних заходів стосовно захисту конструкцій від дії високих температур та вогню. Серед великої кількості методів та способів вогнезахисту будівельних конструкцій одним із найбільш ефективних є нанесення на їх поверхню покриттів, які під дією температури здатні здиматися, утворюючи шар з високими теплоізолюючими властивостями. Переважна більшість розробок вогнезахисних покриттів призначена для захисту металевих конструкцій. Покриття такого типу мають склад, розроблений в колишній Львівській філії НДІБМВ, котрий знайшов практичне застосування для вогнезахисту конструкцій з сталі та алюмінієвих сплавів.

Проведені комплексні випробування натурних будівельних та суднобудівних елементів зі сталі (фрагменти колон) та алюмінієвих сплавів (корабельні переборки, палубний настил), а також досвід експлуатації рятувального човна з алюмінієвого сплаву АМг-62Т1 з нанесеним покриттям в різних морських умовах від полярного кола до тропіків протягом року при плаванні риболовного траулера "Вітаугас Путна" (Таллінн), підтвердили високі експлуатаційні та вогнезахисні характеристики покриття [8, 9, 10].

Метою даної роботи є комплексне дослідження поведінки бетону при дії високих температур в режимі "стандартної пожежі" при активному захисті покриттям. Що здимаються, базового складу та його вдосконалення стосовно вогнезахисту бетонних та залізобетонних конструкцій.

Об'єктом досліджень є звичайний важкий бетон та легкий бетон-керамзитобетон, захищені та незахищені покриттям, що здимається.

Предметом досліджень є закономірності зміни характеристик бетонів та вивчення працездатності покриття при дії високої температури з урахуванням вологості бетону та оцінку критерію його крихкого руйнування.

Матеріали та методика випробувань

В якості вихідних матеріалів при виготовленні дослідних плит були використані: портландцемент марки 400 з активністю 38 МПа, кварцовий пісок з модулем круїності 1,53, вапняковий щебінь (фракції 5-10 мм) з міцністю на стиск 120 МПа та керамзитовий гравій (фракції 5-10 мм) зі щільністю 580 кг/м<sup>3</sup> та міцністю на стиск у стандартному циліндрі 2,2 МПа. Склади бетону та їх характеристики наведені в табл.1.

Таблиця 1

Склади та характеристики бетону дослідних плит

Шифр плит	Витрата компонентів на м <sup>3</sup> , кг				В/Ц	Щільність бетону, кг/м <sup>3</sup>		R <sub>28</sub> , МПа
	цемент	щебінь	пісок	вода		свіжоукладеного	сухого	
ВБ	324	1250	621	178	0,55	2373	2185	30,5
КБ	300	455	700	190	0,62	1645	1476	21,7

В якості вогнезахисного покриття на даному етапі досліджень використано склад, розроблений при дослідженні властивостей та оптимізації покриттів, що здимаються, призначених для захисту металевих конструкцій, в тому числі з алюмінієвих сплавів [8, 9, 10].

Конструкція плит. Дослідні плити розміром 1,1x1,1x0,1 м для вогневих випробувань були виготовлені з бетону двох видів : звичайного важкого та керамзитобетону. Плити армувались сіткою з арматури класу А-ІІ діаметром 8 мм, розташованою на захисному шарі бетону товщиною 1 см. Плити та пасти для покриття були виготовлені у Львові та доставлені для випробувань у ВНДІО автотранспортом.

Плити випробовували без покриття та з покриттям, котре наносилось на поверхню плит, яку нагрівали у нормальних температурно-вологісних умовах закритого цеху вручну за допомогою шпателя в один чи два шари товщиною 3,5-10 мм з інтервалом 48 год. Щільність покриття в сухому стані складала 980-1000 кг/м<sup>3</sup> при міцності на стиск 7,5-8,6 МПа.

Методика вогневих випробувань. Оскільки програмою випробувань було передбачено вимірювання температури бетону хромель-концельовими термопарами, їх установка по перерізу плит в середині прольоту здійснювалась в процесі виготовлення плит, а на верхній поверхні, що не буде нагріватися – безпосередньо перед випробуванням. Схеми розташування термопар показані на рис.4-7.

Вогневі випробування плит проводили в вогневій горизонтальній камері з отвором 1х1 м, яку обігрівали двома форсунками, що працюють на газі. Плити нагрівали зі сторони їх розтягнутої зони. Температуру в камері виміряли за кривою “стандартної пожежі”, закон котрої з достатньою для практичних розрахунків точністю може бути описаний емпіричною формулою

$$t_c(t) = t_0 + 345 \lg(8t + 1), \quad (1)$$

де  $t$  – час нагріву плит, хв.

Гарячі спай термопар знаходились на відстані 100 мм від поверхні плит. Що обігрівалася. Термопари у вогневу камеру вводили через спеціальні вікна в стінках камери. Регулювання температури за заданим режимом здійснювалися автоматично за допомогою електронного пристрою типу РУ5-01М. Похибка регулювання температури не перевищувала 0,5<sup>o</sup>С від ціни поділки шкали. Покази термопар у часі ресстрували на діаграмній стрічці самопишучого потенціометра типу ЭИИ-09М-1. Після вогневих випробувань в кожній плиті визначали фактичне місцезнаходження термопар по перерізу.

Характеристики бетону плит та покриття оцінювали безпосередньо в день випробування плит. При цьому вологість бетону та покриття визначали ваговим способом. З цією метою в різних місцях відбирали проби у вигляді висвердлених кернів, котрі зважувались, а потім висушувались до постійної маси в муфельній електропічці при температурі 110<sup>o</sup>С (бетон) та 60<sup>o</sup>С (покриття).

Вогнезахисні властивості покриття оцінювали за двома показниками: за часом нагріву плит до моменту обвалювання (відшарування) покриття і за часом нагріву до моменту досягнення критичної температури, що рівна 500<sup>o</sup>С на відстані 1 см (захисний шар бетону) від бетонної поверхні плит, що обігрівалася.

#### Результати випробувань та їх аналіз.

Перша партія плит була випробувана з покриттям, нанесеним безпосередньо на бетон поверхні плит, що обігрівалася. Завданням випробувань була оцінка працездатності покриття в залежності від його товщини, виду та вологості бетону. Характеристика плит та результати вогневих випробувань наведені в табл.2 та на графіках (рис.4 а-ж).

Таблиця 2

Характеристика 1-ї партії дослідних плит і результати їх випробувань

Шифр плити	$\gamma_c$ , кг/м <sup>3</sup> в сухому стані	Товщина покриття $\delta$ , мм	Вологість бетону, % від маси	Вологість покриття, %	Час обвалювання покриття, хв	$W_{кр}^{пр}$ , % по [12]
ВБ-1	2250	5	3,2	3,0	34	4
ВБ-3	2290	7	2,0	4,5	25	4
ВБ-4	2233	10	1,9	3,3	25	4
ВБ-6	2185	5	2,6	4,2	22	4
КБ-2	1505	7,5	4,7	3,1	22	5
КБ-5	1475	6,5	2,5	3,5	31	5
КБ-7	1445	5	8,6	4,5	17	5

Примітка. В плиті КБ-7 при випробуванні після 17 хв вогневої дії спостерігались всі ознаки крижкого руйнування бетону.

Під дією температури в режимі "стандартної пожежі" через 1-2 хв. відбувалося почорніння покриття з поверхні та починалось його спучування у вигляді окремих пухирів; на 3-й хв відбувалося здирання покриття по всій поверхні; на 4-7-й хв на поверхні покриття з'явилися окремі тріщини, які з часом розкривалися по ширині та глибині; на 7-15-й хв відбувалось лущення поверхні; на 9-15 хв почалось відшарування покриття від бетону та на окремих ділянках його провисання у вигляді пухирів, величина яких збільшувалась та на 17-34-й хв це призвело до обвалювання покриття на більшій поверхні плит.

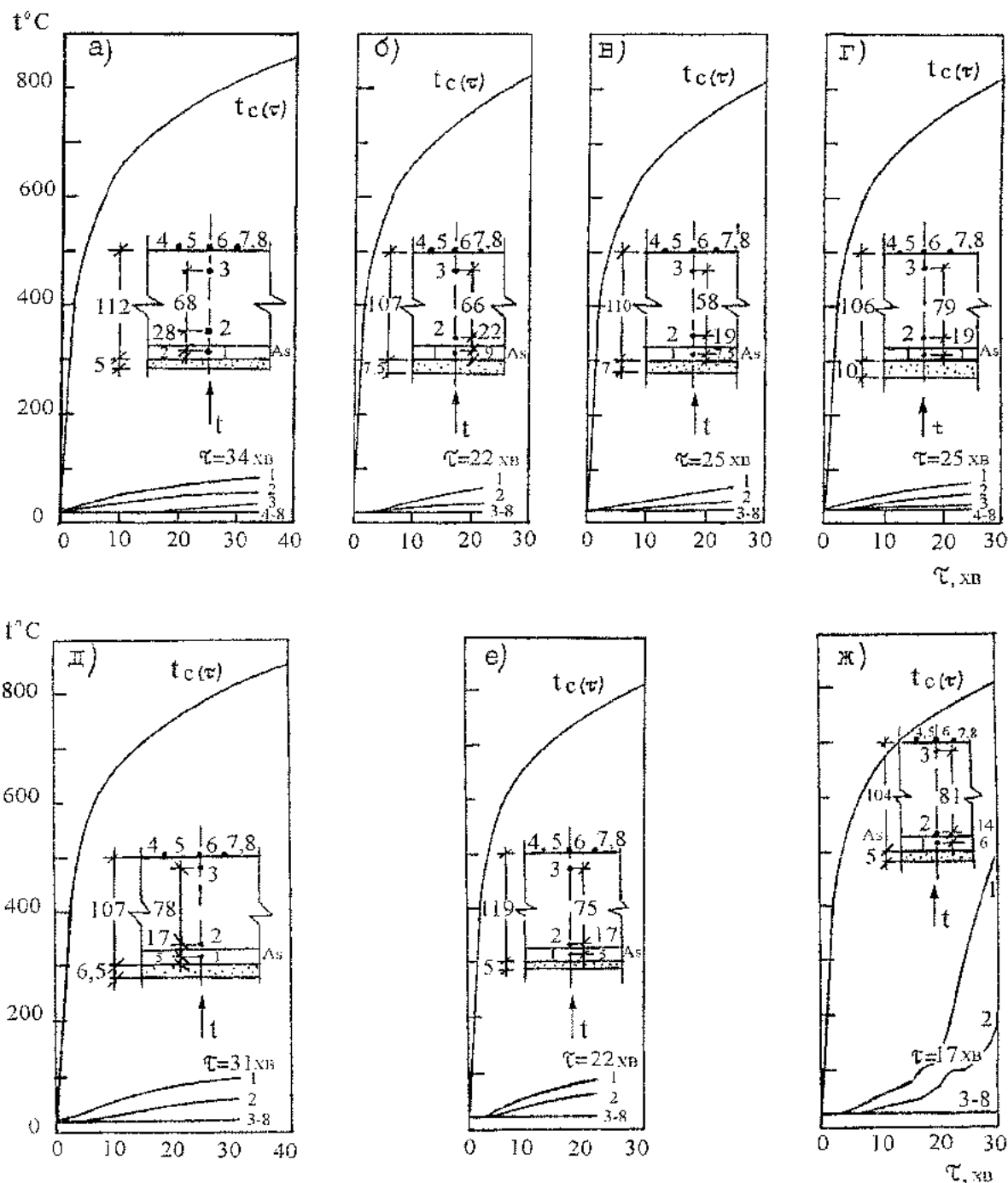


Рис. 4. Залежність температури від часу прогріву плит в режимі «стандартної пожежі»: а-г – плити з важкого бетону (ВБ-1, 3, 4, 6); д-ж – плити з керамзитобетону (КБ-2, 5, 7)

Оцінка працездатності та аналіз причин відшарування покриття від поверхні бетону плит були виконані на прикладі плити КБ-7 у якій відшарування відбулося найшвидше. Керамзитобетон цієї плити перед вогневим випробуванням мав вологість 8,6%. Відшарування покриття було зафіксовано на 9-й хв. при температурі вище 100<sup>0</sup>С та на 17-й хв покриття почало на окремих ділянках обвалюватися. Одночасно на оголених місцях відбувалося крихке руйнування бетону у вигляді відколів фрагментів товщиною до 5 мм від нагрітої поверхні плити. В подальшому відколи вибухоподібного з тріском характеру спостерігались до моменту відключення вогневої камери на 30-й хвилині. Візуальний огляд плити після охолодження показав, що в результаті такого виду деструкції було пошкоджено близько половини поверхні, що піддавалася нагріванню. При цьому глибина відколів бетону досягала 30 мм.

Результати випробувань плит 1-ої партії показали, що покриття під дією власної маси та підвищеної вологості бетону схильне до відшарування в результаті дії вологи, що випаровується в порах бетону, виникнення розтягуючих та температурних напружень, що призводять до крихкого вибухонебезпечного руйнування бетону. Враховуючи характер поведінки покриття при вогневих випробуваннях, друга партія плит була виготовлена з металевією сіткою типу “рабиця” на яку перед випробуваннями було нанесено покриття. Це дозволило оцінити вогнезахисні властивості покриття за часом нагріву до моменту досягнення бетоном критичної температури, що становить 500<sup>0</sup>С на відстані 10 мм (на рівні арматури) від поверхні плити, що нагрівається.

В табл.3 наведено характеристики плит 2-ої партії та результати їх вогневих випробувань. За результатами були побудовані графіки розподілу температури по товщині плит при їх нагріванні у режимі прогрівання плоского елемента в умовах “стандартної пожежі” (рис. 5 а-г) та визначався час, по закінченні котрого бетон досягав критичної температури. З наведених графіків видно, що межа вогнестійкості дослідних плит 2-ої партії знаходилась в інтервалі 60-67 хв (важкий бетон) при вологості бетону 3,2-3,8 % і товщині покриття 3,5-5 мм; для керамзитобетонних плит - 78-85 хв, вологості 4,3-4,7 % і товщині покриття 5-6 мм.

Таблиця 3

Характеристика 2-ї партії дослідних плит і результати їх випробувань

Шифр плити	γ <sub>с</sub> , кг/м <sup>3</sup> в сухому стані	Товщина покриття δ, мм	Вологість бетону %, від маси	Вологість покриття, %	Межа вогнестійкості, хв.	W <sup>кр</sup> <sub>в</sub> , % по [12]
ВБ-8	2190	3,5	3,8	3,2	60	4
ВБ-9	2150	5	3,2	2,8	67	4
КБ-10	1458	5	4,7	3,5	78	5
КБ-11	1424	6	4,3	3,0	85	5
ВБ-12	2205	0	2,8	2,5	15	4
КБ-13	1410	0	4,3	3,3	35	5
ВБ-14	2185	0	14,5	4,2	-	4
КБ-15	1476	0	20,4	4,5	-	5

Примітка. Плити ВБ-14 та КБ-15 випробувались після водонасичення протягом 24 год.

Для порівняльного аналізу були виготовлені та випробувані 2-і плити з важкого бетону та керамзитобетону без покриття (рис. 6 а, б). Плита з керамзитобетону, як слід було очікувати, показала більш високу межу вогнестійкості. Величина критичної температури на відстані 10 мм від поверхні плити, що нагрівалася, була досягнута через 35 хв, у той час як у плити з важкого бетону вона була досягнута вже через 15 хв. При цьому величина вологості бетону у плит була відповідно 4,3% та 2,8%.

Порівняльний аналіз поведінки плит без покриття та з покриттям показав, що теплоізолюючий ефект покриття залежить від його товщини, вологості та об'ємної маси бетону. Підвищена межа вогнестійкості керамзитобетонної плити пояснюється більш



низьким коефіцієнтом теплопровідності легкого бетону ( $\approx 0,4$  Вт/ (м $\cdot$ °C)) в порівнянні з важким ( $\approx 2$  Вт/ (м $\cdot$ °C)).

З метою з'ясування причини можливого крихкого руйнування плит в залежності від вологості, були випробувані 2-і плити попередньо водонасичених протягом 24 год. Вологість плит перед нагрівом складала 14,5% з важкого бетону та 20,4% з керамзитобетону. Через 5 та 9 хвилин від початку вогневої дії почалось відколювання шматків бетону від поверхні плити зі сторони нагрівання у вигляді фрагментів товщиною до 30 мм, що супроводжувалось звуковим ефектом у виді плескоту та тріску. Результати випробувань плит підтвердили вплив підвищеної вологості бетону на характер руйнування бетону під дією високої температури незалежно від виду бетону.

Ймовірність крихкого руйнування бетону згідно з Рекомендаціями [12] при пожежі оцінюється за величиною критерію крихкого руйнування, котрий визначається за формулою

$$F = a \frac{\alpha_{bt} \cdot E_{bt} \cdot \rho \cdot W_o^3}{K_f \cdot \lambda \cdot \Pi} \quad (2)$$

Висновок про можливість крихкого руйнування бетону в ненесучих конструкціях можна також зробити на основі середніх величин критичної вологості бетонів за масою ( $W_o^{kp}$ ), котра становить для важкого бетону з крупним заповнювачем з граніту 3%, з заповнювачем з карбонатних порід 4% та для легкого бетону на керамзиті 5%.

У тому випадку, коли експлуатаційна об'ємна вологість бетону, що визначається за формулою

$$W_o^z = W_o \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де  $W_o$  - рівноважна вологість бетону за масою, кг/кг і  $\rho$  - щільність бетону в сухому стані, кг/м $^3$ , буде меншою ніж критична вологість бетону за масою, помножена на щільність бетону, тобто

$$W_o^z < W_o^{kp} \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

бетон буде руйнуватися крихко.

З огляду на підвищене водопоглинання легких бетонів на пористих заповнювачах рівноважну вологість бетону у формулі (3) слід збільшувати на величину

$$W_o^r = V_r \cdot W_o^r \cdot \rho \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

де  $W_o^r$  - частина експлуатаційної об'ємної вологості бетону, обумовлена наявністю крупного пористого заповнювача, м $^3$ /м $^3$ ;

$V_r$  - відносний об'єм заповнювача в бетоні;

$W_o^r$  - рівноважна вологість заповнювача по масі, кг/кг.

Перевірка умови (4) для випробування плит з вологістю після водонасичення показала, що обидві плити як з важкого, так і з легкого бетонів повинні мати характер крихкого руйнування, що і відбувалось в процесі їх вогневих випробувань. Так, для плити з важкого бетону (ВБ-14)  $W_o^z = 0,145 \cdot 2185 \cdot 10^{-3} = 0,32$  м $^3$ /м $^3$   $>$   $0,04 \cdot 2185 \cdot 10^{-3} = 0,087$  м $^3$ /м $^3$ ; для плити з керамзитобетону (КБ-15)  $W_o^z = (W_o + W_o^r) \cdot \rho \cdot 10^{-3} = (W_o + V_r \cdot W_o^r \cdot \rho \cdot 10^{-3}) \cdot \rho \cdot 10^{-3} = (0,204 + 0,32 \cdot 0,015 \cdot 1476 \cdot 10^{-3}) \cdot 1476 \cdot 10^{-3} = 0,31$  м $^3$ /м $^3$   $>$   $0,5 \cdot 1476 \cdot 10^{-3} = 0,074$  м $^3$ /м $^3$ .

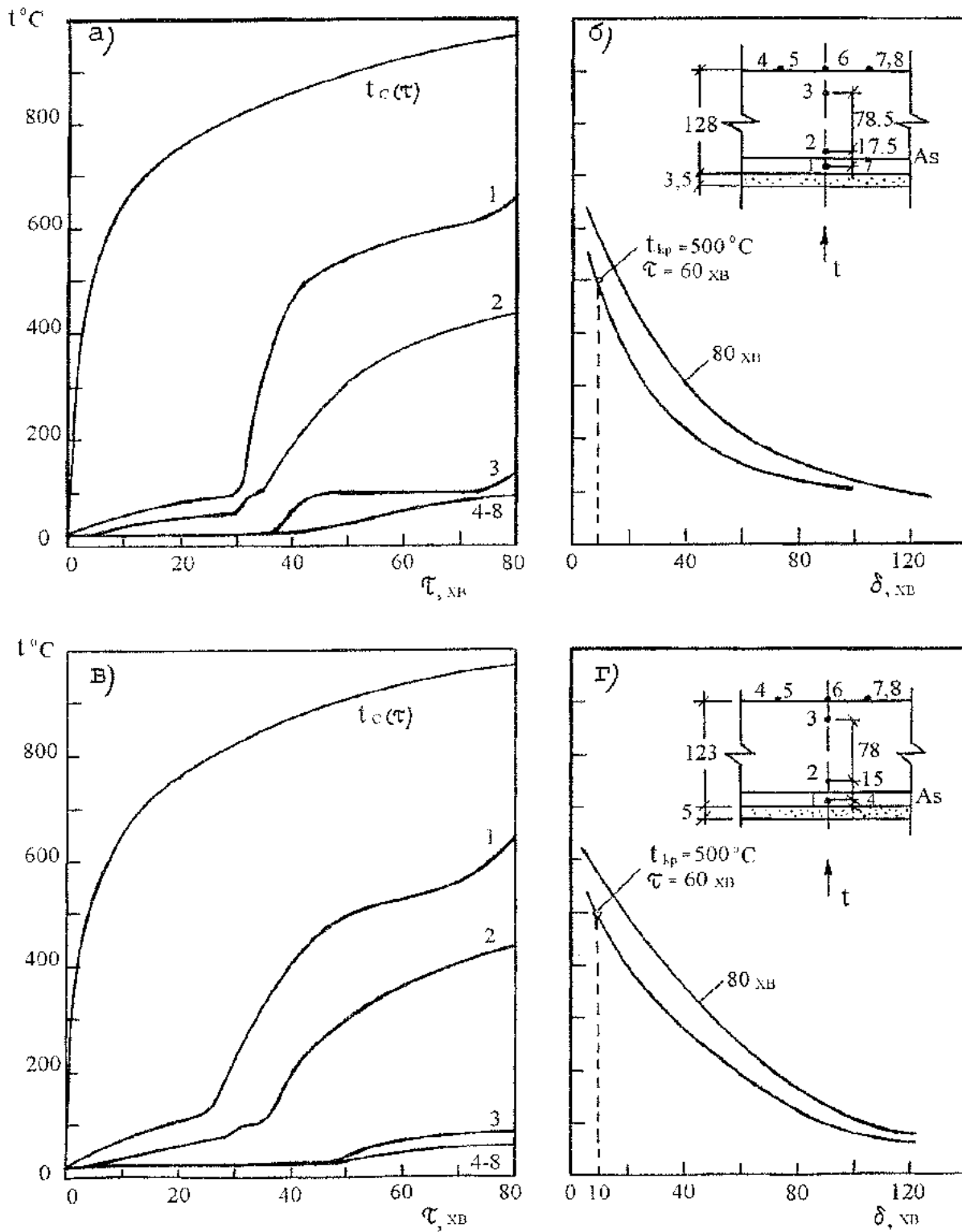


Рис. 5. Залежність температури від часу прогріву плит у режимі «стандартної пожежі» (а, в) і розподіл температури по товщині плит (б, г). Плита з важкого бетону ВБ-8 (а, б). Плита з важкого бетону ВБ-9 (в, г)

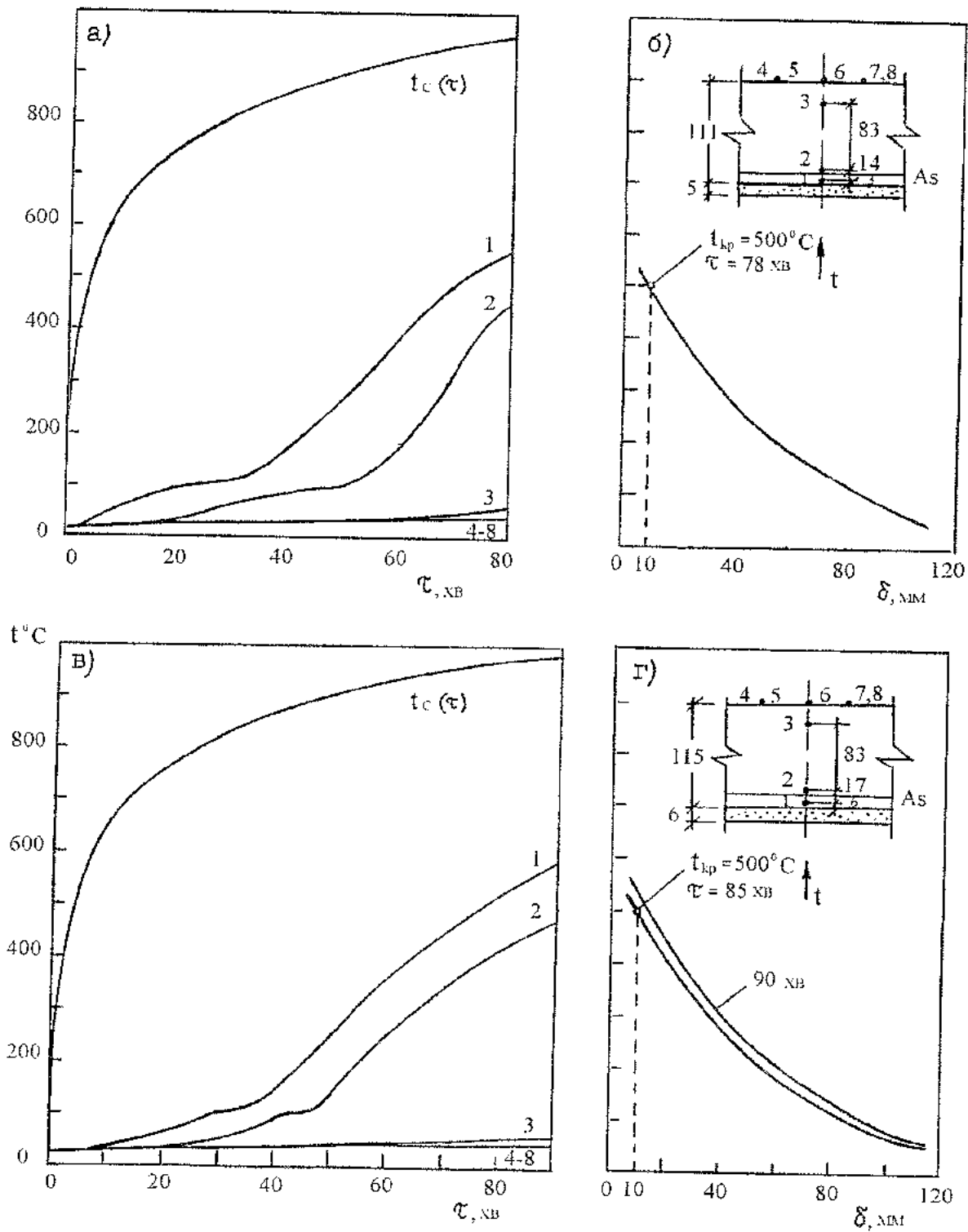


Рис. 6. Залежність температури від часу прогріву плит у режимі „стандартної пожежі” (а, в) і розподіл температури по товщині плит (б, г). Плита з керамзитбетону КБ-10 (а, б). Плита з керамзитбетону КБ-11 (в, г)

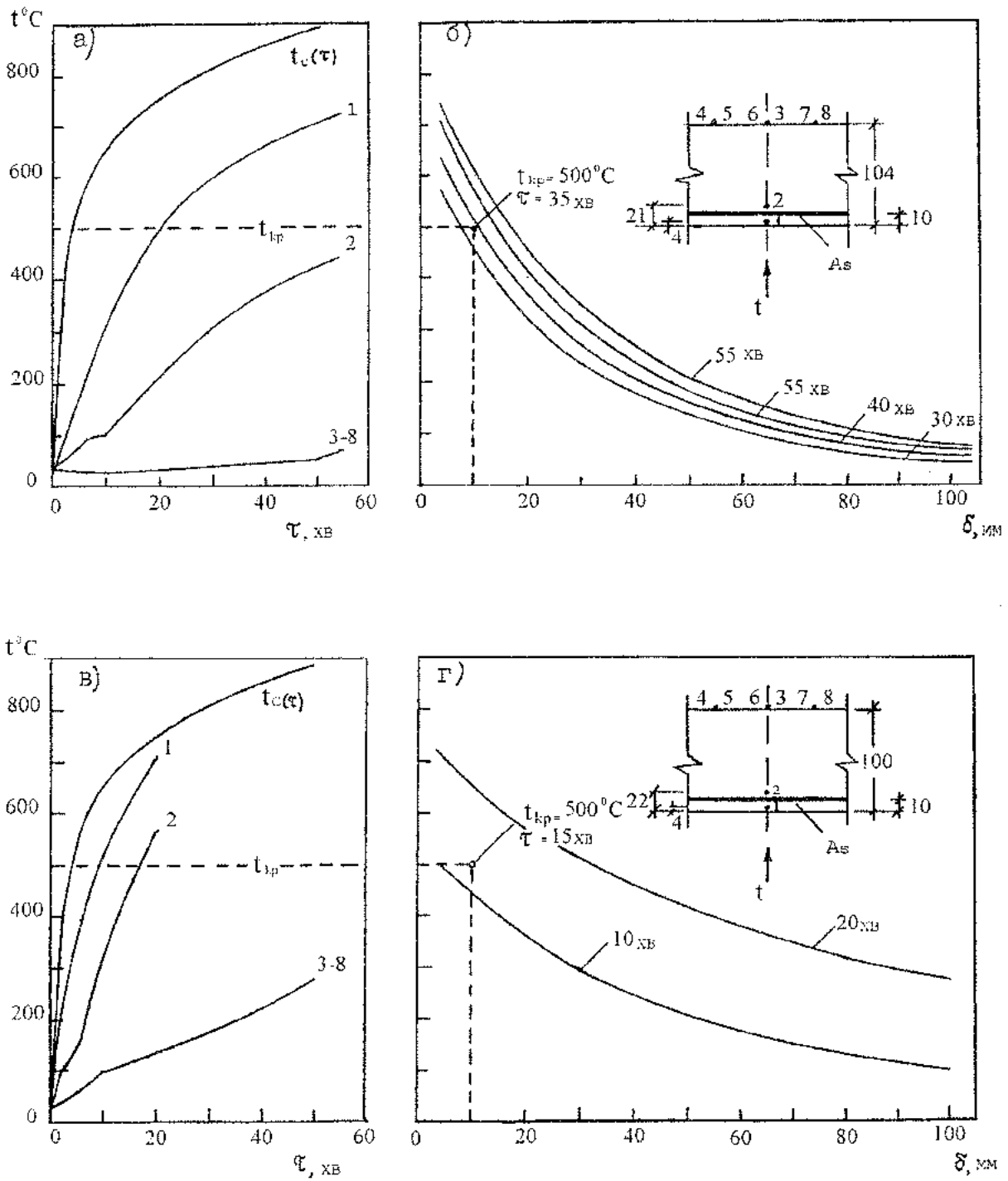


Рис. 7. Залежність температури від часу прогріву плит у режимі „стандартної пожежі“ (а, в) і розподіл температури по товщині плит (б, г).  
Плити з важкого бетону ВБ-12 (а, б). Плита з керамзитобетону КБ-13 (в, г).

Оцінка ймовірності крихкого руйнування була виконана також шляхом обчислення критерію крихкого руйнування  $F$  згідно з Рекомендаціями [12] при вихідних даних, наведених в табл. 4. У всіх випадках критерій  $F$  виявлявся вище 4, що вказувало на ймовірність крихкого руйнування бетону. При цьому, з даних таблиці видно, що величина критерію збільшується із збільшенням об'ємної вологості бетону плит. Однак, як показують результати випробування плит ВБ-12 та КБ-13 з об'ємною вологістю бетону відповідно 2,8 та 4,3% крихкого руйнування не відбувалось. Це можна пояснити тим, що фізико-механічні та теплофізичні характеристики бетонів, визначені за табличними даними, наведеними в Рекомендаціях, надто умовні, оскільки не відповідають фізичним характеристикам бетонів з урахуванням динаміки зміни температури нагрівання бетону. Достатньо відмітити, що до теперішнього часу практично відсутні дані про величину коефіцієнтів інтенсивності напружень  $K_{IC}$  при підвищенні температури у режимі "стандартної пожежі".

Таблиця 4

Вихідні дані для розрахунку критерію крихкого руйнування бетону та його розрахункові значення

Шифр плити	$\alpha_{bt} \cdot 10^{-6}$ °C	$E_{bt} \cdot 10^4$ Мн/м <sup>2</sup>	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$K_{IC}$ , Мн·м <sup>-3/2</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·°C)	$\Pi$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$W_a$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$F$ , по [12]
ВБ-12	5,7	1,7	2205	0,44	1,65	0,11	0,06	4,37 > 4
КБ-13	8,2	0,8	1410	0,31	0,45	0,13	0,07	4,17 > 4
ВБ-14	5,7	1,7	2185	0,44	1,65	0,11	0,32	9,82 > 4
КБ-15	8,2	0,8	1476	0,31	0,45	0,13	0,31	17,41 > 4

### Висновки

Аналіз результатів проведених випробувань плит дозволив встановити дві основні причини відшарування покриття від поверхні бетону плит. Перша полягає в тому, що при нагріві бетону в умовах "стандартної пожежі" вільна та хімічно зв'язана вода, що знаходиться в ньому, випаровується та пара, котра утворилась, фільтруючись через пористу структуру бетону, відриває покриття від поверхні плит.

Друга причина обумовлена зміною фізичного стану матеріалу покриття, а саме тим, що більшість компонентів, які входять до складу покриття, плавиться, утворюючи рідку фазу низької в'язкості. Особливо рухома фаза утворює сечовина, меламін та карбамідна смола. Рідка фаза утворюється не зразу по всій товщині покриття, а спочатку на зовнішній поверхні, потім із прогівом внутрішніх шарів товщина рідкого шару збільшується та зростає його маса на одиницю поверхні. Це призводить до відшарування здутого шару від поверхні бетону (при вертикальному положенні взірців – сповзання, горизонтальному - відриву).

Виявлені причини відшарування покриття дозволили розробити заходи конструктивного та технологічного характеру, що забезпечують більш стабільну поведінку покриття в процесі нагріву. Так, у випадку відшарування в результаті підвищеної вологості бетону конструкції (більше 3%), їх слід попередньо висушити, підвищити шорсткість поверхні, наприклад піскоструминною обробкою, установкою металеві дротяної сітки з чарунками розміром 3-15 мм та діаметром дроту 0,7-1 мм (типу "рабиця") з подальшим нанесенням на неї покриття, а також інших заходів, котрі підвищують адгезію покриття до бетону.

У випадку, якщо покриття відшаровується в результаті утворення в процесі нагріву малов'язкої рідкої фази, необхідно підвищити в'язкість рідкої фази, вводячи до складу підвищену кількість волокнистого компонента, наприклад, скловолкна чи асбесту, які відзначаються високою вогнестійкістю (5-7% від маси в'язучого), мінеральних тонкодисперсних наповнювачів та добавок, що знижують усадку покриття та вирівнюють коефіцієнти температурного розширення бетону та покриття.

Як показує аналіз поведінки бетону та залізобетону при пожежі, розроблені авторами склади вогнезахисних покриттів (патенти України 38256, 47993) найбільш ефективно та доцільно використовувати для захисту тонкостінних конструкцій, несучих конструкцій з невеликим поперечним перерізом, а також для захисту від вогню спеціальних видів бетону,

таких як полімерні та сірчані, котрі характеризуються низькою температуростійкістю та високою горючістю.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. –М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
2. Панюков Э.Ф. Оценка состояния железобетонных конструкций после пожара : 05.23.01: Дис...д-ра техн.наук. –М., НИИЖБ, 1991. –387 с.
3. Жуков В.В. Основы стойкости бетона при действии повышенных и высоких температур : 05.23.05: Автореф. дис...д-ра техн.наук. –М., НИИЖБ, 1982. –48 с.
4. RILEM Committee 44- PHT edited by U.Schneider: Behaviour of concrete at high temperatures; Gesamt hochule Kassel University, June 1985.
5. Khoury G.A. Compressive strength of concrete at high temperatures: reassessment; Magazine of Concrete Research. Vol. 44. № 161. Dec. 1992
6. Abrams M.S. Compressive strength of concrete at temperatures to 1600 F. ACI Publication SP 25 Paper SP25 – 2. American Concrete Institute, Detroit 1971.
7. Khoury G.A., Grainger B.N., Sullivan P.J.E. Strain of concrete during first heating to 600<sup>0</sup>C under load. Magazine of Concrete Research. Vol. 37. № 133. Dec. 1985.
8. Орловский Ю.И., Ивашкевич Б.П., Труш Л.Е., Шналь Т.Н. Вспучивающиеся покрытия для огнезащиты конструкций из стали и алюминиевых сплавов // Изв. вузов. Строительство. –1995. - № 9. –С.55-60.
9. Шналь Т.Н. Свойства и оптимизация составов вспучивающихся покрытий для огнезащиты металлических конструкций: 05.23.05: Дис...канд. техн.наук. –Львов, ГУ «Львовская политехника», 1995. –248 с.
10. Orłowski Y., Orłowska E., Sznal T. Fire Resistivity of Steel and Aluminium Structures ICSAS'99. Helsinki University of Technology, 1999.
11. Abramowicz M., Kowalski R. Konstrukcje żelbetowe w warunkach pożaru. Przegląd Budowlany. – 2002. №10. – s.7-11.
12. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре. –М.: Стройиздат, 1979. – 22 с.

УДК 658.5: 614.84

*Р.Т. Ратушний, (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)  
О.В.Сидорчук, д.т.н., професор, В.О. Тимочко, к.т.н., доцент (Львівський державний аграрний університет)*

### НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЖЕЖНИХ ПІДРОЗДІЛІВ У СІЛЬСЬКОМУ РАЙОНІ

Проаналізовано відомі методи обґрунтування місця розміщення пожежних депо. Наведено особливості формування систем пожежного захисту в умовах сільської місцевості. Розроблено науково-методичні засади оптимізації розташування пожежних підрозділів у сільському районі, які враховують особливості зони обслуговування

**Постановка проблеми та завдання дослідження.** Реформування агропромислового комплексу України зумовило скорочення сільських пожежних команд та погіршення їх технічного оснащення, що загострило проблему забезпечення пожежної безпеки у сільській місцевості [ 1 ]. За умови обмеженого фінансування важливим шляхом підвищення рівня пожежної безпеки є оптимізація розміщення пожежних депо з урахуванням особливостей конкретного сільського району. У даній роботі обґрунтовуються науково-методичні засади