

Для довільної стрижневої системи можна отримати систему рівнянь такої ж будови, як і (9). Матриця  $B^*$  перетвориться у квазидіагональну, а вектори  $Y(x)$  і  $Y_0$  будуть містити параметри деформівного стану всіх стрижнів у довільній і початковій точках

$$B^* = \begin{vmatrix} B_1(x, x_0) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_1(x, x_0) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_m(x, x_0) \end{vmatrix}; \quad Y(x) = \begin{vmatrix} Y_1(x) \\ \vdots \\ Y_1(x) \\ \vdots \\ Y_m(x) \end{vmatrix}; \quad Y_0 = \begin{vmatrix} Y_{01} \\ \vdots \\ Y_{0i} \\ \vdots \\ Y_{0m} \end{vmatrix}, \quad (10)$$

де  $m$  – кількість стрижнів у системі.

Граничні параметри стрижнів системи будуть зв'язані рівняннями рівноваги й сумісності переміщень вузлів. Це дозволяє перенести граничні параметри стрижнів із матриці  $Y$  у матрицю  $Y_0$ , виконати відповідні перетворення матриці  $B^*$  і звести систему (9) до системи лінійних однорідних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих граничних параметрів стрижнів за такою схемою [3]

$$Y = B^* * Y_0 \rightarrow B^* * Y_0 - Y = 0 \rightarrow B^* * Y_* = 0. \quad (11)$$

Спектр частот власних коливань знаходять з умови рівності нулю визначника

$$|B^*| = 0. \quad (12)$$

Рівняння (12) дає змогу підбором визначити повний спектр частот стрижневої системи.

Запропонований алгоритм розрахунку може бути використаний при розрахунку на вимушені коливання і для задач стійкості стрижневих систем із дискретно-неперервним розподілом параметрів.

**Висновки.** Запропонована методика розрахунку дозволяє отримати розв'язок задач динаміки й стійкості через простіші фундаментальні функції, від отримуваних у літературі, і розширити клас розв'язуваних задач, зокрема для стрижневих систем із дискретно-неперервними розподілами параметрів, без додаткових спрощень та допущень.

1. Генерджи П., Баттерфилд Р. Метод граничных элементов в прикладных науках / Пер. с англ., под ред. Р.В. Гольдштейна. – М.: Мир, 1984. – 494 с. 2. Heubner К.Н. The Finite Element Method for Engineers. – New York-Toronto: John Wiley and Sons, 1975. – 500 р. 3. Баженов В.А., Даценко А.Ф., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф. Строительная механика. Специальный курс. Применение метода граничных элементов. – Одесса: Астропринт, 2001. – 240 с. 4. Образцов И.Ф., Онанов Г.Г. Строительная механика скошенных систем. – М.: Машиностроение, 1973. – 654 с. 5. Тацій Р.М. Узагальнені квазидиференціальні рівняння. Науково-учбовий центр математичного моделювання ППММ ім. Я.С. Підстригача АН України. Львів, 1994. – 54 с. 6. Тацій Р.М., Давидчак О.Р. Розрахунок неперервно-дискретних стержневих систем // Вісн. НУ "Львівська політехніка". – 2002. – № 462. – С.145–149.

УДК 624.074.04

Б.Г. Демчина, В.С. Фіцик

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

### ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ КОЛДЕМ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ПРОСТОРОВОЇ СИСТЕМИ ГОЛЬДПЛАН НА ВПЛИВ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ПОЖЕЖІ

© Демчина Б.Г., Фіцик В.С., 2004

*Подано результати розрахунків температурної та силової задачі за допомогою програмного комплексу (ПК) КОЛДЕМ і проведено їх зіставлення з результатами натурного вогневого експерименту.*

Аналіз результатів багатьох натурних вогневих експериментів, виконаних на багатоповерхових житлових та громадських будівлях або їх фрагментах [1, 2], показав, що під час пожежі руйнування одної із конструкцій споруди не приводить до руйнування цілої будівлі. Пояснити це можна

наявністю сумісної роботи окремих елементів просторових блоків (кімнат) будівлі. У крупнопанельних, об'ємно-блокових, панельно-блокових та монолітних спорудах досягнення межі вогнестійкості окремою плитою перекриття чи стіною панеллю не приводить до руйнування цілої споруди. Тому метод розрахунку межі вогнестійкості просторових об'ємних блоків, який враховує сумісну роботу окремих його елементів, дає суттєві запаси по вогнестійкості та економію матеріальних ресурсів.

Надійним розрахунковим методом визначення межі вогнестійкості можна замінити дорогі та трудомісткі натурні вогневі випробування споруд, без яких дотепер не обходилося впровадження нових архітектурно конструктивних технологічних систем (АКТС). На будівельному ринку в останньому десятилітті з'явилася нова АКТС типу ГОЛЬДПІАН в якій як енергоефективна нез'ємна опалубка використовуються блоки з пінополістиролу. Перекриття та стіни такої системи представляють собою плоскі гратчасті багат шарові конструкції з несучим шаром у вигляді перехресно-ребристої залізобетонної плити і ненесучими шарами з пінополістиролу (ППС), який виконує функцію енергоефективного утеплювача при експлуатації споруди.

Авторами розроблений та впроваджується у проектуванні ПК КОЛДЕМ, який побудований на класичній теорії термопружності пластин на основі гіпотез та пропозицій поданих авторами [3], і дає можливість робити розрахунки вогнестійкості просторових блоків. За результатами проведеного у Вінниці в 1997 році натурального вогневого експерименту АКТС ГОЛЬДПІАН були виконані такі розрахунки для житлової кімнати, що випробовувалася розмірами 3,4×5,0×2,6 м [4].

**Розв'язання температурної задачі.** Наводиться розрахунок температурної задачі для несучої стіни дослідної кімнати конструкцію якої зображено на рис. 1.

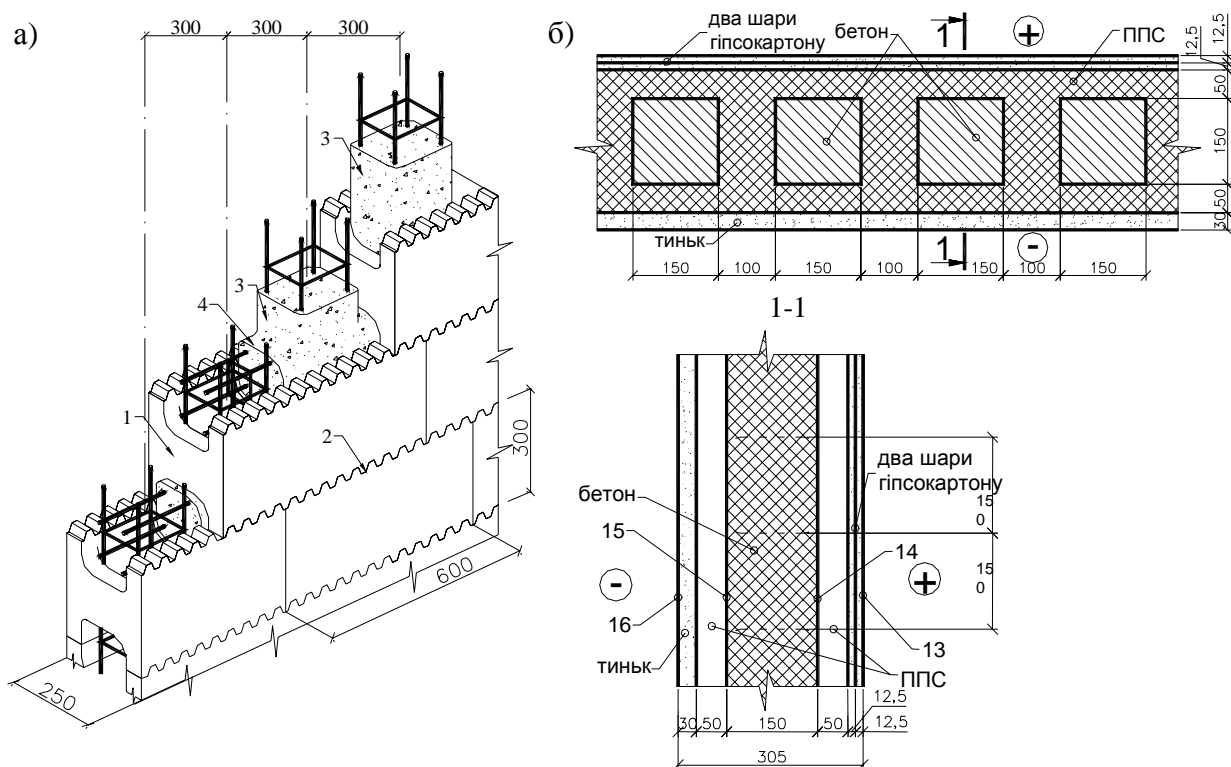


Рис. 1. Конструкція стіни:

- а) загальний вигляд; б) горизонтальний та вертикальний розрахунковий перерізи по стіні;  
 1 – стіновий полістирольний блок; 2 – зубчасте з'єднання; 3 – монолітні залізобетонні колони;  
 4 – монолітні залізобетонні балки стіни; 13, 14, 15, 16 – номери термопар

Для розрахунку застосовані такі підходи:

- температурну дію задавали температурною кривою В (рис. 2), яка є середньооб'ємною температурою в об'ємі приміщення при вогневій дії;
- теоретичні розрахунки виконували за допомогою ПК КОЛДЕМ для загального інтервалу часу 0–120 хв;

– моменти обвалу першого і другого шару гіпсокартону приймали відповідно до результатів вогневого експерименту.

Результати теоретичних розрахунків температури на поверхні, що обігривається, та їх порівняння з експериментальними температурами зображено на рис. 2.

Як видно, з температурних кривих, отриманих за середньооб'ємною кривою пожежі, характер приросту температур на поверхні, що обігривається, повторює середньооб'ємну криву. Різниця між експериментальними та розрахунковими значеннями становить 10–29 %, що можна вважати задовільним збіганням. Якість експерименту була забезпечена тим, що термопара №13 була закріплена до бетону стіни і обвал гіпсокартону не вплинув на її покази.

Результати теоретичних розрахунків температури по товщині стіни та їх порівняння з експериментальними даними подані на рис. 3. З аналізу наведених температурних кривих чітко видно вплив на нагрівання обвалу гіпсокартонних листів у т.В1 та В2.

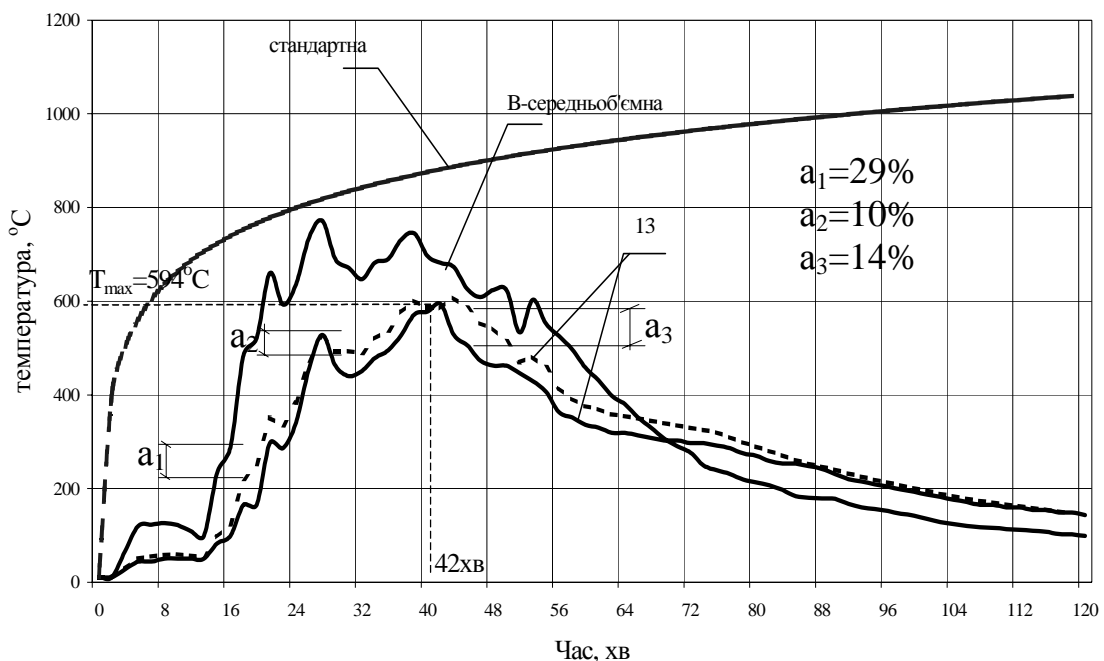


Рис. 2. Графіки зміни температур на поверхні стіни 1-го поверху, що обігривається (термопара №13 див. рис. 1):

- експериментальні значення;
- - - розрахункові значення за експериментальною середньооб'ємною кривою пожежі

Зіставлення розрахункових і експериментальних значень температур показало їх суттєве розходження, яке після обвалу другого шару гіпсокартону досягло 43 % (рис. 3, термопара №14). Це можна пояснити тим, що термопари №14, 15 та 16 кріпилися по товщині до ППС, а під час його вигорання вони втрачали своє проектне положення, тому покази температур не відповідають розрахунковим значенням.

Як бачимо з аналізу порівняння результатів розрахункових та експериментальних значень прогріву стіни, під час експериментальної пожежі суттєвий вплив на них мають моменти обвалу шарів гіпсокартону та умови кріплення термопар по товщині стіни. Так, по термопарі №13, яка була закріплена до бетону стіни, отримане досить чітке збігання експериментальних та розрахункових значень температур до 55 хв пожежі, коли обвалився другий шар гіпсокартону. Тому можна вважати що ПК КОЛДЕМ дає задовільні результати розв'язання температурної задачі, які збігаються з експериментальними.

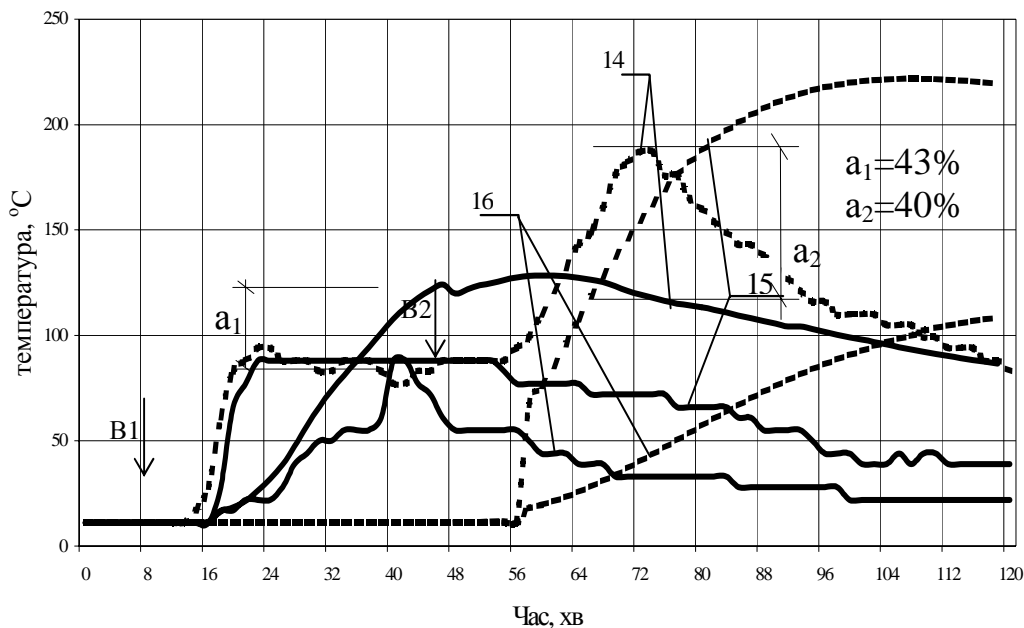


Рис. 3. Графіки зміни температур по товщині стіни 1-го поверху (термопарі №14, 15, 16 див. рис. 1):  
*B1* – обвал першого шару гіпсокартону; *B2* – обвал другого шару гіпсокартону;

— експериментальні значення;

- - - розрахункові значення за експериментальною середньооб'ємною кривою пожежі

**Розв'язання силової задачі.** За експериментальними значеннями середньооб'ємної температурної кривої та за стандартною температурною кривою здійснювали розрахунок деформацій перекриття та стін просторового відсіку. Конструкція та геометричні розміри перекриття зображені на рис. 4.

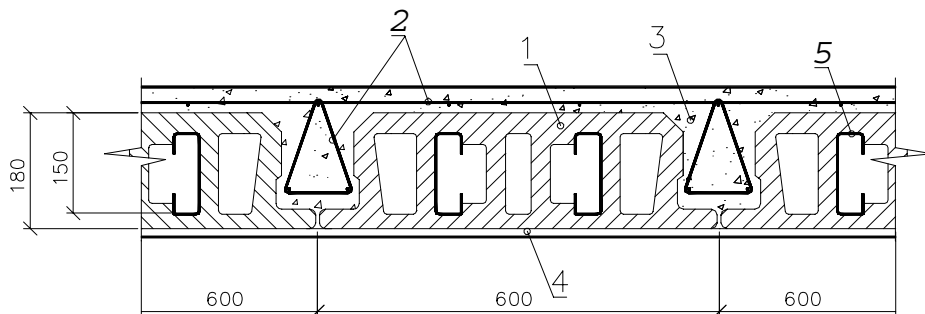


Рис. 4. Конструкція перекриття:

*1* – горизонтальні пінополістирольні блоки; *2* – додаткове армування;

*3* – монолітна ребриста плита перекриття; *4* – два шари гіпсокартону; *5* – несучий металевий профіль

Розрахунок прогинів плити перекриття по середині прогону показав, що їх максимальні значення становили 53 та 60 мм на 50-й хв вогневої дії, що значно менше від граничнодопустимого значення  $f_{\max}=347\text{мм}$  (рис. 5). Теоретичне значення межі вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності плити перекриття за час дії пожежі не наступило, що збігається з результатами експериментальних досліджень.

При розрахунку переміщень стін просторового відсіку (конструкція зображена на рис.1) за стандартною температурною кривою межа вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності повинна була наступити на 65-й хв, коли  $f_2 = f_{\max} = 26$  мм, а при розрахунку за середньооб'ємною температурною кривою максимальне значення переміщень стін становило 8–8,7 мм на 68–70-й хв, що не перевищувало максимально допустиме значення  $f_{\max} = 26$  мм (рис. 6).

Оскільки, візуальним спостереженням, а інструментального не проводили, під час експерименту не було зафіксовано суттєвих деформацій цих елементів, то розрахункові результати можна вважати правдоподібними.

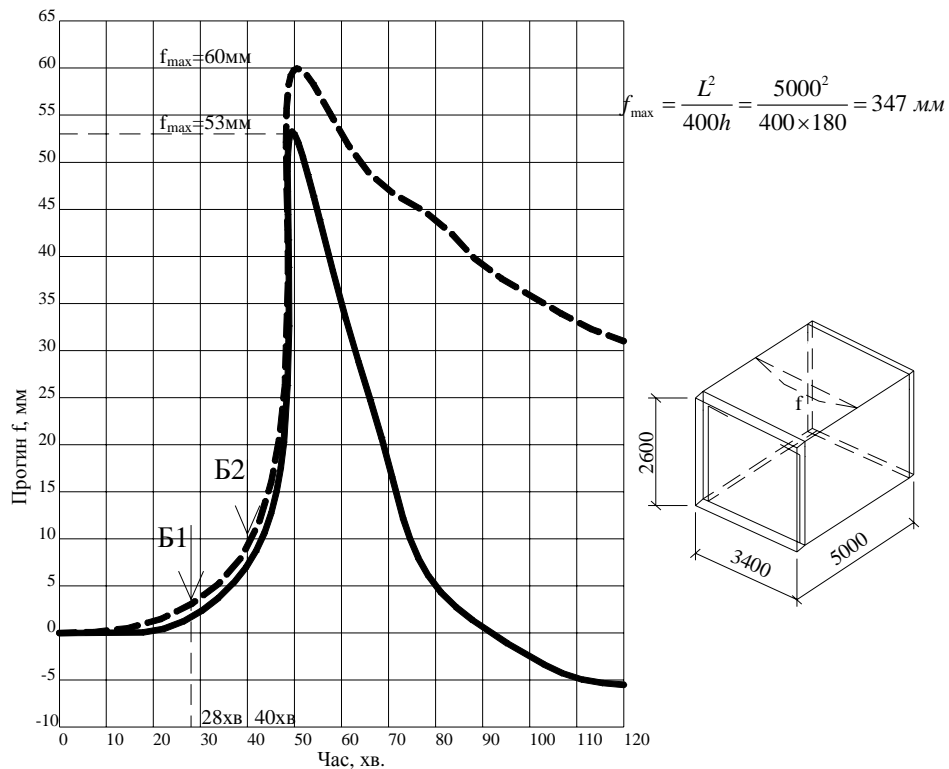


Рис. 5. Прогин плити перекриття:

———— порохований за середньооб'ємною температурною кривою (див. рис. 2);  
 - - - - порохований за стандартною температурною кривою;  
 Б1, Б2 – моменти обвалу першого і другого шару гіпсокартону на плитах перекриття

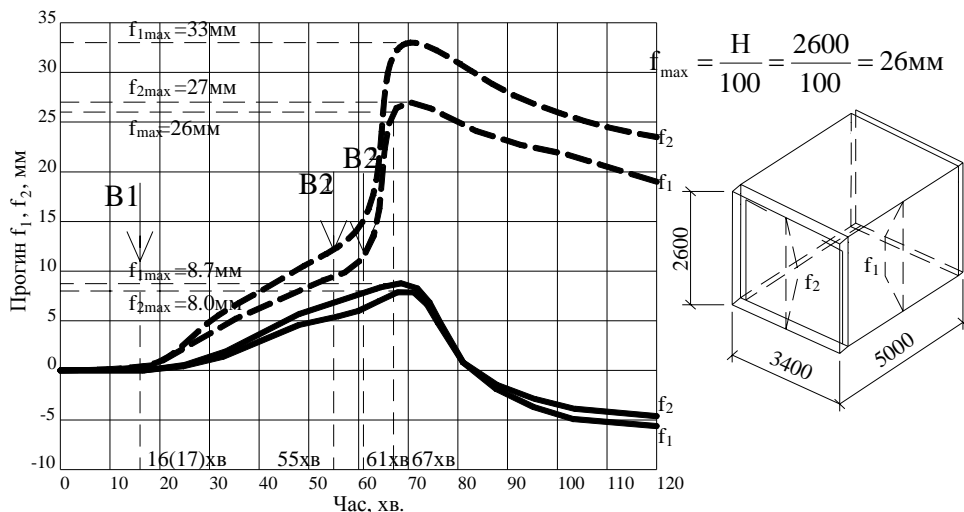


Рис. 6. Прогини стін:

———— пороховані за середньооб'ємною температурною кривою (див. рис. 2);  
 - - - - пороховані за стандартною температурною кривою;  
 Б1, Б2 – моменти обвалу першого і другого шару гіпсокартону на стіні

**Висновок.** Використання запропонованої методики розрахунку об'ємних блоків реалізованої за допомогою ПК КОЛДЕМ для розрахунку температурної і силової задачі, показало задовільне збігання з результатами експериментальних натурних вогневих досліджень, що дозволяє рекомендувати її для практичного застосування у проектуванні.

1. Яковлев А.И., Гринчик Ю.А., Векслер В.Л., Вайсман Э.Л. Исследование огнестойкости конструкций 9-этажного дома блочно-панельной системы на натурном двухэтажном фрагменте // Объемно-блочное домостроение. – 1977. – №4. – С.34–39. 2. Исследование огнестойкости конструкции объемных блоков полигонного изготовления // Отчет по НИР. – Киев: КіівЗНДІЕП, 1988. – 17с. 3. Demchyna B.G., Kolyakov M.I., Vozhinskiy A.V., Lundyak V.S. FuU-scale fire resistance tests of spatial single-layered and multilayered structural elements // Challenges for Concrete in the Next Millennium. Volume 2. Proceedings of the 13th FIP Congress. – Rotterdam, 1998. – S.999–1002. 4. Демчина Б.Г. Натурні вогневі випробування фрагмента п'ятиповерхового житлового будинку з полімерзалізобетонних конструкцій системи “ГОЛЬДПЛАН” // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. – 1997. – №335. – С.16–23.

УДК 65, 012: 5

В.О. Дольников, Р.П. Лівша, Ю.І. Орловський  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЯ НА ПОЧАТКОВІЙ СТАДІЇ ТВЕРДІННЯ

© Дольников В.О., Лівша Р.П., Орловський Ю.І., 2004

*У технічній літературі відсутні статті про деформації усадки цементного тіста в ранній стадії твердіння. Очевидно тому, що відсутні такі прилади. Нами на базі мікроскопа МБС-9 і за допомогою голографічної інтерферометрії сконструйований прилад для вимірювання деформацій усадки з точністю 0,001 мм. Наведено результати визначення деформацій усадки цементного тіста триводоцементних відношень за перших 12 діб твердіння.*

Усадочні деформації поверхні цементного каменя пов'язані з різними причинами зменшення об'ємів твердіючих матеріалів. Деформаційні процеси розвиваються одночасно з початком їх тужавіння і твердіння. Деформації усадки зумовлені комплексом фізико-хімічних та фізико-механічних процесів поділяються на хімічну (контракційну), фізичну (вологісну) і карбонізаційну усадки [1]. Вологісна усадка цементного каменя пов'язана, в основному, з процесами випаровування. Оскільки коефіцієнт випаровування в кутах (0,325 г/см<sup>2</sup>) на ребрах (0,175 г/см<sup>2</sup>) і на гранях (0,143 г/см<sup>2</sup>) стандартного бруска розміром 0,04×0,04×0,16 м мають різні значення, це призводить до зміни його загального деформаційно-напруженого стану. Для вивчення кінетики розвитку і розподілу деформацій усадки ми використовуємо методи голографічної інтерферометрії (рис. 1) [2].

Особливий інтерес становлять зміни розподілу усадочних деформацій поверхні при зменшенні об'єму цементного каменя під час переходу його з пластичного у твердий стан. При цьому мікроструктура поверхні досліджуваного зразка суттєво змінюється і ми не побачимо інтерференційних смуг, оскільки різниця ходу оптичного променя від точки до точки змінюється хаотично. Згідно з цим інтерференційна картина має нерегулярну структуру і високу просторову частоту. Отже, голографічна інтерферометрія не дає можливості досліджувати цей перехідний процес.