

УДК 624012

**В.М. Барабаш, Б.М. Ільницький, А.П. Шевчик**  
 Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра БКМ

## **МІЦНІСТЬ ТА ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ, ПОСИЛЕНИХ КОМПОЗИТНИМ МАТЕРІАЛОМ\***

© Барабаш В.М., Ільницький Б.М., Шевчик А.П., 2002

**Досліджено залізобетонні балочні конструкції, посилені композитними матеріалами фірми SİKA.**

Питання посилення залізобетонних конструкцій є важливим інженерно-будівельним завданням. Ця проблема виникає у випадках, які можна класифікувати за такими причинами:

- зростання навантаження;
- пошкодження несучих елементів конструкцій;
- покращання умов експлуатації конструкцій;
- зміна статичної схеми;
- помилки в проектуванні або у виконанні.

Одним із способів розв’язання цього завдання – це використання системи наклеювання композитних стрічок фірми SİKA. Стрічки Sika CarboDur складаються з вуглецевих волокон, впаяних в штучні матриці. Приклеюються вони до розтягнутої зони бетону за допомогою клею SikaDur-31, основою якого є епоксидна смола. Доповненням до стрічок Sika CarboDur є композитні профілі Sika CarboShear L, а також панелі з вуглецевих волокон Sika Wrap. Призначені вони для підсилення зон зрізу, а також ділянок, де використання стрічки Sika CarboDur неможливе. Приклеюються панелі Sika Wrap клеєм SikaDur-330 LVP на основі епоксидної смоли. Обов’язковою умовою є достатня, не менше ніж 1,5 МПа, міцність бетону на розтяг.

Досліджувались посилені таким методом три балки перерізом 120×240 мм, прогоном 2 400 мм, завдовжки 2 600 мм. Конструкція дослідних взірців балок зображена на рис. 1.

Поздовжньою робочою арматурою балок, для посилення в розтягнутій зоні, служили два стрижні періодичного профілю Ø 16 мм класу А-III ( $R_{sh} = 312,3$  МПа,  $E_s = 203000$  МПа). В стиснутій – два стрижні періодичного профілю Ø 8 мм класу А-III ( $R_{sh} = 594,5$  МПа,  $E_s = 188000$  МПа). При посиленні в розтягнуту зону балок додавалась стрічка Sika CarboDur S512 завширшки 50 мм і завтовшки 1,2 мм ( $R_h = 3050$  МПа,  $E = 16\ 5000$  МПа) для підвищення несучої здатності за згинальним моментом. Поперечна арматура гладка стрижнева Ø 6 мм класу А-I ( $R_{sh} = 188$  МПа,  $E_s = 209\ 000$  МПа). Крім того, з метою підвищення міцності похилих перерізів при посиленні на приопорні ділянки балок наклеювались панелі Sika Wrap Hex-230C завширшки 305 мм і завтовшки 0,13 мм ( $R_h = 3500$  МПа,  $E = 230000$  МПа).

---

\* Дослідження проведені під керівництвом заслуженого діяча науки і техніки України, дійсного члена Академії будівництва України і Академії оригінальних ідей, професора кафедри “Будівельних конструкцій і мостів” НУ “Львівська політехніка”, доктора технічних наук Ф.Є. Клименка.

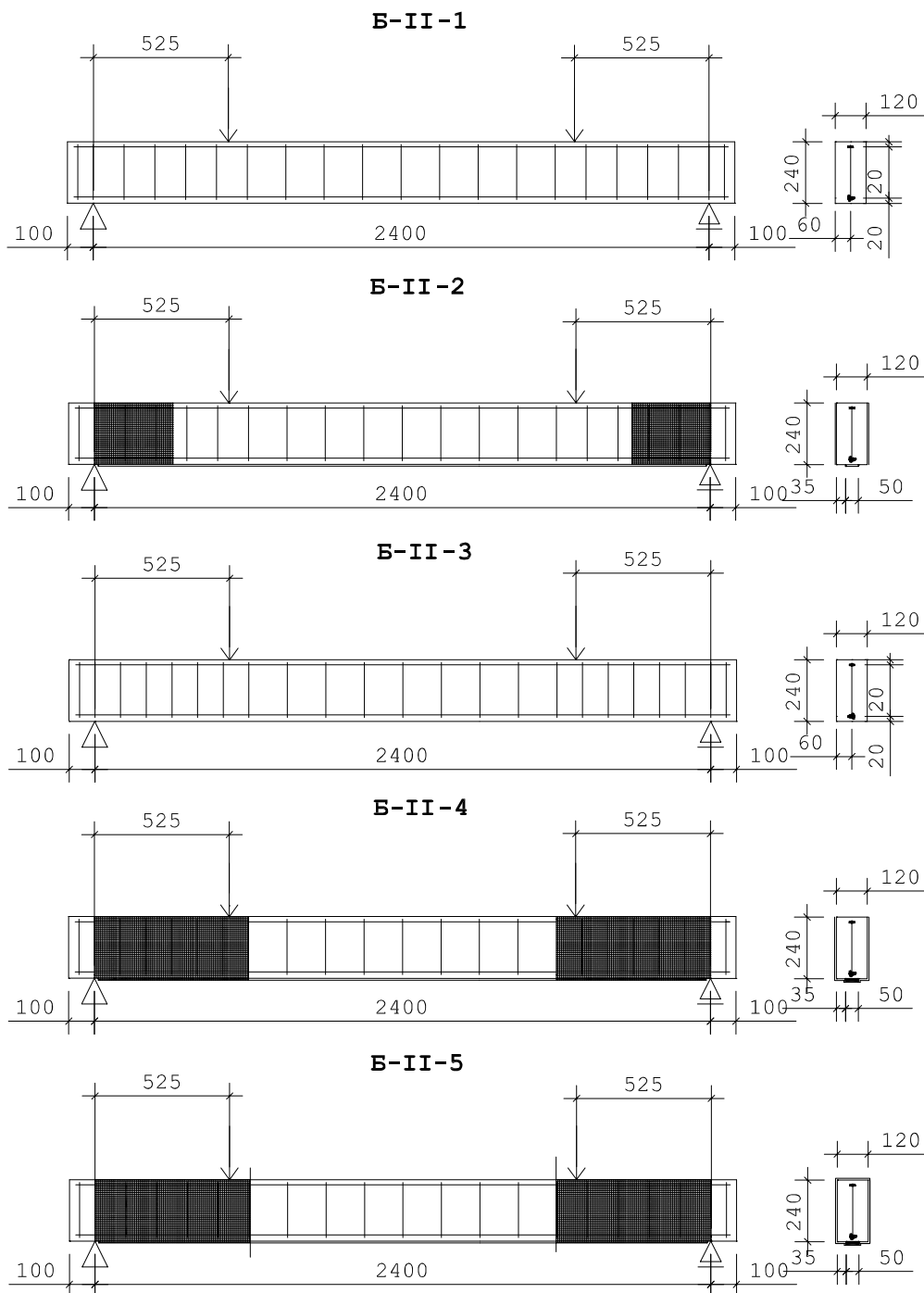


Рис. 1. Конструкція дослідних взірців балок

Дві балки з трьох випробовувались у два етапи. Третя балка випробовувалась за один етап. Тобто перші дві балки перед тим, як посилити композитним матеріалом фірми Sika, були завантажені до навантаження, яке дорівнювало 0,65 від розрахункової несучої здатності. Після чого розвантажені та посилені. Третя балка була одразу посилена.

Для того, щоб розпізнати перші дві балки, вводились такі зміни у позначенні. Балка Б-2 (на другому етапі випробувань – це балка Б-1 (на першому етапі випробувань), після посилення. І, аналогічно, балка Б-4 – балка Б-3. Третя балка маркувалась Б-5.

В балці Б-1 поперечна стрижнева арматура на приопорній ділянці встановлена з кроком 120 мм (рис. 2). Панелі Sika Wrap наклеювались на обидві бокові поверхні балки смугою завширшки 305 мм від опори і балка маркувалась відповідно Б-2.

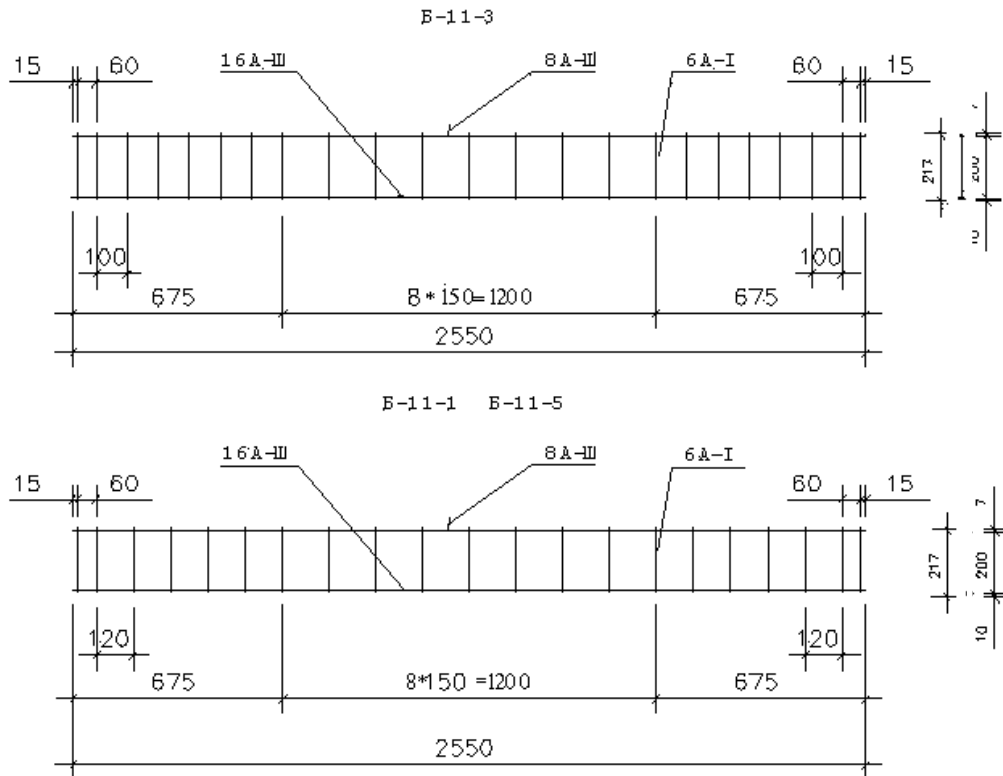


Рис. 2. Арматура балок

В балці Б-3 поперечна арматура на при опорній ділянці встановлена з кроком 100 мм (рис. 2). Панелі Sika Wrap на другому етапі наклеювались на ширину 600 мм від опори на обидві бокові поверхні, а також нижню. Тим самим одночасно забезпечувалось додаткове анкерування стрічки Sika CarboDur, яка додавалась у розтягнуту зону. Балка відповідно маркувалась Б-4.

В балці Б-5 поперечна стрижнева арматура на приопорній ділянці встановлена з кроком 120 мм (рис. 2). І панелі Sika Wrap наклеєні на ширину 600 мм від опори на обидві бокові поверхні, а також нижню і верхню у вигляді замкнутого кільця. Тим самим забезпечено одночасно додаткове анкерування стрічки Sika CarboDur, що додавалась у розтягнуту зону і самої панелі Sika Wrap.

Бетон виготовлявся на основі портландцементу Миколаївського цементного заводу. Як заповнювачі використано пісок кварцовий середньої крупності Миколаївського кар'єру і щебінь гранітний фракції 10–20 мм. Твердіння бетону відбувалось в природних умовах протягом 28 діб. На час випробувань він мав такі механічні властивості:

- для балки Б-1  $R_b = 37,8$  МПа,  $R_{bt} = 3,33$  МПа,  $E_b = 44920$  МПа;
- для балки Б-2  $R_b = 29,3$  МПа,  $R_{bt} = 3,07$  МПа,  $E_b = 40160$  МПа;
- для балки Б-5  $R_b = 28,3$  МПа,  $R_{bt} = 2,63$  МПа,  $E_b = 37780$  МПа.

Випробування балок проводилось статичним короткочасним навантаженням на силовому стенді в лабораторії ГНДВЛ-105 НУ “Львівська політехніка”, як вже вище згадувалось, для балок Б-1 і Б-3 у два етапи, а для балки Б-5 – в один етап. Навантаження прикладалось у вигляді двох зосереджених сил на відстані 525 мм від опори (рис. 3).

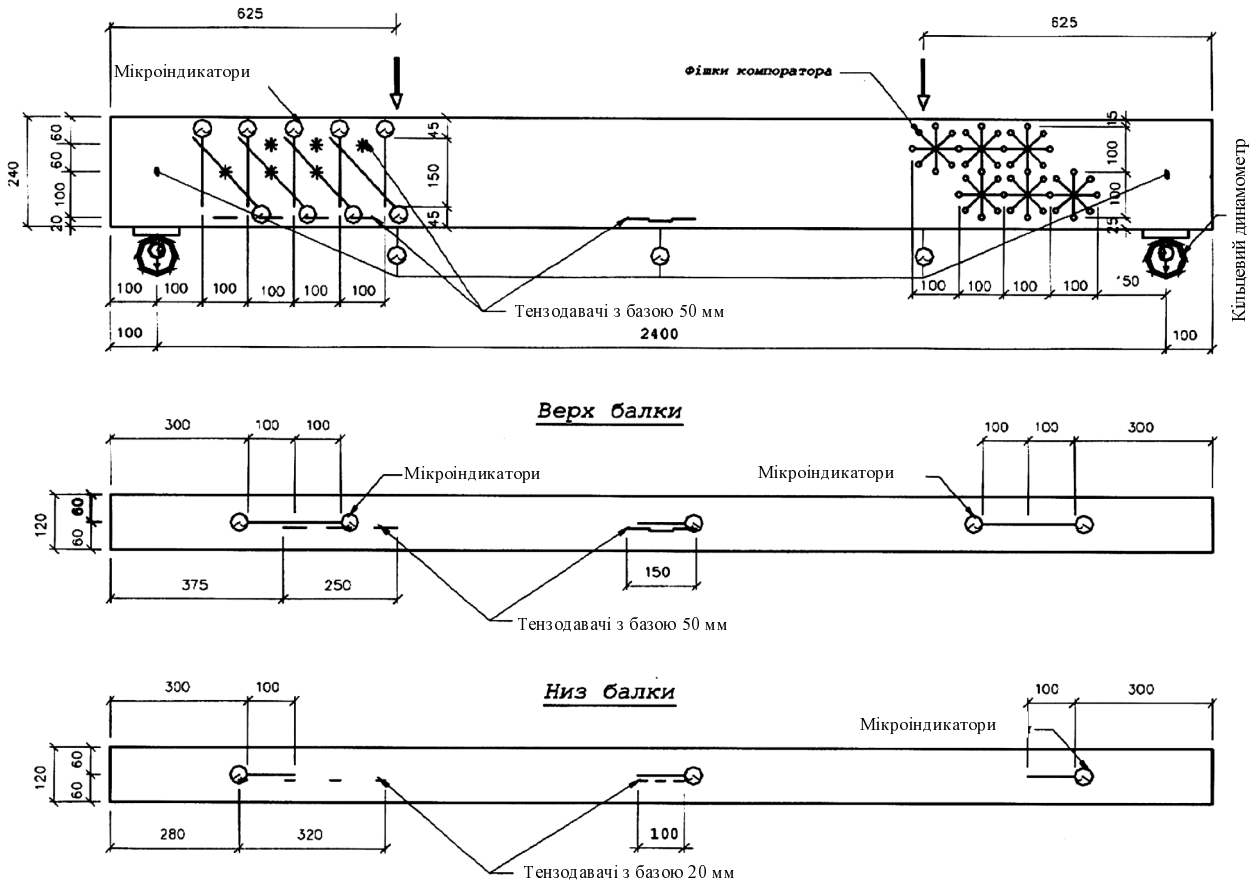


Рис. 3. Схема розміщення приладів

Під час випробування вимірювалися деформації бетону і арматури у зоні чистого згину, а також у зоні дії поперечної сили, прогини балки та момент тріщиноутворення і ширина розкриття тріщин. Крім того, контролювався зсув стрічки Sika CarboDur відносно бетону. Результати вимірювань наведені у табл. 1, 1а.

Величина згинального моменту тріщиноутворення фіксувалась за допомогою тензорезисторів і компоратора з базою 100 мм, а також мікроіндикаторів годинникового типу. Найбільша ширина розкриття тріщин вимірювалась за допомогою мірного мікроскопа з ціною поділки 0,05 мм. Прогини визначались за показами індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Розрахункові значення отримані за методикою СНиП 2.03.01-84\*.

Руйнування балки Б-2 відбулось за похилим перерізом між силою і ділянкою, де наклеєна панель Sika Wrap у два етапи. На першому етапі “потекла” поперечна арматура. На другому етапі відбулось відшарування (зріз по бетону) стрічки Sika CarboDur від опори до похилої тріщини внаслідок недостатньої зони її анкерівки.

Таблиця 1

## Результати досліджень

| Позначення балок | Значення згинального моменту тріщиноутворення $M_{cr,c}$ , кН·м |                         | Відношення $M_{cr,exp} / M_{cr,c}$ | Відношення $M_{cr,exp (pos)} / M_{cr,exp}$ | Значення граничного згинального моменту $M_{cr}$ , кН·м |                       | Відношення $M_{cr,exp} / M_{cr,c}$ | Дослідне значення руйнівного згинального моменту $M_{f,exp}$ , кН·м | Відношення $M_{f,exp} / M_{cr,exp}$ |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                  | Розрахункове $M_{cr,c}$                                         | Дослідне $M_{cr,c,exp}$ |                                    |                                            | Розрахункове $M_{cr,c}$                                 | Дослідне $M_{cr,exp}$ |                                    |                                                                     |                                     |
| Б-1              | 6,81                                                            | 6,89                    | 1,01                               |                                            |                                                         |                       |                                    |                                                                     |                                     |
| Б-2 (пос)        | 6,96                                                            | 6,91                    | 0,99                               | 1,003                                      | 42,13                                                   | 42,53                 | 1,01                               | 48,30                                                               | 1,14                                |
| Б-3              | 6,45                                                            | 6,55                    | 1,02                               |                                            |                                                         |                       |                                    |                                                                     |                                     |
| Б-4 (пос)        | 6,55                                                            | 6,61                    | 1,01                               | 1,009                                      | 50,40                                                   | 51,71                 | 1,03                               | 59,33                                                               | 1,15                                |
| Б-5 (пос)        | 5,71                                                            | 5,91                    | 1,04                               |                                            | 51,45                                                   | 53,03                 | 1,03                               | 53,03                                                               | 1,00                                |

Таблиця 1а

| Позначення балок | Значення ширини розкриття тріщин $a_{cr,c}$ , мм |                                  | Відношення $a_{cr,c} / a_{cr,c,pos}$ | Значення прогину $f$ , мм при $M = 0,4 M_{cr,c}$ |                    | Відношення $f_{exp} / f_c$ | Значення прогину $f$ , мм при $M = 0,7 M_{cr,c}$ |                    | Відношення $f_{exp} / f_c$ |
|------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|----------------------------|
|                  | Дослідне при $M = 15,75$ кН·м                    | Дослідне при $M = 0,95 M_{cr,c}$ |                                      | Розрахункове $f_c$                               | Дослідне $f_{exp}$ |                            | Розрахункове $f_c$                               | Дослідне $f_{exp}$ |                            |
| Б-1              | 0,13                                             |                                  |                                      | 2,89                                             | 2,90               | 1,01                       |                                                  |                    |                            |
| Б-2 (пос)        | 0,10                                             | 0,15                             | 1,30                                 | 2,88                                             | 3,01               | 1,05                       | 7,21                                             | 6,87               | 0,95                       |
| Б-3              | 0,14                                             |                                  |                                      | 3,58                                             | 3,72               | 1,04                       |                                                  |                    |                            |
| Б-4 (пос)        | 0,10                                             | 0,15                             | 1,40                                 | 4,62                                             | 4,90               | 1,06                       | 10,19                                            | 10,40              | 1,02                       |
| Б-5              | 0,10                                             | 0,16                             | -                                    | 5,29                                             | 5,40               | 1,02                       | 10,99                                            | 10,90              | 0,99                       |

*Примітки:*  $a_{cr,c}$  – значення ширини розкриття тріщин в залізобетонній балці;  $a_{cr,c, (pos)}$  – значення ширини розкриття тріщин у посиленій залізобетонній балці;  $M_{cr,c, exp}$  – значення згинального моменту тріщиноутворення в залізобетонній балці;  $M_{cr,c, exp (pos)}$  – значення згинального моменту тріщиноутворення в посиленій залізобетонній балці.

Балка Б-4 також зруйнувалась за похилим перерізом внаслідок одночасного зрізу панелі Sika Wrap по бетону з відривом (зрізом по бетону) стрічки Sika CarboDur від опори до похилої тріщини, внаслідок недостатньої зони її анкеровки.

Балка Б-5 зруйнувалась по нормальному перерізу внаслідок роздавлювання стиснутої зони бетону. Стрічка Sika CarboDur і панелі Sika Wrap працювали при цьому сумісно з бетоном.

Як бачимо з результатів досліджень, несуча здатність зразків, а саме значення згинального моменту, що відповідає граничному стану, достатньо добре оцінюються методами норм. Відхилення знаходиться у межах 3 %. Що стосується фізичного руйнування, то воно у балках Б-2 і Б-4 наступило на 14–15 % пізніше. У балці Б-5 фізичне руйнування

збіглося граничним станом, оскільки її руйнування було крихке. Ця балка зруйнувалась як переармована по стиснутій зоні.

Що стосується тріщиностійкості, то посилені балки мали дещо вищий момент тріщиноутворення, ніж звичайні залізобетонні. А ширина їх розкриття була на 36–42 % менша, ніж у непосилених при однаковому навантаженні. Відхилення від розрахункового значення, отриманого за методикою СНиП 2.03.01-84\*, становило 6 %.

Аналогічна картина була і з прогинами (рис. 4). Коли порівнювати прогин балок при  $M = 15,75$  кНм, то величина прогину у посилених на 5–8 % менша, ніж у залізобетонних.

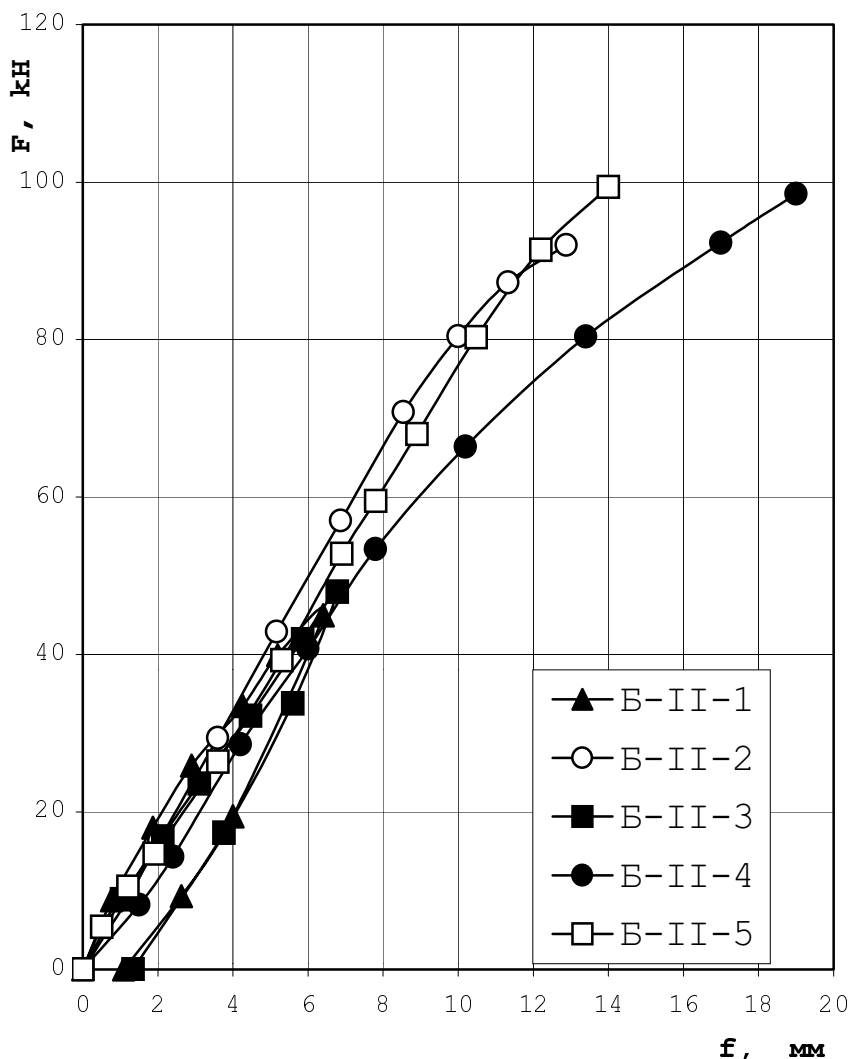


Рис. 4. Прогини дослідних балок

Невелике перевищення прогинів на перших етапах завантаження 0,5 % у посилених балках від непосилених можна пояснити впливом залишкових деформацій, що відбулися при попередньому випробуванні зразків Б-1 і Б-3 перед посиленням.

Таким чином проведені дослідження показали, що використання композитних матеріалів для балочних конструкцій фірми Sika дає можливість підвищити міцність і жорсткість конструкцій при досить малих затратах часу і низькій трудомісткості. При цьому значну роль відіграє анкерування композитного матеріалу.

СниП 2.03.01-84\* добре оцінює міцність і деформативність залізобетонних балок посиленних композитним матеріалом.

1. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К., 1984. 2. СНИП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции. 3. Вахненко П.Ф. и др. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий. – К., 1987. 4. Інформаційні матеріали фірми SIKA.

УДК 624.042.4:627.042.4

А.Я. Барашиков, В.М. Колякова  
Київський національний університет будівництва та архітектури

## МАТЕМАТИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ЗМІННИХ ДОВГОТРИВАЛИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА БУДІВЛІ І СПОРУДИ

© Барашиков А.Я., Колякова В.М., 2002

**В результаті аналізу досліджень та натурних обстежень розроблені схеми зовнішніх навантажень та вимушених деформацій на силоси, бункери тощо. Для наведених схем встановлені аналітичні залежності з визначення зусиль**

Усі дії, які впливають на роботу несучих конструкцій будівель та інженерних споруд за довготривалий час їх експлуатації, можна поділити на постійні та змінні. До постійних належить велика група дій, таких як власна вага, вага постійно встановленого обладнання, усталені зусилля попереднього напруження, деякі види технологічних дій.

Останні дії є змінними, які змінюються у часі. Несприятливий вплив тривалих змінних дій на умови експлуатації потребує систематизації та єдиного представлення якщо не всіх, то хоча б основних типів, що зустрічаються на практиці. На жаль, до сьогодні не складена класифікація дій, хоча цьому питанню присвячено достатньо велика кількість робіт, серед яких треба особливо відзначити роботи Є.М. Бабича [2] та одного з авторів статті [3].

Відомо, що дії можуть бути силовими (навантаження) та несиловими (вимушені деформації). Окрім цього, зміна дії під час досягнення одного або іншого рівня може бути плавною або ступінчастою, миттєвою або практично миттєвою щодо тривалості витримки на даному рівні.

Нижче розглянуті характерні види довготривалих дій та вимушених деформацій на будівлі та споруди.

Найчастіше зустрічаються зміни навантажень у місткостях, призначених для зберігання сипучих тіл та рідин. До них належать резервуари, силоси, бункери, склади та ін.

Типові зміни навантажень у часі характерні, наприклад, для місткостей зернових елеваторів. На рис. 1 зображена схема зміни зусиль у стінках силоса зернового елеватора під час його заповнення та спорожнення [9]. Перші два варіанти належать до випадку роздільного заповнення та спорожнення з перервою (рис. 1, а) або без перерви (рис. 1, б) між ними. Часто зерно випускають з місткості до закінчення її заповнення, тобто виконують одночасно заповнення та спорожнення останньої. В обох випадках можливе одне із співвідношень:  $Q_n > Q_o$  або  $Q_n < Q_o$  (де  $Q_n$  – навантаження від заповнення;  $Q_o$  – навантаження від спорожнення). Всього, можливі