

УДК 624.012.4: 624.041.2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗБІРНО-МОНОЛІТНИХ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PRECAST-MONOLITHIC NON-DISSECTING REINFORCED CONCRETE BEAMS AT REPEATED LOADS.

Савицький В.В., к.т.н., доцент, ORCID ID 0000-0001-8807-9486. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Savitskiy V.V., doctor PhD, preprofessor, ORCID ID 0000-0001-8807-9486. (National University of Water Management and Environmental Engineering, Rivne)

Описано результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок з ненапруженими та попередньо напруженими стиками за дії повторних (малоциклових) навантажень різних рівнів, розкрито питання впливу попереднього напруження стиків на роботу балок.

Purpose of the work: to establish the features of the stress-strain state of precast-monolithic non-dissecting reinforced concrete beams under the action of repeated (low-cycling) loads. Analysis of recent studies of precast monolithic beams has been performed. The research methodology and the design of the test samples are given. The results of the experimental studies of the stress-strain state of precast-monolithic non-dissecting reinforced concrete beams with non-stressed and prestressed joints under the action of repeated (low-cycling) loads at different levels are described. Differences in the operation of beams at repeated loads of operational level and overloading above the operational level are shown. Circuit diagrams of specimens of various structures with prestressed and non-stressed joints above the support and in flight are presented. According to the results of the tests, the following conclusions were reached: during repeated low-cycle loadings of the operational level on the fifth-sixth cycles, the stress-strain state of the precast-monolithic non-dissecting reinforced concrete beams stabilizes; loading above the operational level significantly increases the deformation of reinforcement and concrete; the prestress of the reinforcement joints reduces the deformation of the overpressure reinforcement, and practically does not

change the amount of deformation of the concrete and the span reinforcement.

Ключові слова: бетон, арматура, навантаження, балка, повторне concrete, reinforcement, load, beam, repeated

Вступ. Залізобетонні нерозрізні збірно-монолітні балки широко використовуються як ригелі в складі плоских перекриттів та покриттів виробничих та цивільних будівель, спеціальних інженерних споруд, в склепінчастих і купольних ребристих перекриттях при великих навантаженнях, в підземних спорудах, а також як багатопролітні підкранові балки. На перекриття виробничих, громадських, житлових будівель, спеціальних споруд, до складу яких входять збірно-монолітні нерозрізні залізобетонні балки, в більшості випадків діють малоциклові повторні тимчасові навантаження, які можна розділити на повторні тривалі й повторні короткочасні.

Аналіз останніх досліджень. Автори [1] досліджували вплив розподілу арматури на властивості двопролітних нерозрізних балок. За результатами проведених досліджень автори [1] зробили висновок, що прогини нерозрізних залізобетонних балок з ненапруженою і попередньо напруженою арматурою при зміні розподілу опорної і прольотної арматури в межах 0,4...3 в експлуатаційних стадіях роботи змінюються несуттєво (до 15 %). Автором [2] наведені результати дослідження перерозподілу зусиль в нерозрізних залізобетонних попередньо напружених балках збірної конструкції. Автор [2] зазначає: після того, як діючі моменти досягнуть величини, приблизно рівної 75 – 80 % своїх граничних значень, графіки дослідних моментів починають прагнути до граничних значень моментів, що визначаються армуванням. Автором [3] були проведені експериментальні дослідження збірних попередньо напружених балок. За результатами досліджень автором [3] були зроблені такі висновки: розрахунок несучої здатності збірних балок може виконуватись з урахуванням повного перерозподілу зусиль способом вирівнювання моментів у середньому прольоті і на проміжних опорах. Автори [4] зазначають, що в збірних залізобетонних нерозрізних балках регулювання зусиль може виконуватись за допомогою натягу арматури стиків, найбільш ефективними та індустріальними є стики з прямолінійною арматурою, що напружується електротермічним методом.

Постановка мети і задач досліджень. Мета роботи: встановити особливості напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок при дії повторних (малоциклових) навантажень. Для реалізації мети поставлено вирішити такі задачі: встановити особливості напружено-деформованого стану збірно-монолітних залізобетонних балок з різними за конструкцією стиками при дії повторних навантажень; встановити вплив попереднього напруження арматури стиків балок на їх напружено-деформований стан.

Методика досліджень. Для досягнення поставленої мети виконано три серії експериментальних досліджень роботи двопролітних нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних балок.

Передбачалось вивчити питання роботи нерозрізних збірно-монолітних залізобетонних балок при малоциклових статичних навантаженнях середніх та високих рівнів в залежності від верхнього рівня напруження, наявності та типу стика і кількості циклів навантажень.

Всього було виготовлено 12 двопролітних балок з розмірами поперечного перерізу 10x16 см і довжиною 300 см (рис.1, 2).

Результати досліджень. В балці **1Б-1**, яка випробовувалась одноразовим ступеневим навантаженням до руйнування, величини деформацій опорної і прольотної арматури на перших ступенях навантаження змінювались практично прямо пропорційно значенням прикладеного навантаження (рис. 3, а). Але незначні відхилення від пружної роботи арматурної сталі все ж таки спостерігаються. Ці тенденції значно посилюються на останніх ступенях навантаження, коли через перерозподіл зусиль зближуються значення деформацій опорної та пролітної арматури, а на останніх трьох ступенях навантаження величини деформацій опорної арматури були меншими за відповідні значення для пролітної арматури, при цьому крива деформацій пролітної арматури мала значний нахил до осі деформацій, що свідчить про збільшення приросту. Бетон у стиснутій зоні прольотного перерізу на перших ступенях також працював пружно. У балці **1Б-2**, яка навантажувалась малоцикловим навантаженням на рівні 60% від руйнівного навантаження, визначеного за результатами випробування першої балки серії, величини деформацій опорної та прольотної арматури змінювались на першому циклі практично прямо пропорційно до навантаження. Такі ж закономірності справедливі і для зміни величин деформацій крайніх стиснутих волокон бетону в опорних і прольотних перерізах, але з більшим проявом пластичних властивостей матеріалу. На другому циклі спостерігалася така ж картина, але максимальні відносні деформації бетону були меншими, ніж на першому циклі внаслідок вибирання залишкових пластичних деформацій. На наступних циклах аж до руйнування спостерігались такі ж тенденції, тобто матеріали працювали практично пружно, що підтверджується також майже повною відсутністю залишкових деформацій при розвантаженні. Іншими словами, відбулася стабілізація значень деформацій. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалося зближення величин опорних та прольотних деформацій матеріалів і безпосередньо перед руйнуванням прольотні величини переважали відповідні опорні, що свідчить про практично повний перерозподіл зусиль (рис. 3, б). В балці **1Б-3** на циклі довантаження до рівня 80% від руйнівного проявились пластичні властивості бетону і зближення величини деформацій арматури, а при розвантаженні невеликі значення залишкових деформацій матеріалів.

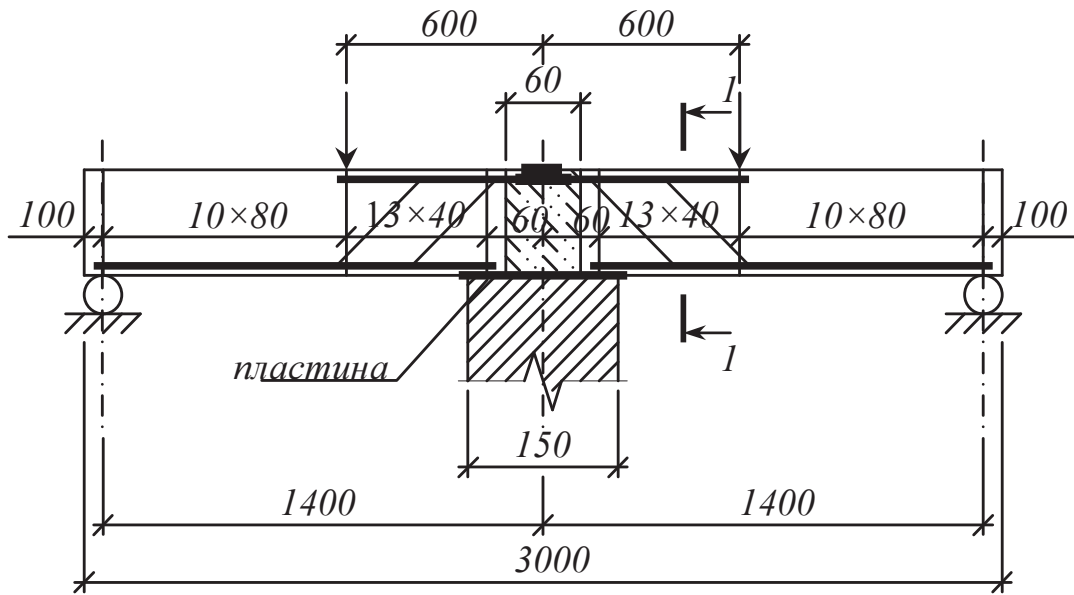


Рис. 1. Конструктивна схема дослідних балок першої серії.

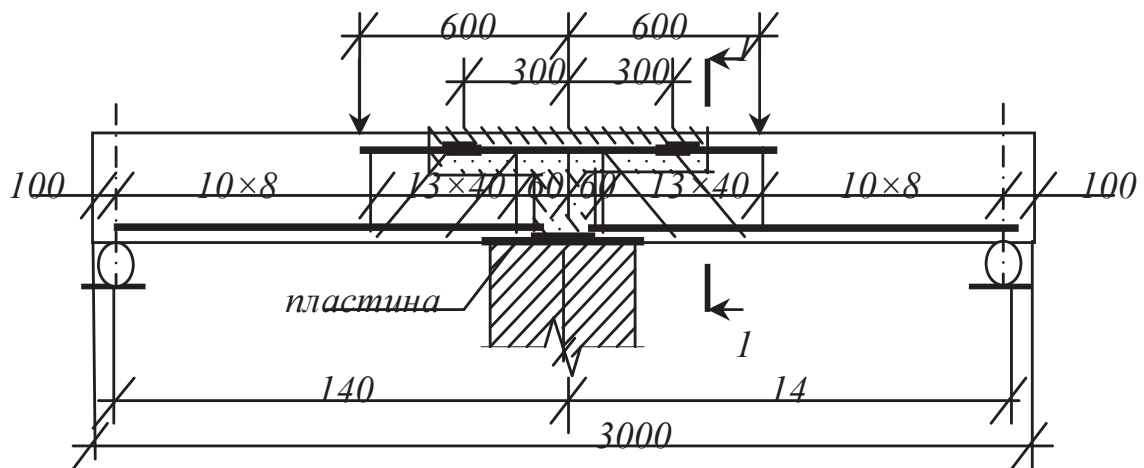


Рис. 2. Конструктивна схема дослідних балок другої та третьої серій.

Але вже на наступному циклі довантаження відновлюється лінійна залежність між величиною деформацій та навантаженням, а при розвантаженні залишкові деформації матеріалів практично відсутні. І лише на останніх ступенях циклу перед руйнуванням спостерігалось суттєве зближення величин опорних та пролітних величин деформацій бетону та арматури. В момент руйнування величини пролітних деформацій бетону і арматури перевищували відповідні опорні значення (рис. 3, в). В балці **1Б-4**, на циклі довантаження зросли максимальні значення деформацій і залишкові величини при розвантаженні, відбулося зближення віток діаграми, а вже на наступному циклі довантаження відбулася стабілізація величин деформацій. На наступному циклі навантаження до попереднього рівня величини деформацій не дуже відрізнялись від отриманих на циклах перед довантаженням, тобто довантаження до рівня розрахункового навантаження несуттєво вплинуло на роботу балки при навантаженні експлуатаційного рівня.

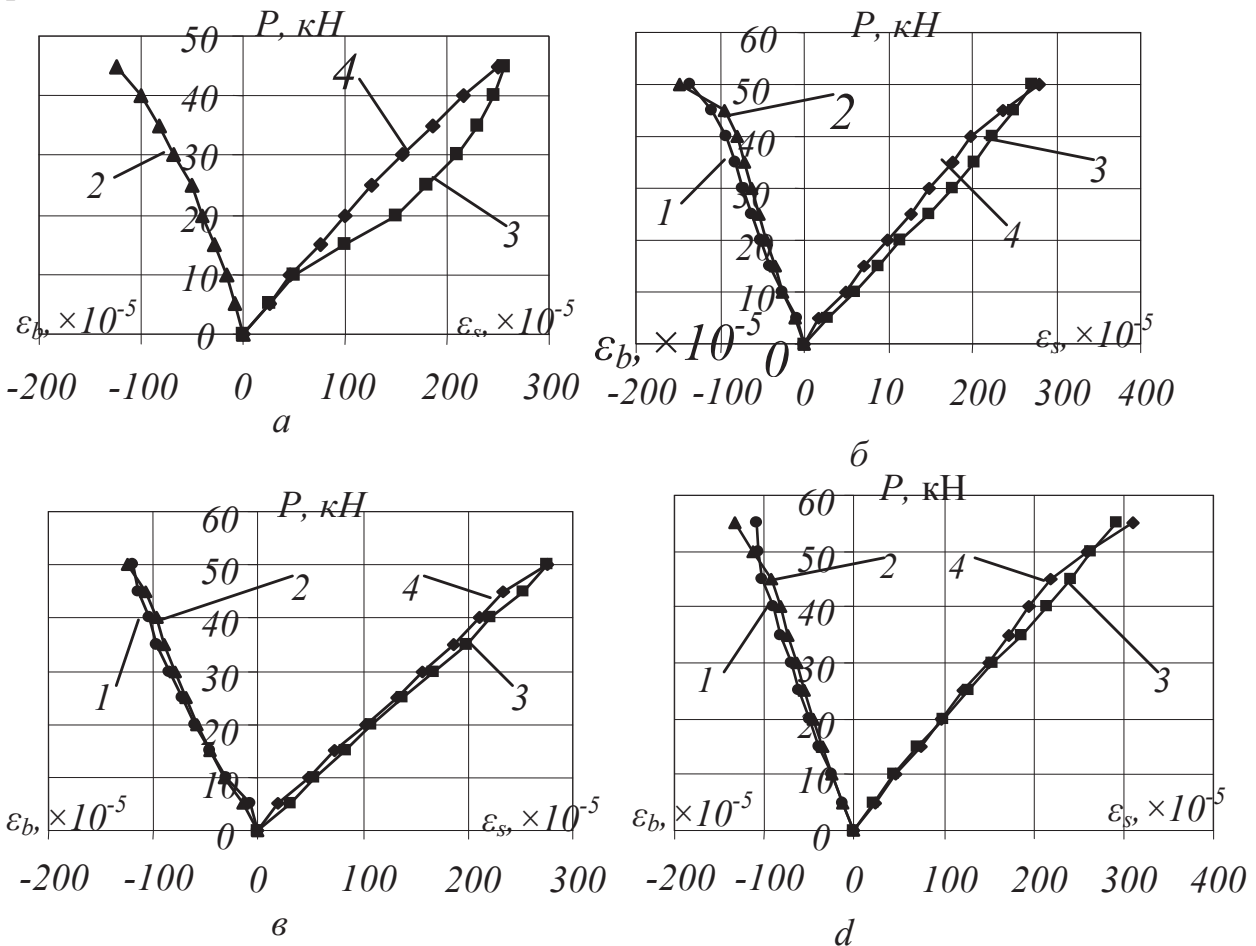


Рис. 3. Зміна деформацій бетону та арматури на циклах руйнування балок першої серії:

а – 1Б-1; б – 1Б-2; в – 1Б-3; д – 1Б-4;

1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою; 4 – бетон в прольотах.

На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбулося зближення величин деформацій бетону і арматури, що свідчить про перерозподіл зусиль. При цьому величини пролітних деформацій арматури почали переважати опорні (рис. 3, д).

Тенденції перерозподілу зусиль добре відобразились і на діаграмах зміни величин деформацій бетону і арматури балки **2Б-1** (рис. 4, а). На перших ступенях залежність між величинами деформацій і навантажень була практично лінійною, опорні їх величини перевищували прольотні, а на останніх ступенях навантаження перед руйнуванням відбулося зближення цих значень, що свідчить про перерозподіл зусиль. Зміна значень деформацій арматури і бетону балки **2Б-2** на першому циклі навантаження була практично лінійно залежною від навантаження. На наступних циклах навантаження відбулася стабілізація деформацій. На останніх ступенях циклу

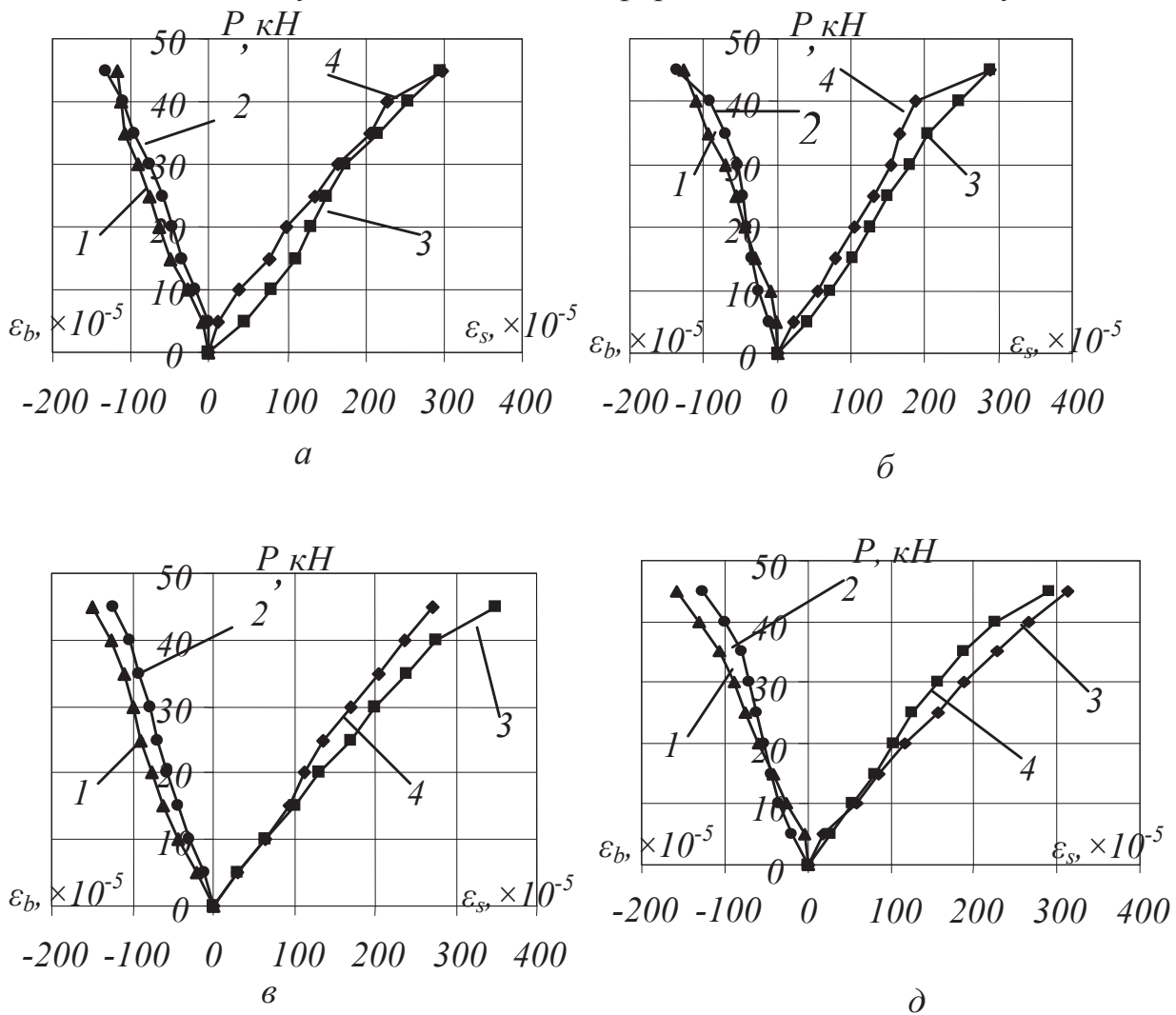


Рис. 4. Зміна деформацій бетону та арматури на циклах руйнування балок другої серії:

а – 2Б-1; б – 2Б-2; в – 2Б-3; д – 2Б-4;

1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою; 4 – бетон в прольотах

навантаження до руйнування відбулося зближення значень опорних і прольотних деформацій матеріалів і безпосередньо в момент руйнування прольотні величини перевищували опорні, що свідчить про повний перерозподіл зусиль (рис. 4, б). Подібні закономірності відобразились і на діаграмах залежності величин деформацій бетону і арматури від навантаження для балки **2Б-3**. На циклі довантаження спостерігалось зближення величин деформацій опорної та прольотної арматури, при цьому величини деформацій бетону змінювались як і на попередніх циклах. Знову виникли залишкові деформації. На наступному циклі довантаження величини деформацій стабілізувались. При руйнуванні значення деформацій прольотної та опорної арматури зблизились, а в роботі бетону збереглися попередні тенденції (рис. 4, в). Для балки **2Б-4** при довантаженні відбулося збільшення величин опорних і прольотних деформацій. При навантаженні до попереднього рівня значення деформацій майже не змінилися порівняно з циклом перед довантаженням. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувся суттєвий перерозподіл зусиль між опорними та прольотними перерізами (рис. 4, д).

Значення деформацій бетону і арматури в балці з попередньо напруженими стиками **3Б-1** змінювались дещо по-іншому, ніж у балках без попереднього напруження. На перших ступенях навантаження величини деформацій прольотної арматури від зовнішнього навантаження значно переважали опорні, що є наслідком попереднього напруження надопорної арматури. І лише на останніх ступенях навантаження перед руйнуванням відбувалося зближення значень деформацій опорної та прольотної арматури і в момент руйнування вони майже зрівнялись (рис. 5, а). Величини деформацій надопорної арматури на перших ступенях навантаження балки **3Б-2** були значно меншими, ніж прольотної, що зумовлено ефектом попереднього напруження. І лише при навантаженні 25 кН, коли за візуальними спостереженнями відбулося утворення перших тріщин над опорою, мало місце різке наближення величин деформацій надопорної арматури до прольотних значень, що відображено зламом на діаграмі. До п'ятого циклу навантаження відбулася практично повна стабілізація величини деформацій. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалось стрімке зближення величин деформацій надопорної та прольотної арматури. Зближення відбулося також і для величин опорних та прольотних деформацій бетону (рис. 5, б). Для балки **3Б-3** на циклі довантаження відбулося збільшення максимальних величин деформацій на циклі, лінійний характер діаграм зберігся, при розвантаженні виникли залишкові деформації (рис. 5, в). На наступному циклі навантаження до попереднього рівня максимальні величини деформацій несуттєво збільшились порівняно з циклом перед довантаженням, їх залишкові величини практично були відсутні. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувся суттєвий перерозподіл зусиль

(рис. 5, в). В балці **ЗБ-4** довантаження практично не вплинуло на величини максимальних деформацій на циклі навантаження до попереднього рівня, залишкові деформації були практично відсутні. При повторному довантаженні максимальні величини деформацій на циклі зменшились порівняно з першим довантаженням, особливо для бетону, залишкові деформації майже не виникали. На останніх ступенях циклу навантаження до руйнування відбувалося зближення величин деформацій опорної та прольотної арматури (рис. 5, д).

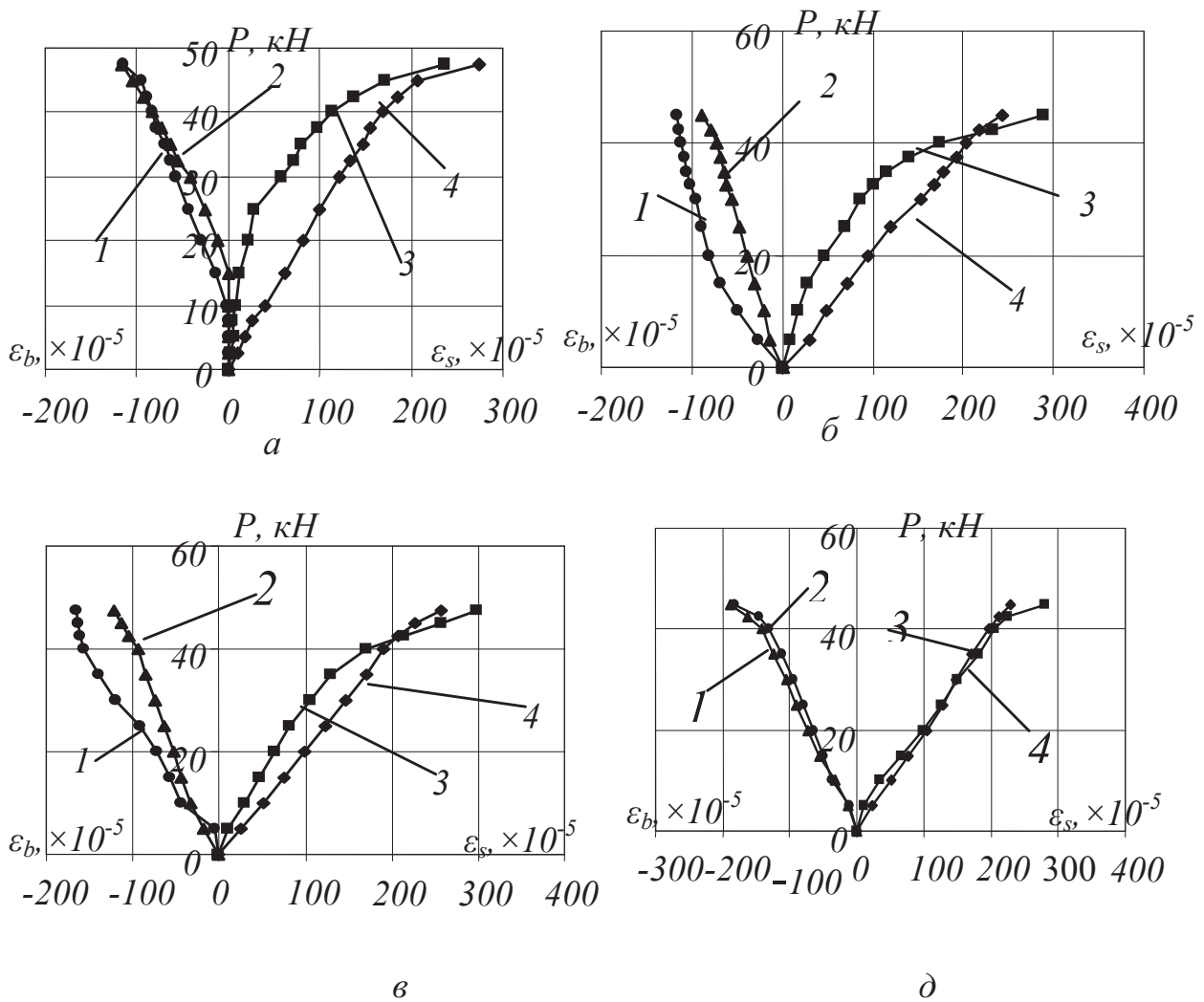


Рис. 5. Зміна деформацій бетону та арматури від зовнішнього навантаження на циклах руйнування балок шостої серії:

a – 6Б-1; *б* – 6Б-2; *в* – 6Б-3; *д* – 6Б-4;

1 – арматура над опорою; 2 – арматура в прольотах; 3 – бетон над опорою; 4 – бетон в прольотах

Висновки. 1. При повторних малоциклових навантаженнях експлуатаційного рівня на п'ятому-шостому циклах відбувається стабілізація напружено-деформованого стану збірно-монолітних нерозрізних залізобетонних балок. 2. Довантаження понад експлуатаційний рівень

суттєво збільшує деформації арматури і бетону.4. Попереднє напруження арматури стиків зменшує деформації надпорної арматури, і практично не змінює величину деформацій бетону та пролітної арматури.

1. Крылов С.М., Маилян Л.Р. Влияние распределения арматуры на свойства неразрезных балок // Бетон и железобетон. - 1982.- № 3.- С. 36 – 37.

Krylov S.M., Mailyan L.R. Vliyaniye raspredeleniya armatury na svoystva nerazreznykh balok // Beton i zhelezobeton. - 1982.- № 3.- S. 36 – 37.

2. Паршин Л.Ф. Перераспределение усилий в сборных предварительно напряженных неразрезных балках // Совершенствование расчета статически неопределимых железобетонных конструкций / Под ред. А.А.Гвоздева и С.М.Крылова.- Москва: Стройиздат, 1968. С. 173 – 195.

Parshin L.F. Pereraspredeleniye usiliy v sbornyykh predvaritel'no napryazhennykh nerazreznykh balkakh // Sovershenstvovaniye rascheta staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh konstruksiy / Pod red. A.A.Gvozdeva i S.M.Krylova.- Moskva: Stroyizdat, 1968. S. 173 – 195.

3. Гнидец Б.Г. Сборно-монолитные статически неопределимые железобетонные конструкции с напрягаемыми стыками и регулированием усилий. – Дис. ... докт. Техн. наук: 05.23.01. – Москва, 1989. – 511 с.

Gnidets B.G. Sbornno-monolitnyye staticheski neopredelimyye zhelezobetonnyye konstruksii s napryagayemyimi stykami i regulirovaniyem usiliy. – Dis. ... dokt. Tekhn. nauk: 05.23.01. – Moskva, 1989. – 511 s.

4. Гнидец Б.Г., Завадяк П.П. Опыт применения сборно-монолитных конструкций с напрягаемой арматурой в стыках // Бетон и железобетон. – 1982 - № 1. – С. 9 – 11.

Gnidets B.G., Zavadyak P.P. Opyt primeneniya sborno-monolitnykh konstruksiy s napryagayemoy armaturoy v stykakh // Beton i zhelezobeton. – 1982 - № 1. – S. 9 – 11.