

УДК 624.012.25

ВПЛИВ СПОСОБУ АРМУВАННЯ СТАЛЕВИМИ ФІБРАМИ НЕРОЗРІЗНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК НА ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА АРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫМИ ФИБРАМИ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ИХ НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

THE INFLUENCE OF THE WAY OF CONTINUOUS CONCRETE BEAMS REINFORCEMENT WITH STEEL FIBERS ON THEIR STRESS-DEFORMED STATE

Нінічук М. В., аспірант (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк).

Ниничук М. В., аспирант (Луцкий национальный технический университет, г. Луцк).

Ninichuk M., postgraduate student (Lutsk State Technical University, Lutsk).

Наведені результати експериментальних досліджень роботи нерозрізних комбіновано-армованих залізобетонних балок з різним типом армування сталевими фібрами.

Представлены результаты экспериментальных исследований работы неразрезных комбинированно-армированных железобетонных балок с разным типом армирования стальными волокнами.

The experimental results of the behavior of a continuous combined-reinforced concrete beams with different types of steel fiber reinforcement are shown here.

Ключові слова:

Балка, моменти , прогини.

Балка, моменты, прогибы.

Beam, deformations, bending.

Стан питання та задачі дослідження. Особливе місце в дослідженні і вдосконаленні роботи залізобетонних конструкцій займають статично - невизначені конструкції, зокрема нерозрізні багато пролітні балки, так як у них найбільш раціонально використовуються в роботі її складові матеріали –

бетон і арматура. Найбільш поширені елементи такого типу в конструкціях перекриттів промислових та цивільних будівель, естакадах, мостових конструкціях. Починаючи з кінця минулого століття, зростає цікавість до використання дисперсно-армованих матеріалів, зокрема сталеві фібробетону, що можна пояснити прагненням суттєво підвищити міцність бетонних елементів і конструкцій на його основі на стиск, особливо розтяг, їх тріщиностійкість, отримати ефективні конструкції, які б відповідали більш високим експлуатаційним вимогам. Робота сталеві фібробетону в нерозрізних несучих конструкціях, вплив різного типу дисперсного армування на несучу здатність і жорсткість такого роду елементів є маловивченими, тому результати експериментальних досліджень, що розглядаються у статті, є актуальними на даний час.

З метою дослідження впливу способу армування сталевими фібрами комбіновано-армованих залізобетонних нерозрізних балок на їх напружено-деформований стан, було проведено випробування трьох дослідних зразків. Вони являли собою нерозрізні двох прольотні залізобетонні балки довжиною 300 см з розмірами поперечного перерізу 10×16 см, з довжиною прольотів по 140 см (рис.1).

Склад цементно-піщаної матриці прийнято 1:2. Використовували портландцемент марки 500, та попередньо відмучений від глинистих, пилюватих і мулистих домішок пісок з модулем крупності 2,4. Одночасно з виготовленням балок бетонували куби розміром $15 \times 15 \times 15$ см та призми $15 \times 15 \times 60$ см, і $10 \times 10 \times 60$ см які використовувалися для визначення кубкової та призової міцності бетону та його деформаційних характеристик. Цементно-піщана матриця мала такі механічні характеристики: середня кубикова міцність $f_{cm,cube} = 33$ МПа; призмova міцність $f_{cm,prism} = 22,6$ МПа, міцність на розтяг $f_{ctk,0,05} = 0,5$ Мпа.

Основне армування виконувалось у вигляді двох плоских каркасів з робочою арматурою в прольотах і над опорою, яка підбиралась із врахуванням перерозподілу зусиль, $\emptyset 10$ А400С і поперечним армуванням стержнями зі сталі $\emptyset 4$ ВР-І, які влаштовувались між середньою опорою і силою з кроком 40 мм, а між крайньою опорою і силою - 80 мм.(рис.1).

Додаткове, дисперсне армування дослідних зразків виконувалось сталевими фібрами ,таким чином, щоб у зразках було різне заповнення фібрами об'єму балки, з однаковим відносним відсотком армування рівним $\mu = 1\%$. Так балка ЗБ-1 армувалася фібрами по всьому своєму об'єму, ЗБ-2 – в розтягнутих зонах, ЗБ-3 – на висоту подвійного захисного шару бетону (рис.2). Використовувалися сталеві анкерні фібри, хвилястої форми, довжиною 50 мм і діаметром 1 мм. Кубикова міцність сталеві фібробетону була всього на 3% більша ніж цементно-піщаної матриці і становила $f_{cm,cube} = 34$ МПа, призмova міцність $f_{cm,prism} = 23,2$ МПа, міцність на розтяг $f_{ctk,0,05} = 1,7$ Мпа, що на 340% більше ніж міцність на розтяг цементно-піщаної матриці.

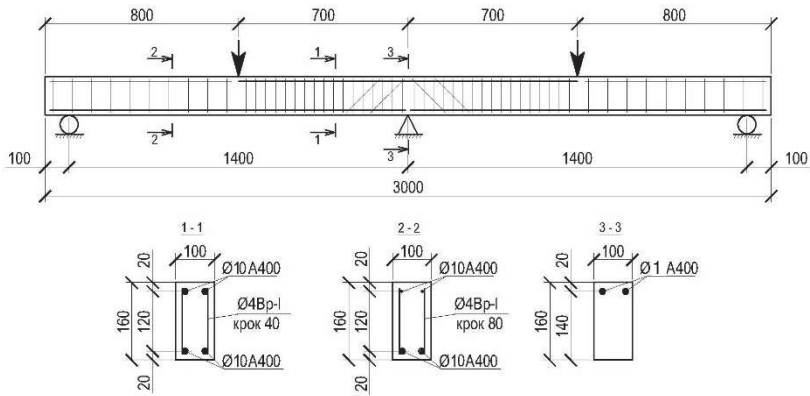


Рис.1. Конструктивна схема дослідних

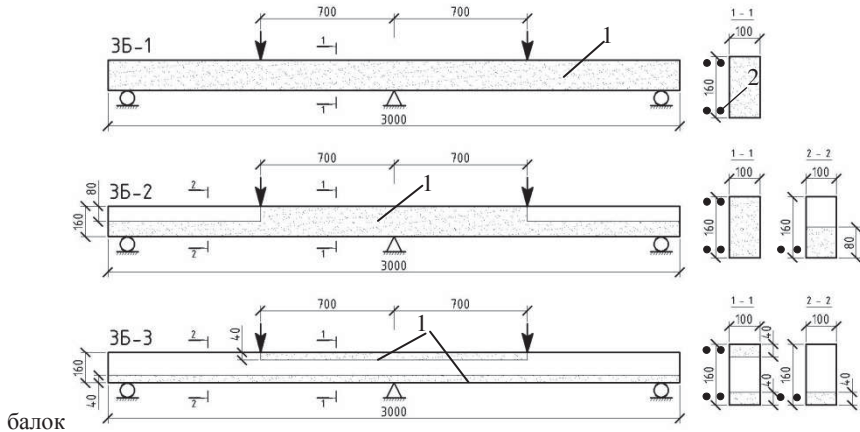


Рис.2. Розподіл фібр по об'єму в зразках

1 – Зона додаткового армування фібрами, 2- Основна арматура

Суміш для експериментальних зразків виготовлялася в бетонозмішувачі, а ущільненні проводилось за допомогою глибинного вібратора. Запланований розподіл фібр по об'єму здійснювався через пошарове бетонування зразків. Перерва між вкладанням шару цементно-піщаної матриці, і шару з додатковим армуванням фібрами, становила не більше 20 хвилин. Розпалублювали балки через 7 діб, подальше їх зберігання відбувалося у вологому середовищі протягом 28 діб, після чого вони знаходились у приміщенні лабораторії.

Методика досліджень. Для випробування дослідних зразків-балок була запроєктована і виготовлена спеціальна силова установка.(рис.3). Плоский поперечний згин двопролітних балок в ній створюється за допомогою

гідравлічного домкрата і металевої двотаврової балки-траверси, що передає від нього на дослідну балку дві однакові симетрично розташовані відносно середньої опори на відстані 700 мм зосереджені сили, що контролювалися динамометрами.

Завантаження дослідних зразків відбувалось ступенями, значення яких приблизно становили 7% від руйнівного навантаження. На кожному ступені навантаження витримувалось 5...7 хв, на протязі яких знімали покази по приладах, робили візуальний огляд балки, фіксували характер і розвиток утворення тріщин.

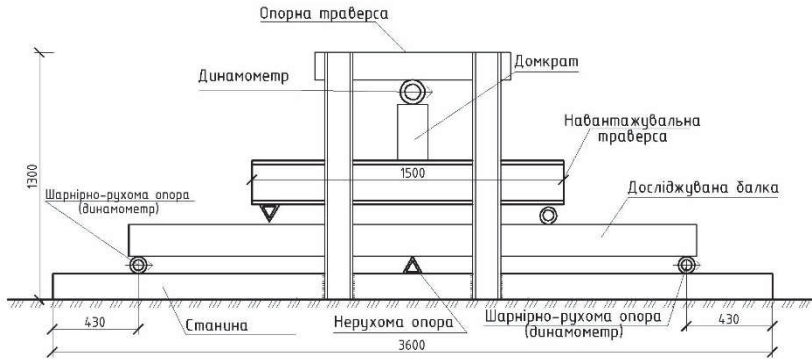


Рис.3. Схема випробовування дослідних зразків балок



Рис.4. Загальний вигляд випробувальних балок

В процесі досліджень прогини балок вимірювали за допомогою прогиномірів 6ПАО з ціною поділки 0,01 мм, які розміщувалися під зосередженими силами. Деформації крайніх волокон стиснутої та розтягнутої зони бетону вимірювали індикаторами годинникового типу МІГ -1 на базі 100 мм з ціною поділки 0,001 мм і за допомогою наклеєних тензодатчиків на базі 50 мм ланцюжками через 20 мм, які розміщувалися під зосередженими

силами та над центральною опорою. Деформації арматури над середньою опорою і під силами вимірювали тензорезисторами на базі 20 мм. За допомогою динамометра, що слугував крайньою опорою, фіксувались значення опорної реакції. Також відслідковувалась поява та ширина розкриття тріщин в балках за допомогою мікроскопа. За руйнівне приймали навантаження, коли над середньою опорою і в прольотах деформації арматури або бетону досягали граничних значень.

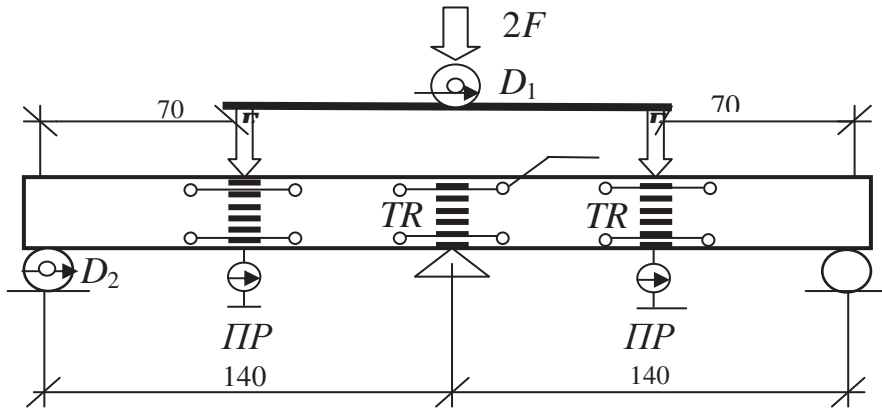


Рис. 5. Схема розташування вимірювальних приладів:

D –динамометри;

TR – тензорезистори; $ПП$ – прогиноміри $ИИ$ – індикатори

Результати експериментальних досліджень. Руйнівне навантаження для випробуваних зразків-балок становило: для ЗБ-1 $F_u = 56$ кН, для ЗБ-2 $F_u = 54$ кН, для ЗБ-3 $F_u = 46$ кН,

В процесі досліджень зразків до руйнування були помічені характерні особливості їх роботи. Так всі балки зруйнувалися по нормальних перерізах внаслідок досягнення граничних деформацій арматури в прольотах і над опорою, а також граничних деформацій бетону в стиснутих зонах, окрім балки ЗБ-3, в якій чітко вираженого руйнування бетону стиснутої зони не спостерігалось. Балки ЗБ-1 та ЗБ-2 мали майже однакову несучу здатність, руйнівне навантаження балки ЗБ-2 було лиш на 4% менше балки ЗБ-1, що була армована фібрами по всьому своєму об'єму. Балка ЗБ-3, яка була армована фібрами лиш на висоту подвійного захисного шару бетону, зруйнувалась при навантаженні, що було менше на 18% від такого у балки ЗБ-1, що свідчить про значний вплив дисперсного армування по всьому об'єму на несучу здатність залізобетонних елементів.

В процесі випробовувань балок були отримані середні експериментальні значення реакцій крайніх опор R і таким чином розкрита статична невизначеність балок. За умови пружної роботи балок при заданій схемі

навантаження теоретичні значення крайніх опорних реакцій рівні $R_{el} = 0,3125F$, а з урахуванням перерозподілу зусиль - $R_{pl} = 0,33F$.

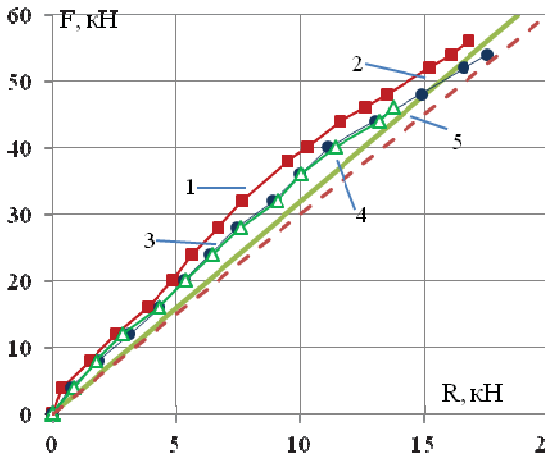


Рис.6. Зміна реакцій на крайніх опорах при навантаженні балок:
 1 - Експериментальні в балці ЗБ-1;
 2 - Те саме, в балці ЗБ-2;
 3 - Те саме, в балці ЗБ-3;
 4 - Теоретичні за пружної стадії роботи;
 5 - Те саме з урахуванням перерозподілу;

Як видно з графіка (рис. 6) зміна реакцій на крайніх опорах у всіх трьох зразках відбувалась із значним відхиленням від теоретичних значень за умови роботи балки в пружній стадії і з урахуванням перерозподілу зусиль. Відхилення відношення R/R_{el} в сторону зменшення можна пояснити наявністю тріщин в розтягнутому бетоні в прольотах і на опорі. Балка ЗБ-1, яка армована фібрами по всьому об'єму, показала найбільше відхилення від теоретичних значень опорних реакцій максимальне значення якого становило $R/R_{el} = 0,6$ однак перед руйнуванням воно практично зрівнялось з теоретичним і становило $R/R_{el} = 0,96$. У балки ЗБ-2, що армована фібрами лиш в розтягнутих зонах бетону, відношення R/R_{el} становило від 0,83 до 1,04 при руйнуванні, а для балки ЗБ-3 це значення спостерігалось в межах 0,75-0,96.

На основі отриманих реакцій опор, визначались згинальні моменти в досліджуваних балках. Відношення теоретичних значень опорних моментів до прольотних в пружній стадії роботи складає 1,2, а відповідних дослідних в процесі навантаження у балок ЗБ-1 та ЗБ-3 змінювалось від $M_{sup}/M_{sp} = 1,7$ до $M_{sup}/M_{sp} = 1,28$ перед руйнуванням. Тільки у балки ЗБ-2 перед руйнуванням, відношення опорного до прольотного моментів становило $M_{sup}/M_{sp} = 1,13$.

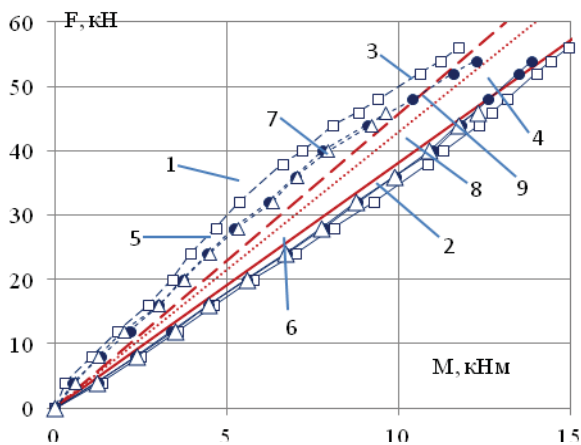


Рис.7. Зміна згинальних моментів у балках:
 1, 2 - Експериментальні значення прольотних і опорних моментів для балки ЗБ-1;
 3, 4 - Те саме для балки ЗБ-2
 5, 6 - Те саме для балки ЗБ-3
 7, 8 - Теоретичні значення прольотних і опорних моментів
 9 - Значення моментів з урахуванням перерозподілу зусиль

Перші тріщини в балках почали утворюватись в прольотах і на опорі при $F=12$ кН у балок ЗБ-2 і ЗБ-3, та $F=16$ кН у балки ЗБ-1. Подальший характер розвитку нормальних тріщин у всіх балках спостерігався однаковий. З кожним ступенем навантаження спостерігалась поява нових тріщин без суттєвого розвитку по висоті старих. Максимальна ширина розкриття тріщин перед руйнуванням становила: для балки ЗБ-1 - 1,4 мм та 0,65 мм на опорі і в прольоті відповідно; для балки ЗБ-2 - 1,7 мм та 0,7 мм; для балки ЗБ-3 - 1,1мм та 0,7 мм. Розвиток похилих тріщин спостерігався набагато інтенсивніше у балках ЗБ-2 та ЗБ-3, що стали з'являтися при досягненні навантаження 80% від руйнівного, що пояснюється відсутністю додаткового армування фібрами по всій висоті у цих балок.(рис. 8).

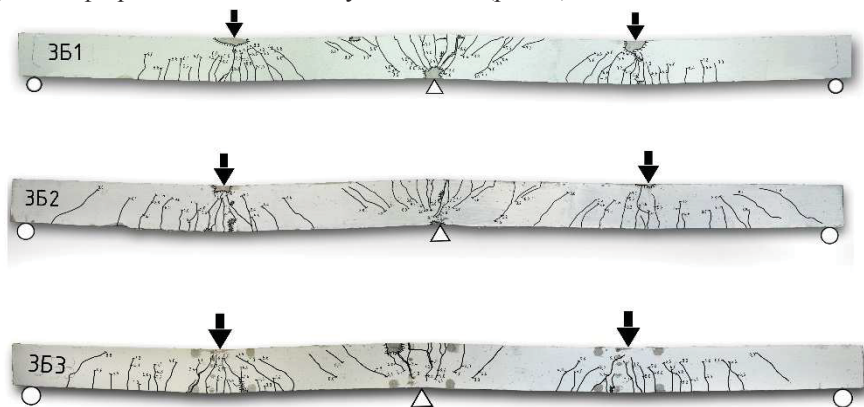


Рис. 8. Характер розвитку тріщин у дослідних балках

Прогини в усіх балках розвивались практично пропорційно зростанню зовнішнього навантаження до рівня $F = 40$ кН, після якого їх розвиток ставав інтенсивнішим. Так прогини балки ЗБ-3 були значно більшими ніж в інших балок, і становили перед руйнуванням 5,08 мм при $F_u = 46$ кН. Прогини балок ЗБ-1 та ЗБ-2 при цьому рівні навантаження становили 3,75 мм і 3,8 мм відповідно, що на 26,2% та 25,2 % менше від ЗБ-3. Максимальний прогин становив 6,41 мм при $F_u = 56$ кН для балки ЗБ-1, та 6,4 мм при $F_u = 54$ кН для балки ЗБ-2 (рис. 9).

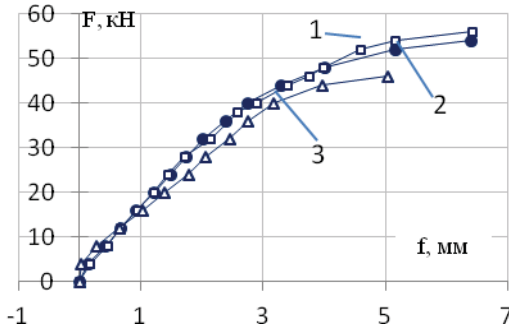


Рис.9. Зміна прогинів при навантаженні балок:
 1 - Балка ЗБ-1;
 2 - Балка ЗБ-2;
 3 - Балка ЗБ-3;

Висновки:

1. Додаткове армування сталевими фібрами всієї розтягнутої зони бетону збільшує несучу здатність балки на 18% та зменшує прогини на 25%. в порівнянні із армуванням тільки зони подвійного захисного шару бетону;
2. Наявність фібр у стиснутих зонах несуттєво впливає на несучу здатність і прогини, однак сприяє зменшенню розвитку похилих тріщин;
3. Додаткове армування рівномірно-розподіленими по об'єму сталевими фібрами впливає на перерозподіл зусиль у нерозрізних балках,що призводить до більш пружної роботи елементів на всіх рівнях навантаження.

1. Бабич В.Є., Напружено деформований стан і міцність нерозрізних залізобетонних балок при одноразових та повторних навантаженнях/ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Рівне: НУВГП, 2004. –210 с. 2. Бабич В.Є. Дослідження напружено-деформованого стану нормальних перерізів нерозрізних залізобетонних балок / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. - Рівне: Видавництво Рівненського державного технічного університету, 2000. - Випуск 5. - С. 121 – 127. 3. Дробошинець С.Я., Вплив повторних малоциклових навантажень на механічні характеристики сталевіробетону та роботу згинальних елементів на його основі/ Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Луцьк ЛНТУ, 2006. – 191 с.