

С. П. Бурчєня, І.М. Добрянський, Р.А. Шмиг
Львівський національний аграрний університет,
кафедра будівельних конструкцій

ВПЛИВ ЗАХИСНОГО ШАРУ БЕТОНУ НА ТРІЩИНОСТІЙКІСТЬ, ДЕФОРМАТИВНІСТЬ ТА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, АРМОВАНИХ СТАЛЕВИМ ПРОСІЧНО-ВИТЯЖНИМ ЛИСТОМ

© Бурчєня С. П., Добрянський І. М., Шмиг Р. А., 2015

Для виготовлення залізобетонних балкових конструкцій із зовнішнім листовим (стрічковим) армуванням використовують, зазвичай, бетон, стрижневу гладку та рифлену арматуру, листову гладку та рифлену сталь, профільований настил. Проте дослідники залишили поза увагою один доволі цікавий, на нашу думку, вид листової арматури – просічно-витяжний лист. За рахунок оригінальної геометричної форми бічної поверхні й добрих міцнісних характеристик СПВЛ також можна використати як робочу зовнішню арматуру у залізобетонних конструкціях. Такий вид армування забезпечує добре зчеплення із залізобетонною частиною елемента без застосування додаткових об'єднувальних елементів, міцність конструкції, монолітність армування та бетонної частини елемента й зменшує деформативність розтягнутої зони бетону.

СПВЛ виготовляється зі звичайного металевого листа методом просікання з його подальшою витяжкою. Для зниження можливих деформацій листа його додатково прокатують через пресувальні валки, при цьому зникає фактурність сітки, метал стає плоскішим.

Наведено результати експериментальних досліджень залізобетонних балкових зразків, армованих сталевим просічно-витяжним листом. Експериментально виявлено як впливає наявність чи відсутність захисного шару бетону на тріщиностійкість, деформативність і несучу здатність таких балкових конструкцій.

Ключові слова: сталобетонна балка, тріщиностійкість, ширина розкриття тріщини, просічно-витяжний лист.

Concrete, smooth and fluted corrugated bar reinforcement, flat and fluted sheet steel, shaped roof deck are used, as a rule, for prefabricating reinforced concrete beam structures with external sheet (ribbon) reinforcing. However the scientists passed by the rather interesting type of sheet reinforcement called cut-stretching sheet. Due to its particular geometrical shape of lateral surface and strength features cut-stretching sheet can also be used as external reinforcement in reinforced concrete structures. Good adhesion between concrete and steel without using additional connecting items and strength of structure are provided by this type of reinforcement. It also decreases stress-strain behavior of concrete tension zone and solidity of reinforced concrete.

Steel cut and stretchy sheet is made of ordinary sheet metal perforation with its subsequent extraction. For the decline of possible deformations of sheet of him additionally roll through press rollers, the texture of net disappears here, a metal becomes more flat.

The experimental results of researching of reinforced concrete beam specimen reinforced by cut-stretching sheet are provided in the article. The influence of available or unavailable covering concrete layer on crack resistance, stress-strain behavior and bearing capacity.

Key words: steel concrete beam, crack resistance, crack opening displacement width, cut-stretching sheet.

Вступ

Залізобетонні конструкції із листовою арматурою широко використовують у промисловому, цивільному та сільськогосподарському будівництві [1–3; 6; 8; 9; 16].

Вони мають низку переваг над залізобетонними конструкціями із традиційним стрижневим армуванням, а саме:

- конструктивне вирішення поперечного перерізу залізобетонних згинаних елементів із зовнішнім армуванням дає змогу забезпечити міцність і жорсткість, зменшити висоту перерізу елементів;
- досягається значна економія металу внаслідок застосування зовнішнього армування;
- відпадає необхідність багаторядного розміщення стрижнів арматури, що набагато спрощує технологію виготовлення конструкцій;
- простіше вкладання бетонної суміші та її вібрування;
- спрощене посилення залізобетонного елемента за збільшення корисного навантаження, що є актуальним під час реконструкції виробництва;
- відпадає необхідність влаштування додаткових закладних деталей для кріплення елементів кістяка будівлі, стінового огороження, а також різноманітного технологічного обладнання;
- існує можливість одночасного використання стрічкової чи листової арматури як елемента опалубки;
- стає можливим виготовлення конструкцій, які забезпечують біологічний захист від різного роду радіоактивного випромінювання, що актуально для атомних електростанцій, а також конструкцій, які є непроникними для рідин і газів;
- використання залізобетонних конструкцій із зовнішнім армуванням розширює сферу їх застосування;
- тріщиностійкість згинаних елементів із зовнішнім армуванням вища, поява і розвиток тріщин у розтягнутій зоні під час експлуатації не має такого істотно значення, як у залізобетонних.

Постановка проблеми

Для виготовлення залізобетонних балкових конструкцій із зовнішнім листовим (стрічковим) армуванням використовували, зазвичай, бетон, стрижневу гладку та рифлену арматуру, листову гладку та рифлену сталь, профільований настил. Проте дослідники залишили поза увагою один доволі цікавий, на нашу думку, вид листової арматури – сталевий просічно-витяжний лист (СПВЛ). За рахунок оригінальної геометричної форми бічної поверхні й добрих міцнісних характеристик СПВЛ також можна використати як робочу зовнішню арматуру у залізобетонних конструкціях [4]. Такий вид армування, забезпечує добре зчеплення із залізобетонною частиною елемента без застосування додаткових об'єднувальних елементів, міцність конструкції, монолітність армування та бетонної частини елемента й зменшує деформативність розтягнутої зони бетону [10–14]. Тому дослідження залізобетонних елементів, армованих СПВЛ, мають важливе теоретичне та практичне значення і є альтернативою до традиційних способів армування сталобетонних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробленням й дослідженням сталобетонних конструкцій займалися колективи Львівської політехніки, Львівського національного аграрного університету, Криворізького технічного університету, Української державної академії залізничного транспорту, Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка, Державного науково-дослідного інституту будівельних конструкцій Державного комітету України з будівництва і архітектури, Харківського державного технічного університету будівництва і архітектури на чолі з такими видатними науковцями України, як Ф. Є. Клименко, О. В. Семко, Л. І. Стороженко, В. І. Єфименко, Е. Д. Чихладзе, О. Л. Шагін та ін.

За результатами численних експериментальних досліджень встановлено основні чинники, які впливають на утворення, ширину розкриття й ріст тріщин – напруження в розтягнутій арматурі, діаметр арматури, відсоток армування перерізу, товщина захисного шару бетону, характер поверхні арматури, тривалість прикладення навантаження [7].

Питаннями тріщиностійкості залізобетонних конструкцій займалися провідні науковці, а саме: О. О. Гвоздєв, Ю. П. Гуца, С. А. Дмитрієв, Г. Р. Бідний, О. Я. Берг, А. С. Залесов, Є. М. Бабич, Я. М. Немировський, В. І. Мурашев та ін.

Постановка завдання

Метою нашого експериментального дослідження є виявлення впливу розміщення СПВЛ (наявність чи відсутність захисного шару) на несучу здатність, деформативність, момент утворення, ширину розкриття й ріст тріщин у залізобетонних балках, армованих СПВЛ.

Виклад основного матеріалу

Для дослідження впливу розміщення СПВЛ на несучу здатність, момент утворення, ширини розкриття й збільшення тріщин у сталобетонних балках було випробувано 15 зразків прямокутного перерізу, з яких в одному дослідному балковому зразку Б-III-1 – робоче армування виконане з просічно-витяжного листа, розміщеного із захисним шаром бетону та арматури $2\text{Ø}6$ мм класу А240С (рис. 1, а); Б-III-2 – просічно-витяжного листа, розміщеного без захисного шару й стрижневої арматури $2\text{Ø}6$ мм класу А240С (рис. 1, б). Конструкції дослідних зразків показано на рис. 1.

Обидва зразки виконували з бетону класу С40/50. Дослідні зразки виготовляли перерізом 135×270 мм, довжиною 2300 мм, розрахунковий проліт всіх балок становив 2000 мм. Витрати матеріалів на 1 м^3 бетону були розраховані за рецептами ТзОВ ВП “Галтрансрембуд”: цементу – 490 кг, щебеню – 1250 кг, піску – 630 кг, води – 215 л.

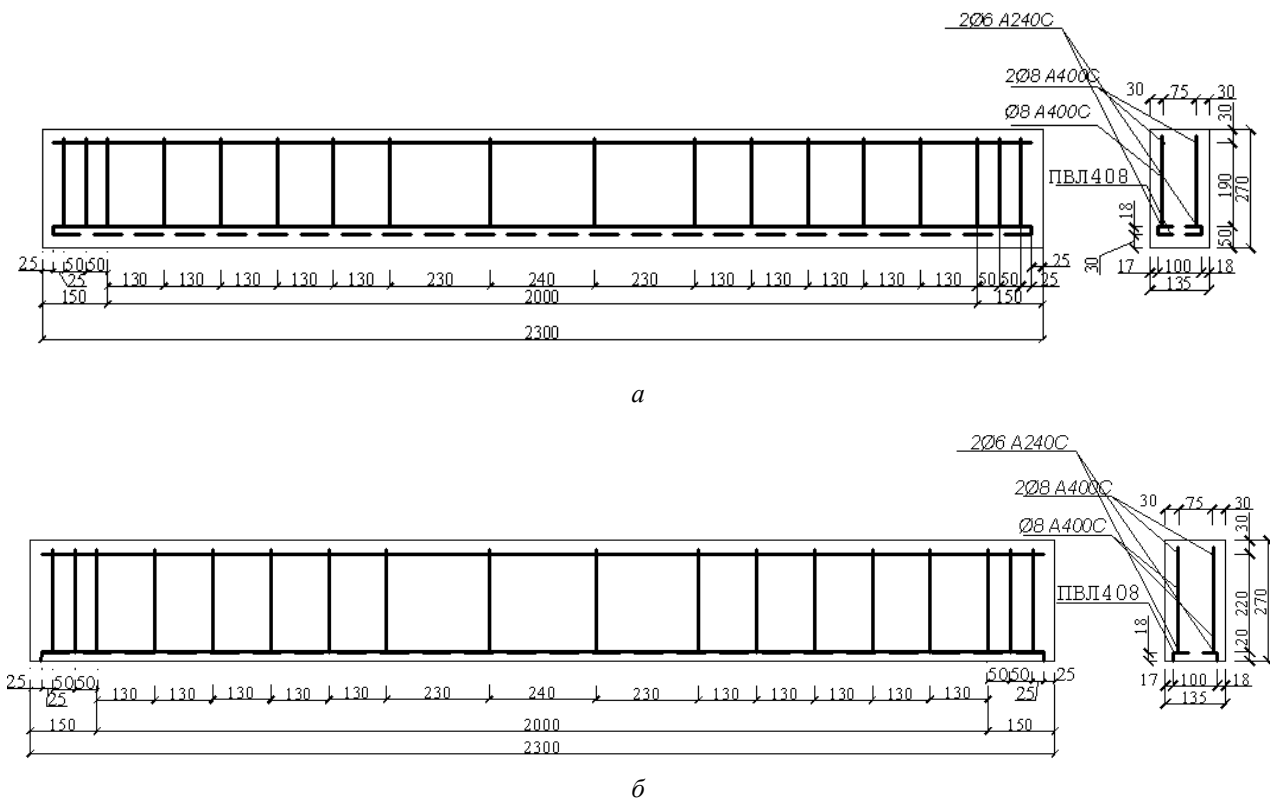


Рис. 1. Конструкції дослідних зразків:
а – Б-III-1; б – Б-III-2

Перед початком експериментальних досліджень балкових зразків на згин визначали фізико-механічні властивості бетонів і сталей: кубова міцність $f_{cd,cube} = 42,4$ МПа; розрахункове значення міцності бетону на стиск у віці 28 діб (призмova міцність) $f_{cd} = 36$ МПа; розрахункове значення міцності бетону на осьовий розтяг $f_{ctd} = 2,76$ МПа; модуль пружності $E_{cd} = 36499$ МПа. Результати визначення характеристик сталі: розрахункове значення опору сталі просічно-витяжного листа $f_{yd} = 271$ МПа, модуль пружності $E_s = 1,9 \times 10^5$ МПа; розрахункове значення опору арматури $\text{Ø}6$ мм класу А240С $f_{yd} = 316$ МПа, модуль пружності $E_s = 2,1 \times 10^5$ МПа.

Дослідження балкових зразків на згин проводили на стенді, де завантаження виконували двома зосередженими силами, прикладеними на верхній грані балкового зразка (рис. 2).



*Рис. 2. Загальний вигляд стенда,
на якому випробовували дослідні зразки*

Балки спирали на дві опори: рухому і нерухому. Навантаження створювали гідравлічним домкратом потужністю 50 тс і прикладали ступенями $F = 0,05-0,1F_{\max}$ з перервою між завантаженнями 25–30 хв. Прикладені навантаження контролювали зразковим манометром насосної станції та кільцевими динамометрами. У місцях прикладення зосередженої сили та дії опорних реакцій використовували масивні металеві деталі, які вкладали на шар цементно-піщаного розчину. Балку і домкрат на стенді ретельно виставляли у вертикальному напрямі. Їх положення фіксували незначним привантаженням, яке витримували до повного твердіння розчину під металевими опорними деталями. Детальне виставлення балок дало змогу практично повністю усунути будь-яке відхилення балкового зразка від вертикалі під час завантаження і руйнування. Така операція є важливою для отримання достовірних експериментальних даних.

Безпосередньо перед дослідженням на бічну бетонну поверхню балкового зразка наклеювали тензодатчики з базою виміру 50 мм. Поверхню попередньо шліфували, детально очищали від бруду і знежирювали ацетоном. Тензодатчики наклеювали на боковій поверхні балки у зоні чистого згину вздовж стрічкової арматури та через 70 см за висотою балки, а також на верхній і нижній гранях балки за допомогою клею Циакрин. Протилежну бічну поверхню балкового зразка фарбували водоемульсійною фарбою для чіткого фіксування процесу утворення, розкриття й розвитку тріщин. У процесі завантаження балкового зразка після кожного ступеня, занотовували покази тензодатчиків за допомогою автоматичного електронного вимірювача деформацій АИД-4 [5].

Крім того, на рівні рядів тензодатчиків наклеювали кронштейни, до яких кріпили мікроіндикатори годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, що вимірювали деформації на рівні робочої арматури та в бетоні.

Прогини балок вимірювали за допомогою індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Індикатори встановлювали посередині балки та на осі прикладення зовнішніх сил.

Водночас обстежували бічну поверхню балки і фіксували появу та розвиток (ріст і ширину розкриття) тріщин у бетоні. Розвиток і розкриття тріщин спостерігали за допомогою вимірного мікроскопа МПБ-2М.

Результати досліджень

Момент утворення тріщин. Зусилля, яке відповідає утворенню та розвитку тріщин у дослідних балкових зразках, визначали за показами індикаторів і мікроіндикаторів. Першу нормальну тріщину у дослідному зразку Б-III-1 було зафіксовано за навантаження $F_{a,cr} = 10,3$ кН, у зразку Б-III-2 – за навантаження $F_{a,cr} = 13,42$ кН. Розміщення СПВЛ на нижній грані бетонного перерізу без влаштування захисного шару бетону призвело до збільшення моменту утворення нормальних тріщин на 23,24 %, або в 1,3 разу. Це можна пояснити особливою геометричною

формою поверхні СПВЛ, яка формує достатньо складний об'ємний напружено-деформований стан, що виникає у комірках СПВЛ, заповнених бетоном.

Під час завантаження дослідних зразків СПВЛ, з одного боку, вздовж комірок працює на розтяг, а з іншого – впоперек комірок – на стиск. Ці стискальні зусилля у певний спосіб перешкоджають ранньому утворенню й розвитку перших нормальних тріщин у бетоні.

Ширина розкриття й ріст тріщин. Характер утворення, розвиток ширину розкриття й висоту тріщин у дослідних зразках Б-III-1 та Б-III-2 показано на рис. 3.

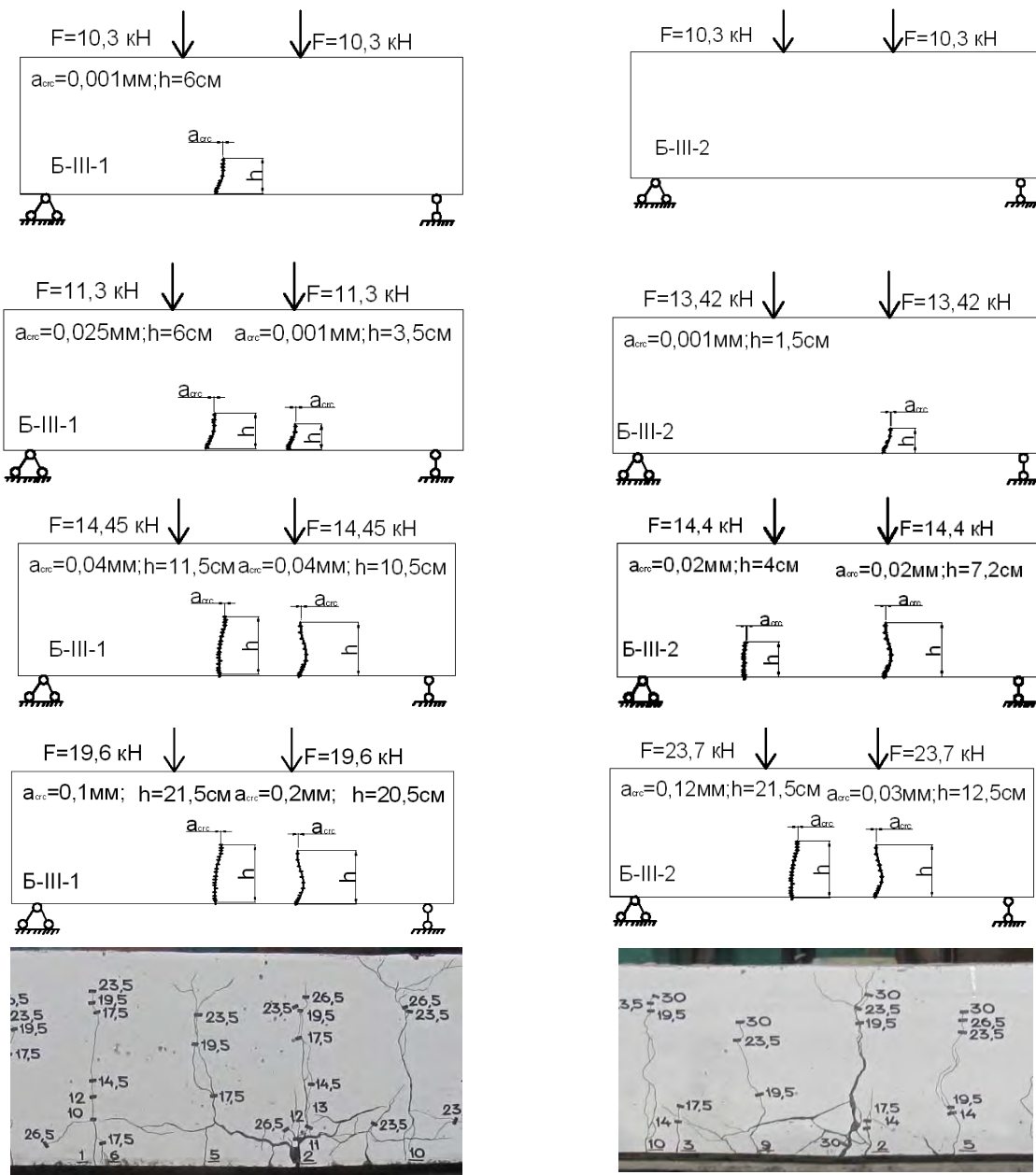


Рис. 3. Характер утворення й розвитку першої і домінуючої тріщин

За результатами отриманих експериментальних даних можна стверджувати: наявність чи відсутність захисного шару бетону не впливає на крок між тріщинами, їх утворення, ріст і ширину розкриття. На ділянці завантаження від 0 до $0,4F_{руй}$ перші нормальні тріщини виникають у дослідному зразку із захисним шаром, проте на ділянці від $0,4F_{руй}$ до $F_{руй}$ вони в обох дослідних зразках стають майже однаковими і за місцем утворення, віддалю між тріщинами, і за висотою й шириною розкриття.

У дослідному зразку Б-III-1 висота максимальної тріщини за експлуатаційних рівнів завантаження сягнула 20,52 см (76 % загальної висоти дослідного зразка), для Б-III-2 висота тріщини піднялася до 21,6 см (80 % висоти дослідного зразка).

Зафіксована максимальна ширина розкриття тріщини у дослідному зразку Б-III-1 становила $a_{срс}^{екс.} = 0,32$ мм за $0,9F_{руй}$, у дослідному зразку Б-III-2 – $a_{срс}^{екс.} = 0,2$ мм за $0,94 F_{руй}$.

Прогини. Розвиток прогинів у дослідних зразках показано на рис. 4.

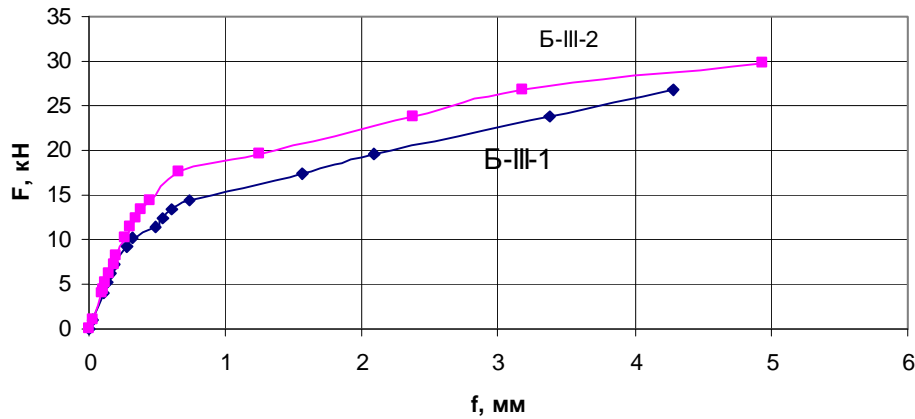


Рис. 4. Експериментальні прогини дослідних зразків

На ділянці завантаження від 0 до $0,4 F_{руй}$ експериментальні значення величини прогинів у дослідних зразках Б-III-1 та Б-III-2 є однаковими (див. рис. 4).

На ділянці від $0,4 F_{руй}$ до $F_{руй}$ прогини у дослідному зразку Б-III-2 стають меншими в 1,15–1,6 разу порівняно із аналогічними, де СПВЛ використовується із захисним шаром (Б-III-1). Зафіксовані експериментом максимальні значення прогинів для дослідного зразка Б-III-1 становили 4,28 мм, для дослідного зразка Б-III-2 – 4,94 мм.

Несуча здатність. Граничне руйнування дослідних балкових зразків, армованих СПВЛ, відбулося внаслідок досягнення границі текучості СПВЛ з подальшим руйнуванням стиснутої зони бетону. У дослідному зразку Б-III-1 (СПВЛ із захисним шаром бетону) граничне руйнування настало за навантаження $F_{руй} = 21$ кН, у Б-III-2 (СПВЛ без захисного шару бетону) – за навантаження $F_{руй} = 25,49$ кН.

Усі дослідні зразки завантажували до повного руйнування балкових конструкцій для того, щоб краще оцінити механіку руйнування сталобетонних балок, армованих СПВЛ (рис. 5). Дослідний зразок Б-III-1 був зруйнований за навантаження $F_{руй} = 29,5$ кН, зразок Б-III-2 – за навантаження $F_{руй} = 31,25$ кН. Незначне зростання несучої здатності на 5,6 % (в 1,06 разу) у зразку Б-III-2 відбулося через збільшення внутрішнього плеча пари сил.

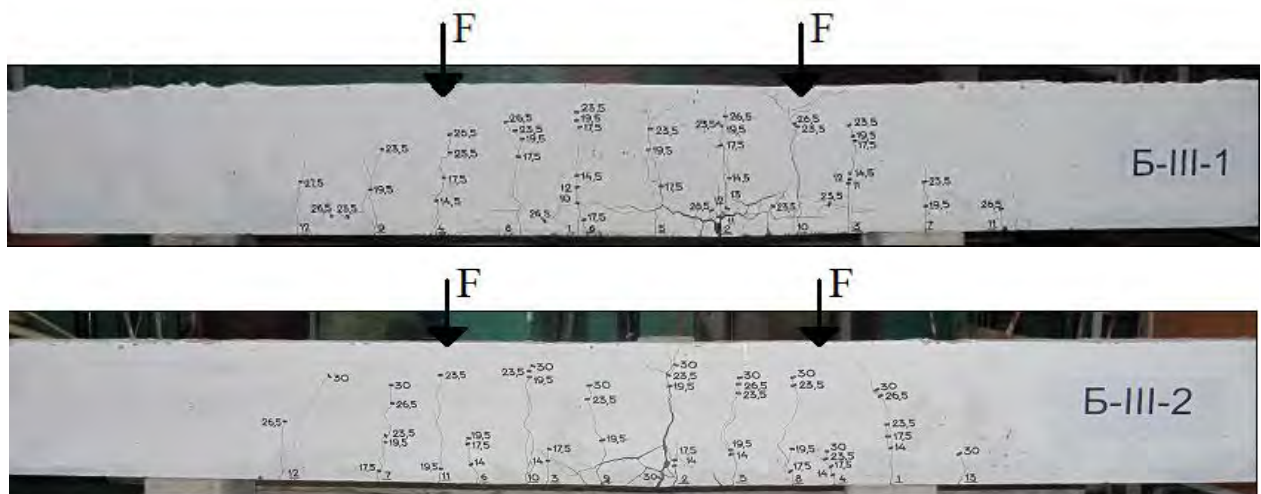


Рис. 5. Характер руйнування дослідних зразків

Висновки

Проведені експериментальні дослідження залізобетонних балкових зразків, армованих СПВЛ із захисним шаром бетону та без нього, засвідчили таке:

– зовнішнє армування з використанням СПВЛ у сталобетонних конструкціях є абсолютно надійним. У жодному із дослідних зразків не було порушено зчеплення з бетоном у контактному шарі, не відбулося обриву у вузлах СПВЛ;

– у зразках без захисного шару бетону момент утворення нормальних тріщин є вищим на 23,24 %, або в 1,3 разу порівняно з аналогічними, де СПВЛ знаходиться із захисним шаром;

– наявність чи відсутність захисного шару бетону не впливає на крок між тріщинами, їх утворення, ріст і ширину розкриття;

– у зразках без захисного шару бетону прогини є меншими в 1,15–1,6 разу порівняно із аналогічними, де СПВЛ використовується із захисним шаром;

– у зразках без захисного шару бетону спостерігається незначне зростання несучої здатності на 5,6 % (в 1,06 разу) через збільшення внутрішнього плеча пари сил.

1. Барабаш В. М. Розробка, дослідження та застосування нового виду стрічкової арматури періодичного профілю в сталобетонних конструкціях / В. М. Барабаш, Ф. Є. Клименко // Проблеми теорії і практики залізобетону. – Полтава, 1997. – С. 37 – 41. 2. Воронков Р. В. Железобетонные конструкции с листовой арматурой. / Р. В. Воронков– Л. : Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1975. – 144 с. 3. Граник Ю. Г. Архитектурно-конструктивные особенности высотных зданий за рубежом [Электронный ресурс] / Ю. Г. Граник, А. А. Магай // Уникальные и специальные технологии в строительстве – 2004. – № 1. – Режим доступа : <http://www.stroinauka.ru/d26dr4931m94rr4159.html>. 4. Листы стальные просечно-вытяжные. Технические условия : ГОСТ 8706-78. – М. : Изд. -во стандартов, 1981. – 9 с. 5. Добрянський І. Сталобетонні балкові елементи з робочим армуванням у вигляді просічно-втяжного листа: методика випробування та дослідження / І. Добрянський, С. Бурчєня, І. Шмиг // Теоретичні і практичні аспекти розвитку агропромислового виробництва та сільських територій : матеріали Міжнар. наук. -практ. форуму, 21–24 вер. 2011 р. – Львів, 2011. – С. 438–444. 6. Клименко Ф. Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием / Ф. Е. Клименко. – К. : Будівельник, 1984. – 88 с. 7. Предельные состояния элементов железобетонных конструкций : НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1976. – 216 с. 8. Семко О. В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / О. В. Семко. – К. : Сталь, 2004. – 320 с. 9. Стороженко Л. И. Сталезалізобетонные конструкции / Л. И. Стороженко, А. В. Семко, В. И. Ефименко. – К. : Четверта хвиля, 1997. – 160 с. 10. Патент на корисну модель, u2011 08765 МПК E04C 5/02(2006. 01). Сталобетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурчєня С. П. ; заявн. і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69032; заявл. 12.07.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. 11. Патент на корисну модель, u2011 08752 МПК E04C 5/02(2006. 01) Армований сталобетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурчєня С. П. ; заявн. і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69028; заявл. 12. 07. 2011; опубл. 25. 04. 2012, Бюл. № 8. 12. Патент на корисну модель, u2011 08753 МПК E04C 5/02(2006.01) Армований сталобетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурчєня С. П. ; заявн. і патентовласник Львів. нац. аграр. ун-т. – № 69029; заявл. 12.07.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. 13. Патент на корисну модель, 2011 08755 МПК E04C 5/02(2006. 01) Армований сталобетонний елемент / Добрянський І. М., Шмиг Р. А., Бурчєня С. П. ; заявн. і патентовласник Львів. нац. аграрн. ун-т. – № 69030, заявл. 12.07.2011; опубл. 25.04.2012, Бюл. № 8. 14. Патент на корисну модель, u2013 08840 МПК E04C 5/02(2006. 01). Сталобетонний елемент / Бурчєня С. П., Добрянський І. М., Шмиг Р. А. ; заявн. і патентовласник Львівю нац. аграрн. ун-т. – № 86791, заявл. 15.07.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. 15. Чихладзе Е. Д. Удосконалення методів розрахунку і проектування сталобетонних і сталевих конструкцій промислових будівель і споруд / Е. Д. Чихладзе. – Харків, 2002. – 126 с.