

УДК 624.012.45

**ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ЖОРСТКОСТІ ПЛОСКО НАПРУЖЕНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СКЛА-  
ДЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**MAIN RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH  
RIGIDITY OF PLANE TENSION REINFORCED CONCRETE COMPOS-  
ITE CONSTRUCTIONS**

Тугай Т. В. (Національний авіаційний університет, м. Київ)

Tugay T.V. (National Aviation University, c. Kyiv)

У статті наведені основні результати експериментальних досліджень плоско напружених залізобетонних складених конструкцій з детальним вивченням жорсткості; ширини розкриття нормальних і похилих тріщин на рівні осі поздовжньої і поперечної арматури; зміни відстані між тріщинами і довжини тріщин, врахування ефекту порушення суцільності та інших параметрів, які дозволяють виконати порівняльний аналіз жорсткості таких конструкцій.

The article presents the main results of experimental studies flat-stressed concrete composite structures with a detailed study of rigidity; opening width of normal and oblique cracks at the axis of the longitudinal and transverse reinforcement; changing the distance between the cracks and crack length; net of discontinuities and other parameters that allow comparative analysis of such constructions.

**Ключові слова:**

Залізобетонні конструкції, плоско напружені конструкції, складені конструкції, експериментальні дослідження, жорсткість, тріщини, ширина розкриття тріщин, відстані між тріщинами.

Reinforced concrete structures, flat rigid structures, composite structures, experimental studies, stiffness, crack, crack opening width, the distance between the cracks.

**Сьогодні збірно-монолітний залізобетон** є основним будівельним конструкційним матеріалом, і тому вдосконалення методів розрахунку плоско напружених складених залізобетонних конструкцій є важливою актуальною задачею.

Метою проведених експериментальних досліджень є визначення основних параметрів, необхідних для визначення жорсткості плоско напружених

залізобетонних складених конструкцій при наявності нормальних і похилих тріщин, їх аналізу на різних стадіях навантаження, перевірки запропонованого розрахункового апарату, заснованого на рівняннях розвитку і розкриття тріщин та урахування ефекту порушення суцільності, а також для розробки рекомендацій з проектування ефективних залізобетонних складених конструкцій.

У даний час у плоско напружених залізобетонних складених конструкціях практично відсутні дані про дослідні параметри опору в зонах, що безпосередньо примикають до берегів тріщин і до їхніх вершин [1].

Мало дослідних даних і про довжину і збільшення тріщини при зростаючому навантаженні. Тим не менш, зазначені параметри є визначальними для аналізу опору областей, прилеглих до місць перетину тріщинами робочої арматури, де, як показали останні дослідження [1], виникає ефект порушення суцільності.

**В процесі експериментальних досліджень** вирішувалися наступні **задачі**:

1) розробка методики експериментальних досліджень жорсткості плоско напружених залізобетонних складених конструкцій при наявності похилих і нормальних тріщин;

2) експериментальне визначення наступних параметрів: прогинів по всій довжині залізобетонної конструкції; ширини розкриття тріщин на рівні осі поздовжньої і поперечної розтягнутої арматури і на деякому віддаленні (1,5-2 діаметри) від цих осей ( $a_{crc}$  вздовж всього профілю тріщини); зміни відстані між тріщинами  $l_{crc}$  і довжини тріщин  $h_{crc}$  за мірою збільшення навантаження (з перевіркою багаторівневого процесу утворення тріщин), деформацій бетону на берегах тріщини вздовж осі робочої арматури; фібрових деформацій стиснутого бетону, висоти стиснутої зони бетону);

3) перевірки запропонованого розрахункового апарату за оцінкою жорсткості плоско напружених залізобетонних складених конструкцій при наявності похилих і нормальних тріщин.

Загальний вигляд випробувань зі встановленими механічними приладами і електротензорезисторами показаний на рис. 1 і рис. 2, б, відповідно.

З метою отримання максимуму інформації кожен зразок випробовувався з доведенням до руйнування. Навантаження балок-стінок здійснювалося плавно – дрібними етапами, які складали  $0,1 M_{crc}$ . Це було необхідно для виявлення особливостей деформування при утворенні тріщин першого, другого і т.п. рівнів.

Контрольне навантаження для перевірки жорсткості і тріщиностійкості витримувалося протягом години. Витримка на всіх ступенях, окрім контрольної, для перевірки жорсткості і тріщиностійкості становила 15 хв. В процесі короткочасного навантаження відліки за механічними приладами і датчиками знімалися двічі на етапі: відразу після прикладання навантаження і після відповідної витримки.

Перед очікуваним моментом тріщиноутворення розтягнута зона кожної балки ретельно оглядалася, поява тріщин фіксувалася візуально. За мірою подальшого навантаження, вели спостереження за появою нових тріщин і розвитком вже наявних мікроскопом МКБ-2, із 24-х кратним збільшенням і

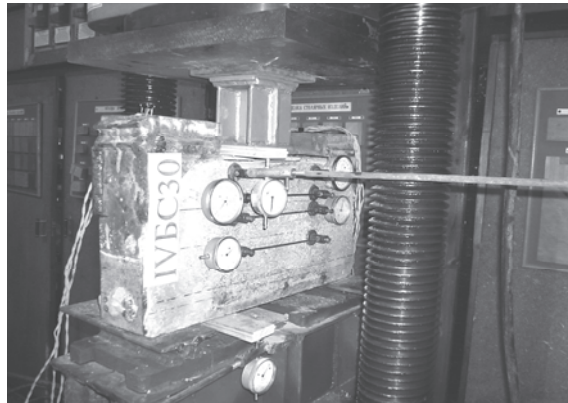


Рис. 1. Загальний вигляд досліджень

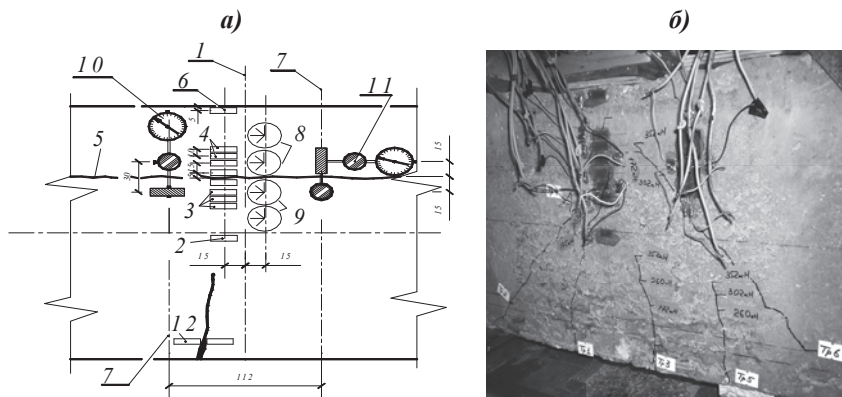


Рис. 2. Розташування першої і другої груп електротензорезисторів в дослідній зоні основних плоско напружених залізобетонних конструкцій: а) – схема розташування електротензорезисторів; б) – фото наклеєних електротензорезисторів при випробуванні; 1 – поперечна вісь симетрії; 2 – електротензорезистори, розташовані знизу на відстані 6 см від шва; 3 – те ж, розташовані в зоні старого бетону, прилеглої до шву; 4 – те ж, в зоні, нового бетону, прилеглої до шву; 5 – шов між старим і новим бетонами; 6 – електротензорезистори, розташовані на фібрі бетону; 7 – осі розташування механічних приладів; 8 – розетки електротензорезисторів, розташованих в зоні нового бетону, прилеглого до шву; 9 – те ж, в зоні старого бетону; 10 – И1 – індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001мм для вимірювання лінійних переміщень; 11 – И2, те ж, для вимірювання кутових переміщень; 12 – електротензорезистори, прилеглі до берегів тріщин

ціною поділки 0,05мм; заміряли ширину розкриття тріщин на двох бокових гранях, на рівні розташування розтягнутої арматури і в декількох рівнях за висотою перерізів балок. Під час витримки під навантаженням періодично відзначали розвиток тріщин за висотою. Замальовка тріщин здійснювалася на спеціальних планшетах.

Картина тріщин, їхнє розкриття та розвиток на кожному ступені наносилися на спеціальні планшети в масштабі 1:1, що давало можливість проведення детального аналізу. Результати такої інформації стосовно залізобетонної складеної балки-стілки шостої серії ВІБС30–20 з картинами розвитку і розкриття тріщин наведені на рис. 3 і рис. 4. В овалі вказано відношення поточного навантаження до руйнівного; зліва – ширина розкриття тріщин.

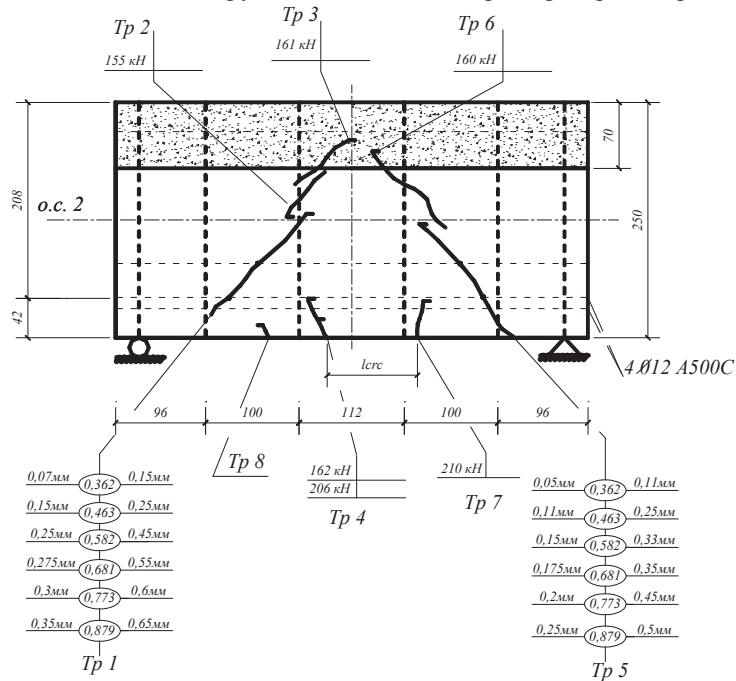


Рис. 3. Картини розвитку і розкриття тріщин в балці-стілці шостої серії ВІБС30–20 (в овалі вказано відношення поточного навантаження до руйнівного; зліва – ширина розкриття тріщин)

**Отримані експериментальні дані**, безумовно, дозволяють уточнити такий диференціальний параметр (вимірюваний в дослідях з допомогою мікроскопа) як ширина розкриття тріщин, кількість рівні тріщиноутворення, відстані між тріщинами, стосовно до складових балок-стінок при варіюванні армування і класів бетону, що помітно доповнює накопичений фактичний матеріал.

а)



б)

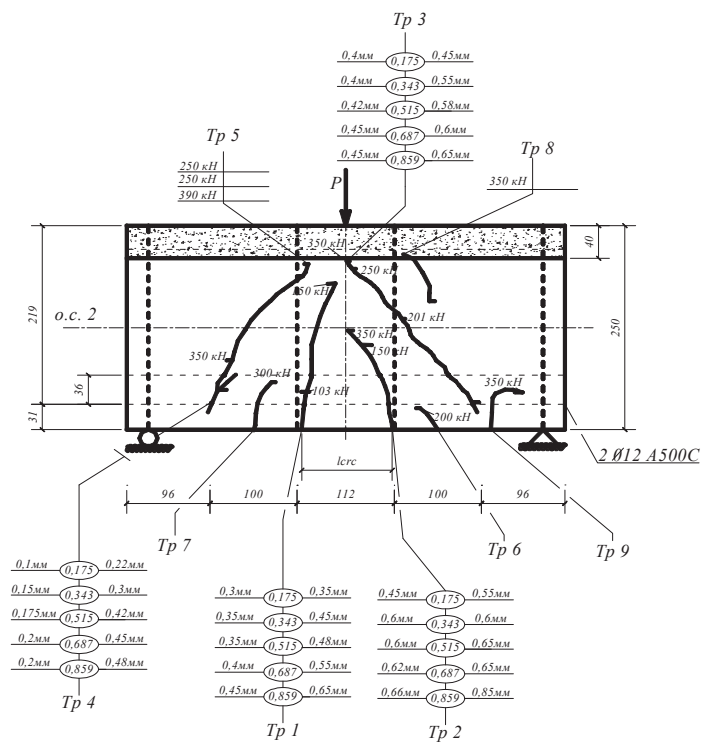


Рис. 4. Картины развития и раскрытия трещин в балке-стінці третьої серії П-ІБС30-30 (в овалі вказано відношення поточного навантаження до руйнівного; зліва – ширина розкриття трещин): а) – фото балки-стінки з встановленими тензорезисторами; б) – картина розвитку і розкриття трещин

Досить результативними виявилися графіки залежності відстані від шва від деформацій бетону  $\varepsilon_b$  у шарах, які прилягають до шву. Стосовно до експериментальної залізобетонної складеної балки-стілки ШБС30-30 третьої серії – ці графіки наведені на рис. 5.

Аналіз їх показує наявність збурення деформованого стану в шарах, що прилягають до шву. Таке збурення спостерігається не тільки на сходах експлуатаційного навантаження (ступінь навантаження 0,7, крива 2, рис. 5), але і на початкових ступенях навантаження (ступінь навантаження 0,25, крива 1, рис. 5).

При цьому спостерігається перехід від деформацій розтягу до деформацій стиску. Якщо зазначені обурення апроксимувати прямими, прилеглими до стику шарів, то такий перехід може розглядатися у вигляді умовного зосередженого зсуву, тобто у вигляді «стрибка» деформацій.

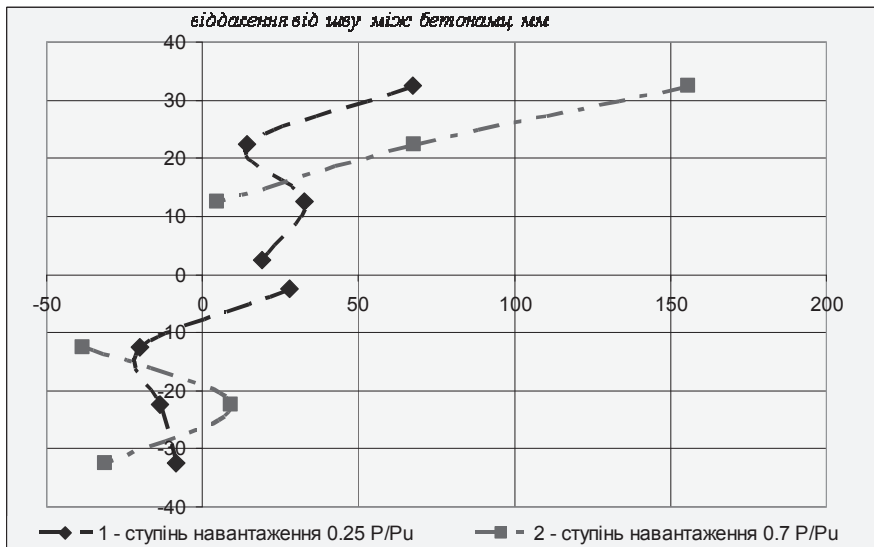


Рис. 5 Графіки залежності відстані від шва від деформацій бетону в шарах, що прилягають до шву в експериментальній балці-стілці ШБС30-30 третьої серії; 1 – ступінь навантаження  $0,25 P/P_u$ ; 2 – ступінь навантаження  $0,7 P/P_u$

З метою отримання максимуму інформації кожен зразок досліджувався з доведенням до руйнування. Експериментальні дослідження показали можливість одночасного вичерпання несучої здатності від зрізу і від роздавлювання бетону, рис. 6. Безумовно, досягнення такого виду руйнування передували теоретичні розрахунки за пропонованою методикою.

Проведені експериментальні дослідження дають можливість перевірки робочих гіпотез і достовірності розрахункової методики жорсткості плоско напружених залізобетонних складених конструкцій при наявності нормальних і похилих тріщин з урахуванням їхнього ступеневого розвитку, визначення відстаней між тріщинами та ширини їх розкриття з урахуванням ефекту порушення суцільності.

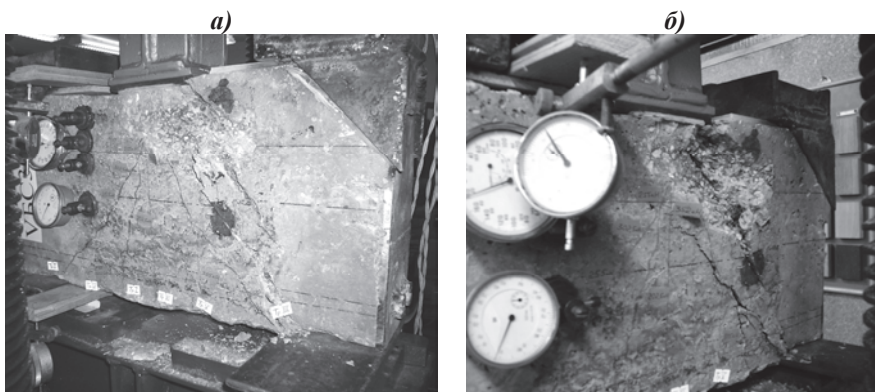


Рис. 6. Одночасне руйнування дослідної складеної конструкції балки-стілки ВБС30–40 п'ятої серії від зрізу (тріщина йде зверху від сили, див. рис. (а)) і роздавлювання бетону (б)

Передбачені при цьому варіювання армування і класів бетону в помітній мірі доповнюють наявний фактичний матеріал.

1. Колчунов В. И. Экспериментальные исследования жесткости железобетонных конструкций в зоне наклонных трещин / В. И. Колчунов, К. В. Омельченко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2014. – №1. – С. 24–28.