

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Журавського Олександра Дмитровича «Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних плит при складних навантаженнях»**, представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди (галузь знань - Архітектура та будівництво)

**Актуальність теми дисертації.** Ефективність і економічність будівництва в значній мірі залежить від вдалого впровадження нових будівельних технологій і матеріалів, використання нової техніки та розвитку методів розрахунку та проектування. Сучасні матеріали і технології дозволяють розробляти нові конструктивні рішення будівель та споруд, зменшувати тривалість їх зведення, знижувати трудовитрати на будівельні роботи, а також подовжують тривалість їх експлуатації. В основному цього досягають за рахунок якісного підвищення міцнісних характеристик матеріалів. Залізобетон, один із найрозповсюдженіших конструктивних матеріалів які використовуюється у будівництві, але він має два основні недоліки – велику власну вагу і низьку тріщиностійкість. Основними шляхами по зменшенню власної ваги і підвищенню тріщиностійкості залізобетонних конструкцій є: використання більш високоміцних бетонів та попереднє напруження в конструкціях. Особливо ефективно залізобетон працює при попередньому напруженні в двох напрямках. Одним із способів підвищення міцнісних і жорсткісних властивостей бетону є введення до його складу різних композитних домішок. В цій якості все ширшого розповсюдження набувають сталеві волокна (фібри). Такий матеріал отримав назву – сталеві фібробетон. Завдяки введенню у бетонну матрицю сталевих волокон змінюється її структура, так як з'являються внутрішні армуючі елементи, які дозволяють збільшити межу міцності на розтяг при згині – у 1,5...2,5 рази, а головне зменшити деформативність матеріалу в 10...20 разів у порівнянні з відповідними характеристиками бетонної матриці. Не менш суттєвим є покращення низки інших характеристик матеріалу таких як морозостійкість, водонепроникність, корозійна стійкість, термостійкість, стійкість до стирання та удару, тощо.

Дослідження сталеві фібробетону як конструктивного матеріалу на даний час не охоплюють попередньо-напружені конструкції, зокрема плитні. Тому дану роботу можна вважати актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації і отримані результати відповідають актуальному напряму науково-технічної політики України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 23.05.2011р. №547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу». Дослідження виконані в межах кафедральної науково-

дослідної роботи «Удосконалення залізобетонних та кам'яних будівельних конструкцій». У даній темі автором була розроблена методика розрахунку сталевібробетонних плит з двохосно попередньо-напруженою арматурою з урахуванням дійсного напруженого стану.

**Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Достовірність результатів забезпечується обсягом експериментальних та теоретичних досліджень, виконання досліджень з використанням атестованого устаткування та повірених приладів. Основою для обґрунтування наукових положень слугує використання перевірених практикою експериментальних та чисельних методів досліджень, а також задовільна збіжність експериментальних та теоретичних даних, що підтверджено статистично.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- проведено аналіз та виявлено нові закономірності деформування, утворення тріщин та руйнування двохосно попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечному згині;
- виявлено закономірності протікання деформацій повзучості сталевібробетону в умовах одноосного та двохосного стиску;
- розроблено методику розрахунку втрат попереднього напруження в арматурі двохосно напружених плит, викликаних усадкою та повзучістю сталевібробетону;
- розроблено методику розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та прогинів комбіновано армованих згинальних елементів при спільній дії поперечних навантажень та бокового обтиску попередньо-напруженою арматурою.

**Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.** Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи опубліковані у 60 наукових працях, у тому числі: 30 статей у наукових фахових виданнях України, 7 статей, що включені до наукових періодичних видань інших держав, та у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз матеріалів, 16 основних публікацій по доповідям на міжнародних і вітчизняних конференціях, 7 статей, які додатково відображають матеріали дисертації. Зміст публікацій повністю розкриває основні результати дисертаційної роботи.

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 327 сторінок, у тому числі 133 рисунки, 46 таблиць, список використаних джерел із 298 найменувань на 33 сторінках, два додатки на 7 сторінках.

*У вступі* дисертаційної роботи обґрунтована актуальність вибраної теми, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, наведені основні наукові результати, практичне значення отриманих результатів роботи, особистий внесок здобувача, дані щодо апробації результатів дослідження, публікації, структура та обсяг роботи.

*У першому розділі* дисертації висвітлено сучасний стан проблеми урахування складного напружено-деформованого стану при розрахунку СФБ плит при поперечному згині. Даний аналіз досліджень попередньо-напружених плит. Проаналізовано методи розрахунку залізобетонних плит при спільній дії згинальних моментів та повздовжніх сил. На основі виконаного аналізу сформульована мета та задачі досліджень

Зауваження до розділу 1:

- в огляді джерел відсутня інформація про сталеві фібробетон, який використовується в експериментальних дослідженнях плит.

*Другий розділ* роботи присвячений експериментально-теоретичним дослідженням міцності та деформативності СФБ при стиску та розтягу. Запропоновано методику визначення параметрів діаграми « $\sigma$ - $\epsilon$ » при стиску та розтягу СФБ. Також приведені методика та результати експериментальних досліджень усадки та повзучості СФБ при одноосному та двоосному стиску. Розроблена методика визначення відносних деформацій швидкоплинної та тривалої повзучості СФБ при одноосному та двоосному стиску з урахуванням нелінійної роботи сталеві фібробетону. При цьому використана модель ортотропного тіла з осями ортотропії, які співпадають з напрямком дії головних напружень. Запропоновані залежності для визначення міри повзучості сталеві фібробетону та коефіцієнта поперечних деформацій у нелінійній постановці. Запропонований критерій визначення межі переходу швидкоплинної повзучості СФБ в тривалу повзучість. Алгоритми розрахунків представлені у вигляді блок-схем, які були реалізовані в програмі Mathcad.

Зауваження до розділу 2:

- в початкових підрозділах детально розглядається сталеві фібробетон, що більше стосується огляду джерел розділу 1. Крім цього не розглянуто особливостей приготування сталеві фібробетону та схильність фібр накопичуватися в середині замісу при використанні бетономішалок. При цьому, на рис. 2.1 подано графік залежності міцності сталеві фібробетону від відстані між фібрами, а аналізу чи рівномірно були розташовані фібри в експериментальних зразках плит немає;
- на рис. 2.14 подано повну діаграму  $\sigma - \epsilon$  сталеві фібробетону, однак немає опису як її отримати, а на рис. 2.15 подано діаграму  $\sigma - \epsilon$ , що прийнята для подальших розрахунків, яка дещо відрізняється від реальної на рис. 2.14. Може доцільно було прийняти для розрахунків реальну діаграму  $\sigma - \epsilon$  з рис. 2.14.

*У третьому розділі* досліджено напружено-деформований стан двохосно попередньо-напружених СФБ плит після передачі зусиль обтиску з арматури на бетон. Експериментально визначено втрати попереднього

напруження в двохосно попередньо-напружених СФБ плитах, викликаних усадкою і повзучістю СФБ. Розроблена методика визначення втрат попереднього напруження, викликаних миттєвими деформаціями СФБ (в момент відпуску арматури з упорів на бетон), а також швидкоплинними та тривалими деформаціями повзучості СФБ. Алгоритми розрахунків представлені у вигляді блок-схем, які були реалізовані в програмі Mathcad. Отримані діаграми повзучості та втрат попереднього напруження в арматурі показали, що найменші втрати відбулись в двохосно обтиснутих плитах у порівнянні з одноосно обтиснутими плитами. Наведені дані напружень і деформацій в арматурі перед випробуваннями на поперечне навантаження.

Зауваження до розділу 3:

- в роботі не вказано як контролювалось зусилля натягу арматури, хоча для всіх попередньо-напружених стержнів досягались ідеально однакові відносно деформації натягу  $7,0 \cdot 10^3$  (табл. 3.3), при цьому немає інформації чи не відбувалося втрат напружень від деформації форм;
- на зсідання і повзучість має вплив вологість середовища про яку згадується в розділі 2, табл. 2.6. Однак немає інформації як контролювали вологість під час експериментальних досліджень і чи мала вона вплив на протікання зсідання і повзучості;
- на стор. 162 вказано, що найбільші втрати напружень відбувалися в одноосно обтиснутих плитах в порівнянні з двохосними, однак відсутній аналіз чим це обумовлено.

*У четвертому розділі* досліджено несучу здатність СФБ плит при дії рівномірно-розподіленого навантаження. Проаналізовано характер руйнування дослідних зразків визначено зусилля їхнього руйнування. Розроблена методика розрахунку несучої здатності двохосно попередньо-напружених СФБ плит на основі деформаційного методу. Методика розрахунку виконана за допомогою удосконалених залежностей діючих норм. При цьому враховується повна діаграма СФБ при стиску, робота сталевібробетону в розтягнутій зоні. Також враховується вплив двохосного стиску бетону в стиснутій зоні з використанням відповідного коефіцієнта. Алгоритми розрахунків представлені у вигляді блок-схем, які були реалізовані в програмі Mathcad. Результати розрахунку дали хорошу збіжність з експериментальними даними. При аналізі досліджень несуча здатність двохосно напружених СФБ плит виявилась найбільшою у порівнянні з одноосно напруженими плитами та плитами зі звичайною ненапруженою арматурою.

Досліджено тріщиностійкість СФБ плит при дії рівномірно-розподіленого навантаження. Проаналізовано характер появи та розвитку тріщин. Розроблена методика розрахунку двохосно попередньо-напружених СФБ плит на основі деформаційного методу. Встановлено, що тріщиностійкість двохосно напружених сталевібробетонних плит виявилась найбільшою у порівнянні з одноосно напруженими плитами та плитами зі звичайною ненапруженою арматурою. Розроблена методика розрахунку

тріщиностійкості двохосно попередньо-напружених СФБ плит на основі деформаційного методу. За критерій тріщиностійкості прийнято досягнення крайніми розтягнутими волокнами сталевібробетонних граничних деформацій розтягу, які дорівнюють  $\varepsilon_{cftu} = -2f_{cftu} / E_{cf}$ . Розрахунки виконують за алгоритмом визначення несучої здатності з контролем відносних деформацій в розтягнутому волокні СФБ. Значення згинального моменту, при якому відносні деформації розтягу досягнуть значень  $\varepsilon_{cftu}$  і буде моментом тріщиностійкості.

Зауваження до розділу 4:

- на стор. 203 вказано, що експериментальні плити опираються шарнірно по чотирьох сторонах, однак не подано схеми і з рис. 4.15 не ясно як це реалізовується;
- на стор. 206 автор стверджує, що експериментальні дослідження свідчать, що попереднє напруження суттєво впливає на величину несучої здатності плит і спостерігається збільшення несучої здатності при зростанні інтенсивності обтиску – це потребує пояснень, оскільки відомо, що попереднє напруження в балкових залізобетонних конструкціях не впливає на несучу здатність, а тільки на деформативність та тріщиностійкість. При цьому, оскільки теоретичні розрахунки практично ідеально співпадають з експериментальними (розходження 1,3%), вони теж підтверджують отримані результати і це теж потребує аналізу.

**У п'ятому розділі** досліджено деформативність двохосно попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечному згині. Проаналізовано існуючі методики розрахунку прогинів згинальних елементів без тріщин та з тріщинами згідно діючих норм та Eurocod. Запропонований алгоритм розрахунку кривизни та прогину СФБ плит при поперечному згині. Розрахунки виконують за алгоритмом визначення несучої здатності з фіксуванням величини кривизни на кожному кроці завантаження. Наведені результати експериментальних досліджень прогинів дослідних зразків, які показали хорошу збіжність з теоретичними розрахунками.

Зауваження до розділу 5:

- в п. 5.1 розглядається детально розрахунок балок прямокутного перерізу, хоча робота присвячена плитам, при цьому як в п. 5.1 так і в п. 5.2, 5.3 є значна кількість формул, однак з тексту не зрозуміло що належить автору;
- графіки експериментальних прогинів виконані в залежності: навантаження  $q$  – прогину  $f$ , а теоретичних: згинальний момент  $M$  – прогини  $f$ , що утруднює їх аналіз, крім цього відсутнє порівняння експериментальних та теоретичних прогинів.

**У шостому розділі** запропонований загальний алгоритм розрахунку згинальних елементів прямокутного перерізу, армованого звичайною та

попередньо-напруженою арматурою, а також сталюю фіброю. Методика розрахунку базується на деформаційній теорії розрахунку залізобетонних конструкцій з урахуванням повної діаграми « $\sigma$ - $\epsilon$ » для бетону та сталевібробетону при стиску. Методика дає можливість розрахунку двохосно попередньо-напружених плит. При цьому враховується збільшення міцності бетону та сталевібробетону в умовах двохосного стиску. Виконані порівняльні розрахунки несучої здатності стандартної плити аеродромних покриттів ПАГ-14 та аналогічної плити, у якій арматурні сітки були замінені сталюю фіброю, а також порівняльні розрахунки несучої здатності стандартних дорожніх покриттів П60.38, П60.35, П60.30 та аналогічних плит з включенням металевої фібри, у результаті яких встановлено, що несуча здатність плит зі сталюю фіброю вища від стандартних на 20...25%. Ефективність плит зі сталюю фіброю полягає в тому, що включення сталюї фібри до складу бетону (1% від об'єму) дає можливість зменшити кількість напруженої арматури на 30...40%. Також зменшується кількість попередньо-напруженої арматури на 15...20% у поперечному напрямку.

#### Зауваження до розділу 6:

- в попередніх розділах розглядається методика розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності і не зрозуміло для чого подавати ще загальну методику розрахунку згинальних елементів, тим більше з перерізом балки;
- на стор. 251 критерієм вичерпання несучої здатності приймається досягання деформацій граничних значень  $\epsilon_{c(2)} \geq \epsilon_{cftu}$ , однак відсутній критерій досягнення деформацій арматури граничних значень, при цьому деформації арматури відсутні у вхідній інформації, яка пропонується до розрахунку;
- на стор. 261-265, стор. 267-272, стор. 278-281, а також в попередніх розділах на стор. 241-249, стор. 238-239, стор. 210-221, стор. 188-202, подано розрахунки конструкцій, які доцільно було би винести в додатки, а в тексті дисертації подати тільки результати розрахунків.

Загальні висновки подані дещо декларативно без зазначення цифрових значень досягнутих ефектів та чіткого визначення, що це дало для теорії і практики.

#### **Висновок**

Наведені зауваження повною мірою носять дискусійний характер. Низка сформованих в роботі положень зумовлює подальший розвиток представленого підходу. Сказане дозволяє зробити висновок про те, що дисертація Журавського Олександра Дмитровича є завершеною науковою працею, в рамках якої досягнута поставлена мета: розробці методу розрахунку несучої здатності, тріщиностійкості та прогинів двохосно попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечних навантаженнях. Характер наукових і практичних результатів розглянутого

дослідження дозволяє зробити висновок про те, що робота «Міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних плит при складних навантаженнях» відповідає вимогам пунктів 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового робітника», зі змінами та доповненнями, затвердженого Постановою кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, а її автор, Журавський Олександр Дмитрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди (галузь знань - Архітектура та будівництво).

Офіційний опонент,  
директор інституту будівництва та  
інженерних систем  
НУ «Львівська політехніка»  
МОН України,  
доктор технічних наук, професор



З.Я.Бліхарський

Підпис професора Бліхарського З. Я. засвідчую:

Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»




Р.Б. Брилинський