

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



БОВА ЯРОСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 624.0.12.464.3

ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЛИТИ ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ

05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертація є рукописом.

Робота виконана у Київському національному університеті будівництва і архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Барашиков Арнольд Яковлевич,
Київський національний університет
будівництва і архітектури (м. Київ)
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри залізобетонних та
кам'яних конструкцій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бабич Євгеній Михайлович,
Національний університет водного господарства та
природокористування (м. Рівне)
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри промислового, цивільного будівництва та
інженерних конструкцій;

кандидат технічних наук, доцент
Коваль Петро Миколайович,
Національна академія образотворчого мистецтва і
архітектури (м. Київ)
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри архітектурних конструкцій.

Захист відбудеться “18” жовтня 2013 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.056.04 в Київському національному університеті будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, а. 319

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського національного університету будівництва і архітектури за адресою: 03680, м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий “11” вересня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент.



Д.В. Михайловський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Залізобетонні плити, які працюють у двох напрямках і попередньо обтиснуті у цих же напрямках, більше трудомісткі у виготовленні у порівнянні з ненапруженими. Тому їх використання обмежено випадками для яких такі плити є найбільш ефективними.

Проведені експериментально-теоретичні дослідження та аналіз роботи у складі будівель і споруд двовісно обтиснутих залізобетонних плит свідчать про їх суттєві переваги перед необтиснутими. Попереднє напруження плит у своїй площині за двома напрямками сприяє підвищенню міцності, тріщиностійкості та, особливо, зменшенню деформативності при дії поперечного навантаження. Набуття такими конструкціями нових якостей роблять їх найбільш ефективними у таких відомих випадках, як у сейсмостійкому будівництві, у збірних великопрольотних (прольотом більше 10 м) перекриттях промислових, житлових і громадських будівель, у фундаментних ростверках, у гідротехнічному будівництві при спорудженні стінок та днищ доків, причальних і підпірних стінок, днищ резервуарів тощо; у покриттях шляхів, злітно-посадочних смуг та в інших випадках.

У той же час, складні сучасні споруди вимагають розробки та впровадження нових ефективних конструктивних рішень. До найбільш економічних, і тому найбільш перспективних, відносять конструкції зі змішаним армуванням. Ці конструкції зберігають переваги попередньо напружених і ненапружених елементів. Такі переваги визначаються у першу чергу підвищенням надійності за рахунок ослаблення впливу випадкових факторів, властивих способам попереднього напруження та характеристикам високоміцної арматури. В умовах у яких забезпечена робота ненапруженої арматури з розрахунковим опором, або близьким до нього, змішане армування може забезпечити зниження витрат арматурної сталі. У цьому випадку зменшується кількість попередньо напруженої високоміцної арматури та арматури у цілому, оскільки звичайну арматуру можна розмістити тільки у місцях, де вона необхідна за розрахунком. Зменшення кількості пристосувань для попереднього напруження (анкерів, натягувальних пристроїв тощо) і технічних витрат на електроенергію доповнюють економічну доцільність використання конструкцій зі змішаним армуванням.

Зв'язок з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідних робіт тематики кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій КНУБА на 2010 – 2015 рр. “Дослідження залізобетонних конструкцій при складних впливах”, розділ III “Експериментально-теоретичні дослідження залізобетонних конструкцій”, номер державної реєстрації 01971U005390. Автором проведені експериментальні та теоретичні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних плит зі змішаним армуванням (частково попередньо напружених) при двовісному напруженому стані.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційного дослідження є розробка способу врахування впливу рівня попереднього обтиснення залізобетонних плит з урахуванням співвідношень між напруженою і ненапруженою арматурою. Це дає можливість раціонально підібрати необхідні матеріали та рівні обтиску плит.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі:

- дослідити вплив змішаного армування на втрати попереднього напруження у двовісно працюючих залізобетонних плитах;
- на основі експериментальних досліджень виявити характер руйнування, міцність, тріщиностійкість та деформації залізобетонних плит в залежності від їх двовісного обтиску, кількості напруженої та ненапруженої арматури;
- запропонувати способи розрахунку залізобетонних плит з різним вмістом арматури за міцністю на продавлювання, тріщиностійкістю та деформаціями при поперечному згині;
- проаналізувати можливості сучасних програм для ЕОМ та виявити ступінь їх придатності для розрахунку двовісно обтиснутих плит з різною кількістю напруженої та ненапруженої арматури.

Об'єкт дослідження – залізобетонні плоскі плити з різним рівнем обтиску та різною кількістю напруженої та ненапруженої арматури.

Предмет дослідження – залізобетонні плоскі плити, які працюють у двох напрямках.

Методи дослідження – експериментальні дослідження за розробленою власною методикою та теоретичні дослідження, які базуються на останніх рекомендаціях європейських та вітчизняних нормативних документів.

Наукова новизна одержаних результатів:

- нові дані про закономірності змінення деформацій повзучості бетону у часі (а з цим і втрат попереднього напруження) при наявності напруженої і ненапруженої арматури у перерізі (змішане армування);
- аналіз характеру руйнування плит на продавлювання при різних способах армування;
- встановлення впливу способу армування на тріщиноутворення і деформації залізобетонних плоских плит, які працюють у двох напрямках;
- пропозиції щодо розрахунку плит, які працюють у двох напрямках і армовані з попереднім напруженням (у тому числі і частковим) та без нього;
- оцінювання придатності сучасних програмних комплексів для ЕОМ до розрахунків залізобетонних плоских плит з різним армуванням та рівнем обтиску.

Достовірність отриманих результатів забезпечена співставленням експериментальних даних з теоретичними, а також використанням аналітичних залежностей, що є загальноприйнятими у теорії залізобетону.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці конкретних рекомендацій щодо конструювання та методів розрахунку залізобетонних плит зі змішаним армуванням. Отримані нові результати дозволяють запобігти небезпечного тріщиноутворення у великопрольотних плитах перекриття, а також руйнування цих плит внаслідок продавлювання. Результати роботи використовують у навчальному процесі при вивченні дисципліни “Спеціальні залізобетонні конструкції для будівель і споруд” для спеціальності “Промислове та цивільне будівництво”.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи обговорювалися на 69, 70, 71, 72, 73 та 74 науково-практичних конференціях КНУБА (м. Київ 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 та 2013 рр.) та на

наукових семінарах кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій КНУБА у 2008 – 2013 роках.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 5 наукових статей, зокрема 5 з них, у фахових виданнях.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі залізобетонних та кам'яних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури під керівництвом доктора технічних наук, професора А.Я. Барашикова.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу та п'яти розділів, загальних висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 180 сторінок, у тому числі 144 сторінок основного тексту, 20 таблиць, 72 рисунки, список використаних джерел із 153 найменувань на 18 сторінках і 18 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, основні задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення.

У першому розділі проаналізовано ефективність змішаного армування у залізобетонних конструкціях; властивості залізобетонних плит зі змішаним армуванням; наведено дослідження роботи двовісно працюючих плит.

Змішане армування – це один із видів армування конструкції, у яких в якості робочої арматури, одночасно використовують попередньо напружену та звичайну арматуру. Для армування таких конструкцій використовують арматурний прокат з різними фізико-механічними характеристиками та з різним рівнем напруження.

Коефіцієнт змішаного армування (k_p) – це співвідношення площі попередньо напруженої арматури до суми площі всієї робочої арматури в перерізі. Виходячи з цього визначення конструкції розділяють на: попередньо напружені, без попереднього напруження та зі змішаним армуванням.

Ефективність змішаного армування у залізобетонних конструкціях різного призначення висвітлені у роботах вітчизняних та іноземних дослідників, таких як: М.М. Арсланбеков, В.П. Артем'єв, Б.А. Аскарів, Є.М. Бабич, А.Я. Барашиков, А.П. Борисюк, І.І. Бутвиловський, В.В. Габрусенко, Н.Г. Головін, І.І. Градюк, Г.К. Зуфаров, І.А. Козлов, П.П. Коцебчук, Ю.А. Крус, Д.Р. Маїлян, Р.Л. Маїлян, А.В. Михайличенко, А.І. Мордіч, Л.А. Нахимович, Ю.М. Панчук, Н.Н. Попов, А.А. Светов, М.І. Стасюк, І.А. Трифонов, А.Д. Філатов, Н.Н. Філімонов, М. Чарієв, В.Е. Чубаров, М.Н. Шпак, М.А. Янкелевич, Абелес, Беннет, Гейл, Гилермо Рей Гарсія, Кох, Макрой, Нааман, Назар Камель, Ємпергер та інших.

В результаті проведених літературних досліджень було виявлено, що недостатню уваги приділено вивченню впливу змішаного армування на експлуатаційні якості плоских безбалкових двовісно напружених плит.

Двовісне напруження – це складний напружено-деформований стан конструкції, в даному випадку плит, що виникає внаслідок попереднього напруження вздовж двох осей. Дослідженню і розрахунку різних видів балкових та двовісно працюючих плит присвятили свої роботи В.М. Байков, В.М. Бондаренко, Д.К. Баулін, М. Більге, Р. Вуд, О.О. Гвоздєв, М.Т. Губер, О.Д. Журавський, В.С. Зирянов, К. Югансен, М.І. Карпенко, М.Ю. Карчемский, К. Кемп,

А.М. Корольов, С.М. Крилов, П. Ленкеї, І. Леншоу, Я.Д. Лівшиць, Б.М. Лісїцин, Ш. Масоне, С. Морлі, М.І. Рейтман, А. Созен, О.Л. Шагін, О.Ф. Яременко та інші дослідники.

В даний час властивості двовісно напружених плит зі змішаними армуванням потребують більш ретельного дослідження з точки зору впливу на їхні міцнісні та деформативні характеристики. Практично не вивчено вплив заміни деякої кількості напруженої на ненапружену арматуру в плоских плитах, і як така заміна може впливати на повзучість бетону і як наслідок, на втрати попереднього напруження. Не проаналізований ефект змішаного армування для отримання відповідних експлуатаційних якостей у таких конструкціях. Тому за основу прийняті пропорціональні зменшені зразки плоских безбалкових безкапітельних плит середньої товщини, які використовують при проектуванні більшості перекриттів сучасних споруд. Враховуючи, що для таких типів конструкції основний вид руйнування – продавлювання, вирішено випробувати плити на поперечний згин і довести їх до руйнування продавлюванням.

Після проведеного огляду виділені основні завдання експериментально-теоретичних досліджень:

- провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану двовісно напружених плит зі змішаним армуванням до та після прикладення зовнішнього навантаження;
- дослідити вплив змішаного армування на міцність, тріщиностійкість та деформативність двовісно працюючих плит;
- розробити пропозиції щодо розрахунку за двома граничними станами плит зі змішаним армуванням при поперечному навантаженні;
- перевірити можливості розрахунку отриманих експериментальних даних за допомогою сучасних програмних комплексів на ЕОМ.

Другий розділ присвячений технології виготовлення та методиці проведення випробувань плит-зразків з різним коефіцієнтом змішаного армування, на міцнісні та деформативні показники. Наведені результати випробувань матеріалів, що застосовані при виготовленні зразків-плит.

Для перевірки впливу змішаного армування на напружено-деформований стан до і після прикладення зовнішнього навантаження використані плоскі плити. Для визначення основних показників запроектовані та виготовлені три серії плит з різним типом армування, розміром 800×800 мм, товщиною 75 мм, із використанням арматури Ø12 у двох напрямках. Кожна серія мала по чотири зразка-плити: у серії П-1 (армування без попереднього напруження) – використали тільки стержні класу А500С; у серії П-2 (змішане армування) – армовані по 5 стержнів в кожному напрямку класу А800С, які напружували до зусилля в 98 кН та по 4 стержня по осі Х та У класу А500С, які не напружували; у серії П-3 (попередньо напружене армування) – усі стержні класу А800С, напружували до зусилля 98 кН.

Арматурні стержні в плитах кожної серії встановлювали уздовж осі Х – у шаховому порядку, вище й нижче серединної площини плити, а в напрямку осі У – перпендикулярно стержням по осі Х. В усіх плитах встановлено по 9 стержнів із кроком 89 мм (рис. 1).

Для виготовлення експериментальних попередньо напружених плит у двох напрямках запроєктована й виготовлена експериментальна установка, що дає змогу створювати двовісний обтиск у конструкції. Натяг арматури виконували механічним способом за допомогою передачі напружень на упори.

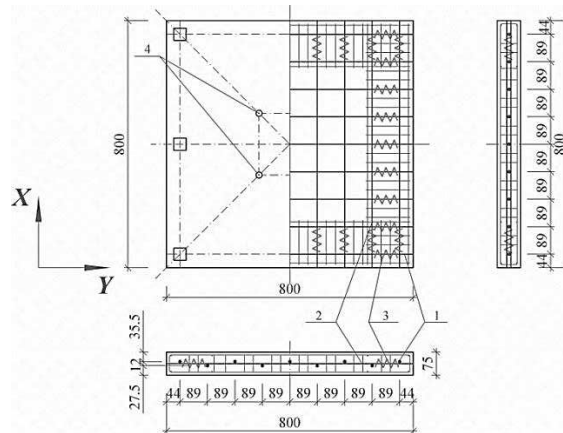


Рис. 1. Арматування випробувального зразка-плити:

1 – арматурні стержні; 2 – “П”-подібні арматурні сітки; 3 – спіралі; 4 – круглі марки

Передачу попереднього напруження на бетон у плитах серії П-2 та П-3 проводили на 14 добу після бетонування поступовим ослабленням фіксуючих гайок. Середня призмова міцність бетону на цей час становила – $f_{cd} = 18,2$ МПа. У момент передачі зусилля виміряні пружні миттєві деформації бетону й вигин плити, за допомогою встановлених на поверхню плити марок-реперів та індикаторів годинникового типу.

Експеримент поділений на два етапи:

- основний – випробування залізобетонних плит до і після прикладення зовнішнього навантаження. Перша частина – це визначення впливу змішаного армування на повзучість бетону, втрати попереднього напруження та вигин плит від двовісного обтиску (від початку передачі зусилля обтиску до 32-ї доби). Друга частина – це визначення впливу змішаного армування на характер руйнування, міцність, тріщиностійкість і деформативність зразків-плит при двовісному напруженому стані після прикладення зовнішнього навантаження;

- допоміжний – визначення фізико-механічних характеристик основних матеріалів (бетону та арматури), що використані при виготовленні зразків-плит.

Для кожної серії плит одночасно виготовлено 12 бетонних кубів та 12 призм. Випробування бетону провели на 14, 28 добу, та перед початком основних випробувань плит. Одночасно з перевіркою властивостей бетону визначали механічні характеристики використаного арматурного прокату. Усі зазначені вище додаткові випробування виконували згідно з чинними нормативними документами.

Після проведення допоміжних випробувань зразків бетону та арматури отримані міцнісні та деформативні характеристики, які відповідають проектному класу бетону С25 та класам арматури А500С та А800С. При випробуванні зразків коефіцієнт варіації не перевищував 5 %, що свідчить про достатню однорідність отриманих результатів.

Для проведення експериментальних досліджень зразків-плит при короткочасному поперечному згині, запроєктовано та виготовлено устаткування, що моделює роботу плити на поперечний згин.

Зразки-плити опиралися по контуру на 16 шарнірів (згідно з рекомендаціями ДСТУ), які розташовані на жорсткій металевій рамі. Навантаження на зразки-плити виконували чотирма зосередженими силами, у відповідності до схеми, яка наведена на рис. 2.

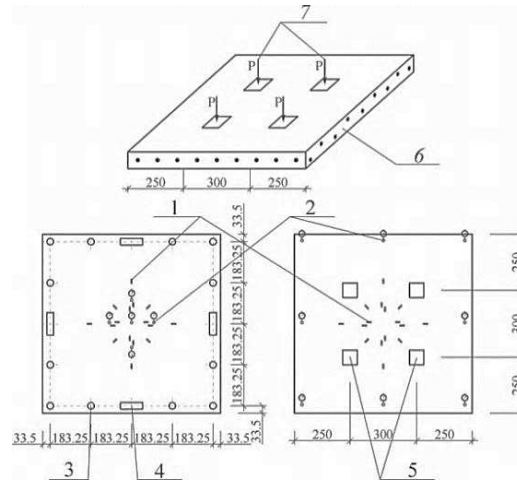


Рис. 2. Схема навантаження плити та розміщення вимірювальних приладів:

- 1 – тензодатчики; 2 – індикатори часового типу; 3 – сферичні опори; 4 – шарнірні опори; 5 – точки прикладання зусилля; 6 – зразок – плита; 7 – зусилля від домкратів P

В процесі навантаження зразків-плит вимірювали прогини плити в центрі та у $\frac{1}{3}$ прольоту. Значення відносних деформації арматури та бетону визначали за допомогою приладу СИИТ-3. Для визначення прогинів використали індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм. Крім цього вимірювали вертикальні переміщення над опорами та під опорним столиком.

Поперечне навантаження здійснювали за допомогою двох гідравлічних домкратів потужністю 250 кН кожен. Створене зусилля передавали на плиту через траверсу на чотири точки. Траверса в свою чергу з'єднана з двома опорами, які закріплені до силового полу. Навантаження зразків-плит проводили ступенями з кроком $P = 19,61$ кН, з витримкою по 5 хв для зняття даних із приладів.

У третьому розділі наведено аналіз напружено-деформованого стану зразків-плит при обтиску до прикладання зовнішнього навантаження. Наведено методи підбору класу звичайної арматури, при відомому класі напруженої арматури, та запропоновано пропозиції щодо визначення класу ненапруженої арматури у двовісно напружених плитах. Проаналізовано отримані експериментальні дані усадки та повзучості бетону в плитах з різним коефіцієнтом змішаного армування та наведено сучасні методи розрахунку, з пропозиціями щодо урахування при цьому змішаного армування.

За отриманими експериментальними даними наведені рекомендації щодо розрахунку вигину плит з урахуванням двовісного обтиску.

Враховуючи, що змішане армування це один зі способів заміщення деякої кількості напруженої арматури, в елементі на ненапружену, доцільно при такій заміні повністю використати механічні характеристики заміненої арматури. На даний час існує достатньо способів підбору класу ненапруженої арматури при відомому напруженому класі, але ці рекомендації справедливі для одновісно напружених елементів. Тому наведено пропозиції щодо визначення класу ненапруженої арматури, не тільки виходячи з необхідних параметрів напруженої арматури, але і з урахуванням розміщення арматури в перерізі та відносно осей. Це в свою чергу уточнює параметри необхідного класу ненапруженої арматури.

Наступний етап – дослідження впливу усадки та повзучості бетону на втрати попереднього напруження в двовісно напружених плитах зі змішаним армуванням. В результаті вимірювання отримали дані про деформації усадки в плитах серії П-1 (рис. 3а) та відносні сумарно-пружні деформації та деформації повзучості в плитах серії П-2 (рис. 3б) та П-3 (рис. 3в) в процесі обтиску.

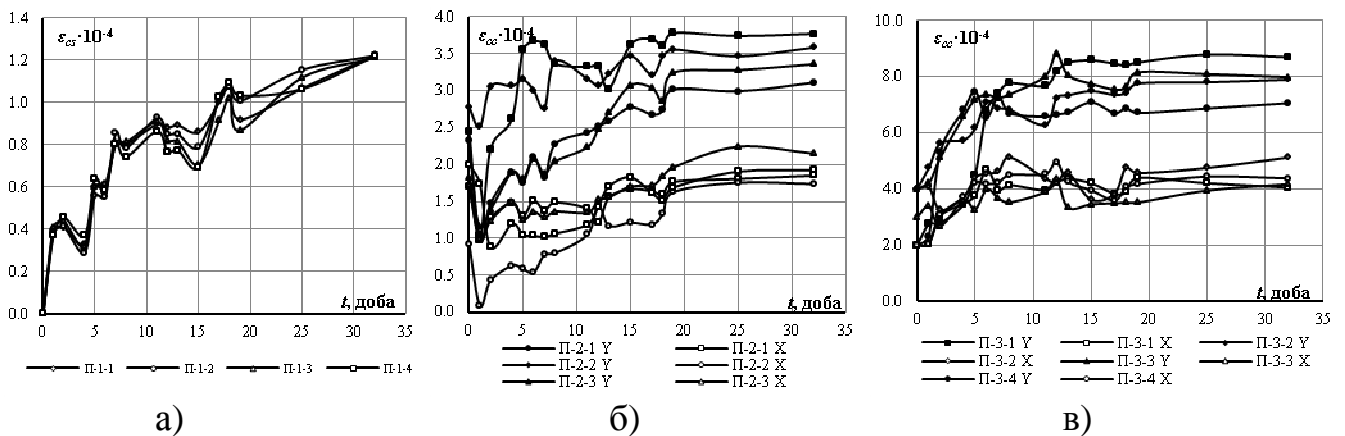


Рис. 3. Графіки відносних деформацій усадки бетону плити серії П-1(а), відносних сумарних пружно-миттєвих деформацій і деформації повзучості плит серії П-2 (б) та П-3 (в) вздовж осей X та Y

З графіків (рис. 3) видно, що найбільші деформації повзучості бетону отримані у плитах серії П-3. За рахунок різної довжини напружених стержнів в стенді для двовісного обтиску для всіх зразків зафіксовані найбільші відносні сумарні пружно-миттєві деформації і деформації повзучості в напрямку осі Y. Порівнюючи отримані результати вимірів, можна констатувати, що у плитах серії П-2, в напрямках осей X та Y, миттєві деформації і деформації повзучості у 2,3 рази менші ніж у серії П-3. Це можна пояснити тим, що на деформації повзучості впливає не тільки розміщення арматури в перерізі та вміст ненапруженої арматури, але і більша площа обтиску за рахунок зменшення кількості напруженої арматури.

Для теоретичного представлення отриманих експериментальних результатів проведені розрахунки деформацій усадки та повзучості бетону за методикою, наведеною в Eurocode 2.

Повна деформація усадки згідно з нормативними документами складається з двох компонентів: деформації усадки при висиханні та деформації внутрішньої усадки:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}, \quad (1)$$

де ε_{cs} – загальна деформація усадки;
 ε_{cd} – деформація усадки при висиханні;
 ε_{ca} – деформація внутрішньої усадки.

Згідно з Eurocode 2, якщо у результаті попереднього напруження арматури напруження стиску бетону у віці t_0 перевищують величину $0,45 f_{ck}(t_0)$, повзучість треба розглядати як нелінійну і визначати за формулою

$$\varepsilon_{cc}(t_0, \infty) = \varphi_k(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{E_{cm}} \right). \quad (2)$$

З огляду на використання двовісного обтиску в плоских плитах, співвідношення (2) запропоновано переписати з урахуванням двох напрямків:

- вздовж осі X

$$\varepsilon_{cc,x}(t_0, \infty) = \varphi_{k,x}(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_{c,x}}{E_{cm}} \right) \mu_x, \quad (3)$$

- вздовж осі Y

$$\varepsilon_{cc,x(y)}(t_0, \infty) = \varphi_{k,y}(t_0, \infty) \cdot \left(\frac{\sigma_{c,y}}{E_{cm}} \right) \mu_y. \quad (4)$$

Коефіцієнти μ_x та μ_y – враховують вплив рівня обтискувальних напружень з часом t , пропонується визначати за формулами

$$\mu_x = \nu_x \exp(-\lambda t), \quad \mu_y = \nu_y \exp(-\lambda t), \quad (5)$$

де $\nu_{x(y)}$ – коефіцієнт, що враховує вплив рівня бічного обтиску, отримане в результаті аналітичних розрахунків. Значення $\nu_{x(y)}$ в залежності від коефіцієнта змішаного армування вказане в табл. 1; $\lambda = 0,018$.

Для співставлення, результати порівняння середніх експериментальних значень із значенням, отриманими за розрахунком повзучості бетону, наведені на графіках (рис. 4). Розбіжність між теоретичними та практичними значення на перевищує 15 %.

Таблиця 1

Коефіцієнт впливу попереднього обтиску ν в залежності від коефіцієнта змішаного армування

Шифр зразка-плити	Коефіцієнт змішаного армування k_p	Коефіцієнт ν відносно осей	
		X	Y
П-2	0,65	1,35	2,45
П-3	1,0	1,40	2,50

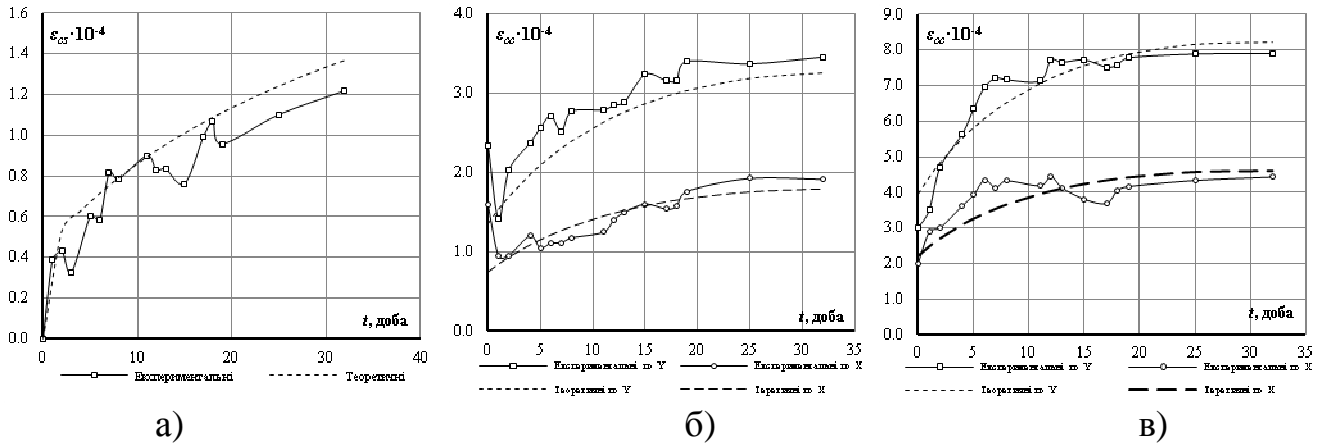


Рис. 4. Порівняння експериментальних та теоретичних усереднених графіків відносних деформацій усадки бетону плити серії П-1 (а), відносних пружно-миттєвих деформацій, деформації повзучості плит серії П-2 (б) та П-3 (в) вздовж осей X та Y

Після отримання значень деформації усадки та повзучості бетону, проведені теоретичні розрахунки загальних втрат попереднього напруження за спрощеною методикою Eurocode 2, з урахуванням наявності змішаного армування. У цьому випадку пропонується визначити приращення зусиль попереднього напруження за формулою

$$\Delta P_{c+s+r} = A_p \Delta \sigma_{p,c+s+r} = A_p \frac{\varepsilon_{cs} E_p + 0.8 \Delta \sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \varphi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,qp}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \frac{A_p}{A_c} \left(1 + \frac{A_c}{I_c} z_{cp}^2 \right) [1 + 0.8 \varphi(t, t_0)]} \quad (6)$$

де усі умовні позначення наведені у дисертації.

Враховуючи, що дана методика загальна для всіх попередньо напружених конструкції, запропоновано внести поправки з огляду на використання змішаного армування. Результати розрахунків запропонованою методикою узгодженою з Eurocode 2 та порівняно з результатами отриманими внаслідок експерименту, представлені у вигляді графіків втрат попереднього напруження в двовісно обтиснених плитах з повним напруженням та зі змішаним армуванням (рис. 5).

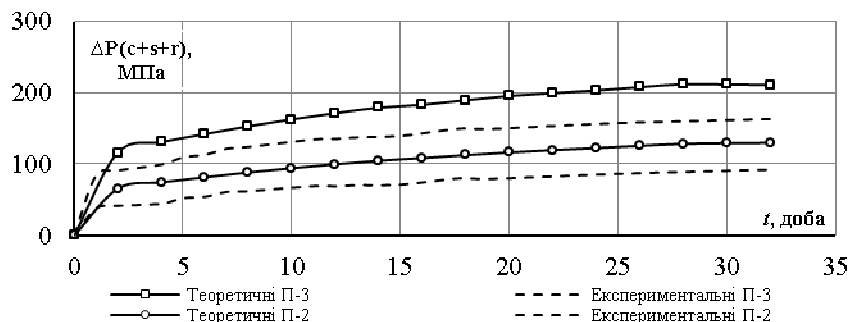


Рис. 5. Порівняння усереднених втрат попереднього напруження для двовісно обтиснених плит з повністю напруженою арматурою (П-3) та зі змішаним армуванням (П-2) за методикою Eurocode 2 та отриманих в результаті випробувань

Встановлено, що втрати в двовісно напружених плитах зі змішаним армування в 2,2 рази менші ніж в плитах з повністю напруженою арматурою. Це пояснюється меншою площею напруженої арматури та вмістом в перерізі плити ненапруженої арматури. З огляду на це, можна констатувати, що використання змішаного армування в двовісно обтиснених плитах веде до зменшення пружньо-миттєвих деформацій і деформацій повзучості, і, як наслідок, до зменшення втрат попереднього напруження у порівнянні з використанням усієї напруженої арматури.

Для визначення впливу змішаного армування на вигин від двовісного обтиску на зразках-плитах встановили необхідні прилади для визначення експериментальних даних. Вигин зразків-плит вимірювали з моменту передачі зусиль на бетон та в процесі витримки впродовж 40 діб.

Для перевірки отриманих даних вигин необхідно розглядати через загальну методику визначення кривизни, та розділити на два етапи, що залежать від дії зусилля та часу: кривизна, що зумовлена попереднім напруження з урахуванням перших втрат – $\left(\frac{1}{\rho}\right)_1$ та кривизна, що спричинена усадкою та повзучістю бетону від обтиску з часом t – $\left(\frac{1}{\rho}\right)_2$. В результаті вигин пропонується розраховувати за формулою

$$f = s \left(\left(\frac{1}{\rho} \right)_1 + \left(\frac{1}{\rho} \right)_2 \right) l^2, \quad (7)$$

де $s = 0,055$ – коефіцієнт, що залежить від розрахункової схеми та виду навантаження, визначений за допомогою отриманих експериментальних даних.

Результати розрахунку змінення вигину з часом t та порівняння їх з експериментальними даними наведені на рис. 6.

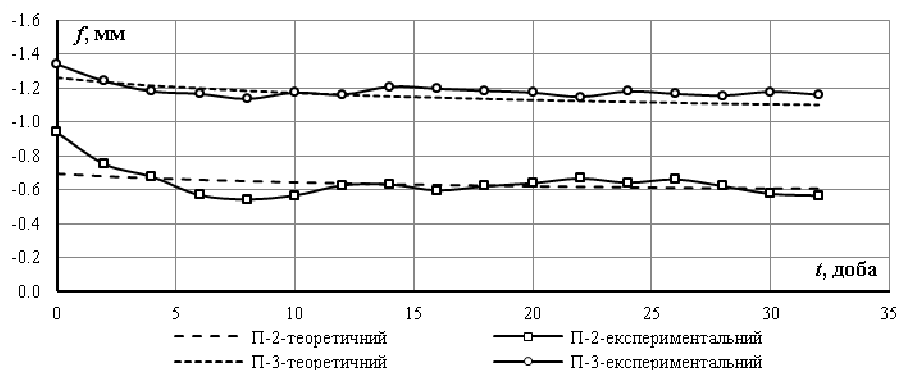


Рис. 6. Порівняння експериментальних та теоретичних значень вигинів зразків-плит зі змішаним (П-2) та з повністю напруженим армуванням (П-3) від обтиску

У четвертому розділі викладені результати випробувань зразків-плит при продавлюванні. Проаналізовано характер руйнування, міцність, тріщиностійкість та деформативність експериментальних зразків. Розглянуто вплив різного коефіцієнта

змішаного армування на деформації в бетоні та напруження в арматурі в зоні дії максимального зусилля.

В процесі випробування експериментальні зразки-плити доведені до руйнування. Випробування проводили у віці від 245 до 274 діб від початку їх виготовлення.

Руйнування усіх зразків відбувалося внаслідок зсуву бетону у вертикальній площині плити та значним розкриттям тріщин в розтягнутій зоні в центрі прольоту плити між зосередженими силами. Руйнування носило раптовий характер. Розриву поздовжньої арматури не було. В результаті отримали класичну форму руйнування плити при продавлюванні. Після випробувань визначені такі дані: плити серії П-1 – зруйнувалися при середньому навантаженні 79,1 кН, плити серії П-2 – при 90,0 кН, та плити серії П-3 – при навантаженні 98,3 кН.

Досліджувані плити мали відношення товщини (h) до прольоту (l) в межах $\frac{h}{l} \approx \frac{1}{10}$, що відносить їх до плит середньої товщини. Крім того, розміщення арматури в середині перерізу, практично центральний обтиск і великий відсоток армування $\rho = 0,017\%$ суттєво підвищують жорсткість плити. У цьому випадку, як показують дослідження, плити переважно працюють на поперечну силу і продавлювання.

Змінення напружено-деформованого стану експериментальних плит можна визначити за кількома етапами. При середньому рівні навантаження перші тріщини з'являються на нижній поверхні плити і розташовані аналогічно тріщинам в тонких плитах по бісектрисі кутів, утворюючи так званий “конверт” в діагональних напрямках. Зі збільшенням навантаження характер їхнього розвитку не змінюється практично до руйнування. При навантаженні 0,8...0,9 від руйнуючого по контуру навантажуючих штампів, з'являються тріщини, які обмежують площадку навантаження. Це є ознакою вичерпання несучої здатності від продавлювання. Додатковими ознаками продавлювання можна вважати появу нормальних тріщин на бічних гранях з наступним відділенням бетонного блоку, як правило, по двом бокам площадки навантаження.

В кожній серії, крім несучої здатності, контролювали тріщиностійкість. На кожному етапі навантаження зразка за допомогою тензодатчиків та візуально перевіряли появу перших тріщин.

Характер розкриття тріщин в експериментальних зразках-плитах при навантаженні зовнішнім зусилля був практично однаковим. Перші тріщини з'являлися в зоні дії максимального моменту. В результаті отримали наступні дані: в плитах серії П-1 (зі звичайним армуванням) – перша тріщина з'явилась при навантаженні в 19,5 кН, що становить 24,5 % від руйнівного; в плитах серії П-2 (зі змішаним армуванням) – поява першої тріщини відмічено при навантаженні в 44,4 кН, що становить 49,3 % від руйнівного зусилля; в плитах серії П-3 (із попередньо напруженим армуванням) – поява першої тріщини зафіксована при навантаженні в 51,5 кН, що складає 52,4 % від руйнівного зусилля. Розвиток тріщин після збільшення навантаження у серіях П-1 та П-2 однаковий і відбувається за схемою продавлювання. В плитах серії П-3 зафіксовано тріщин менше у порівнянні

з серіями П-1 та П-2. Загальний вид плит серії П-1, П-2 та П-3 після руйнування зображено на рис. 7.

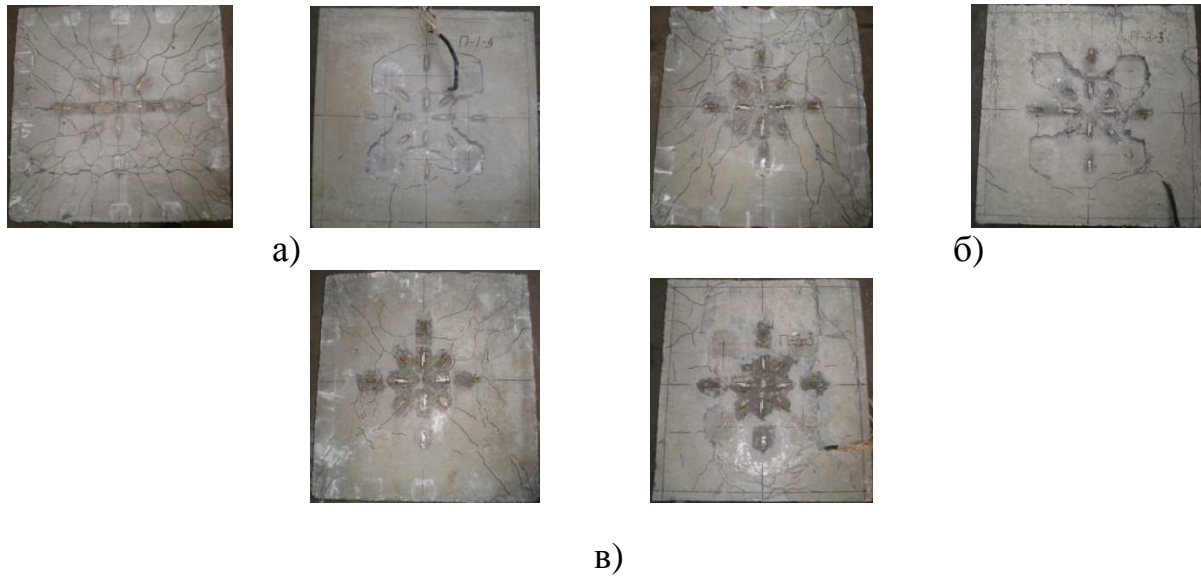


Рис. 7. Загальний вид зразків-плит після руйнування: тріщини на нижній та на верхній поверхні плит серії П-1 (а), серії П-2 (б) та серії П-3 (в)

Під час випробувань зразків крім міцності та деформації вимірювали відносні деформації в арматурі. Для зняття показників з тензодатчиків використали прилад СИИТ-3. Після чого обчислили фактичні напруження в арматурі та по цим значенням побудували графіки залежності напруження від навантаження, яке діяло на зразки-плити (рис. 8).

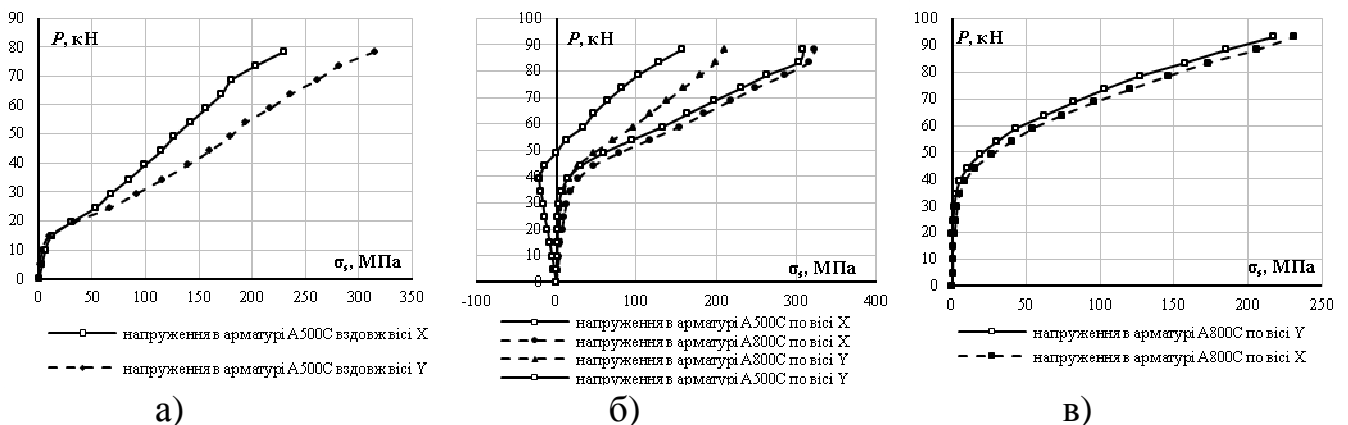


Рис. 8. Графіки залежності середніх значень напружень арматури від навантаження для плит серії П-1 (а), серії П-2 (б) та серії П-3 (в)

В плитах серії П-1 максимальні напруження в арматурі зафіксовані при навантаженні в 78,5 кН і дорівнювали 272,6 МПа. В плитах серії П-2 максимальні напруження зафіксовані при навантаженні в 88,29 кН і дорівнювали: в арматурі класу А500С – 233,25 МПа; в арматурі класу А800С – 266,38 МПа. В плитах серії П-3 максимальні напруження в арматурі зафіксовані при навантаженні в 93,19 кН і дорівнюють 217,17 МПа. Таким чином, встановлено, що у плитах зі змішаним армуванням при продавлюванні міцність арматури використовується не повністю.

В результаті експерименту отримано значення прогинів при експлуатаційному навантаженні $0,7 \dots 0,8 P_u$. Величина прогинів плит в усіх серіях не перевищує допустиме значення, встановлене чинними нормативними документами на рівні $[f] \leq \frac{1}{120}$.

В п'ятому розділі наведено пропозиції щодо розрахунку міцності, тріщиностійкості та деформативності плит зі змішаним армуванням. Запропоновано спосіб моделювання роботи плити на продавлювання з різним коефіцієнтом змішаного армування за допомогою ЕОМ.

Несуча здатність при продавлюванні. Розглядаючи дані отримані внаслідок експерименту, а також характер руйнування, можна зробити висновок, що зразки-плити оперті по контуру працюють на продавлювання (рис. 9).

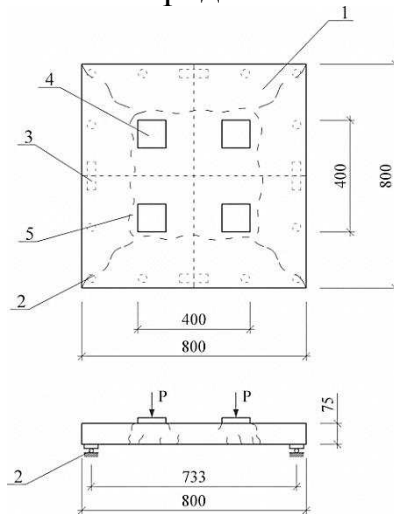


Рис. 9. Характер руйнування та розрахункова схема при продавлюванні:
1 – тіло плити; 2 – кулькова опора; 3 – шарнірна опора; 4 – жорсткий штамп;
5 – лінії продавлювання

Виходячи з цього розрахунок необхідно виконувати за умовою:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}, \quad (8)$$

де V_{Ed} – максимальні напруження зрізування при продавлюванні, що діють на плиту;

$V_{Rd,c}$ – допустимі напруження зрізування при продавлюванні для плити, що розглядається.

Допустимі напруження зрізування при продавлюванні визначають за формулою, наведеною у Eurocode 2:

$$V_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \sigma_{cp} \geq (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}). \quad (9)$$

При розрахунку у формул (9) використані фактичні параметри дослідних зразків. Результати порівняння експериментальних та теоретичних даних наведені в таблиці 2.

Співставлення експериментальних та теоретичних значень напружень зрізу при продавлюванні зразків-плит

Шифр зразка	Значення напружень зрізу отримане з експерименту V_{Ed} , МПа	Теоретичне значення напружень зрізу V_{Rdc} , МПа
П-1	2,77	2,68
П-2	3,16	3,15
П-3	3,44	3,41

Різниця між експериментальними та теоретичними даними не перевищила 10 %. Розрахунок за несучою здатністю при продавлюванні, наведений у європейських нормах, дає можливість розраховувати плити не тільки при звичайному армуванні, але й при наявності змішаного чи попередньо напруженого армування.

Момент тріщиноутворення у двовісно напружених плитах зі змішаним армуванням запропоновано розраховувати за методикою ядрових моментів.

Сумарний момент, що виникає під дією навантаження, слід визначати як для балки. Тоді пропорційно до жорсткості плити можна розподілити його для кожного з напрямків:

$$M_x = \frac{\sum M EI_x}{EI_x + EI_y}; \quad (10)$$

$$M_y = \sum M - M_x, \quad (11)$$

де EI_x, EI_y – жорсткість плити у відповідному напрямку;

$\sum M$ – сумарний момент від дії поперечної сили, що діє на плиту, розраховують як для балки на двох опорах;

M_x, M_y – поперечні моменти відповідно в напрямку осей X та Y .

Враховуючи, що в плиті діє двовісний обтиск та спосіб армування, момент тріщиноутворення пропонується обчислювати за формулою

$$M_{cr} = \eta_{kp} f_{ctk} W_{pl} + M_{rp}, \quad (12)$$

де η_{kp} – коефіцієнт, що враховує вплив змішаного армування на зусилля бокового обтиску та спосіб обпирання плити, дорівнює

$$\eta_{kp} = \left(1 + \frac{k_p}{\eta_{x(y)}} \right) \gamma_z, \quad (13)$$

де k_p – коефіцієнт змішаного армування, що у нашому випадку становить: для плит зі змішаним армуванням – 0,65; для попередньо напружених плит – 1,0;

$\eta_{x(y)}$ – фактичний максимальний рівень обтиску від дії попереднього напруження відносно осей X або Y , визначають співвідношеннями

$$\eta_x = \frac{\sigma_{c(x)}}{f_{cd}}; \quad \eta_y = \frac{\sigma_{c(y)}}{f_{cd}}, \quad (14)$$

де $\sigma_{c(x)}, \sigma_{c(y)}$ – максимальні напруження в напрямку осі X та Y ;
 f_{cd} – фактичний опір бетону на стиск на момент випробування;
 γ_z – коефіцієнт, що враховує геометрію та спосіб обпирання плит, прийнятий 0,35.

Співставлення експериментальних та теоретичних значень тріщиностійкості наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняння експериментального та теоретичного моменту тріщиноутворення зразків-плит

Шифр зразка	Момент тріщиноутворення M_{cre} , кН/м	
	Експериментальний	Теоретичний
П-1	4,87	4,15
П-2	11,1	9,13
П-3	12,87	11,78

Як видно з табл. 3, збіг експериментальних та теоретичних результатів – задовільний і знаходиться у межах 17 %.

Прогин плити визначають за загальними правилами будівельної механіки. Фактичний прогин необхідно розглядати як різницю прогину від дії поперечного навантаження та прогину (вигину) від дії попереднього напруження, пропонується визначати за формулою

$$f = f_{dir} - f_p, \quad (15)$$

де f_{dir} – прогин зумовлений дією згинальних деформації, визначають за формулою

$$f_{dir} = sl^2 \left(\frac{1}{r} \right), \quad (16)$$

де $s = \frac{0,18}{\sqrt{2}}$ – значення, що залежить від розрахунковій схеми та виду навантаження, для нашого випадку прийняте згідно з рекомендаціями А.Б. Голишева;
 l – розрахункова довжина елемента.

Треба зазначити, що згідно з Eurocode 2, кривизну елемента необхідно розділити на дві стадії:

- перша стадія – кривизна від початку прикладання навантаження до появи першої тріщини при $M \leq M_{cr}$. Її визначають за формулою

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{red,1} = \frac{M}{(E_{cm} I_g)}; \quad (17)$$

- друга стадія – при $M \geq M_{cr}$ враховує середню кривизну, її визначають співвідношенням

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{red,2} = \frac{M}{(E_{cm} I)_{red,2}}. \quad (18)$$

При цьому усереднена жорсткість плити при короткочасній дії навантаження дорівнює:

$$(E_{cm} I)_{red,2} = \frac{E_{cm} I_{cr}}{1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^2 \left(1 - \frac{I_{cr}}{I_g}\right)}, \quad (19)$$

де I_g та I_{cr} – момент інерції перерізу при висоті стиснутої зони $x_g = d$ без тріщин та x_{cr} для перерізу з тріщиною.

Висоту стиснутої зони x_{cr} з тріщиною пропонується визначати за рекомендаціями А.С. Залесова, вона дорівнює:

$$x_{cr} = d \cdot \sqrt{(\alpha_e \rho_s)^2 + 2\alpha_e \rho_s} - \alpha_e \rho_s \cdot d, \quad (20)$$

f_p – прогин (вигин) від дії попереднього напруження, визначений у розділі 3.

Порівняння експериментальних та теоретичних даних прогину плит зведені у вигляді графіків на рис. 10.

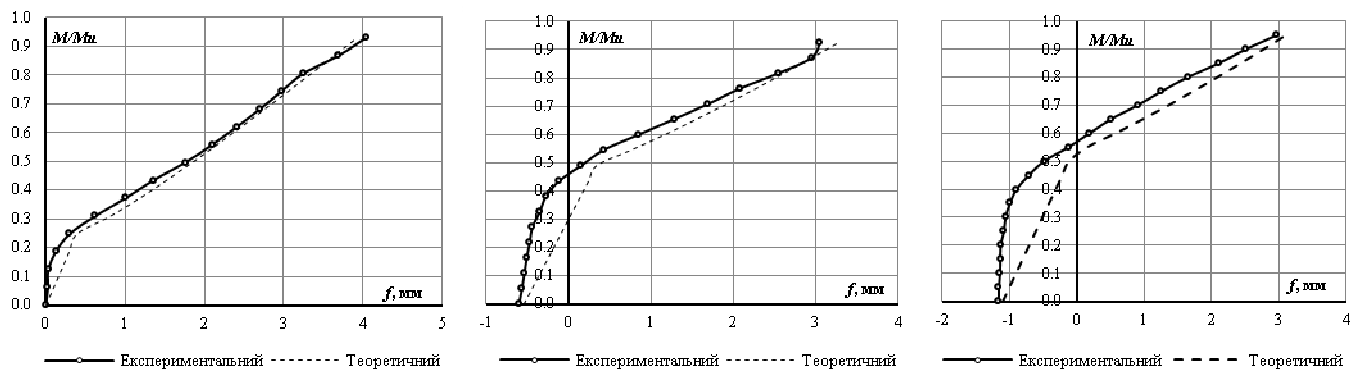


Рис. 10. Усереднені експериментальні та теоретичні графіки залежності “зусилля-переміщення” для плит серії П-1 (а), серії П-2 (б) та серії П-3 (в)

Аналізуючи графіки на рис. 10, можна виділити задовільне співпадіння експериментальних та теоретичних результатів. При цьому, на етапах вигину від попереднього обтиску для плит серії П-2 (рис. 10б) та серії П-3 (рис. 10в) співпадіння гірше, ніж для прогинів після вичерпання величин вигинів плит. Для

ненапружених плит серії П-1 (рис. 10а) величини експериментальних і теоретичних прогинів практично співпадають.

Якщо аналізувати абсолютні величини прогинів плит, слід відмітити, що повні прогини ненапружених, повністю і частково напружених плит знаходяться у межах допустимих і не перевищують граничні нормативні значення $[f] \leq \frac{1}{120}$. Так, експериментальні значення прогинів ненапружених плит серії П-1 при навантаженні 0,7...0,8 від руйнівного становлять 3,25 мм, що відповідає значенню $f \approx \frac{l}{225}$. У плитах серії П-3 з повністю напруженим армування максимальні прогини зафіксовані при величині 1,64 мм, тобто склали $f \approx \frac{l}{490}$. Нарешті, плити серії П-2, зі змішаним армуванням, мали прогини з урахуванням вигину 3,06 мм або $f \approx \frac{l}{260}$.

Моделювання роботи плит на ЕОМ виконали за допомогою програмного комплексу "ПК ЛИРА 9.6". Плита була розбита на вузли. Після розбивання плити, вузли були з'єднані по точкам, утворюючи об'ємний скінчений елемент КС-236. Попередньо напружену, ненапружена арматуру та припорні каркаси моделювали за допомогою універсального стержневого КС-410.

На наступному етапі моделювання введені необхідні характеристики з урахуванням нелінійної роботи матеріалів. Для бетону використано 21-й експоненціальний закон деформування бетону $\sigma-\varepsilon$, а для арматури – 11-й експоненціальний закон деформування сталі $\sigma-\varepsilon$.

Попереднє напруження створюють за допомогою різниці температур стержня, визначають за формулою:

$$t_1 - t_2 = -\frac{\varepsilon_0}{\alpha}, \quad (21)$$

де ε_0 – деформації, що виникають внаслідок попереднього напруження стержня з урахуванням усіх втрат до моменту прикладення зовнішнього навантаження;

$$\varepsilon_0 = \frac{(\sigma_{pm,0} - \Delta\sigma_{p,c+s+r})}{E_p}, \quad (22)$$

$\sigma_{pm,0}$ – напруження у арматурі відразу після натягу на упори або відпуску, яке для розрахунку прийняли $0,85 f_{p0,1k}$;

$\Delta\sigma_{p,s+s+r}$ – абсолютне значення зміни напружень внаслідок повзучості, усадки бетону та релаксації арматури (втрати від попереднього напруження);

E_p – модуль пружності напруженої сталі;

α – коефіцієнт лінійного розширення арматурної сталі, град⁻¹.

Далі призначають етапи навантаження: на першому етапі навантаження, діє зусилля попереднього напруження (для плит серії П-2 та П-3); другий етап – зовнішнє навантаження, яке було прикладене на зразок-плиту (рис. 11).

В результаті отримали значення граничних прогинів та загальну картину руйнування кожного із зразків. Для більш зручного вигляду, результати граничних прогинів зображені у вигляді графіків порівняння експериментальних та отриманих під час розрахунку програмою даних (рис. 12).

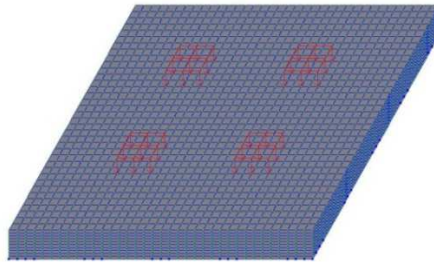


Рис. 11. Розрахункова схема плити та прикладене зовнішнє навантаження

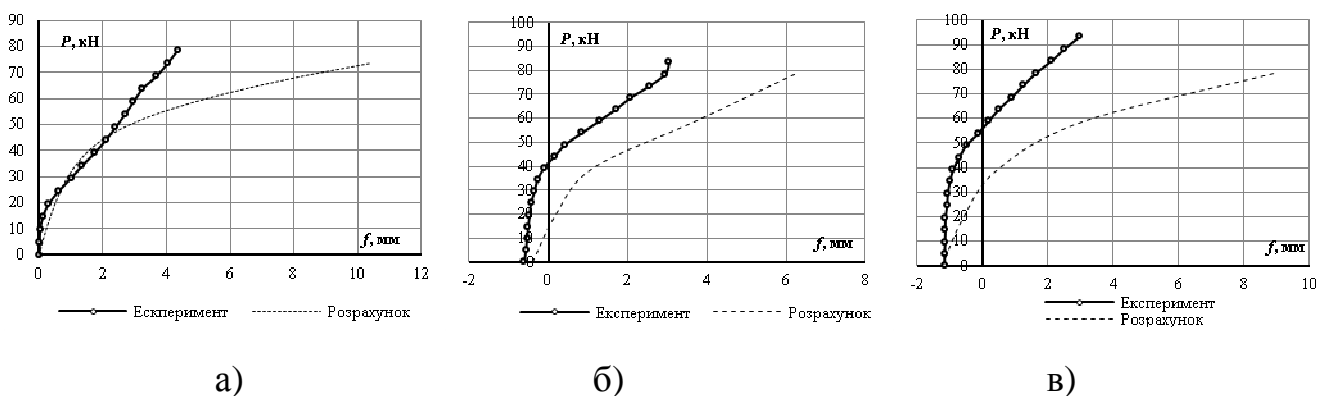


Рис. 12. Порівняння отриманих експериментальних значень прогинів з урахуванням вигину з результатами розрахунків програмою для плит серії П-1 (а), серії П-2 (б) та серії П-3 (в)

Рис. 12 дає уяву про змінення прогинів у процесі навантаження дослідних зразків плит та прогинів, отриманих розрахунками за “ПК ЛИРА 9.6”. Крім того, розрахунки за “ПК ЛИРА 9.6” показує меншу міцність плит на продавлювання. Це можна пояснити тим, що програма при моделюванні зусиль обтиску враховує попереднє напруження як від’ємне навантаження. Оскільки в тілі плити з’являються від’ємні напруження від зусиль обтиску, це і в свою чергу, впливає на міцність та прогини. Отже, розрахунок на продавлювання плит зі змішаним армуванням, як і з повністю напруженим, на даний час недостатньо точно відповідає дійсній роботі плит і потребує подальшого вдосконалення. Необхідно, щоб попереднє напруження моделювали додатнім напруженням, це в свою чергу не створювало б негативних наслідків на міцнісні та деформативні характеристики конструкцій. Треба відмітити, що аналітичні методи краще відтворюють реальні (експериментальні) у порівнянні з розрахунком на ЕОМ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Запропоновані способи визначення класу ненапруженої з відомою напруженою арматурою для двовісно напружених плит зі змішаним армуванням.
2. Експериментально встановлено, що використання змішаного армування в двовісно напружених плитах веде до зменшення втрат попереднього напруження від

усадки та повзучості бетону за рахунок меншого обтиску і наявності ненапруженої арматури.

3. Встановлено, що розрахунок величини вигину для плит зі змішаним армуванням, як і для повністю попередньо напружених плит, може бути практично ідентичний, але з уведенням відповідних поправочних коефіцієнтів.

4. Випробування показали, що за рахунок використання двовісного обтиску в плитах отримано збільшення несучої здатності від продавлювання, збільшення тріщиностійкості та зменшення деформативності у порівнянні з плитами армованими звичайною арматурою.

5. Розрахунком підтверджено, що попередньо напружені плити середньої товщини та плити зі змішаним армуванням переважно працюють на продавлювання. Методика визначення несучої здатності, тріщиностійкості та деформативності, що наведена в сучасних нормах дозволяє отримати достовірні дані про роботу плит із змішаним армуванням.

6. При розрахунку за програмним комплексом “ПК ЛИРА 9.6” достовірні результати можна отримати тільки для ненапружених плит. Існуючий спосіб моделювання попереднього двовісного напруження при розрахунку на ЕОМ дає суттєву похибку, у порівнянні з експериментальними результатами: замість збільшення міцності на продавлювання, отримують її зменшення пропорційно інтенсивності бічного обтиску. Отже, “ПК ЛИРА 9.6” недостатньо точно розраховує плити на продавлювання у яких використовується попереднє напруження. Це стосується також і розрахунку прогинів таких плит.

7. Проведені експериментально-теоретичні дослідження засвідчили ефективність змішаного армування двовісно обтиснутих плит, які працюють у двох напрямках. Плити зі змішаним армуванням відповідають усім вимогам сучасних нормативних документів за: міцністю, тріщиностійкістю та деформативністю. Такі конструкції дозволяють зменшити собівартість – за рахунок зниження витрат на матеріали і енергомісткість. У той же час виявлено, що широке впровадження двовісного змішаного армування потребує ретельних дослідницьких робіт для визначення їх експлуатаційних якостей.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Бова Я.О. Особливості виготовлення та випробування двовісно напружених плит зі змішаним армуванням // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – Львів, 2010. – Випуск 662. – С. 60-64.

2. Бова Я.О. Двовісно напружені плити зі змішаним армуванням: особливості виготовлення // Научно-технический и производственный журнал “Бетон и железобетон в Украине” / Полтавский ЦНТЭИ. – Полтава, 2011. – №1. – С.25-27.

3. Бова Я.О. Методика випробування та характер руйнування двовісно напружених плит зі змішаним армуванням // Збірник наукових праць “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне, 2010. – Випуск 22. – С.204-209.

4. Бова Я.О. Дослідження усадки та повзучості бетону в плитах зі змішаним армуванням та пропозиції щодо їх розрахунку // Збірник наукових праць

“Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне, 2013. – Випуск 25. – С.220-227.

5. Бова Я.О. Випробування двовісно напружених плит зі змішаним армуванням при поперечному згині // Промислове будівництво та інженерні споруди. – Київ, 2013. – №1. – С.19-22.

АНОТАЦІЯ

Бова Я.О. “Залізобетонні плити зі змішаним армуванням” – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Київський національний університет будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України. – Київ, 2013.

Дисертаційна робота присвячена експериментально-теоретичним дослідженням плоских плит з різним коефіцієнтом змішаного армування, напружено-деформованому стану до та після прикладення зовнішнього навантаження, характеру руйнування, міцності, жорсткості та тріщиностійкості і пропозиції щодо врахування змішаного армування при розрахунку міцності, тріщиностійкості і прогинів для подальшого застосування у нормативних документах з проектування.

Ключові слова: двовісне напруження, змішане армування, плоскі плити, усадка бетону, повзучість бетону, міцність, тріщиностійкість, деформативність.

АННОТАЦИЯ

Бова Я.О. “Железобетонные плиты со смешанным армированием” – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Киевский национальный университет строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины. – Киев, 2013.

Диссертационная работа посвящена экспериментально-теоретическому исследованию плоских плит с разным коэффициентом смешанного армирования, напряженно-деформированному состоянию до и после приложения внешней нагрузки, характеру их разрушения, прочности, жесткости и трещиностойкости, а также предложения по учету смешанного армирования при расчете прочности, трещиностойкости и прогибов для дальнейшего использованию в нормативных документах.

В первом разделе проанализирована эффективность смешанного армирования в железобетонных конструкциях; свойства железобетонных плит со смешанным армированием; описаны исследования работы двухосно напряженных плит.

Второй раздел посвящен технологии изготовления и методике проведения испытаний образцов плит с разным коэффициентом смешанного армирования на прочностные и деформативные показатели. Описаны результаты испытания материалов, которые использованы при изготовлении образцов.

Третий раздел посвящен анализу напряженно-деформированному состоянию образцов при обжатий до приложения внешней нагрузки. Описаны методы подбора

класса обычной арматуры при известном классе напряженной арматуры и предложены методы расчета класса ненапряженной арматуры в двухосно напряженных плитах. Проанализированы полученные экспериментальные данные усадки и ползучести бетона в плитах с разным коэффициентом смешанного армирования; описаны современные методы потерь преднапряжения с учетом смешанного армирования.

В четвертом разделе описаны полученные результаты испытания образцов при продавливании. Проанализировано характер разрушения, прочность, трещиностойкость и деформативность экспериментальных плит. Рассмотрено влияние коэффициента смешанного армирования на деформации в бетоне и напряжения арматуры в зоне действия максимального усилия.

В пятом разделе приведены предложения по расчету прочности, трещиностойкости и деформативности плит со смешанным армированием. Предложено метод моделирования работы плит на продавливание с разным коэффициентом смешанного армирования с помощью ЭВМ.

Ключевые слова: двухосное напряжение; смешанное армирование; плоские плиты; усадка бетона; ползучесть бетона; прочность; трещиностойкость; деформативность.

ANNOTATION

Y.A. Bova "Reinforced concrete slabs with mixed reinforcement" – Manuscript.

The dissertation for technical sciences candidate degree, speciality 05.23.01 – building constructions, buildings and installations. – Kyiv National University of Construction and Architecture, Ministry of Education and Science. – Kyiv, 2013.

This dissertation work is devoted to experimental and theoretical research of flat slabs with different coefficient of mixed reinforcement, the stress-strain state before and after external forces, nature of destruction, firmness, stiffness and crack resistance and also proposals on accounting mixed reinforcement with calculation of firmness, crack resistance and deflections for future use in normative documents for designing.

Keywords: biaxial stress; mixed reinforcement; flat slabs; concrete shrinkage; creep of concrete; strength; crack resistance; deformability