

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

Мельник О.С., Ворошилов С.В., Мельник О.В.

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ТА УКРИТТІВ**

Колективна монографія

**Умань
2023**

УДК 623.1(02)
М48

Рецензенти:

Жуйков Д.Б., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри військово-технічної та військово-спеціальної підготовки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Смілянець О.М., старший офіцер відділення запобігання вчиненню, виявлення і припинення кримінальних та інших правопорушень Черкаського зонального відділу Військової служби правопорядку, підполковник.

*Рекомендовано до друку вченою радою
факультету інженерно-педагогічної освіти Уманського державного
педагогічного університету імені Павла Тичини
(протокол № 3 від 25 жовтня 2023 р.)*

Мельник О.С.

М48 Напружено-деформований стан залізобетонних елементів фортифікаційних споруд та укриттів : кол. монографія. / Мельник О. С., Ворошилов С. В, Мельник О. В. ; МОН України, Уманський держ. пед. ун-т імені Павла Тичини. – Умань : Візаві, 2023. – 228 с.

У монографії представлені авторами методики розрахунку крутильних жорсткостей та міцності залізобетонних елементів різного типу профілю з нормальними тріщинами, які використовуються при зведенні фортифікаційних споруд та укриттів. Переваги балок даних типів профілю дозволяють поширення їх використання у практиці оборонного будівництва.

Монографія може бути корисна для інженерів, науковців та військових частин.

УДК 623.1(02)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД ТА УКРИТТІВ Помилка! Закладку не визначено.	
1.1 Вимоги до міцності фортифікаційних споруд.....	Помилка! Закладку не визначено.
1.2 Вимоги до захисних споруд та укриттів	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ ТА КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕКРИТТІВ ТА МОСТІВ	Помилка! Закладку не визначено.
2.1 Вплив жорсткісних параметрів на просторову роботу перекриттів та мостів	Помилка! Закладку не визначено.
2.2 Експериментальні та теоретичні дослідження жорсткості та міцності залізобетонних елементів при крученні	Помилка! Закладку не визначено.
2.3. Просторові деформації конструкцій залізобетонних елементів	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ТА МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ Помилка! Закладку не визначено.	
3.1 Визначення переміщень і нагельної сили в арматурі елементів з нормальними тріщинами за дії кручення.....	Помилка! Закладку не визначено.
3.2 Розрахунок деформацій при крученні з врахуванням нелінійних властивостей бетону	Помилка! Закладку не визначено.
3.3 Міцність залізобетонних елементів порожнистого трикутного профілю з нормальними тріщинами за дії крутного моменту	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТИЛЬНОЇ ЖОРСТКОСТІ ТА МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОРОЖНИСТОГО ТРИКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ	Помилка! Закладку не визначено.
4.1 Конструкція установки, методика досліджень і прилади	Помилка! Закладку не визначено.
4.2 Аналіз деформативних та міцнісних характеристик експериментальних зразків	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ КРУЧЕННЯ НА ПРОСТОРОВУ РОБОТУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАЛОК ПОРОЖНИСТОГО ТРИКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ	Помилка! Закладку не визначено.
5.1 Вплив крутильної жорсткості на просторову роботу залізобетонних ребристих систем, складених з елементів порожнистого трикутного перерізу	Помилка! Закладку не визначено.
5.2 Спосіб виготовлення збірно-монолітної балки трикутного порожнистого перерізу	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 6. ПРОПОЗИЦІЇ ДО РОЗРАХУНКУ І КОНСТРУЮВАННЮ ПЕРЕКРИТТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК КОРОБЧАТОГО ПЕРЕРІЗУ. ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ.	Помилка! Закладку не визначено.
6.1. Визначення жорсткості залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами при крученні з врахуванням нелінійних деформацій.	Помилка! Закладку не визначено.
6.2 Міцність залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами за дії крутного моменту	Помилка! Закладку не визначено.
6.3. Аналіз НДС при крученні залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами	Помилка! Закладку не визначено.
6.4. Порівняння експериментальних даних з розрахунковими по запропонованій методиці.	Помилка! Закладку не визначено.
ВИСНОВКИ	14
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	16
ДОДАТКИ	Помилка! Закладку не визначено.

ВСТУП

Фортифікаційне обладнання займаних військами районів (позицій) забезпечує найбільш ефективне застосування зброї, бойової техніки і надійний захист військ від всіх засобів ураження.

Підрозділи родів військ і спеціальних військ у всіх видах бою зводять фортифікаційні споруди (окопи, траншеї, ходи, споруди для спостереження і ведення вогню, укриття для особового складу, техніки, боєприпасів і інших матеріальних засобів.

Залізобетонні плоскі перекриття є основним видом перекриттів в промисловому, сільськогосподарському і цивільному будівництві. Вони сприймають вертикальні і горизонтальні навантаження, забезпечують просторову жорсткість будівлі.

Останнім часом перекриття і покриття розраховуються з урахуванням просторової роботи, коли зусилля перерозподіляються між окремими елементами нерівномірно. Ефект просторової роботи проявляється тим більше, чим більша крутильна жорсткість елементів з яких складається перекриття. Одним із ефективних перерізів, в яких крутильна жорсткість велика, є елементи порожнистого трикутного перерізу. Застосування в перекриттях балок такого типу дозволяє суттєво збільшити ефект просторової роботи.

В існуючій науковій літературі практично відсутні дані про визначення крутильних жорсткостей залізобетонних елементів, що мають нормальні тріщини, хоча експериментальними дослідженнями встановлений вплив таких тріщин на зміну не лише згинальних, але і крутильних жорсткостей. Існуючі методики розрахунку присвячені, в основному, деформативності залізобетонних елементів за наявності просторових тріщин. У чинних нормативних документах взагалі відсутня методика визначення крутильної жорсткості елементів. Теорія деформування залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні знаходиться на початковій стадії. В ній

відсутні рекомендації щодо розрахунку елементів порожнистого трикутного перерізу.

У зв'язку із сказаним, розробка методики визначення крутильних жорсткостей залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу за наявності в них нормальних тріщин є актуальним завданням, рішення якого дозволить визначити зусилля в елементах залізобетонних перекриттів при їх розрахунку з урахуванням просторової роботи.

станів та граничної міцності.

Слід зазначити роботи В.М. Бондаренка [43], які знайшли себе в теорії розрахунку залізобетонних конструкцій з тріщинами.

Праці А.Я. Барашикова, В.М. Бондаренко, М.І. Карпенко, А.Л. Козака, А.Ф.Яременко [37,43] дали змогу проводити розрахунки залізобетонних перекриттів з урахуванням тріщиноутворення на протязі тривалого часу.

В розрахунках залізобетонних виробів які перебувають в складному напруженому стані достатньо ефективною є методика С.Ф. Клованіча [10-13], в якій використовуються просторові скінчені елементи.

На даний час, завдяки переходу проектування різноманітних залізобетонних конструкцій на ЕОМ, переважна їх більшість розраховується з врахуванням їхньої просторової роботи, так як врахування просторової роботи елементів будівель та споруд, а також інших просторових систем значно підвищує точність визначення зусиль, що виникають в їхніх окремих елементах.

Якщо раніше із конструкції будь-якої споруди, чи її елемента (перекриття, каркас та ін.) брались для розрахунків окремі плоскі елементи (одна плита із перекуття, одна балка із каркаса будівлі), то на теперішній час майже усі вище зазначені конструкції розраховуються з урахуванням взаємодії їх елементів між собою.

Як показано в працях [3,8,24] перерозподіл локального навантаження в однаковій мірі залежить як від згинальної, так і від крутильної жорсткості окремих балок, плит та інших залізобетонних конструкцій.

Особливу увагу привертає те, що під час розрахунків різноманітних конструкцій, з урахуванням просторової роботи, на перерозподіл зусиль між їхніми окремими елементами суттєво впливає як згинальна, так і крутильна жорсткість, а також співвідношення між ними.

Врахування просторової роботи залізобетонних перекриттів значною мірою впливає на більш точне визначення внутрішніх зусиль, що виникають в елементах конструкцій.

Останнім часом, завдяки повному входженню в практику проектування ЕОМ, більшість конструкцій будівель і споруд розраховуються з урахуванням їх просторової роботи. Якщо раніше з будівлі або його елемента (каркас, перекриття і так далі) виділялися, як правило, плоскі елементи (одна рама з каркасу будівлі, одна плита з перекриття), то сьогодні, практично, усі такі конструкції розраховуються з урахуванням взаємодії їх елементів один з одним.

В різний час експериментальні та теоретичні розрахунки з визначення НДС монолітних та збірних залізобетонних перекриттів, а також вплив їх просторової роботи на НДС окремих їх елементів були висвітлені в працях Азізова Т.Н., Байкова В.М., Верещаги О.І., Карнет Ю.Н., Крамаря В.Г., Куня В.Л., Савченко О.С., Семченкова О.С., Шагіна О.Л. [1, 4, 5, 12, 13-15, 17, 18-20, 24, 25, 31].

У вище вказаних роботах зазначено, що при розрахунку конструкцій з урахуванням просторової роботи істотну роль в перерозподілі зусиль між окремими елементами відіграє не лише їх жорсткість при згині, але і крутильна, а також співвідношення між крутильною та згинальною жорсткостями.

Для оцінки крутильної жорсткості ребристих плит [8] були випробувані дві збірні залізобетонні плити серії 1.442.1-1 [18] з метою встановлення впливу на роботу плит різних з'єднань з опорними конструкціями.

При експериментальних дослідженнях [28-32] було встановлено, що жорсткість і міцність завантаженої плити, в складі збірного диску перекриття, значно вища, ніж жорсткість та міцність плити, дослідженої по балковій схемі. Внаслідок різниці вертикальних деформацій вертикальних несучих конструкцій виникає кручення в плитах перекриття.

Кут повороту φ стін у вертикальній площині визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{M_t \cdot l}{D_t} \quad (2.1)$$

Де M_t – крутний момент в диску перекриття;

D_t – жорсткість диску перекриття при крученні, що визначається за [24];

l – довжина диску перекриття.

Внаслідок просторової роботи диску перекриття дія додаткових зусиль призводить до появи повздовжніх тріщин. Природа тріщиноутворення різноманітна.

Роботи А.Я. Барашикова, В.М. Бондаренка, М.І. Карпенка, А.Л. Козака, О.Ф.Яременка [30] дозволили розраховувати залізобетонні перекриття з урахуванням тріщиноутворення і тривалих процесів.

В конструкціях зі слабким поперечним армуванням поява такого роду тріщин призводить до передчасного руйнування – зрізу вздовж прольоту. В плитно-ребристих системах (мостові конструкції, ребристі монолітні та збірні перекриття) на згинальну та крутильну жорсткості впливають різного роду тріщини [3, 21, 29]. Неврахування при розрахунках співвідношення жорсткостей плит, а також додаткового навантаження призводить до появи тріщин [130].

Теоретичні та експериментальні дослідження були проведені [1-4]. Дослідження показали зміну перерозподілу зусиль між мостовими балками при тріщиноутворенні в полицях та ребрах таврових балок, з яких складається мостова конструкція. В цих працях наведені різні методики розрахунку залізобетонних елементів у складі перекриттів та прогінних конструкцій мостів, ураховуючи їх просторову роботу.

В дослідженнях Азізова Т.Н., Дроздова П.Ф., Лантуха-Лященко А.І., Рекача В.Г. та Семченкова О.С. [3] показана залежність перерозподілу локального навантаження від згинальної та крутильної жорсткостей окремих балок. Ця залежність є суттєвою.

Тому визначення згинальної та крутильної жорсткостей являється досить актуальною задачею сьогодення.

У [3] було розглянуто методику розрахунку умовної ребристої системи прольотом 5 м, що складається з 5 ребер 250X250 мм при навантаженні

середнього ребра рівномірно розподіленим навантаженням $q=10\text{кН/м}$. Товщина полицок, що з'єднують ребра – 50 мм. В результаті досліджень було виявлено, що при зміні крутильної жорсткості тільки одного ребра в 4 рази (це цілком можливо в реальних залізобетонних балках) згинальні моменти можуть змінюватися в декілька разів, що суттєво впливає на напружено-деформований стан дослідної балки.

Однополичні ригелі каркасно-панельних будівель крім згинальних моментів у вертикальній та горизонтальній площинах піддаються також крутним моментам. Встановлено [64], що деформативність опорної частини ригелів при крученні, приблизно, в 10 разів перевищує деформативність поперечних перерізів однополичного ригеля в прольоті, що також однозначно підтверджує важливість врахування крутильної жорсткості при розрахунку такого типу ригелів.

Значення ефективності крутних моментів, а отже врахування жорсткості на кручення, в двомірних плитах в складних конструктивних системах має велике практичне та теоретичне значення [25]. В залізобетонних плитах на ранніх стадіях напруженого стану з'являються тріщини в розтягнутих від згину зонах. Значна кількість діагональних тріщин в кутових частинах плити підтверджує суттєву роль крутних моментів, що виникають в ній.

Отже, питання зміни крутильних жорсткостей при тріщиноутворенні на перерозподіл зусиль в просторовій роботі плитно-ребристих систем залишається недостатньо вивченим.

Окрім того, недостатньо вивченим є питання впливу поперечного перерізу несучих елементів перекриттів та мостових конструкцій на перерозподіл зусиль між ними за дії локальних навантажень.

З аналізу вищевказаних робіт можна зробити висновок, що на просторову роботу залізобетонних мостових конструкцій, перекриттів і покриттів суттєво впливають як згинальні, так і крутильні жорсткості. В деяких з них відмічається вплив нормальних тріщин на крутильні жорсткості.

В той же час питанням покращення просторової роботи перекриттів присвячено достатньо мало робіт [3,14]. В зв'язку з цим представляється актуальним дослідження впливу тріщиноутворення на крутильні жорсткості елементів перекриттів і пошук оптимальних форм перерізів їх елементів для підвищення ефекту просторової роботи перекриттів.

Врахування просторової роботи залізобетонних перекриттів значно впливає на проведення точних розрахунків під час визначення внутрішніх зусиль, які виникають в складному напруженому стані, що в свою чергу веде до значної економії будівельних матеріалів.

Теоретичні розрахунки, експериментальні дослідження монолітних та збірних залізобетонних перекриттів висвітлювались в працях багатьох відомих вчених: Азізов Т.Н., Байков В.М., Семченков А.С., Шагін А.Л., Lubel L., LutrinP. [19,24,25,29,30,31,32,34,38,47].

В зазначених працях показаний вплив просторової роботи монолітних і збірних елементів перекриття на напружено-деформований стан їх окремих елементів. Разом з тим, на окремі елементи вказаних систем діють не тільки згинальні, а й значні крутні моменти, що при звичайному способі проектування не враховуються.

Слід зазначити, що під час проведення розрахунків конструкцій з врахуванням просторової роботи їхніх окремих елементів необхідно враховувати, як згинальну так і крутильну жорсткість, а також співвідношення між ними.

В працях [36,38, 42] А.С. Семченков експериментально встановив, що жорсткість і міцність плити, завантаженої в складі збірного перекриття, значно вища, ніж жорсткість та міцність плити, дослідженої по балковій схемі. Неврахування спільної роботи плит іде в запас їх міцності, а від повздовжніх тріщин можливі руйнування перекриття по повздовжнім перерізам.

На підставі багатьох досліджень плит з круглими скрізними отворами у яких поперечне армування полук і ребер плит відсутнє [14], спростовується думка, що не врахування спільної роботи плит іде в запас міцності.

Дослідження показали, що навіть у пустотілих плит з товстими стінами на ранній стадії їх експлуатації з'являються повздовжні тріщини, які змінюють жорсткість плит в поперечному напрямку, що в свою чергу впливає на просторову роботу перекриття.

Тріщини появляються внаслідок неврахування при розрахунках співвідношення жорсткості плит, додаткового навантаження вздовж прольоту більшого за норму, а також при полосовому навантаженні кінцевої плити. [40].

Поява повздовжніх тріщин обґрунтовується дією додаткових зусиль у поперечному напрямку перекриття внаслідок його просторової роботи, що може призвести до передчасного руйнування – зрізу вздовж прольоту в конструкціях із слабким поперечним армуванням.

Зусилля, яке виникає в плитах під час їх просторової роботи буде залежати від двох факторів, а саме: схеми перекриття, жорсткісних характеристик плити.

А.С. Семченков в [39] зробив висновок, що робота плит у складі перекриттів, які просторово деформуються, якісно відрізняються від роботи плити по балочній схемі.

В плитах безопалубкового формування, що працюють у складі покриття, не дивлячись на достатньо велику товщу поперечного перерізу і більш високу якість бетону, утворювались повздовжні тріщини, які призводили до крихкого руйнування від зрізу при навантаженнях, більш менших, ніж ті при яких руйнувались плити випробуванні по балковій схемі.

При збільшенні прольотів і ширини плит зусилля в поперечному напрямку від згину і кручення зростали.

В [20] при дослідженні сумісної роботи багатополіх переднапружених плит прогоном 9 метрів у порівнянні з балковими плитами, було встановлено, що урахування сумісної роботи перших дозволяє скоротити їхнє розрахункове армування на 23 %.

Експериментально доведені теоретичні положення, які були прийняті для розрахунку сумісно працюючих плит.

В роботі [18] показано, що просторова робота монолітного ребристого перекриття еквівалентна роботі прогонних конструкцій мостів.

Експериментально-теоретичні дослідження просторової роботи мостів, проведені Б.Е. Уліцким, І.А. Тріфоновим показали, що перерозподіл зусиль між мостовими балками змінюється при тріщиноутворенні в полках і ребрах таврових балкових елементів мостів.

В перерахованих та у інших працях наведені різні методики розрахунків залізобетонних перекриттів та прогонних конструкцій мостів з урахуванням їх просторової роботи.

Дані методи за пропозицією Б.П. Назаренко [26] розділені на чотири умовні групи:

1. Розрахування тиску на головні балки з урахуванням коефіцієнтів поперечної установки (метод важеля, нецентрового стиснення пружних опор);
2. Заміна прольотної конструкції балковою розпорою (ростверком);
3. Заміна прольотної конструкції ортотропною плитою;
4. Розбиття конструкції на окремі елементи з наступним розглядом роботи кожного з них і створенням умов сумісності деформацій (розробленим Б.Е. Уліцким).

Найбільш розповсюдженим в теперішній час є методи 4-ї групи. Засновником такого методу розрахунку, в якому диск перекриття (ребристої системи) замінюється дискретною стрижневою системою, являється Л.Д. Проскураков. Цей метод, ще отримав назву метода пружних опор, був розвинутий у працях П.Л. Пастернака, А.С. Семченкова, І.А. Тріфонова.

Практичний метод розрахунку цієї групи вперше був запропонований Б.Є. Уліцким [132,154], розвинутий і удосконалений А.І. Лантухом-Лященко [111-113] та Т.Н. Азізовим [18].

При чому, останній має ряд суттєвих переваг і поперед усього, врахування багатьох раніше неврахованих факторів, а також можливості розрахунку з урахуванням утворення усіх видів тріщин, як у полках, так і в ребрах елементів перекриття. До такого типу розрахунку відноситься метод П.Ф. Дроздова.

Методи Б.Е. Уліцкого А.І. Лантухом-Лященко, Т.Н. Азізова, засновані на теорії В.З.Власова [47].

М.І. Додонов розробив метод зосереджених деформацій [55], який має деякі переваги у порівнянні з МСЕ [50,53].

Існуючі методики визначення жорсткості елементів на кручення [7] відносяться тільки до залізобетонних елементів з просторовими (спіральними) тріщинами, хоч експериментальними дослідженнями [14, 48] встановлений суттєвий вплив нормальних тріщин на крутильну жорсткість залізобетонних елементів.

В працях Б.В. Карабанов, використовуючи експериментальні дослідження В.Н. Горнова зробив висновок, що під час утворення тріщин крутильна жорсткість залізобетонних елементів зменшується швидше за їх згинальну, але теоретично цей факт не обґрунтований.

Крім цього, вищенаведений огляд теоретичних та експериментальних досліджень дозволяє зробити висновок про те, що при усіх перевагах просторового розрахунку плитно-ребристих систем, в розглянутих роботах внаслідок утворення тріщин змінюються тільки згинальні жорсткості, а крутильні залишаються без змін, або змінюються в залежності від згинальних.

Виключенням є праці [1-28], в яких чітко показана залежність впливу зміни крутильних жорсткостей на згинальні, а також праці, в яких для розрахунку використовується метод скінчених елементів.

В своїй праці Семенюк С.Д. також зазначає, що в багатьох конструкціях, не дивлячись на відносно невеликі по абсолютному значенню крутні моменти, вплив їх необхідно враховувати, так як кручення в залізобетонні являє собою досить складний процес, для опису якого необхідно допущення ланок гіпотез, підтверджених експериментом.

Таким чином, вплив зміни крутильних жорсткостей на перерозподіл зусиль в просторово деформуючих плитно-ребристих системах залишається не достатньо вивченим.

ВИСНОВКИ

У монографії представлено нове рішення актуальної задачі визначення крутильної жорсткості та міцності залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами і показаний вплив крутильних жорсткостей окремих елементів на просторову роботу залізобетонних перекриттів та мостів.

Результати чисельних та експериментальних досліджень, підтверджують справедливість поширення чисельної та чисельно-аналітичної методики визначення крутильної жорсткості залізобетонних елементів з нормальними тріщинами прямокутного та таврового перерізу на елементи коробчастого перерізу. Це дає можливість на застосування та розвиток розробленої методики для елементів коробчастого перерізу, визначення їх напружено-деформованого стану та міцності за дії крутних моментів.

Проведені авторами дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Різними дослідженнями встановлено, що при утворенні нормальних тріщин змінюється не лише жорсткість при згині, але і крутильна жорсткість елементів залізобетонних ребристих перекриттів та мостових конструкцій.

2. Розроблена чисельно-аналітична методика визначення крутильної жорсткості залізобетонного елементу порожнистого трикутного профілю з нормальними тріщинами при крученні.

3. Проведені експериментальні дослідження на зразках залізобетонних балок з нормальними тріщинами дозволили встановити, що зразки з нормальними тріщинами при крученні мають лінійну залежність «крутний момент - кут повороту». Нелінійність проявляється лише на стадіях, близьких до руйнування. Армування елементів лише поздовжньою арматурою впливає на міцність при крученні.

4. Порівняння даних, отриманих за розробленою методикою, визначення крутильної жорсткості та міцності з результатами експериментальних досліджень підтвердило достовірність розробленої методики. Розроблена

комп'ютерна програма для визначення жорсткісних і міцнісних параметрів елементів порожнистого трикутного профілю з нормальними тріщинами у складі перекриттів та мостів.

5. Розроблена інженерна методика розрахунку жорсткості і міцності залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні. Елемент з нормальними тріщинами може руйнуватися за трьома схемами: від зрізу верхньої полиці при дії нагельної сили в арматурі; від руйнування верхньої полиці в результаті дії крутного моменту; при перевищенні максимальної розтягуючого напруження межі міцності бетону при розтягу.

6. Експериментально встановлено, що при збільшенні діаметру подовжньої арматури і товщини верхньої полиці жорсткість елемента з нормальними тріщинами збільшується.

7. При розгляді зусиль, що виникають при локальних навантаженнях у мостових конструкціях та перекриттях, визначено ефективний профіль балок перекриттів та мостів, що забезпечує збільшення жорсткості та ефекту просторової роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азизов Т. Н., Савченко А. Н. Влияние вертикальных усилий взаимодействия элементов сборного перекрытия на пространственную работу Будівельні конструкції *міжвідомчий науково-технічний збірник*. Київ. : НДІБК, 2002. Вип. 57. С. 15-20.
2. Азизов Т. Н., Мельник О.С. К расчету железобетонных элементов полого сечения с нормальными трещинами при кручении Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. Дніпропетровськ, 2010. Вип. 33. С. 10-14.
3. Азизов Т. Н. Пространственная работа железобетонных перекрытий. Теория и методы расчета : дис. докт. техн. наук : 05.23.01 "*Строительные конструкции, здания и сооружения*". Полтава, 2006. 406 с.
4. Азизов Т. Н., Савченко А.С. Расчет системы ригель-настил с учетом совместной работы Вісник Сумського національного аграрного університету Суми, 2002. Вип. 8. С. 7-11.
5. Азизов Т. Н. Учет кручения полог при расчете ребристых перекрытий Будівельні конструкції : *міжвідомчий науково-технічний збірник*. Київ. НДІБК, 2003. Вип. 58. С. 3-7.
6. Азизов Т. Н. Экономичные конструкции покрытий и перекрытий . Умань : Алми, 2002. 64 с.
7. Азизов Т. Н. Теория пространственной работы перекрытий. Київ. : Науковий світ, 2001. 276 с.
8. Азизов Т. Н., Мельник О.С. Залізобетонні балки з підвищеною жорсткістю при крученні . Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне 2009. Вип. 19. С. 55-60.
9. Азизов Т. Н., Мельник О.С. Експериментальні дослідження жорсткості та міцності залізобетонних елементів порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами при крученні. *Збірник наукових праць* : (галузеве машинобудування, будівництво) Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2011. Вип. 2(30). С. 47-52.
10. Азизов Т.Н., Мельник О.С. Ефективні конструкції мостових споруд Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 47 Одеса: Зовнішпрекламсервіс, 2012. С. 16-22.
11. Азизов Т. Н. Методика розрахунку суцільних фундаментів . Вісник Сумського ДАУ. Серія „Будівництво”. Суми, 2000. С. 4-8.
12. Азизов Т. Н. Наукові основи енергозбереження. Вісник Сумського державного аграрного університету. Суми. 1998. С. 3-5.
13. Азизов Т. Н., Касем Н.Ж. Особливості розрахунків монолітних ребристих перекриттів .Вісник Сумського державного аграрного університету. Сер. “Будівництво”. Суми, 1998. С. 84-85.
14. Азизов Т. Н. Оцінка необхідності підсилення перекриттів Матеріали ІV науково-технічної конференції „Будівництво в сейсмічних районах України”. Ялта, 1999. С. 211-216.
15. Азизов Т. Н., Мельник О.В., Мельник О.С. Розрахунок

залізобетонних коробчатих балок при крученні .Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди зб. наук. праць. Рівне 2010. Вип. 20. С. 120-124.

16. Азізов Т. Н. Розрахунок перекриття на вертикальні нерівномірні навантаження Будівництво України. 1994. № 3. С. 29-32.

17. Бабіч Є.Є. Робота і розрахунок згинальних залізобетонних елементів трикутного профілю: дис. канд. техн. наук: 05.23.01. «Будівельні конструкції, будівлі та споруди». Рівне, 1998. 210 с.

18. Баженов В. А., Гуляр О.І., Рутковський В.А. Методика чисельного моделювання нелінійного деформування та руйнування просторових залізобетонних конструкцій Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ. НДІБК, 2003. Вип. 59. С. 157-162.

19. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Київ. : Мінрегіонбуд України., 2010. 170 с.

20. Вахненко П. Ф. Современные методы расчета железобетонных конструкций на сложные виды деформации Київ. : Будівельник, 1992. 112 с.

21. Еврокод 2: Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1 : Общие правила и правила для зданий: EN 1992-1-1: 2004, CEN, 2004. - 225 с.

22. Барашиков А.Я., Буднікова Л.М., Кузнецов Л.В. Залізобетонні конструкції : підруч., . Київ. : Вища школа, 1995. 591 с.

23. Кваша В. Г., Коваль П.М. Дослідження роботи розширених прогонових будов мостів на моделях .Резерви прогресу в архітектурі та будівництві : зб. праць. Львів, 1995. № 287. С. 51-56.

24. Кваша В. Г. Експериментальні дослідження залізобетонних прольотних будов, розширених приставними елементами Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ. : НДІБК. 1999. Вип. 50. С. 87-94.

25. Кваша В.Г., Іваник І.Г. Особливості просторового розрахунку розширених прольотних будов залізобетонних мостів Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ., 1999. Вип. 50. С. 95-100.

26. Кваша В. Г., Іваник І.Г. Просторовий розрахунок плитно-ребристих систем з врахуванням нелінійного розподілу жорсткості Матеріали Українського міжгалузевого науково-практичного семінару „Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації штучних споруд на шляхах сполучення”. Київ., 1998. С. 104-107.

27. Клованич С. Ф., Безушко Д.И. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций . Одесса : ОНМУ, 2009. 89 с.

28. Клованич С. Ф. Механика железобетона в расчетах конструкций.. Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ. : НДІБК, 2000. Вип. 52. С. 107-115.

29. Клованич С. Ф. Расчет железобетонных конструкций методом конечных элементов при длительных воздействиях Будівельні конструкції :

міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ. : НДІБК, 2005. Вип. 62. Т. 1. С. 518-523.

30. Коваль П. М., Фаль А.Є., Стонович С.В. Ефективні конструкції залізобетонних збірно-монолітних прогонових будов автодорожніх мостів з використанням попередньо напружених балок Теорія і практика будівництва : *збірник наукових праць* відп. ред. З. Я. Бліхарський. Львів : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. № 664. С. 44-52.

31. Кодыш Э. Н., Мамин А.Н. Применение метода дискретных связей для расчета железобетонных конструкций многоэтажных зданий .Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник. Київ. : НДІБК, 2005. Вип. 62. С. 159-164.

32. Козак А. Л. Численное моделирование нелинейных процессов деформирования железобетонных конструкций с учетом трещинообразования : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.17 "Строительная механика" .Киевский техн. ун-т строительства и архитектуры. Київ., 1995. 455 с.

33. Лантух-Лященко А. И. Развитие дискретно-континуальных методов расчета комбинированных систем : автореф. дисс. докт. техн. наук : 05.23.17 "Строительная механика". Київ., 1992. 30 с.

34. Лантух-Лященко А. І. До питання дослідження ортотропних плит Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : респ. міжв. *науково-технічний збірник*. Київ. Будівельник, 1982. Вип. 31. С. 100-103.

35. Лопаттто О. Е. Проектування і монтаж залізобетонних конструкцій Київ. : Вища школа, 1971. 332 с.

36. Мельник О. В. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів коробчастого перерізу з нормальними тріщинами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» Одеса., 2012. 255 с.

37. Мельник О. С. Визначення руйнуючого крутного моменту у залізобетонних елементах порожнистого трикутного перерізу з нормальними тріщинами Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012: Сборник научных трудов. Материалы международной научно-практической конференции, 18-27 дек., 2012 г., г. Одесса. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. Вып.4. Т. 47. С. 88 92.

38. Мельник О. С. Міцність залізобетонних елементів трикутного профілю з нормальними тріщинами за дії крутного моменту. О.С. Мельник Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава, 2012. Вип.2(32). С. 165 170.

39. Павликов А. Н. Определение параметров напряженно-деформируемого состояния обычных косоизгибаемых керамзитбетонных элементов и использование их в расчетах по прочности и раскрытию трещин Тезисы докладов республиканской конференции «Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в сельскохозяйственное строительство». Полтава, 1982. С. 97-98.

40. Павликов Ф. Н., Горик А.В. Расчет строительных конструкций при сложных деформациях. Железобетонные конструкции., Київ. : УМК ВО, 1989. 67 с.

41. Парамонов Д. Ю. Жесткость и прочность железобетонных элементов с нормальными трещинами при изгибе с кручением : дис.. канд. техн. наук 05.23.01 «Будівельні конструкції будівлі та споруди» Одеса., 2012. 290 с.
42. Печеник О. Н. Экспериментально-теоретические исследования работы при изгибе с кручением керамзито-железобетонных элементов прямоугольного сечения дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Львов, 1975.
43. Писаренко Г. С., Квітка О.Л. Опір матеріалів : підручник , Е. С. Уманський. Київ. : Вища школа, 1993. 655 с.
44. Срібняк Н. М. Крутильна жорсткість залізобетонних елементів перекриттів з нормальними тріщинами : дис.... канд. техн. наук : 05.23.01 «Будівельні конструкції будівлі та споруди» Одеса., 2009. 257 с.
45. Стадник В. І. Теоретичні та експериментальні дослідження крутильної жорсткості таврових залізобетонних елементів з нормальними тріщинами при крученні Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2010. Вип. 40. С. 320-327.
46. Стороженко Л. І., Тимошенко В.М., Нижник О.В. Сталезалізобетонні структурні конструкції . Полтава : ПолтНТУ, 2006. 146 с.
47. Стороженко Л. І., Тимошенко В.М., Нижник О.В. Експериментальні дослідження елемента сталезалізобетонної структури, Будівельні конструкції : міжв. науково-техн. зб. Київ. НДІБК, 2005. Вип. 62. С. 331-336.
48. Яременко А. Ф., Балдук П.Г. Механика материалов и конструкций Одесса : Внешрекламсервис, 2001. 254 с.
49. Яременко А. Ф. Прикладная теория длительного деформирования и сопротивления плоских железобетонных элементов : автореф. дис.... докт. техн. наук : 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения". М., 1989.
50. Andersen P. Experiments with Concrete in Torsion SD Journal. ASCE. 1934. № 5. P. 641.
51. Andersen P. Rectengular Concrete Sections Under Torsion ACI Journal. 1937. № 1. P. 1.
52. Bach C., Graf O. Versuche über die Widerstandsfähigkeit von Beton und Eisenbeton gegen Verdrehung Deutscher Ausschuss fur Eisenbeton. 1912. Heft N 16. P. 78.
53. Bishara. A. Prestressed Concrete Beams Under Combined Torsion, Bending, and Shear ACI Journal. 1969. N 7. P. 525.
54. Chalioris C. , Constantin E Analytical model for the torsional behaviour of reinforced concrete beams retrofitted with FRP materials. Engineering Structures. 2007. Vol. 29. № 12. P. 3263-3276.
55. Chalioris C. E., Constantin E., Torsional strengthening of rectangular and flanged beams using carbon fibre-reinforced-polymers : experimental study . Chalioris Construction and Building Materials. 2008. Vol. 22. № 1. P. 21-29.
56. Charan Behera G., T. D. Gunneswara Rao. Torsional capacity of high strength concrete beams jacketed with ferrocement U wraps Asian journal of civil engineering (building and housing). 2008. Vol. 9. № 4. P. 411-422.

57. Deifalla A., Ghobarah A. Simplified Analysis for Torsionally Strengthened RC Beams using FRP Proceedings of the International Symposium on Bond Behavior of FRP in Structures (BBFS 2005) Chen and Teng (eds), International Institute for FRP in Construction. 2005. P. 377-388
58. Evans R. H., Sarkar Method of Ultimate Strength Design of Reinforced Concrete Beams in Combined Bending and Torsion Structural Engineer. 1965. N. 10. P. 337.
59. Evans R. H., Khalil M. G. A. The Behaviour and Rectangular Beams Subjected to Combined Bending and Torsion SE Journal. 1970. N 2. P. 59.
60. GangaRao V. S., Zia. P. Rectangular Prestressed Beams in Torsion and Bending SD Journal ASCE. 1973. N 1. P. 183.
61. Gesund H., Boston L. A. Ultimate Strength in Combined Bending and Torsion of Concrete Beams Containing Only Longitudinal ACI Journal. 1964. N 1 1. P. 1453.
62. Ghobarah A., Ghorbel M. N., Chidiac S. E. Upgrading torsional resistance of reinforced concrete beams using fiber-reinforced polymer, Journal of composites for construction ASCE (American Society of Civil Engineers). 2002 Vol. 6. № 4. P. 257-263.
63. Graf O., Morsch E. Verdrehungsversuche zur Klärung der Schubfestigkeit von Eiseubeton Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Ingenieurwesens. 1922. N 258. P. 52.
64. Gunneswara Rao T. D., Rama Seshu D . Torsional response of fibrous reinforced concrete members : effect of single type of reinforcement , Construction and Building Materials. 2006. Vol. 20. № 3 P. 187-192.
65. Hsu T. T. C., E. L. Kemp. Background and Practical Application of Tentative Design Criteria for Torsion , ACI Journal. 1969. N 1. P. 12.
66. Hsu T. T. C. Torsion of Structural Concrete Behaviors of Reinforced Concrete Rectangular Members Torsion of Structural Concrete : Publication SP-18. ACI. Detroit, Michigan, 1968. P. 261.
67. Hsu T. T. C. Torsion of Structural Concrete-Plain Concrete Rectangular Sections Torsion of Structural Concrete : Publication SP-18. ACI Detroit, Michigan, 1968. P. 203.
68. Hsu T. T. C., Hwang C. S. Torsional Limit Design of Spandrel Beams ACI Journal. 1977. N 2. P. 71.
69. Hsu T. T. C. Ultimate Torque of Reinforced Rectangular Beams SD Journal ASCE. 1968. N 2.P. 485.
70. Iyengar K. T. S., N. Ramprakash .Combined Torsion and Flexure Tests on Reinforced Rectangular Concrete Beams ACI Journal. 1974. N 7. P. 362.
71. Iyengar K. T. S., . Rangan B. V. Factors Infliencing the Strength of Reinforced Concrete Beams Under Combined Bending and Torsion Magazine of Concrete Research. 1969. N 67. P. 91.
72. Iyengar K. T. S., Rangan B.V Strength and Stiffness of Reinforced Concrete Beams under Combined Bending and Torsion. Torsion of Structural Concrete. Publication SP-18. ACI Detroit, Michigan, 1968. P. 403.

73. Kirk D. W., Lash S. D. T-Beams Subject to Combined and Torsion ACI Journal. 1971. N. 2. P. 150.
74. Klus J. P. Ultimate Strength of Reinforced Concrete Beams in Combined Torsion and Shear ACI Journal. 1968. N 3. P. 210.
75. Mansur M. A., Paramasivam P. Reinforced Concrete Beams with small Opening in Bending and Torsion ACI Journal. 1984. N 81. PP. 180-185.
76. McMullen A. E., Warwaruk J. Concrete Beams in Bending, Torsion and Shear SD Journal ASCE. 1970. N 5. P. 885.
77. McMullen A. E., Rangan B. V. Pure Torsion in Rectangular Sections-A Re-Examination ACI Journal. 1978. N. 10. P. 511.
78. McMullen E., Daniel. H. R. Torsional Strength of Longitudinally Reinforced Beams Containing an Opening ACI Journal. 1975. N 72-29. PP. 415-420.
79. Miyamoto T. Torsional Strength of Reinforced Concrete CCE Journal. 1972. № 11. P. 637.
80. Morsch E. Der Eisenbetonbau, sein Theorie und Anwerdung. 1923. I Band. 2 Hälfte.
81. Mukherjee P. R. Warwaruk J. Torsion, Bending and Shear in Prestressed Concrete , SD Journal ASCE. 1971. N. 4. P. 1063.
82. Panchacharam S., Belarbi A. Torsional behavior of reinforced concrete beams strengthened with FRP composites First FIB Congress. Osaka, Japan, 2002. P. 1-11.
83. Rahal Khaldoun N. Combined Torsion and Bending in Reinforced and Prestressed Concrete Beams Using Simplified Method for Combined Stress-Resultants ACI Structural Journal. 2007. July.
84. H. Gesund, F. J. Schuette, G. R. Buchanan, G. A. Gray .Ultimate Strength in Combined Bending and Torsion of Concrete Beams Containing Both Longitudinal and Transverse Reinforcement ACI Journal. 1964. N 12. P. 1509.
85. Victor D. J., Ferguson P. M Beams under Distributed Creating Moment, Shear, and Torsion ACI Journal. 1968. N 4. P. 295.
86. Victor D. J., Muthukrishnan R. Effect of Stirrups Ultimate Torque of Reinforced Concrete Beams ACI Journal. 1973. N 4. P. 300.
87. Victor D. J. Effective Flange Width in Torsion ACI Journal. 1971. N 1. P. 42.
88. Victor D. J., Aravindan P. K. Prestressed and Reinforced Concrete T-Beams under Combined Bending and Torsion ACI Journal. 1978. N 10. P. 526.
89. Victor D. J., Ferguson P. M. Reinforced Concrete T-Beams Without Stirrups under Combined Moment and Torsion ACI Journal. 1968. N 1. P. 29.
90. Victor D. J., Lakshmanan N., Muthukrishnan R. Ultimate Strength of Reinforced Concrete Beams under Combined Torsion Journal of the Institution of Engineers (India) Civil Engineering Division. 1974. Vol. 54. January. PP. 84-90.
91. Wafa F., Abul Hasnat, Ali Akhtaruzzaman. A.Prestressed Concrete Beams with Opening under and Bending Journal of Structural Engineering ASCE. 1989. N. 11. Vol. 115. PP. 2727-2739.

92. Young C. Steven., Samuel W. Easterling ..Strength of composite slabs
Steven Recent Res. and Dev. Cold-Form. Steel Des. and Constr. 10-th Int. Spec.
Conf. Cold-Formed Steel Struct., St. Louis, Mo, Oct. 23-24; 1990. PP. 65-80.
93. Young G. R., Sagar W. L, Hughes C. A. Torsional Strength of
Rectengular Concrete Sections CCE Journal. 1973. № 10. P. 674.
94. Zia P., Cardenas R. Combined Bending and Torsion of Reinforced Plaster
Model Beams Torsion of Structural Concrete Publication SP-18. ACI Detroit,
Michigan, 1968. P. 337.
95. Zia P. Torsional Strength of Prestressed Concrete Members ACI Journal.
1961. N 10. P. 1337.
96. Zia P. What do We Know about Torsion in Concrete Members? SD
Journal ASCE. 1970. N 6. P. 1185.