

УДК 004.942 : 624.046.2 : 624.073.5

¹ **А. В. Томашевський**, аспірант кафедри комп'ютерних технологій будівництва, ORCID: 0000-0001-5960-2100

¹ Національний авіаційний університет, Київ, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДИК КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНКУ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ, ПІДСИЛЕНИХ РЕБРАМИ

Анотація. У статті пропонується огляд застосовуваних в Україні методик комп'ютерного моделювання та розрахунку армування залізобетонних плит, підсилені ребрами. Розглядаються основоположні гіпотези і допущення представлених методик, аналізується можливість втілення вимог нормативних документів у автоматизованих розрахунках. За результатами чисельних експериментів підтверджується наявність зв'язку між характером розподілу нормальних напружень у перерізі елемента ребра та шириною зони плити, що включається в роботу ребра на згин. Наголошується необхідність розробки універсальної методики розрахунку таких конструкцій, придатної до втілення в сучасних програмних комплексах на основі методу скінченних елементів, що реалізують технологію інформаційного моделювання будівель (BIM). Розрахункові зусилля в елементах монолітних ребристих перекриттів визначають з урахуванням пластичних деформацій. В основі цього підходу покладено припущення про утворення зі збільшенням навантаження в статично невизначуваних системах пластичних шарнірів, кожен з яких призводить до зниження статичної невизначуваності системи на один ступінь. Поява пластичних шарнірів призводить до перерозподілу згинальних моментів, що обчислюється статичним чи кінематичним способом. У загальному випадку сума прольотного моменту та половин опорних моментів для прольоту нерозрізної балки завжди дорівнює прольотному моменту в аналогічній однопрольотній балці. Тобто співвідношення опорних і прольотних моментів не впливає на несучу здатність статично невизначуваної системи в цілому, а лише обумовлює порядок утворення пластичних шарнірів. Поява пластичних шарнірів у залізобетонних конструкціях зумовлена текучістю розтягнутої арматури та утворенням зон надмірних деформацій бетону з тріщинами. Отже, розрахункові зусилля в елементах монолітного ребристого перекриття визначаються з огляду на вид армування (зварні рулонні сітки, жорсткі плоскі сітки або в'язана арматура) та бажану для проектувальника схему розподілу моментів.

Ключові слова: монолітне ребристе перекриття; залізобетонна ребриста плита; розрахунок армування; метод скінченних елементів.

Постановка проблеми

Залізобетонні плити, підсилені ребрами, набули широкого використання в практиці проектування. До конструкцій такого типу можна віднести монолітні ребристі перекриття, збірні залізобетонні ребристі плити, залізобетонні плити, підсилені сталевими ребрами тощо. Спільною рисою таких конструкцій є те, що їх можна віднести до комбінованих будівельних систем, в яких елементи за рахунок взаємного розташування і способу кріплення працюють сумісно, компенсуючи недоліки один одного, перетворюючи систему на єдине ціле та підвищуючи ефективність роботи конструкції в цілому.

Існують окремі рекомендації для розрахунку та підходи до комп'ютерного моделювання вищевказаних конструкцій, проте розробка узагальнюючої методики, придатної до застосування в сучасних системах автоматизованого проектування, є досі актуальним питанням.

Метою роботи є виконання огляду й критичного аналізу відомих в Україні методик комп'ютерного моделювання і розрахунку залізобетонних ребристих плит, виділення їхніх переваг й недоліків, визначення доцільності їхнього застосування в сучасних автоматизованих розрахунках

Методика ручного розрахунку залізобетонних плит, підсилені ребрами

Класична методика ручного розрахунку монолітних залізобетонних плит, підсилені ребрами, як

статично невизначуваних систем ґрунтується на методі граничної рівноваги. Згідно з даним методом руйнування конструкції відбувається за рахунок надмірного росту загальних незворотних деформацій без повного руйнування будь-якої частини конструкції. Деформаціями конструкцій до моменту вичерпання їхньої несної здатності нехтують [1, с. 11].

Плити монолітних ребристих перекриттів розрізняють за принципом роботи залежно від співвідношення їхніх прольотів у взаємно перпендикулярних напрямках та схеми розташування опор, поділяючи їх на балкові, тобто такі, що працюють в одному напрямку, та на оперті по контуру, що працюють як системи плоских трикутних або трапецієподібних сегментів, поєднаних між собою пластичними шарнірами [2, с. 425].

Другорядні балки розраховують як багатопрольотні нерозрізні, шарнірно оперті на головні балки, завантажені рівномірно розподіленим навантаженням. Обвідну епюру моментів в них будують в залежності від співвідношення між постійним та тимчасовим навантаженням на балки. Головні балки розраховують подібним чином, але навантаження приймають у вигляді зосереджених сил, що прикладаються в місцях спирання другорядних балок. Розрахункові зусилля в головних балках обчислюють як в пружній системі залежно від розрахункової схеми та різних комбінацій тимчасового навантаження. Розрахункові перерізи балок приймають тавровими в тих точках, де плита перебуває в стиснутій зоні,

та прямокутними, де робота плити в розтягнутій зоні умовно не враховується.

Розрахункові зусилля в елементах монолітних ребристих перекриттів визначають з урахуванням пластичних деформацій. В основі цього підходу покладено припущення про утворення зі збільшенням навантаження в статично невизначуваних системах пластичних шарнірів, кожен з яких призводить до зниження статичної невизначуваності системи на один ступінь. Поява пластичних шарнірів призводить до перерозподілу згинальних моментів, що обчислюється статичним чи кінематичним способом. У загальному випадку сума прольотного моменту та половин опорних моментів для прольоту нерозрізної балки завжди дорівнює прольотному моменту в аналогічній однопрольотній балці. Тобто співвідношення опорних і прольотних моментів не впливає на несучу здатність статично невизначуваної системи в цілому, а лише обумовлює порядок утворення пластичних шарнірів. Поява пластичних шарнірів у залізобетонних конструкціях зумовлена текучістю розтягнутої арматури та утворенням зон надмірних деформацій бетону з тріщинами. Отже, розрахункові зусилля в елементах монолітного ребристого перекриття визначаються з огляду на вид армування (зварні рулонні сітки, жорсткі плоскі сітки або в'язана арматура) та бажану для проектувальника схему розподілу моментів [2, с. 430].

Перелічені розрахункові схеми елементів монолітного ребристого перекриття є певною ідеалізацією, необхідною для переходу від розглядання дійсної роботи просторових конструкцій до аналізу їхньої роботи за плоскими розрахунковими схемами. Класична методика також певною мірою враховує нелінійні властивості залізобетону за рахунок введення пластичних шарнірів. Однак можна виділити наступні обставини, що ставлять під сумнів доцільність застосування даної розрахункової методики в сучасних, у тому числі автоматизованих, розрахунках:

- Поділ плит перекриттів на балкові та оперті по контуру є умовним та може бути виконаний лише для прямокутних в плані плит, завантажених рівномірно розподіленим навантаженням, при ортогональному розташуванні ребер. Методика також може бути застосована лише для плоских плит. Слід зазначити, що сучасні будівлі все частіше мають нестандартні конструктивні схеми з довільним розташуванням отворів та ребер плит, а навантаження не завжди можна прийняти рівномірно розподіленими по всій площі плит.

- Неможливо чітко виділити головні та другорядні балки, тобто визначити які елементи є опорами для інших елементів, адже у багаторазово статично невизначуваних системах кожен елемент вносить свій вклад у загальну жорсткість конструкції.

- Розрахунок ведеться на одну комбінацію навантажень, у той час як надійний та водночас економічний розрахунок армування слід проводити з урахуванням багатьох розрахункових сполучень навантажень і зусиль.

- Призначення ефективної ширини полиці таврового перерізу балки вимагає певного теоретичного обґрунтування.

- Для розрахунку армування визначаються

лише згинальні моменти та поперечні сили за наближеною методикою. Вплив поперечних ребер, згинальні моменти в яких повинні прикладатись як крутні моменти в поздовжніх ребрах, не враховується.

- Ребра вважаються шарнірними нерухомими опорами для плити, у той час як в дійсності ребра поєднані з плитою жорстко та набувають певного прогину.

Методики комп'ютерного моделювання залізобетонних плит, підсиленіх ребрами

У сучасних автоматизованих розрахунках, що базуються на методі скінченних елементів (МСЕ) використовуються одновимірні (стержні), двовимірні (оболонки) та тривимірні (об'ємні тіла) скінченні елементи. Розрахунок конструкцій з використанням об'ємних тіл дозволяє висвітлити характер розподілу внутрішніх зусиль в елементах конструкцій, що може бути використано в дослідницьких задачах. Проте в практиці проектування за умови, що розрахункові схеми містять значну кількість скінченних елементів, для яких необхідно виконувати автоматизовані розрахунки армування, застосовують переважно скінченні елементи просторових стержнів і оболонок. При цьому першочерговим питанням стає спосіб моделювання жорсткості ребра та його поєднання з плитою, а також вплив цих чинників на результати підбору армування в ребрах і плитах.

Моделювання ребра елементами оболонок. Ребро плити може бути змодельоване за допомогою оболонкових скінченних елементів. Елементи ребра можуть бути розташовані перпендикулярно (рис. 1, а) або паралельно площині плити, являючи собою локальне потовщення плити на місці ребра (рис. 1, б). При такому підході вирішується задача суцільності скінченно-елементної моделі, адже розподіл внутрішніх зусиль та деформацій в оболонкових елементах плити та ребер, поєднаних вузлами, відбувається рівномірно вздовж граней скінченних елементів. Однак на етапі конструювання такий підхід викликає певні труднощі. Так, арматура в згинному елементі має бути розташована переважно біля коротких граней поперечного перерізу, а не розподілена рівномірно по площі бічних граней, як це впливає зі способу конструювання оболонкових елементів. Таким чином, внутрішні зусилля й переміщення, одержані в результаті розрахунку на міцність, хоча й відповідають певною мірою дійсній роботі конструкції, не можуть бути застосовані для розрахунку армування.

Моделювання ребра стержнем таврового перерізу. Ребро плити може бути змодельоване як стержень таврового перерізу (рис. 2). Такий підхід дозволяє врахувати вплив жорсткості плити на переміщення й внутрішні зусилля в стержневому елементі, а також правильно виконати конструювання ребра як згинного стержневого елемента за умови, що арматура буде розташована лише в межах стінки тавра. Поздовжня вісь елемента ребра знаходиться в площині плити. Ексцентриситет, що виникає між нейтральною площиною плити та поздовжньою віссю ребра, враховується самим перерізним елементом: товщина полиці тавра відповідає товщині плити, стінка тавра повторює обрис поперечного перерізу прямо-

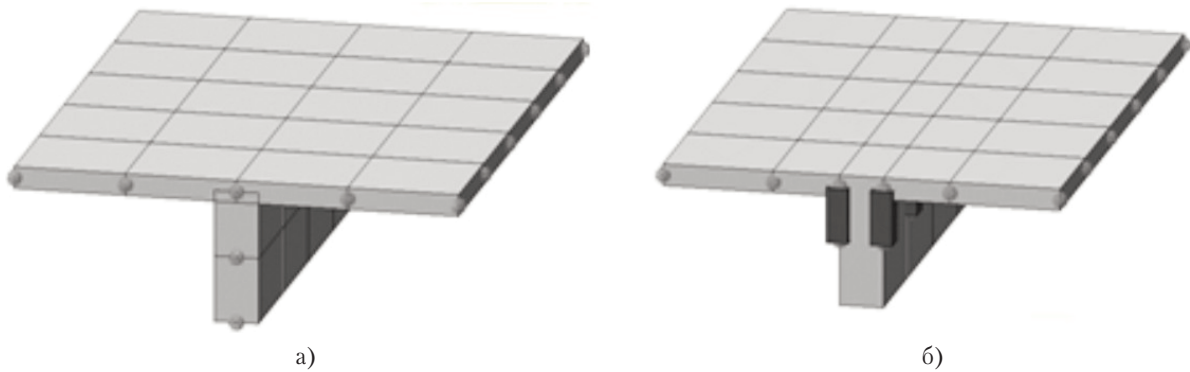


Рис. 1. Моделювання ребра елементами оболонок: а) з розташуванням перпендикулярно плиті; б) з розташуванням у площині плити

кутної балки. Стержневий елемент сприймає мембранну (полицю, що моделює частину плити, включену в роботу ребра) й згинну групи зусиль, елементи плити – лише згинну. Слід зазначити, що така модель призводить до підвищення і загальної жорсткості системи, і навантаження від власної ваги конструкцій при його автоматичному розрахунку та вимагає коригувань інженера для одержання більш точних результатів. Полиця тавра в цьому випадку дублює плиту, тобто ця частина конструкції враховується двічі. Однак таке припущення можна вважати прийнятним, оскільки мембранна група зусиль сприймається плитою із значним запасом. Окремим завданням постає визначення ширини полиці тавра, що вводиться в розрахунок. Існують об'єктивні чинники, що обмежують ширину полиці перерізу та можуть бути враховані інженером при моделюванні: отвори та зовнішні межі плити, сусідні ребра та вертикальні елементи, що виступають опорами для перекриття. Окрім них, ширина полиці при розрахунку обмежується також певною робочою (ефективною) величиною, визначення якої пропонується за відповідними нормативними документами з проектування залізобетонних конструкцій. Передбачається, що в межах цієї величини розподіл мембранних напружень можна вважати рівномірним.

Згідно СНіП [3, п. 3.16] ефективна ширина полиці визначається з урахуванням прольоту елемента, товщини плити, наявності або відсутності поперечних та інших поздовжніх ребер. З аналізу вимог випливає, що ширину полиці пропонується призначати тим більшою, чим більшим є співвідношення між товщиною плити та повною висотою прямокутного перерізу ребра, тобто чим більшим є потенційний вклад полиці в загальну роботу перерізу. Втілення даних норм в автоматизованих розрахунках пов'язане з певними труднощами, адже скін-

ченно-елементна модель в такому разі повинна бути доповнена інформацією про топологію конструктивної схеми, яку вона відображає, а також поняттям «поздовжнє» та «поперечне» ребро мають бути надані чіткі визначення для схем з неортогональним розташуванням ребер.

У Єврокодi [4, п. 5.3.2.1] та ДБН [5, п. 5.3.2.1] пропонується визначати робочу ширину полиці з урахуванням прольотних відстаней елемента, що вимірюються між точками з нульовими моментами в елементі. Припущення про зв'язок між точками нульових моментів у балці та величиною ділянки плити, що включається в її роботу, вимагає додаткової перевірки. Застосування даного підходу в автоматизованих розрахунках передбачає визначення окремих форм перерізів (і як наслідок – армування) для кожного із розрахункових сполучень навантажень оскільки епора моментів в елементі змінюватиметься. Такий підхід також не може бути застосований при автоматизованому розрахунку армування за розрахунковими сполученнями зусиль.

Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу, розміщеним з ексцентриситетом відносно плити. З точки зору відображення дійсної форми конструкції в скінченно-елементній розрахунковій схемі найбільш вдалим буде моделювання ребра плити за допомогою стержневого елемента прямокутного перерізу, що з певним ексцентриситетом пов'язаний з елементами плити. Ексцентриситет формується за допомогою жорстких вставок або абсолютно жорстких тіл ($EI \rightarrow \infty$), принципом яких є забезпечення відповідності переміщень вузлів елементів плити та відповідних поєднаних з ними вузлів гнучкої частини стержневого елемента.

Ребро може бути змодельоване стержнем повної висоти, включно з товщиною плити (рис. 3, а), або в своїх дійсних розмірах – як прямокутний брус, що

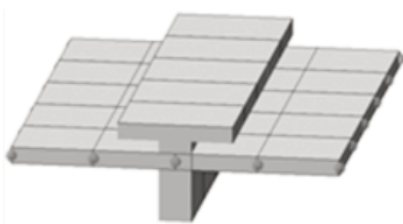
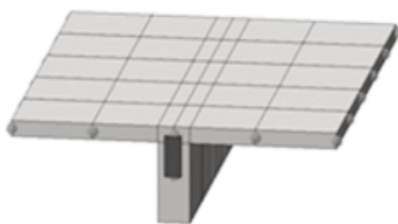
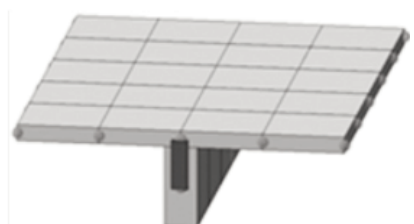


Рис. 2. Моделювання ребра тавровим стержнем



а)



б)

Рис. 3. Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу з ексцентриситетом: а) з перетином плити; б) з примиканням до плити.

знизу прилягає до плити (рис. 3, б). У першому випадку, як і для стержня таврового перерізу, частина конструкції дублюється.

Моделювання поєднання елементів з ексцентриситетом призводить до появи в елементах плити та стержні мембранної групи зусиль. Отже, плита має бути змодельована скінченними елементами типу «оболонка» для сприйняття відповідних зусиль. Елемент ребра в такому разі одержує поздовжню силу. Розрахунок в лінійній постановці задачі за першою групою граничних станів дає задовільні результати внутрішніх зусиль, що певною мірою відображають дійсну роботу конструкції. Однак поява в елементі ребра значного поздовжнього зусилля може призвести до того, що при автоматизованому підборі армування (особливо за методом розрахункових сполучень зусиль) такий елемент буде законструйований як позацентрово розтягнутий (позацентрово стиснутий), а не згинний [6].

Моделювання ребра стержнем прямокутного перерізу, розміщеним з ексцентриситетом відносно плити, з перерахунком зусиль. Оскільки елемент ребра завідомо розглядається як згинний, то для правильного автоматизованого підбору армування можна виконати в ньому перерахунок внутрішніх зусиль з метою уникнення поздовжнього зусилля. Декілька таких методів були запропоновані О. С. Городецьким [7, с. 25]. Ребро пропонується розраховувати як елемент прямокутного перерізу, а конструювати як тавровий елемент, що сприймає лише зусилля згину. Ширина полиці тавра (тобто частина плити, що включається в роботу ребра) визначається на основі співвідношень зусиль в прямокутному перерізі.

Перший підхід ґрунтується на припущенні, що мембранні сили плити, які зрівноважують нормальну силу в стержні N_{cm} , розподілені рівномірно в полиці тавра, а їхня рівнодіюча прикладена в центральній площині плити, у місці поєднання стержня жорсткою вставкою h_b з плитою. Можемо розрахувати балковий момент M_b в елементі ребра за формулою (1):

$$M_b = M_{cm} + N_{cm} \cdot h_b \quad (1)$$

Зважаючи на нерівномірний розподіл згинального моменту M_c та поздовжньої сили N_c по довжині балки, рекомендується для визначення балкового моменту брати їхні осереднені значення в суміжних перерізах скінченних елементів. Поперечну силу в елементі можна розрахувати за формулою (2) як суму відповідних внутрішніх зусиль у скінченному елементі стержня Q_{cm} та елементах плити $Q_{nl,i}$, що увійшли до утвореного таврового перерізу:

$$Q = Q_{cm} + \sum Q_{nl,i} \quad (2)$$

Для визначення ширини полиці в пл тавра за формулою (3) в елементі пропонується прийняти, що в граничному стані перерізу напруження в полиці дорівнюватимуть розрахунковій міцності бетону на стиск R_b :

$$b_{nl} = N_{cm} / (b_n \cdot R_b) \quad (3)$$

Оскільки припущення про розподіл напружень в плиті та про рівність цих напружень розрахунковій міцності бетону на стиск є достатньо грубими, другий підхід ґрунтується на побудові епюр нормальних напружень в перерізах елемента по їхній вертикальній центральній осі симетрії (рис. 4). Згідно з гіпотезою плоских перерізів пропонується розрахувати

нормальні напруження на рівні нижньої грані ребра $\sigma_{т,н}$ та на рівні стику ребра з плитою $\sigma_{т,в}$ та екстраполювати напруження в зону плити $\sigma_{пл}$ за формулою (4):

$$\sigma(z) = -z \cdot M_{cm} / I_{cm} + N_{cm} / A_{cm} \quad (4)$$

Далі визначається величина та положення рівнодіючих напружень в стержні та плиті з умови рівноваги рівнодіючих напружень розтягу $R_{розт}$ та стиску $R_{стиск}$ в елементі ($\sum R = 0$). Балковий момент визначається за формулою (5) як добуток рівнодіючої напружень розтягу чи стиску в перерізі елемента на плече z між цією парою сил. Ефективна ширина полиці тавра b_{nl} , що вводиться в розрахунок, приймається такою, що забезпечує рівномірний розподіл визначених напружень у плиті. Вона визначається з виразу рівнодіючої напружень в зоні плити за формулою (6):

$$M_b = R_{розт} \cdot z; \quad (5)$$

$$b_{nl} = R_{стиск} / (0,5 \cdot \sigma_{nl} \cdot y). \quad (6)$$

Зуважимо, що вказані підходи пропонують виконувати лише перерахунок зусиль, що описують роботу стержневого елемента в площині, однак робота з площини та кручення елемента залишаються поза увагою. Для ребристих плит з ортогональним розташуванням балок це можна вважати справедливим, якщо припустити, що балкові зусилля з площини та кручення будуть сприйняті плитою та перпендикулярними балками. Щоб досягти такого ефекту при розрахунку за МСЕ, інженерові необхідно знизити відповідні жорсткісні характеристики елементів розрахункової схеми.

Чисельні експерименти

Розглянемо результати чисельних експериментів, виконаних за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР [8]. Розрахункова схема, що моделювалася, (рис. 5) представлена плитою розмірами 6×6 м у плані і товщиною 0,2 м, що вільно лежить на двох опорах та підперта посередині ребром розмірами $0,3 \times 0,4$ м. На плиту прикладене вертикальне рівномірне розподілене навантаження $1,5$ тс/м², власною вагою елементів нехтуємо.

Розрахункова схема була змодельована за наведеними вище методиками в кількох варіантах, з граничним розміром скінченного елемента 0,5, 0,25, 0,1 та 0,05 м. У якості контрольної застосовано модель, виконану з об'ємних скінченних елементів кубічної форми з розміром 0,05 м. Для моделювання застосовувалися скінченні елементи типу просторовий стержень (№ 10), просторова оболонка (№ 40) та просторовий об'ємний елемент (№ 36). Усім елементам були надані такі властивості матеріалів: модуль Юнга $3 \cdot 10^6$ тс/м² та коефіцієнт Пуассона 0,2.

Були розраховані прогини плити над ребром посередині прольоту та зусилля у відповідному перерізі ребра в статичній лінійній постановці задачі. Для стержневих елементів прямокутного перерізу з метою визначення балкового згинального моменту, був виконаний перерахунок зусиль за спрощеною методикою (формула (1)) та за методом визначення нормальних напружень у перерізі (формули (4) – (6)). Результати наведені в таблиці 1.

Щоб визначити зусилля в ребрі в моделі з об'ємних скінченних елементів, скористаємося розрахунком навантажень на фрагмент схеми. Таким фраг-

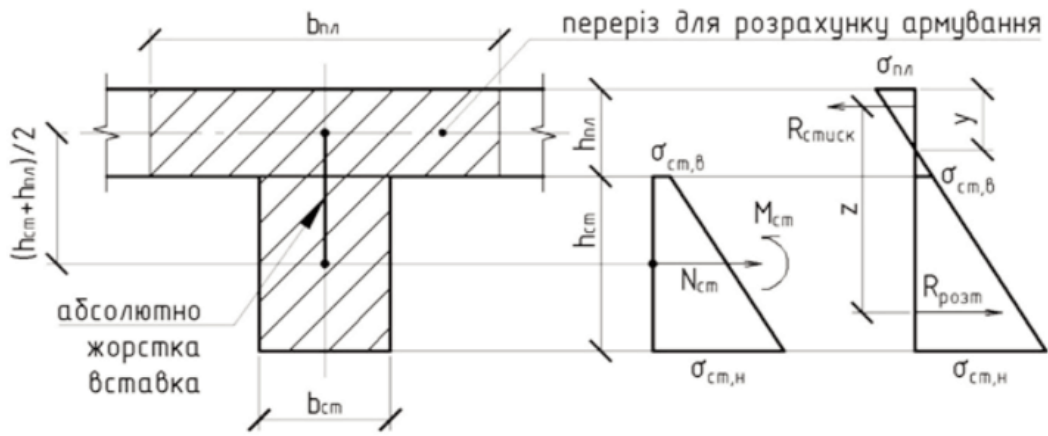


Рис. 4. Схеми до перерахунку внутрішніх зусиль

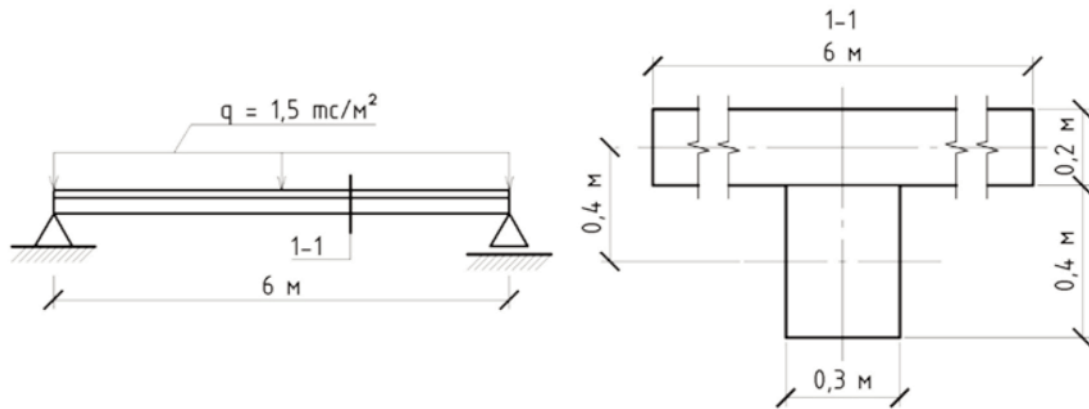


Рис. 5. Розрахункова схема до чисельних експериментів

Таблиця 1.

Результати чисельних експериментів

Номер варіанта моделі	Метод моделювання ребра	Розмір СЕ, м	Прогин плити, мм	Згинальний момент, тс·м			Ширина полиці розрахункового перерізу, м
				у перерізі елемента	за спрощеною методикою	за нормальними напруженнями	
1.1	Оболонка товщиною 0,3 м перпендикулярно плиті	0.50	3.110				
1.2		0.25	3.322				
1.3		0.10	3.386				
1.4		0.05	3.396				
2.1	Оболонка товщиною 0,6 м паралельно плиті	0.50	3.337				
2.2		0.25	3.342				
2.3		0.10	3.340				
2.4		0.05	3.340				
3.1	Тавр з полицею 1,2 × 0,2 м та стінкою 0,3 × 0,4 м	0.50	3.440	26.873			
3.2		0.25	3.443	26.790			
3.3		0.10	3.442	26.751			
3.3		0.05	3.442	26.747			
4.1	Прямокутник 0,3 × 0,6 м, що перетинає плити	0.50	3.229	14.283	27.538		
4.2		0.25	3.224	14.110	27.484		
4.3		0.10	3.218	14.044	27.457		
4.4		0.05	3.218	14.037	27.455		
5.1	Прямокутник 0,3 × 0,4 м, що примикає до плити	0.50	3.377	4.572	27.063	30.135	1.612
5.2		0.25	3.335	4.360	27.143	30.878	2.056
5.3		0.10	3.317	4.289	27.155	31.181	2.252
5.4		0.05	3.315	4.280	27.157	31.226	2.280
6	Об'ємні скінченні елементи	0.05	3.381			26.081	1.500

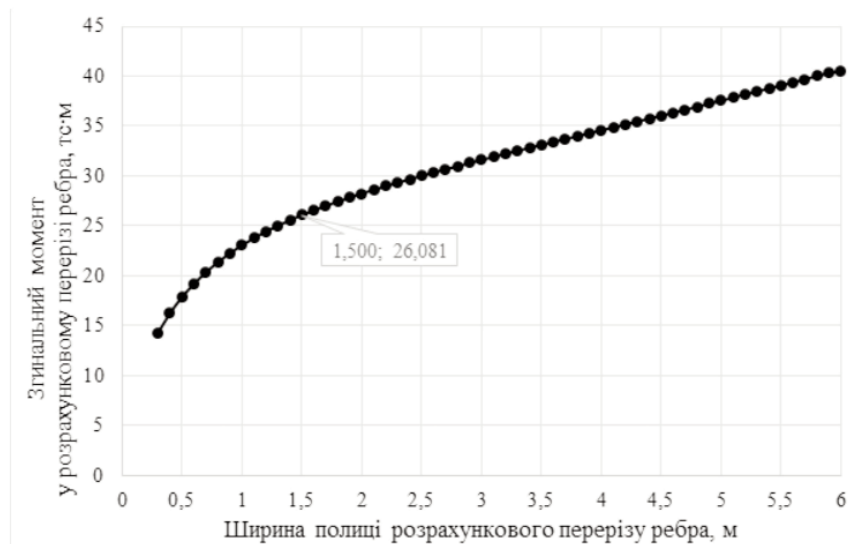


Рис. 6. Залежність згинального моменту від ширини полиці розрахункового перерізу ребра

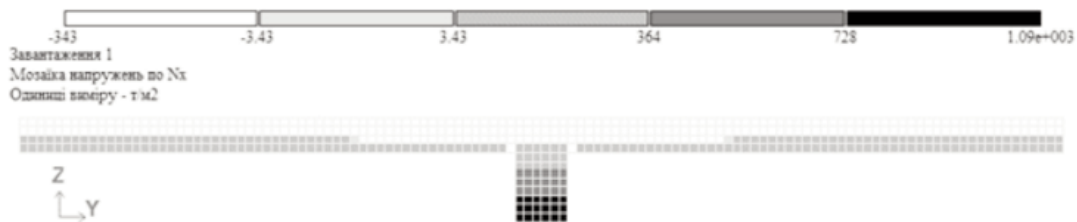


Рис. 7. Нормальні напруження в перерізі плити та ребра

ментом буде набір вузлів та елементів у відповідному перерізі плити та ребра. Згинальний момент у цьому перерізі можна визначити як суму добутків вузлових реакцій в елементах на відстань по вертикалі між відповідним вузлом та центром ваги перерізу. Розрахунковим перерізом ребра, що працює сумісно з плитою буде тавр, при цьому постає питання про обмеження ширини його полиці. На рис. 6 наведена залежність між шириною полиці таврового перерізу та одержаним згинальним моментом.

Як бачимо, величина моменту зростає нелінійно до певної точки на графіку, після чого залежність стає фактично прямою. Можна припустити, що ця точка й обмежує зону сумісної роботи плити та ребра. В умовах поставленої задачі ця точка приблизно відповідає ширині полиці плити 1,5 м та величині моменту 26,081 тс · м. При аналізі нормальних напружень в скінченних елементах, що утворюють розрахунковий переріз, також видно, що ця точка знаходиться в тому діапазоні, де плита переходить в режим симетричної роботи по товщині (рис. 7).

Висновки та перспективи подальших досліджень

У ході аналізу методик розрахунку армування залізобетонних плит, підсилених ребрами, були одержані наступні висновки:

– Існуючі в Україні методики ручного розрахунку та комп’ютерного моделювання таких конструкцій містять значну кількість припущень та інженерних умовностей. Це пов’язано з необхідністю спрощення розрахункових схем конструкцій складних комбінованих будівельних систем, елементи яких

працюють взаємопов’язано.

– Впровадження класичної методики ручного розрахунку, а також вимог застосовуваних на території СНД нормативних документів в автоматизовані розрахунки за МСЕ є недоцільним.

– Розглянуті методики комп’ютерного моделювання залізобетонних плит, підсилених ребрами, дають подібні результати, однак кожна з них містить власні недоліки, що призводить до труднощів при застосуванні їх у практиці сучасного будівельного проектування.

– Застосування методики моделювання ребра за допомогою стержня прямокутного перерізу, розміщеного відносно плити з ексцентриситетом, з подальшим перерахунком зусиль за нормальними напруженнями в перерізі ребра є доцільним у практиці проектування. Цей підхід є найбільш економічним з точки зору МСЕ. Однак при цьому існує потреба в додатковому теоретичному обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні положень про роботу елемента з площини та на кручення. Також поза увагою залишається вплив ребра на внутрішні зусилля й армування елементів плити.

– Дослідження розрахункових моделей з об’ємних скінченних елементів підтвердило наявність зв’язку між характером розподілу нормальних напружень в елементах та шириною зони плити, що включається в роботу ребра на згин.

– Необхідна розробка узагальнюючої методики комп’ютерного моделювання та розрахунку таких конструкцій на основі МСЕ, що дозволила б максимально автоматизувати процес: мінімізувати обсяг вихідних даних, виключити необхідність створення проміжних

розрахункових моделей або виконання проміжних ручних розрахунків. Така методика має ґрунтуватися на автоматизованому аналізі взаємовпливу елементів комбінованих будівельних систем. Необхідно визначи-

ти спільні принципи роботи взаємопов'язаних конструктивних елементів, щоб мати можливість застосувати ці принципи для розрахунку конструкцій комбінованих будівельних систем різних класів.

Література

1. *Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций* / Научно исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ). Москва : Стройиздат, 1975. 192 с.
2. *Залізобетонні конструкції : Підручник* / А. Я. Барашиков, Л. М. Буднікова, Л. В. Кузнецов та ін. ; за ред. А. Я. Барашикова. Київ : Вища школа, 1995. 591 с. : іл.
3. СНиП 2.03.01-84*. *Бетонные и железобетонные конструкции*. Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 80 с.
4. *ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT)*. Вид. оф. [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. 301 с.
5. *ДБН В.2.6-98:2009. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. Вид. оф. [На заміну СНиП 2.03.01-84*; чинний від 2011-06-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 73 с.
6. *Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий // CADmaster. 2004. № 3. С. 78–83.*
7. *Городецкий А. С., Батрак Л. Г., Городецкий Д. А., Лазнюк М. В., Юсипенко С. В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии)*. Киев : Факт, 2004. 106 с. : ил.
8. *Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства : Монография*. Киев : Сталь, 2014. 301 с.

References

1. *Guidelines for the calculation of statically indeterminate reinforced concrete structures*. NIIZhB. Moscow, Stroiizdat, 1975.
2. *A. Ya. Barashikov, L. M. Budnikova, L. V. Kuznetsov, Reinforced concrete structures*. Kyiv, Vyscha shkola, 1995.
3. *SNiP 2.03.01-84*. Concrete and reinforced concrete structures*. Moscow: TsITP Gosstroya SSSR, 1989.
4. *DSTU-N B EN 1992-1-1:2010. Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-1. General rules and regulations for structures (EN 1992-1-1:2004, IDT)*. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2012.
5. *DBN V.2.6-98:2009. Concrete and reinforced concrete structures. General rules*. Kyiv, Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011.
6. *L. Skoruk. "Search for effective design models for ribbed reinforced concrete slabs and floors", CADmaster, vol 3, pp. 78–83, 2004.*
7. *A. S. Gorodetskiy, L. G. Batrak, D. A. Gorodetskiy, M. V. Laznyuk, S. V. Yusipenko. Calculation and design of structures of high-rise buildings from reinforced concrete (problems, experience, possible solutions and recommendations, computer models, information technology).. Kyiv, Fakt, 2004.*
8. *M. S. Barabash. Computer simulation of construction objects' life cycle processes : Monograph*. Kyiv: Stal, 2014. 301 p.

¹ **A. V. Tomashevskiy** graduate student of the department of computer technology of construction, ORCID: 0000-0001-5960-2100

¹ National Aviation University, Kyiv

PROBLEMS OF COMPUTER STRUCTURAL ANALYSIS AND REINFORCEMENT CALCULATION TECHNIQUES OF REINFORCED CONCRETE RIBBED SLABS

Abstract. *This paper proposes an overview of computer structural analysis and reinforcement calculation techniques of reinforced concrete ribbed slabs that are used in Ukraine. It considers the fundamental hypotheses and assumptions of these techniques and analyzes the possibility of implementation of the building codes' requirements into automated calculations. Numerical experiments confirm the existence of a relationship between the normal stress distribution pattern in the rib's cross section and the width of the slab zone, which participates in the rib's bending. We conclude the need to develop a generalizing methodology of FEM structural analysis for such structures, which could be implemented in modern FEM-analysis packages implementing building information modelling technology (BIM).*

Design forces in the elements of monolithic ribbed floors are determined taking into account plastic deformations. This approach is based on the assumption of the formation with increasing load in statically indeterminate systems of plastic hinges, each of which leads to a decrease in the static indeterminacy of the system by one degree. The appearance of plastic hinges leads to a redistribution of bending moments, which is calculated using a static or kinematic method. In the general case, the sum of the span moment and half of the support moments for the span of a single-span beam is always equal to the span moment in a similar single-span beam. That is, the ratio of support and span moments does not affect the bearing capacity of the statically indeterminate system as a whole, but only determines the order of formation of plastic hinges.

Keywords: *monolithic ribbed overlap, reinforced concrete ribbed slab, reinforcement calculation, finite element method.*