

Рівне, 2000. – С. 211 – 215. 9. Мельник І.В., Паньків М.І. Міцність і деформативність бетонних блоків стін підвалів з відкритими порожнинами при центральному навантаженні // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Вип. 5. – Рівне, 2001. – С. 198 – 202. 10. Мельник І.В., Паньків М.І. Експериментальні дослідження бетонних блоків з відкритими порожнинами // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Теорія і практика будівництва". 2002. – №441. – С. 137–142.

УДК 624.012

І.В. Мельник, В.М. Сорохтей

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра мостів та будівельної механіки

КОНСТРУЮВАННЯ ПЛОСКИХ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЕРЕКРИТТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТИВНИХ ВСТАВОК РІЗНИХ ФОРМ

© Мельник І.В., Сорохтей В.М., 2009

Подано конструктивні рішення монолітних плоских залізобетонних перекриттів з ефективними вставками та досвід використання на практиці.

The of principles structural decisions of the monolithic flat RC ceilings of the complicated configuration in a plan with effective insertions.

Постановка проблеми. В останні роки стрімко зростає улаштування монолітних залізобетонних перекриттів у будівлях різного призначення, особливо монолітних плоских перекриттів.

Основними перевагами таких перекриттів є:

- робота в обидвох напрямках (для перекриттів квадратної форми в плані і більшості перекриттів прямокутної форми в плані);
- простота виготовлення з використанням широко розповсюдженої горизонтальної плоскої опалубки;
- можливість улаштовувати перекриття без вантажопідйомних механізмів, що важливо під час виконання робіт у малогабаритних місцях і стиснутих умовах будівництва (зокрема в районах щільної забудови, під час реконструкції будівель) чи у важкодоступних місцях (наприклад, у гірських районах);
- висока вогнестійкість, що забезпечується цільністю конструкції і сумісною роботою її елементів в обидвох напрямках;
- високі естетичні та експлуатаційні показники за рахунок гладкої рівної суцільної стелі (у таких перекриттях, на відміну від збірних, відсутні шви, у яких в процесі експлуатації утворюються тріщини, що потребує періодичного відновлювального ремонту);
- цільність диска перекриття, що важливо для будівель у сейсмічно активних районах України, які значно розширені у зв'язку з введенням з 01.02.2007 р. ДБН В.1.1-12:2006 "Будівництво у сейсмічних районах України";
- можливість використання у будівлях складної конфігурації в плані, зокрема під час реконструкції будівель старої забудови і зведення сучасних будівель складних архітектурних форм.

Проте зі збільшенням прольоту істотно зростають згинальні моменти і відповідно висота (товщина перерізу) перекриття. Загальну тенденцію цієї залежності показано на рис. 1. Вона залежить від розмірів і співвідношення сторін перекриття в плані, величини корисного

навантаження, умов обпирання і загальної статичної схеми роботи тощо. При цьому частка корисного навантаження порівняно з власною вагою перекриття зі збільшенням прольотів істотно зменшується (рис. 2).

Істотно зменшити власну вагу монолітних залізобетонних перекриттів можна шляхом використання полегшувальних ефективних вставок. Можливість та доцільність такого конструктивно-технологічного вирішення запропоновано і обґрунтовано у попередніх публікаціях авторів [1, 2].

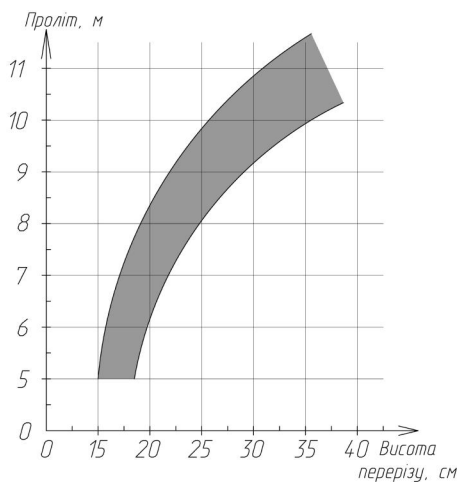


Рис. 1. Залежність висоти перерізу суцільного плоского монолітного перекриття від прольоту

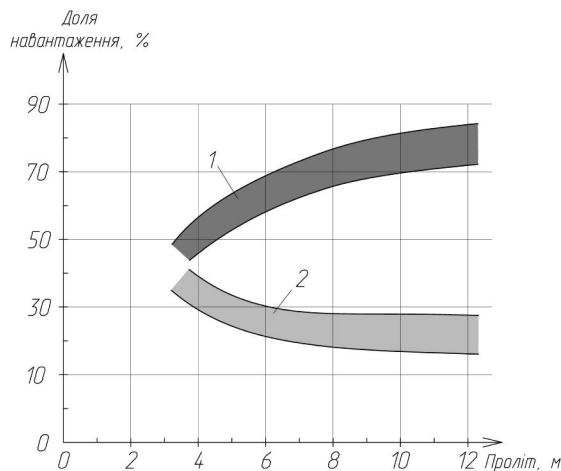


Рис. 2. Відносне навантаження на перекриття: 1 – від власної ваги; 2 – від корисного навантаження

У цій роботі подано принципові конструктивні рішення перекриттів з вставками та власний і зарубіжний досвід їх улаштування.

Принципові конструктивні рішення перекриттів з ефективними вставками. У найпростішому варіанті порожнини можна улаштовувати за рахунок трубчастих елементів, розташованих в одному (коротшому) напрямку в середній частині перерізу перекриття (рис. 3, а). Можливе також зблоковане розташування кількох труб, сумарна ширина яких визначає відстань між проміжними ребрами і приймається на підставі загального розрахунку конструкції перекриття з врахуванням умов стійкості стиснутої зони бетону, що зазнає двовісного стиску.

Ще більшої економії бетону і відповідно зменшення маси перекриття можна досягти за рахунок вставок з більш розвинутими формами поперечного перерізу: квадратним (рис. 3, б) або прямокутним (рис. 3, в). Проте за значної ширини вставок необхідно армувати бетон над нею. Більш раціональним у цьому відношенні є склепінчасте вирішення верхньої поверхні вставки без армування верхньої частини плити (рис. 4). Конфігурацію і геометричні параметри таких вставок необхідно приймати на підставі експериментально-теоретичних досліджень.

Використовуючи квадратні або прямокутні у плані вставки (рис. 5) чи вставки у формі куль (рис. 6), можна шляхом внутрішнього формоутворення отримати монолітну полегшену залізобетонну конструкцію з розташуванням ребер-балок в обидвох напрямках.

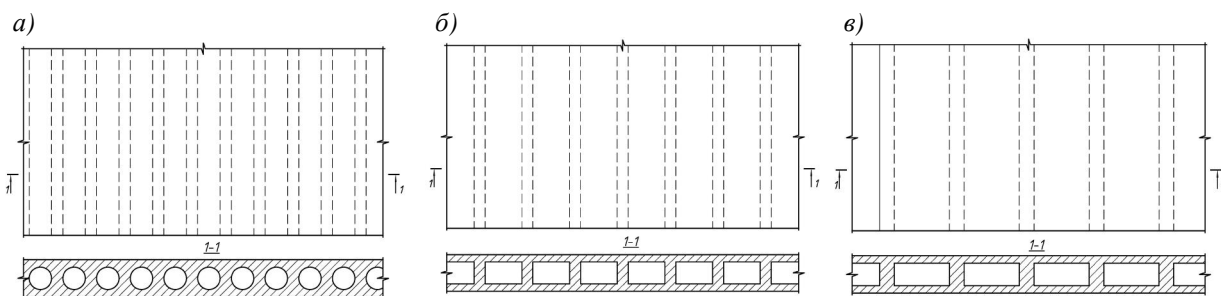


Рис. 3. Загальна конструкція рішення перекриттів з трубчастими вставками: а – круглими; б – квадратними; в – прямокутними

У принципі можливі вставки інших форм та їх комбіноване розташування у перерізі та в плані плити. Вставки по відношенню до бетону мають на порядок меншу міцність та жорсткість і є в плиті у конструктивному відношенні порожнинами.

Очевидно, що внутрішня порожниноутворювальна конфігурація в залізобетонній плиті залежить від форми вставок. Тому найоптимальнішу в конструктивному відношенні обриси (наприклад, з верхнім склепінням) потребують попереднього виготовлення вставок такої складної конфігурації. Доволі оптимальними у цьому відношенні є вставки кулястої форми.

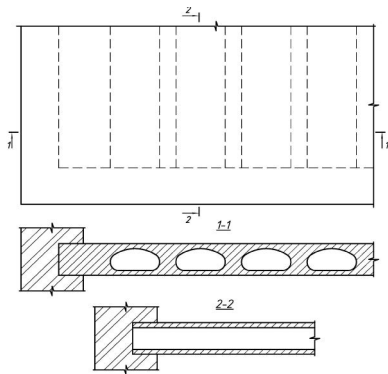


Рис. 4. Конструкція перекриття з трубчастими вставками розвинутої форми перерізу

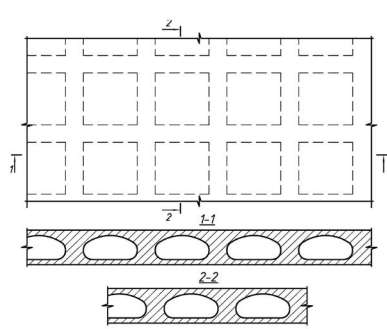


Рис. 5. Конструкція перекриття з окремими квадратними в плані вставками

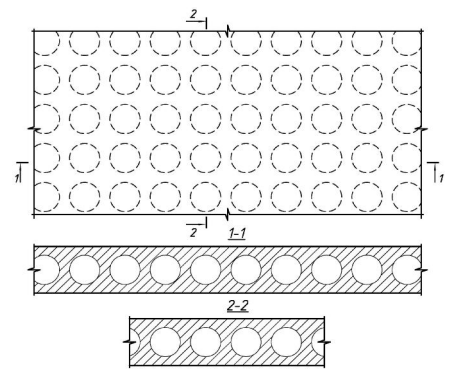


Рис. 6. Конструкція перекриття з кулястими вставками

Можливі варіанти використання вставок в перекриттях складної конфігурації в плані показано на рис. 7.

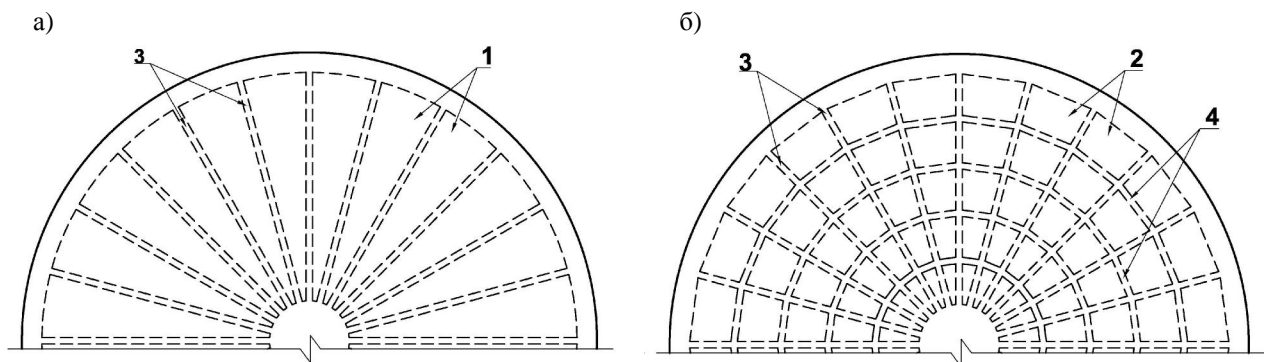


Рис. 7. Розташування вставок у круглих в плані перекриттях: 1 – секторні безперервні вставки; 2 – секторні дискретні вставки; 3 – радіальні балки – ребра; 4 – дугові балки – ребра

Використання на практиці. Власний досвід. Плоске монолітне залізобетонне перекриття розмірами в плані 7,6×12,1 м. Під час реконструкції колишньої промислової будівлі під торгово-готельний комплекс в с.м.т. Великий Любінь Львівської області виникла потреба в заміні старого дерев'яного перекриття горіщного поверху з колонами в середній частині на більш капітальне без проміжних опор з надбудовою повноцінного поверху. З огляду на нерівномірне осідання в процесі довготривалої експлуатації і пошкодження мурованих стін, розташованих по периметру, було запропоноване монолітне залізобетонне перекриття, диск якого поєднує між собою усі стіни. Конструктивне вирішення чверті цього перекриття, симетричного в обох напрямках, показано на рис. 8.

Конструювання перекриття прийнято на підставі статичних розрахунків, виконаних на ЕОМ. Загальна висота перерізу $h = 260$ мм прийнята насамперед з умов жорсткості. У середній частині перекриття вставки з пінополістиролу розмірами перерізу 160×160 мм розташовані в поперечному

напрямку з відстанню між ними в плані 70 мм. В результаті у цьому напрямі маємо часторебристу конструкцію, в якій почергово розташовані вертикальні ребра і вставки (рис. 8, переріз А-А).

У поздовжньому напрямку конструкція перекриття, на відміну від поперечного, є неоднорідною: в межах ширини вставок маємо переріз з верхньою і нижньою полицями завтовшки 50 мм, між вставками – суцільний залізобетонний переріз (рис. 8, переріз Б-Б).

Для надійного анкерування арматури, розташованої в нижній частині плити, а також з метою забезпечення міцності похилих перерізів плити на приопорних ділянках, вставки не доводили до країв плити. Згідно з результатами статичного розрахунку, найбільші значення поперечних сил маємо на середніх приопорних ділянках, тому на цих ділянках порожниноутворювальні вставки не доведені до стін більшою мірою (рис. 8). З огляду на меншу міцність перерізів плити на зріз в межах ширини вставок, на торцевих ділянках плити вставки були розташовані в напрямку, перпендикулярному до основного розташування вставок із значної ширини ділянками суцільного бетону між ними, в яких змонтували додаткову поздовжню верхню і поперечну арматуру. Верхня арматура також передбачена на кутових ділянках перекриття, на яких, згідно з результатами розрахунку, виникають розтягувальні напруження.

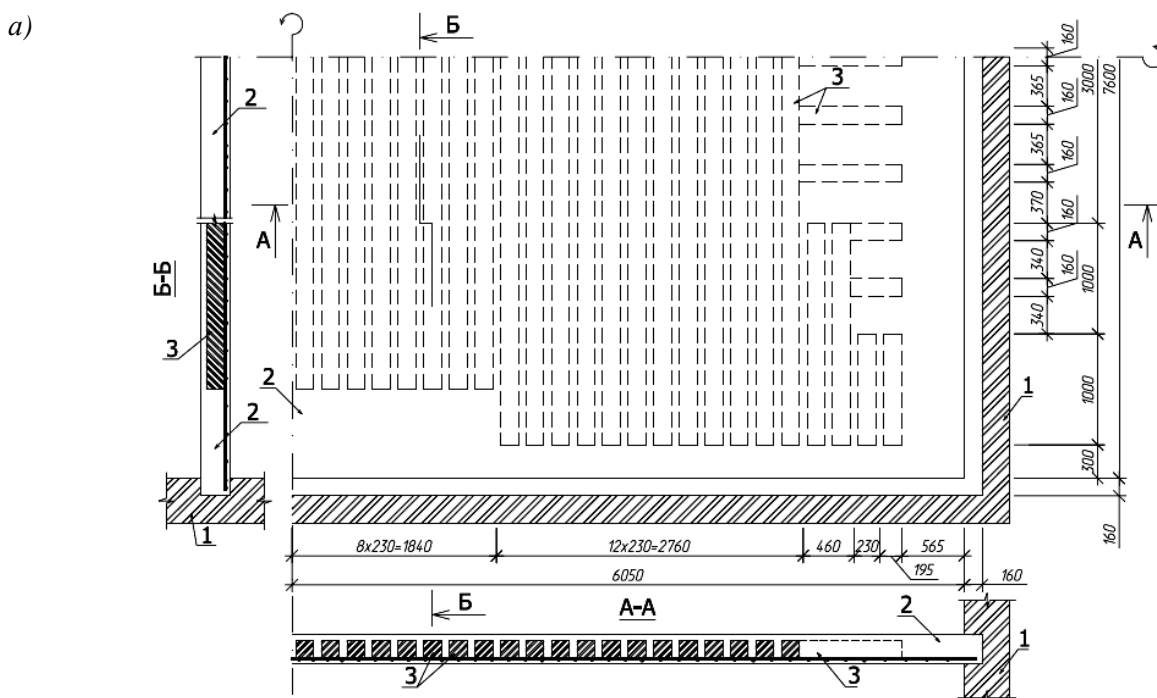


Рис. 8. Плоске монолітне залізобетонне перекриття розмірами в плані $7,6 \times 12,1$ м з вставками: а – загальне конструктивне рішення перекриття (1 – муровані стіни; 2 – монолітний залізобетон; 3 – вставки з пінополістиролу); б – розкладання і фіксація вставок; в – бетонування перекриття

За рахунок вставок власна вага перекриття розмірами в плані 7,6×12,1 м загальною висотою 260 мм зменшилась на 32,4 %. Детальніше конструкцію перекриття і результати його випробувань подано в [6].

За навантаження 340 кгс/м² максимальне значення прогину, заміряне в середній частині, становило 4,7 мм, або 1/1617 і 1/2574 відповідно до прольоту плити в коротшому і довшому напрямках. Це свідчить про значну жорсткість плити із вставками та про можливість ще більшої її оптимізації. Разом з тим під час випробування перекриття була виявлена особливість, пов'язана із складним напружено-деформованим станом перекриття у перерізах зі вставками. Більшість приладів, встановлених зверху перекриття у перерізах із вставками, не фіксували деформацій стиску.

Кругле монолітне сталезалізобетонне перекриття радіусом 9,1 м. Під час реконструкції будівлі ресторану "Супутник" у м. Львові необхідно було улаштувати нове горизонтальне перекриття під літній критий майданчик поверх існуючого конусного чашоподібного перекриття. У консольній частині меншого півкруга будівлі це істотно збільшувало навантаження на колони і тому з метою зменшення власної ваги перекриття загальною висотою 185 мм були використані пакети пінополістирольних вставок загальною висотою 115 мм. Використання пінополістирольних вставок значних розмірів в плані дало змогу досягти порожнистості і відповідного зменшення витрати і ваги бетону 47,3 %. Фрагмент перекриття і характерний переріз показано на рис. 9, детальніше конструкцію перекриття див. у [7].

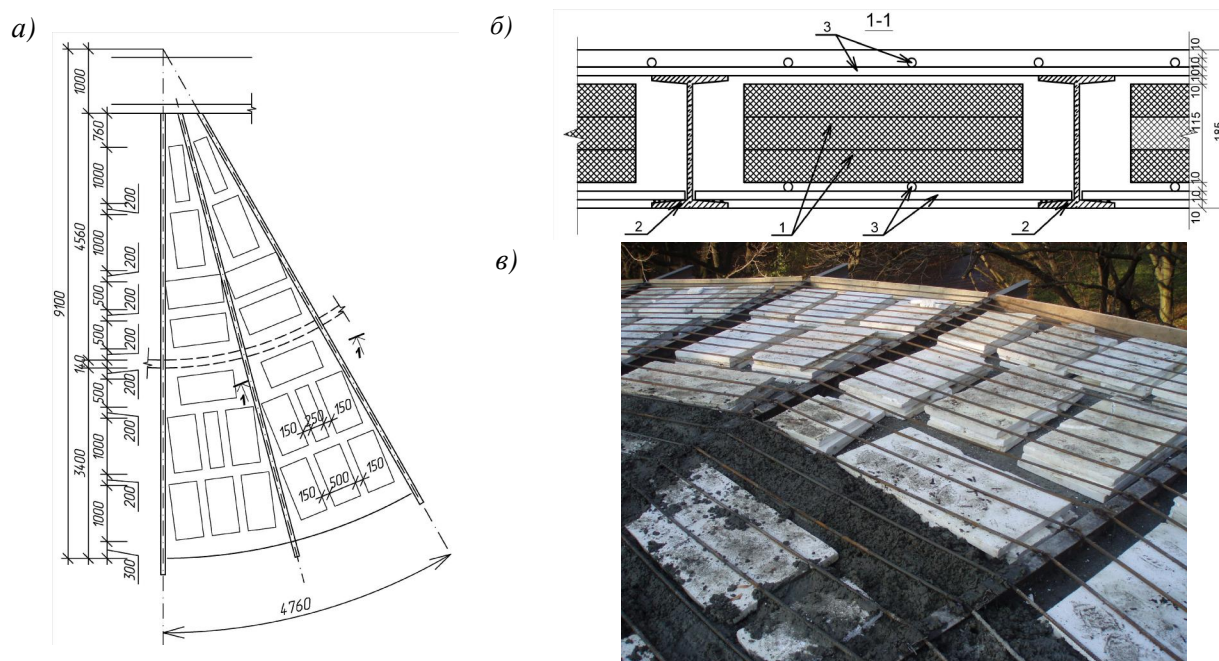


Рис. 9. Фрагмент (а), місцевий переріз (б) і бетонування (в) круглого перекриття з пінополістирольними вставками: 1 – пінопластові вставки; 2 – металеві балки; 3 – арматура

Напружено-деформований стан круглого перекриття у перерізі з вставками є складним: окрім загальної дії моментів у радіальному і коловому напрямках, маємо додаткову дію розтягуючих або стискаючих зусиль у цих напрямках і місцевий згин верхньої площі над порожнинами від прикладеного експлуатаційного навантаження. Точне описання такого НДС є складним. Тому під час розрахунку і конструювання плити в перерізах із вставками були використані приблизні методи.

Монолітне плоске нерозрізне залізобетонне перекриття. Інший досвід використання пінопластових вставок пов'язаний з реконструкцією будівлі оздоровчого комплексу санаторію у Свалявському районі Закарпатської області. Замість перекриття з дощатим настилом у середній

частині мансардного поверху необхідно було улаштувати капітальне перекриття під повноцінний поверх.

Основні існуючі конструктивні елементи перекриття – металеві балки прольотом 12 м, що розташовані з кроком 6 м у поперечному напрямі приміщення розмірами в плані 11,7×24,4 м. Балки прийняті з двох спарених двотаврів заввишки 45 см, тобто навіть з конструктивних вимог висота балок є явно недостатньою при прольоті 12 м ($h/l = 1/27$). Тому під час реконструкції перевагу надали монолітній залізобетонній плиті на середніх звільнених ділянках перекриття, яка за допомогою жорстких і гнучких анкерів конструктивно об'єднується з металевими балками, збільшуючи їх загальну робочу висоту до 80 см.

Висота монолітного перекриття прийнята такою самою, як і в збірних круглопустотних плитах – 22 см. Товщина верхньої і нижньої полиці – 45 мм, проміжних вертикальних ребер – 70 мм (рис. 10).

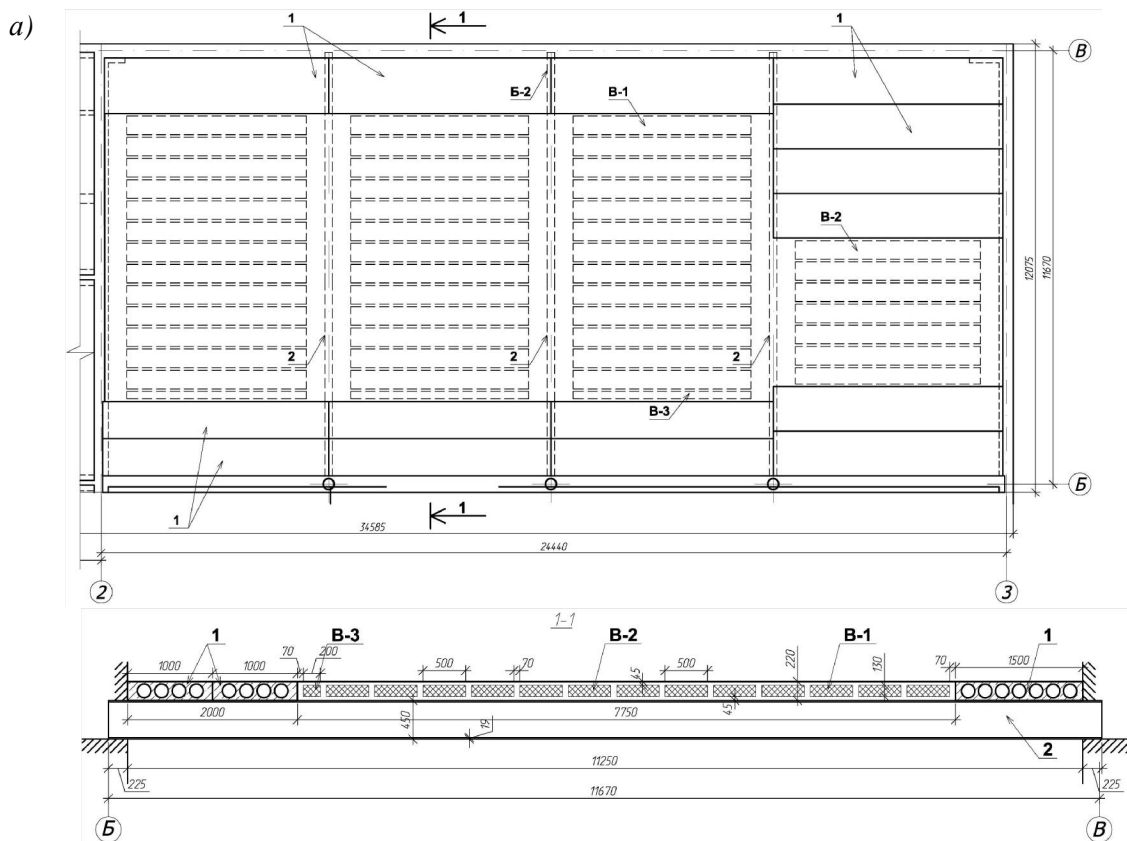


Рис. 10. Розташування вставок в плані і в перерізі перекриття (а), розкладання вставок і арматурних виробів (б) та бетонування перекриття (в): 1 – існуючі збірні пустотні плити перекриття; 2 – металеві балки; 3 – пінопластові вставки, В-1...В-3 – марки вставок за типорозміром

На відміну від попередніх перекриттів напружено-деформований стан цього перекриття є дещо простіший. Загалом навіть з врахуванням нерозрізності робота монолітного перекриття є аналогічною до роботи збірних залізобетонних порожнистих плит перекриття, тобто порожнини розташовані в одному напрямку – між балками. Проте на відміну від круглопустотних збірних плит перекриття із стійким овальним обрисом над порожнинами, прямолінійний обрис нижньої грані полиці над вставкою в монолітному перекритті має значний проліт (у цьому конструктивному вирішенні 500 мм), що від прикладеного зверху експлуатаційного навантаження може призвести до втрати стійкості як в поперечному напрямку, так і в поздовжньому від спільної дії місцевого і загального згинальних моментів.

Тому конструювати і армувати верхні полиці плити необхідно з врахуванням спільної дії цих силових чинників і особливостей напружено-деформованого стану, що виникає при цьому.

Зарубіжний досвід. Одні з найвідоміших європейських виробників перекриттів з ефективними вставками є IGLU (Італія), SOBIAХ (Швейцарія), BubbleDeck (Великобританія), Prenova (Аргентина), причому три останні фірми виробляють і проектують порожнисті перекриття з використанням пластмасових куль як порожниноутворювачів.

IGLU є інноваційною модульною одиницею, що використовується під час будівництва цивільних та промислових об'єктів для створення порожнин у перекриттях [8]. Ці модулі легкі, придатні для швидкого створення платформи, здатної витримати людську вагу з вкладеним шаром бетону (рис. 11). Швидкість і простота влаштування – головні характеристики системи. Модулі IGLU виготовляють з суміші пластмасових матеріалів, сировиною для яких слугують відходи (вторинна переробка пластмас), вони неотруйні і не псуються або втрачають свої характеристики через тривалий термін.

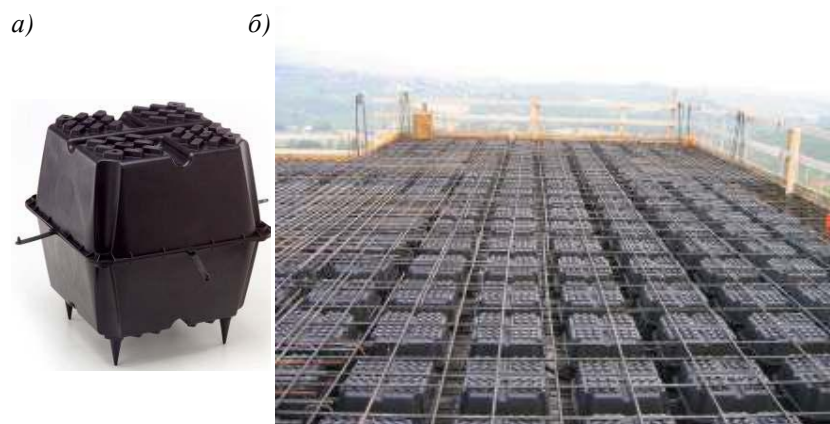


Рис. 11. Порожнисте перекриття системи IGLU:
а – модуль IGLU; б – загальний вигляд розташування модулів

Ще однією з найпоширених систем є система фірми SOBIAХ [9]. В основі системи SOBIAХ є попереднє виготовлення модулів, у нижній частині яких розташована основна поздовжня арматура в обидвох напрямках і пластмасові кулі, зафіксовані поперечною і верхньою поздовжньою арматурами. Системи такого типу працюють у двох напрямках, тобто в перекриттях такого типу виникає

складний напружений стан, пов'язаний, зокрема, з наявністю вставок – порожнин зі складними, змінними в перерізі, геометричними параметрами. Головна перевага таких порожнистих перекриттів порівняно з суцільними – забезпечення міцності та жорсткості з одночасним зменшенням власної ваги.

Система SOBIAХ дає змогу виготовляти і влаштовувати перекриття різного типу за однакового відсотка порожнистості. Повністю монолітний варіант дає можливість влаштовувати перекриття будь-якої форми, бетонування проводиться після влаштування арматурно-порожнистих модулів (рис. 12а). Збірно-монолітний варіант передбачає виготовлення у заводських умовах арматурно-монолітних модулів з нижнім шаром бетону (рис. 12, б); після монтажу модулів бетонується верхній шар перекриття (рис. 13).

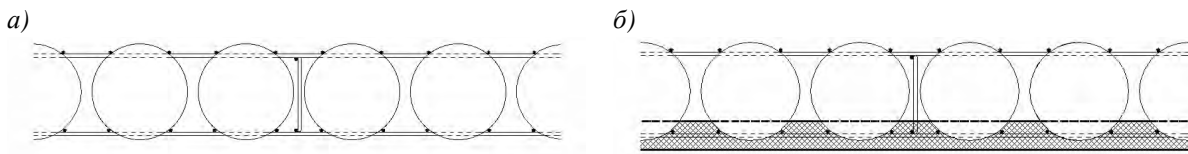


Рис. 12. Модулі системи COBIAХ:
 а – арматурно-порожнистий модуль; б – арматурно-порожнистий модуль з шаром бетону в розтягнутій зоні перекриття

За значних прольотів необхідно передбачити нижні підтримувальні конструкції на час бетонування.



Рис. 13. Двонаправлене порожнисте перекриття системи COBIAХ:
 а – розташування модулів COBIAХ; б – бетонування перекриття з пластмасовими кулями

Особливості напружено-деформованого стану. Як бачимо з наведених та інших прикладів [3, 4], використання вставок дає змогу істотно зменшити власну вагу монолітних залізобетонних перекриттів, особливо за їх значних прольотів (рис. 14).

Проте в перерізах з вставками виникає складний напружено-деформований стан, який залежить від типу і форми вставок, загальної розрахункової статичної схеми, розмірів перерізу, прикладеного місцевого навантаження тощо. Це показали як власні [5, 6], так і зарубіжні експериментальні дослідження [9].

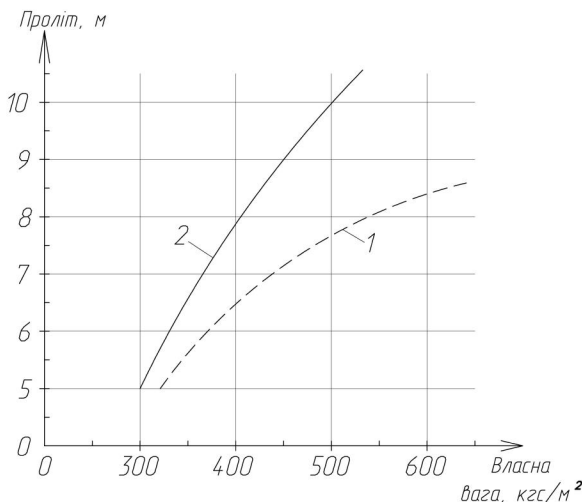


Рис. 14. Усереднені залежності власної ваги плоского монолітного перекриття від прольоту:
 1 – перекриття суцільного перерізу;
 2 – перекриття із вставками

Якщо плита перекриття працює у двох напрямках, від загальної дії моментів у полиці над порожниною виникає двоосьовий НДС від стискаючих напружень у двох напрямках. Це найпростіший плоский двовісний напружений стан. У перекриттях складної конфігурації в плані (наприклад, круглих) можлива спільна дія стискаючих і розтягуючих напружень.

За місцевої дії навантаження в полицях перекриттів із вставками додатково виникає місцевий згин, напруження від якого накладаються з загальними напруженнями перекриття.

Додатковим силовим і відповідно ускладнювальним для НДС чинником у перерізах з вставками є поперечна зрізаюча

сила, що характерно насамперед для припорних ділянок монолітних залізобетонних плит перекриття. Можливість і небезпеку раптового руйнування від такого силового впливу засвідчили

випробування фрагментів перекриття з трубчастими вставками [5]. За прямокутного обрису вставки напружено-деформований стан порожнинного перерізу ускладнюється дією місцевого моменту.

Розташуванням самих вставок і їх розмірами можна регулювати несучу спроможність конструкції і домагатися приблизно однакових значень міцності нормальних (від переважаючої дії M) і похилих (від переважаючої дії Q) перерізів. Показовими у цьому відношенні є експериментальні дослідження, проведені І.Д. Передерієнком з тришаровими плитними елементами [10]. В одному з варіантів для більшого полегшення плит використовували гіпсові П-подібні коробки. Квадратні в плані вільно оперті плити розмірами $5,3 \times 5,3$ м з коробами, розміщеними в одному напрямку, руйнувалися по похилих перерізах (66,5 %) задовго до вичерпання міцності нормальних перерізів. За раціональнішого розташування коробів (по діагоналях) несуча спроможність нормальних перерізів була використана повністю – плита зруйнувалась від дії моменту, а не поперечної сили. Отже, формоутворенням зсередини можна конструювати залізобетонні елементи з майже однаковою несучою спроможністю нормальних і похилих перерізів за незмінних габаритних розмірів.

Очевидно, що для забезпечення кращої стійкості верхньої полиці залізобетонних плит перекриття вставкам доцільно надати вгорі склепінчастого обрису, особливо за значного їх поперечного розміру. У цьому випадку на відміну від прямокутної порожнини можна не передбачати армування полиці за практично однакової площі перерізу вставок. Проте напружено-деформований стан перерізу із змінними по висоті порожнинами є складнішим порівняно з перерізом з прямокутними незмінними по висоті порожнинами, особливо за спільної дії загальних і місцевих силових чинників в обидвох напрямках.

Окремим ускладнювальним чинником для плит неоднорідної (комплексної) конструкції є температурний вплив, зокрема від пожеж. Для його врахування можна використати розробки, запропоновані в [11].

Як бачимо, проблема ефективного у конструктивному відношенні зменшення власної ваги перекриттів порожниноутворювальними вставками пов'язана з моделюванням складного НДС, який залежить від багатьох чинників: від силових і термомеханічних впливів; форм, геометричних розмірів і розташування вставок; міцнісних і деформаційних характеристик матеріалів тощо. Додатковим ускладнювальним чинником є те, що бетон не є пружним, а пружно-пластичним матеріалом, особливо за високих рівнів напружень.

Як зазначено в роботі Ю.П. Гуці [12], істотної економії матеріалів і їх вартості, особливо в конструкціях масового виготовлення, можна досягнути на основі методів оптимального проектування. При цьому великого значення набуває теорія розрахунку конструктивних елементів складних форм. Автор наголошує: "Істотного розвитку вимагають методи розрахунку і проектування збірно-монолітних і особливо монолітних конструкцій. Поряд з можливістю створення нових ефективних форм це забезпечує зменшення витрат металу, цементу і скорочення трудозатрат". Вставки дають змогу створити такі форми в монолітних і збірно-монолітних перекриттях, де вони можуть мати широке варіантне поєднання і застосування.

Отже, проблему порожниноутворювальних вставок необхідно розглядати в комплексі з розвитком методів проектування і вдосконаленням теорії розрахунку таких ефективних елементів.

Висновки: 1. Плоскі монолітні залізобетонні перекриття з ефективними вставками зберігають усі позитивні сторони, притаманні монолітним перекриттям суцільного перерізу.

2. Використання вставок під час улаштування монолітних перекриттів дає змогу істотно (до 35–50 %) зменшити витрату бетону і відповідно зменшити їх власну вагу. Особливо це є важливим для перекриттів значних розмірів в плані.

3. Розташовувати вставки необхідно з врахуванням загального статичного розрахунку перекриттів і особливостей роботи порожнистих перерізів із вставками.

4. Напружено-деформований стан залізобетонних перекриттів у перерізах із вставками є складним і залежить від багатьох чинників, зокрема форм і розташування вставок. Для його моделювання необхідно провести комплексні експериментально-теоретичні дослідження, що уможливить забезпечити достовірну оцінку міцності і деформативності таких перекриттів і ще більшу їх оптимізацію.

5. Проблема оптимізації плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками необхідно розглядати в комплексі з розвитком методів проектування і вдосконаленням теорії їх розрахунку.

1. Мельник І.В. Спосіб виготовлення порожнистих бетонних і залізобетонних виробів / Деклараційний патент на винахід // Державний департамент інтелектуальної власності. – Бюл. №7-II від 15.12.2000 р. 2 Мельник І.В. Оптимізація залізобетонних конструкцій за допомогою ефективних вставок // Збірник наукових статей “Проблеми теорії і практики будівництва”. – Т. IV. – Львів, 1997. – С.89–90. 3. Євстаф’єв В.І. Полегшені багатошарові перекриття для архітектурно-будівельних систем з широким кроком несучих конструкцій / Автореф. дис. ... к.т.н. – К., 2004. – 18 с. 4. Артюх В.Г., Санников І.В. Экспериментальное исследование монолитной железобетонной плиты с цилиндрическими пустотами // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Міжвід. наук.-техн. зб. – К., 2007. 5. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструктивні рішення плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками і експериментальне дослідження їх фрагментів // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Вип. 14. – Рівне, 2006. – С. 253–260. 6. Мельник І.В., Царинник О.Ю., Сорохтей В.М. Конструювання і дослідження плоских монолітних перекриттів з ефективними вставками // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. – Вип. 67. – К.: НДІБК, 2007. – С. 794–801. 7. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Яремко Б.В. Монолітні залізобетонні перекриття складної конфігурації в плані // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Проблеми теорії і практики будівництва”. – 2007. – №600. – С.230–235. 8. Інформаційні матеріали системи IGLU. 9. Martina Schnellenbach-Held, Markus Aldejohann / Biaxial hollow slabs, theory and tests -Betonwerk Fertigteil-Technik, 10/2005, Seiten 50–59. 10. Передериенко І.Д. Экспериментальное исследование трехслойных шлакожелезобетонных изгибаемых элементов с обычным армированием // Дисс. ... к.т.н. – Львов, 1958. 11. Демчина Б.Г. Вогнестійкість одно- і багатошарових просторових будівель // Автореф. дис. ... д.т.н. – Харків, 2003. 12. Гуца Ю.П. Влияние формы поперечного сечения элементов на прочность, трещиностойкость и деформативность // Бетон и железобетон. – 1987. – №5. – С. 19–20.