

МОНОЛІТНІ ПЛОСКІ ЗАЛІЗОБЕТОННІ ПЕРЕКРИТТЯ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИМИ ВСТАВКАМИ

© Мельник І.В., Сорохтей В.М., Кузик О.О., 2010

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.

Залізобетонні перекриття в осяжному майбутньому залишатимуться основною міжповерховою конструкцією в будівлях різного призначення. Широке застосування визначається його високими експлуатаційними властивостями – довговічністю, міцністю, жорсткістю, гігієнічністю, вогнестійкістю.

Залізобетонні перекриття становлять 60...70 % всіх конструктивних елементів каркаса багатопверхових будівель. Залізобетонні перекриття широко використовують також в індивідуальному будівництві. Тому їх оптимізація, спрямована на пошук економічних конструктивних рішень, є доволі важливим завданням, особливо в останній період, коли у зв'язку з енергетичними і екологічними проблемами особливо актуальними стали питання зменшення матеріало-, трудо- і енергозатрат під час виготовлення і монтажу залізобетонних виробів.

В силу пріоритетного розвитку в попередні десятиліття збірного залізобетону в будівництві переважно застосовували перекриття з порожнистих і ребристих плит. При відповідно орієнтованій будівельній галузі вони свого часу забезпечували доволі високу індустріальність і швидкі темпи будівництва. Тому вдосконалення конструктивних рішень плоских перекриттів були спрямовані насамперед на пошук раціональніших форм окремих елементів, забезпечення їх спільної роботи в складі перекриття тощо.

Проте 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 в 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 під час 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 зведенні сучасних будівель складних архітектурних форм.

Проте зі збільшенням прольоту істотно зростають згинальні моменти і, відповідно, висота (товщина перерізу) перекриття. Загальна тенденція залежить від розмірів і співвідношення сторін перекриття в плані, величини корисного навантаження, умов обпирання і загальної статичної схеми роботи тощо. До того ж частка корисного навантаження порівняно з власною вагою перекриття зі збільшенням прольотів значно зменшується.

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].

У цій статті подано принципові конструктивні рішення оптимізованих перекриттів та власний досвід їх улаштування з використанням пінополістирольних вставок.

У найпростішому варіанті порожнини можна улаштувати за рахунок трубчастих елементів, розташованих в одному (коротшому) напрямі в середній частині перерізу перекриття (рис. 1а). 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 розвинутішими формами поперечного перерізу: квадратним (рис. 1б) або прямокутним (рис. 1в). Проте при значній ширині вставок необхідно армувати бетон над нею. Рациональнішим в цьому відношенні є склепінчасте вирішення верхньої поверхні вставки без армування верхньої частини плити (рис. 2). Конфігурацію і геометричні параметри таких вставок необхідно приймати на підставі експериментально-теоретичних досліджень.

У разі використання квадратних або прямокутних у плані вставок (рис. 3), чи вставок у формі куль (рис. 4), можна шляхом внутрішнього формоутворення отримати монолітну полегшену залізобетонну конструкцію з розташуванням ребер-балок в обидвох напрямках.

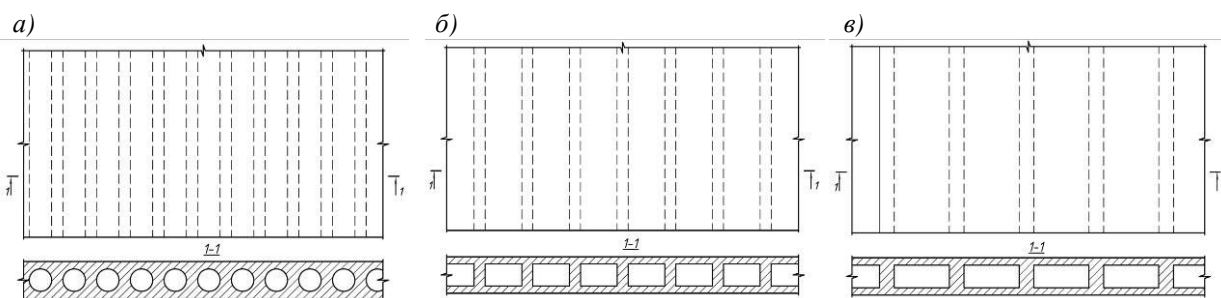


Рис. 1. Загальна конструкція рішення перекриттів з трубчастими вставкам: а – круглими, б – квадратними; в – прямокутними

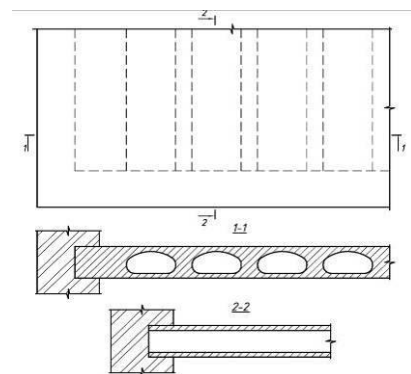


Рис. 2. Конструкція перекриття з трубчастими вставками розвинutoї форми перерізу

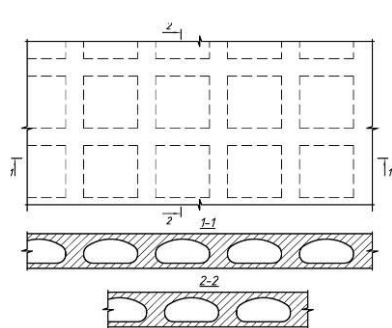


Рис. 3. Конструкція перекриття з окремими квадратними в плані вставками

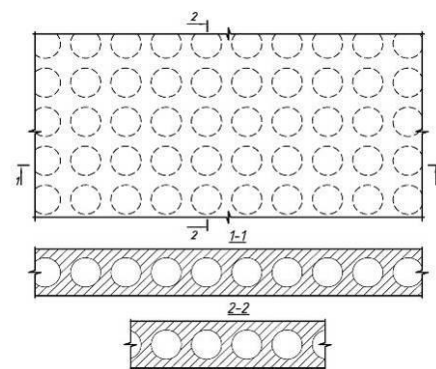


Рис. 4. Конструкція перекриття з кулястими вставками

У принципі можливі вставки інших форм та їх комбіноване розташування в перерізі та плані плити. Вставки щодо 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 найоптимальніші в конструктивному відношенні обриси (наприклад, з верхнім склепінням) потребують попереднього виготовлення вставок такої складної конфігурації. Доволі оптимальними у цьому сенсі є вставки кулястої форми.

Одні з можливих варіантів використання вставок в перекриттях складної конфігурації в плані подані на рис. 5.

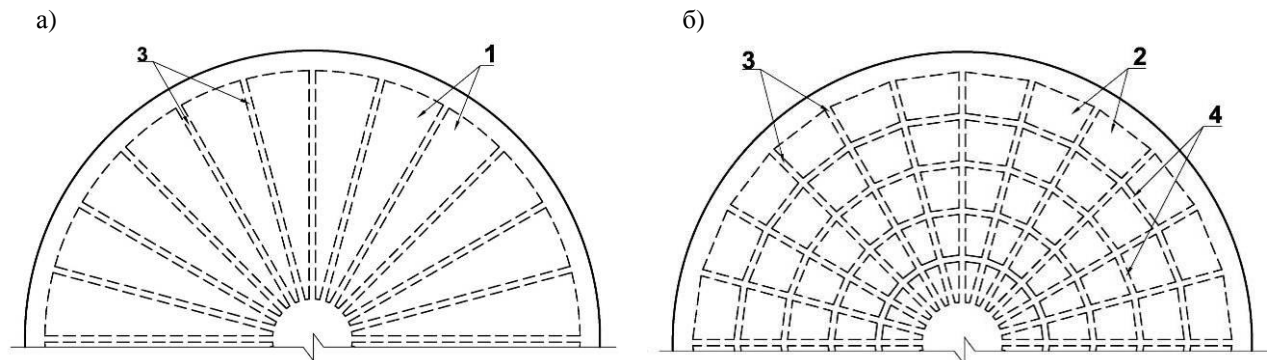


Рис. 5. Розташування вставок у круглих в плані перекриттях: 1 – секторні безперервні вставки; 2 – секторні дискретні вставки; 3 – радіальні балки-ребра; 4 – дугові балки-ребра

Плоске монолітне залізобетонне перекриття розмірами в плані 7,6×12,1 м

Під час реконструкції колишньої промислової будівлі під торгово-готельний комплекс в смт. В. Любінь, Львівської області виникла потреба в заміні старого дерев'яного перекриття горіщного поверху з колонами в середній частині на капітальніше без проміжних опор з надбудовою повноцінного поверху. З огляду на нерівномірне осідання під час довготривалої експлуатації і пошкодження мурованих стін, розташованих по периметру, було запропоноване монолітне залізобетонне перекриття, диск якого зв'язує між собою всі стіни. Конструктивне вирішення четвертини цього перекриття, симетричного в обох напрямках, подано на рис. 6.

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 напрямі з відстанню між ними в плані 70 мм. У результаті у цьому напрямі маємо часторебристу конструкцію, в якій по чергово розташовані вертикальні ребра і вставки (рис. 6, переріз А-А).

У поздовжньому напрямі конструкція перекриття, на відміну від поперечного, є неоднорідною: в межах ширини вставок маємо переріз з верхньою і нижньою полицями товщиною 50 мм, між вставками – суцільний залізобетонний переріз (рис.6, 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 порожниноутворюючі вставки не доведені до стін більшою мірою (рис.6). З огляду на меншу міцність перерізів плити на зріз у межах ширини вставок, на торцевих ділянках плити вставки були розташовані в напрямі, 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.

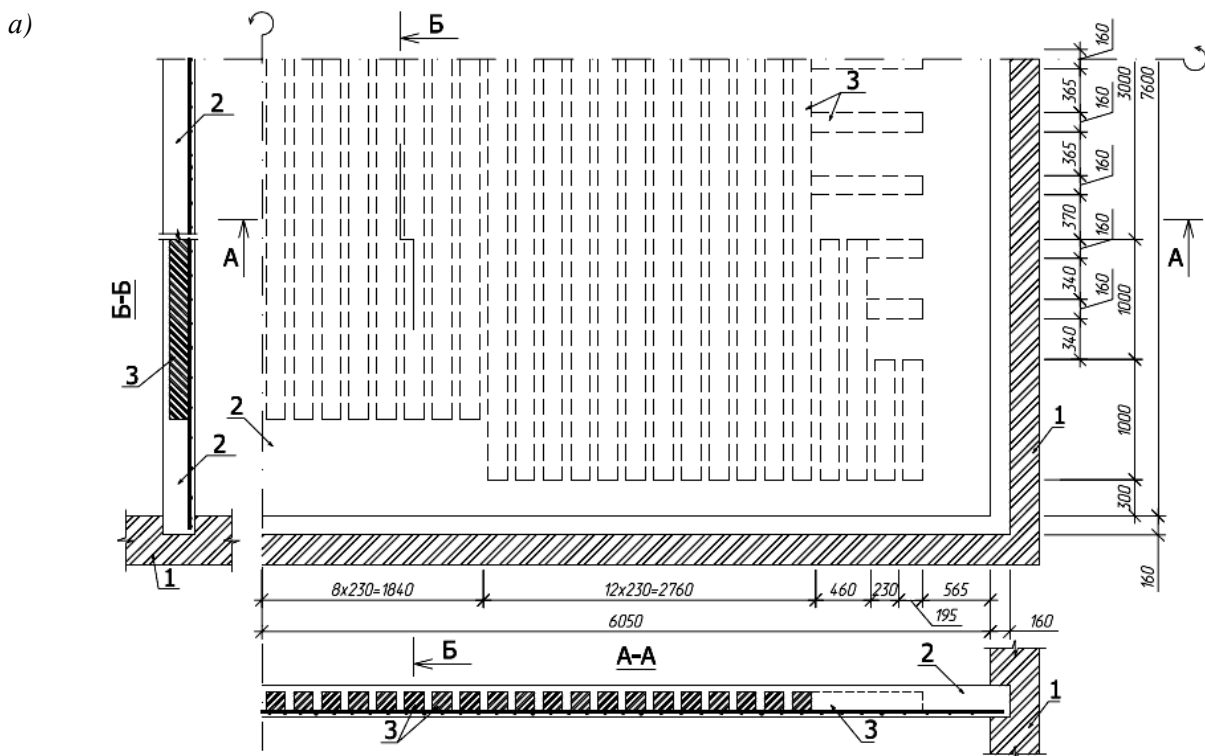


Рис. 6. Плоске монолітне залізобетонне перекриття розмірами в плані $7,6 \times 12,1$ м з вставками:
 а – загальне конструктивне рішення перекриття (1 – муровані стіни; 2 – монолітний залізобетон;
 3 – вставки з пінополістиролу); б – розкладання і фіксація вставок; в – бетонування перекриття

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

У разі навантаження 340 кгс/м^2 максимальне значення прогину, заміряне в середній частині, становило 4,7мм або $1/1617$ і $1/2574$ відповідно до прольоту плити в коротшому і довшому напрямі. Це свідчить про значну жорсткість плити з вставками та про можливість ще більшої її оптимізації. До того ж під час випробування перекриття була виявлена особливість, пов'язана із складним напружено-деформованим станом перекриття у перерізах з вставками. Більшість приладів, встановлених зверху перекриття у перерізах з 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 дозволило досягти порожнистості і відповідного зменшення витрати і ваги бетону 47,3%. Фрагмент перекриття і характерний переріз подано на рис. 7, детальніше конструкцію перекриття описано в [7].

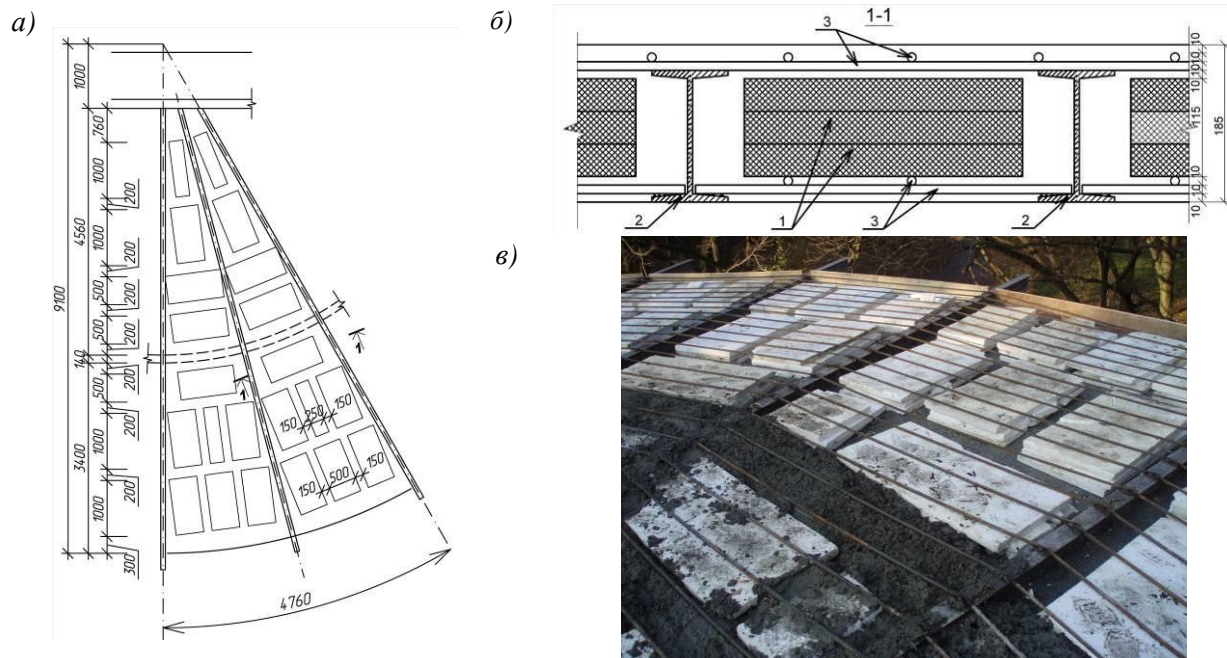


Рис. 7. Фрагмент (а), місцевий переріз (б) і бетонування (в) круглого перекриття з пінополістирольними вставками: 1 – пінопластові вставки; 2 – металеві балки; 3 – арматура

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 з 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 11,7×24,4м. Балки прийняті з двох спарених двотаврів висотою 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 їхню загальну робочу висоту до 78 см.

Висота монолітного перекриття прийнята такою самою, як і в збірних круглопустотних плитах – 22 см. При товщині вставки 130 мм товщина верхньої і нижньої полиці 45 мм, проміжних вертикальних ребер – 70 мм.

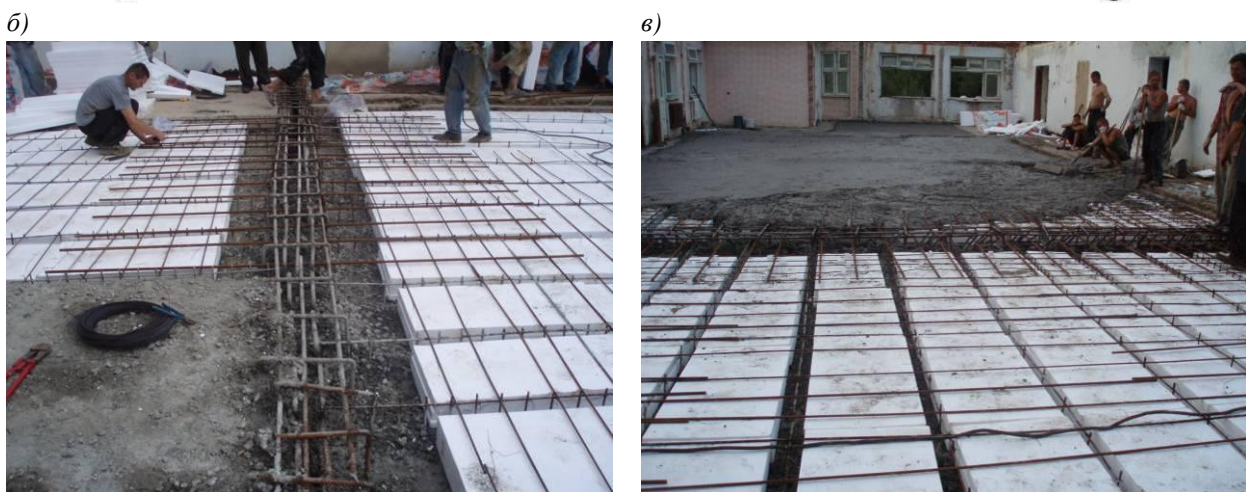
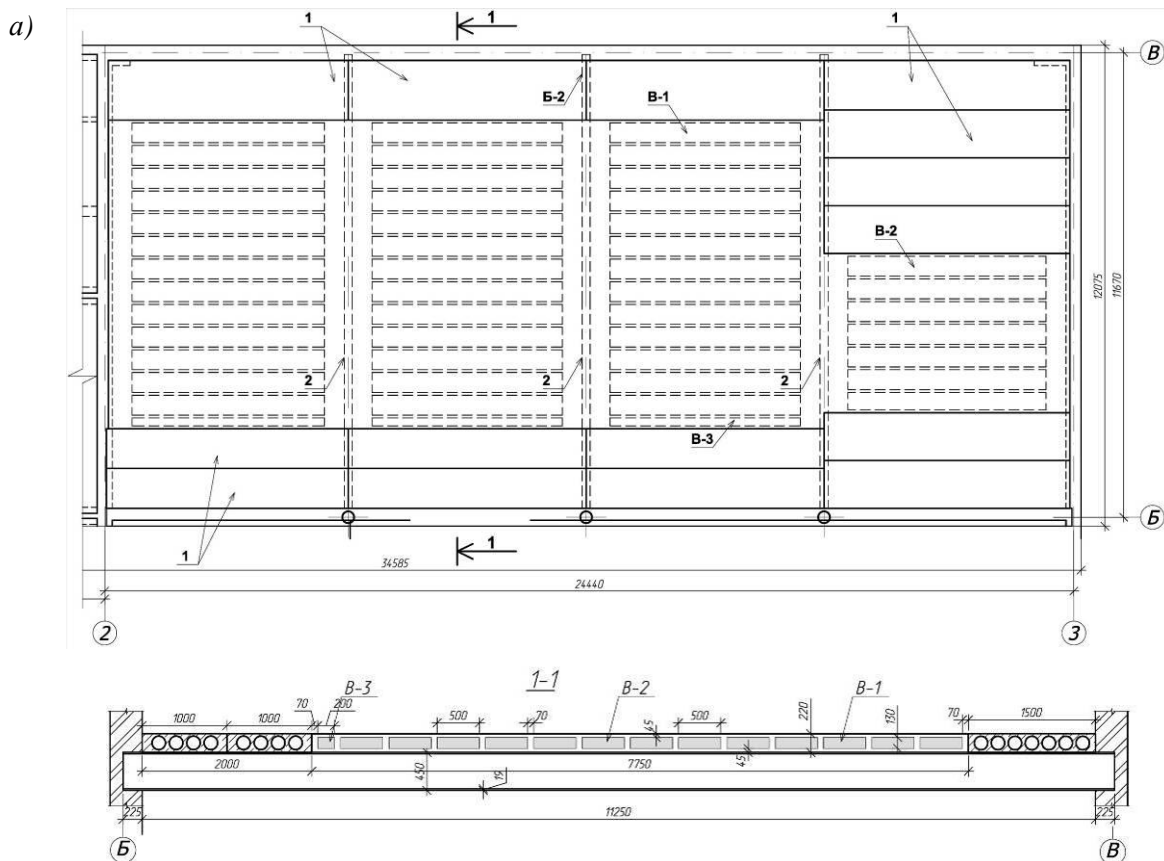


Рис. 8. Розташування вставок в плані і в перерізі перекриття(а), розкладання вставок і арматурних виробів (б) та бетонування перекриття (в): 1 – існуючі збірні пустотні плити перекриття; 2 – металеві балки; 3 – пінопластові вставки, В-1...В-3 – марки вставок за типорозміром

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 напрямі – між балками. Проте, на відміну від круглопустотних збірних плит перекриття з 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 напрямі, 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 факторів і особливостей напружено-деформованого стану, що виникає.

Особливості напружено-деформованого стану

Як бачимо з наведених та інших прикладів [3,4], використання вставок дозволяє істотно зменшити власну вагу монолітних залізобетонних перекриттів, особливо при їх значних прольотах.

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].

Якщо плита перекриття працює в двох напрямках, від загальної дії моментів у полиці над порожниною виникає двохосьовий 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.

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

Додатковим силовим і відповідно ускладнювальним для НДС фактором у перерізах з вставками є поперечна зрізаюча сила, що характерно насамперед для приопорних ділянок монолітних залізобетонних плит перекриття. Можливість і небезпеку раптового руйнування від такого силового впливу засвідчили випробування фрагментів перекриття з трубчастими вставками [5]. При прямокутному обрисі вставки напружено-деформований стан порожнинного перерізу ускладнюються дією місцевого моменту.

Розташуванням самих вставок і їх розмірами можна регулювати несучу спроможність конструкції і добиватися приблизно однакових значень міцності нормальних (від переважаючої дії M) і похилих (від переважаючої дії Q) перерізів. Показовими у цьому сенсі є експериментальні дослідження, які виконав І.Д. Передерієнко з тришаровими плитними елементами [10]. В одному з варіантів для більшого облегшення плит використовували гіпсові П-подібні короби. Квадратні в плані вільно оперті плити розмірами $5,3 \times 5,3$ м з коробами, розміщеними в одному напрямку, руйнувалися по похилих перерізах задовго (66,5%) до вичерпання міцності нормальних перерізів. При раціональнішому розташуванні 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 при незмінних габаритних розмірах.

Очевидно, що для забезпечення кращої стійкості верхньої полиці залізобетонних плит перекриття вставкам доцільно надати вгорі склепінчастого обрису, особливо у разі значного їх поперечного розміру. У цьому випадку, на відміну від прямокутної порожнини, можна не передбачати армування полиці при практично однаковій 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 при спільній дії загальних і місцевих силових факторів в обидвох напрямках.

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

Як бачимо, проблема ефективного у конструктивному сенсі зменшення власної ваги перекриттів порожниноутворюючими вставками пов'язана з моделюванням складного НДС, який залежить від багатьох чинників: від силових і термомеханічних впливів; від форм, геометричних розмірів і розташування вставок; від міцнісних і деформаційних характеристик матеріалів тощо. Додатковим ускладнювальним фактором є те, що бетон є не пружним, а пружно-пластичним матеріалом, особливо у разі 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: "Суттєвого 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 дозволяють створити такі форми в монолітних і збірно-монолітних перекриттях, де вони можуть мати широке варіантне поєднання і застосування.

Отже, проблему порожниноутворюючих 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 всі позитивні ознаки, притаманні монолітним перекриттям суцільного перерізу, і до того ж мають інші істотні переваги.

2. Використання вставок під час улаштування монолітних перекриттів дозволяє істотно (до 35–50 %) зменшити витрату бетону і, відповідно, зменшити їх власну вагу. Особливо це є важливим для перекриттів значних розмірів в плані і для будівель у потенційних сейсмічних районів України.

3. Улаштування вставок є нескладною технологічною операцією.

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

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 пустотілих бетонних і залізобетонних виробів / Деклараційний патент на винахід. - Державний департамент інтелектуальної власності. Бюл. №7-II від 15.12.2000р.

2 Мельник І.В. Оптимізація залізобетонних конструкцій з допомогою ефективних вставок // Проблеми теорії і практики будівництва: Збірн. наук. статей, том IV. – Львів, 1997. – С.89–90.

3. Євстаф'єв В.І. Полегшені багатопарові перекриття для архітектурно-будівельних систем з широким кроком несучих конструкцій / Автореф. ... дис. канд. техн. наук. – К., 2004. – 18 с.

4. Артюх В.Г., Санников И.В. Экспериментальное исследование монолитной железобетонной плиты с цилиндрическими пустотами // Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону: Міжвід. наук.-техн. зб. – К., 2007р.

5. Мельник І.В., Сорохтей В.М. Конструктивні рішення плоских монолітних залізобетонних перекриттів з ефективними вставками і експериментальне дослідження їх фрагментів // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. пр., 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 – Київ, НДІБК, 2007. – С. 794–801.

7. Мельник І.В., Сорохтей В.М., Яремко Б.В. Монолітні залізобетонні перекриття складної конфігурації в плані // Проблеми теорії і практики будівництва. Вісник НУ "Львівська політехніка" 2007р. №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 И.Д. Экпериментальное исследование трехслойных шлакожелезобетонных изгибаемых элементов с обычным армированием // Дисс. ... канд. техн. наук. – Львов, 1958.

11. Демчина Б.Г. Вогнестійкість одно – і багатопарових просторових будівель // Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Харків, 2003.

12. Гуца Ю.П. Влияние формы поперечного сечения элементов на прочность, трещиностойкость и деформативность // Бетон и железобетон. 1987. №5 – С. 19–20.