

## КАРКАСНІ БАГАТОПОВЕРХОВІ БУДИНКИ З БЕЗБАЛОЧНИМИ ЗБІРНИМИ ПЕРЕКРИТТЯМИ З КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ

**Гілодо О.Ю.**, к.т.н., доцент,  
gil@soborka.net, ORCID: 0000-0001-5387-5538

**Височан Н.К.**, к.т.н., доцент,  
ninokli24@gmail.com ORCID: 0009-0004-4481-2796

**Арсирій А.М.**, к.т.н., доцент,  
arsiriy@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3262-1488

**Корчевний Д.С.**, аспірант,  
dmitry\_pro@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7171-9421

**Павленко В.В.**, студент ПЦБ-628  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*

**Анотація.** Пропонується конструкція безригельного каркасу, основою якого є перехресно-балочні плити. Наша пропозиція полягає у використанні оригінального сталевго конектора, що дозволяє виготовити плиту з окремих елементів невеликої довжини. Винахід належить до універсальних з'єднань каркасних елементів, що можуть утворювати вузли під різними кутами. Запроектована модель 2 х 2 м перехресно – балочної плити розміром 6 х 6 м зі спіранням по кутах на консолі колон. Традиційні балки балочного перекриття перетворюються в контурні балки плити. При спіранні їх на колони, отримуємо конструкцію, яка представляє собою плиту, обперту по чотирьох кутах на кругові консолі колон. Особливістю плити є купольна форма її нижньої поверхні. Безбалочне перекриття з крупнорозмірних плит отримало переваги просторової роботи пологої оболонки. Розвинуті контурні опорні балки плити добре сприймають розпір та накісні зусилля у кутах. Для визначення доцільності пропонуємого конструктивного рішення були зроблені дві цифрові моделі багатоповерхових будівель з однаковим об'ємно – планувальним рішенням. Перша – зі сталевими колонами і дерев'яними плитами – оболонками, обпертими на консолі колон, друга зі звичайним сталевим балочним каркасом і монолітними залізобетонними перекриттями. Результати розрахунків показали ефективність безбалочного каркасу з перехресно-балочними плитами з клеєної деревини.

**Ключові слова:** безбалочне перекриття, багатоповерхові будівлі з деревини, конектор для дерев'яних перехресно – балочних елементів.

**Вступ.** Сучасне будівництво прагне екологічності, енергоефективності та зниження витрат, що робить клеєну деревину перспективним матеріалом для висотного будівництва. Багатоповерхові будівлі з клеєної деревини мають високу міцність, легкість, стійкість до сейсмічних навантажень і низький вуглецевий слід. Однак, незважаючи на активний розвиток технологій, залишаються питання, пов'язані з вогнестійкістю, довговічністю вузлових з'єднань та економічною ефективністю. Основний напрямок сучасного домобудування – проектування та будівництво безкаркасних багатоповерхових будівель на основі CLT панелей: панелей – перекриттів та панелей – стін. У цій статті розглядається альтернативне конструктивне рішення безбалочного каркасу з панелями, опертими по кутах на консолі колон. Окрім економії матеріалу та прискорення монтажу пропонується до застосування технологія виготовлення панелей перекриття у вигляді перехресно-балочної системи з дерев'яних планок, об'єднаних у вузли оригінальним конектором. Історично деревина використовувалася переважно у малоповерховому будівництві, але завдяки технологічним інноваціям останніх десятиліть стала основою для будівель заввишки до 20 поверхів. Сучасні приклади дерев'яних хмарочосів включають: Mjøstårnet (Норвегія, 85,4 м, 18 поверхів) – найвища будівля із клеєної

деревини у світі; НоНо Tower (Австрія, 84 м, 24 поверхи) – гібридна конструкція із CLT та бетону; Brock Commons (Канада, 53 м, 18 поверхів) – дерев'яний житловий комплекс, що швидко зводиться. Ці проекти демонструють конкурентоспроможність деревини у висотному будівництві. Однак їх реалізація вимагає вирішення низки технологічних завдань, включаючи вогнестійкість, стійкість до динамічних навантажень та вдосконалення вузлових з'єднань.

**Аналіз публікацій щодо сучасних багатоповерхових будинків з деревини.** Сучасні дерев'яні багатоповерхові будівлі будуються за трьома основними схемами:

- повністю дерев'яні конструкції: використовують клеєні панелі (CLT), LVL-балки та дерев'яні колони. Такі рішення, як Mjøstårnet, 2019 рік (Норвегія, 85,4 м, 18 поверхів) [1] – найвища будівля з клеєної деревини у світі, забезпечують легкість та енергоефективність;

- гібридні конструкції, де дерев'яний каркас поєднується з бетоном та сталлю. При цьому покращується жорсткість та стійкість будівлі. Наприклад Brock Commons, 2017 рік (Канада, 53 м, 18 поверхів), де бетонний сердечник доповнює дерев'яні перекриття [2] – модульні системи (Dalston Works (Лондон)), з перевагами заводського виготовлення модулів та монтажу на місці, з мінімальними термінами будівництва та відходів.

Темпи дерев'яного будівництва вражають. У 2019 році Ванкувер схвалив проект на будівництво 40-поверхового хмарочоса Canada Earth Tower, в якому розмістяться 200 квартир. Загалом у Канаді зараз будується близько 500 дерев'яних багатоквартирних будинків дозволеної поверховості — тобто не більше 20 поверхів. Досвід дерев'яних хмарочосів також взяли на озброєння у Китаї та Японії. У Японії висотному будівництву приділяють велику увагу через сейсмічну небезпеку регіону: усі токійські хмарочоси оснащені системою «бамперів» — придушення підземних поштовхів. Архітектори вважають, що застосування дерев'яного будівництва полегшить вагу будівель та дозволить розробити ще надійніші конструкції. Проект 70-поверхового дерев'яного хмарочоса розроблено компанією Sumitomo Forestry [3]. Популярність дерев'яної архітектури набирає обертів і в Німеччині. Майже кожна п'ята нова будівля тут збудована з дерева. В області висотної дерев'яної архітектури реалізовано такі проекти, як семиповерховий будинок у берлінському районі Пренцлауер Берг. Одинадять дерев'яних багатоповерхівок планується збудувати в Мюнхені. Дерев'яна вежа заввишки 65 метрів зводиться нині в Гамбурзі.

В 2026 році планується здати в експлуатацію 98-метровий будинок WoHo у столичному районі Берліна Кройцберг. "WoHo" (скорочення від "Wohnhochhaus" - "житловий багатоповерховий будинок") [4]. Він складатиметься з головної вежі та прилеглих до неї двох малоповерхових будівель з озеленими терасами. Житловий комплекс Via Cenni, м. Мілан, Італія висотою 9 поверхів площею 17 000 м<sup>2</sup>, для його будівництва було використано 6100 м<sup>3</sup> панелей CLT. Конструктивна товщина стінок зменшується на 20 мм через кожні два-три поверхи: на першому вона 200 мм, на дев'ятому - 120 мм. Товщина панелей перекриттів, залежно від прольоту, становить від 200 до 230 мм. Житловий комплекс Ruukkuokka, м. Ювяскюля, Фінляндія є комплексом з трьох енергоефективних будівель висотою від 6 до 8 поверхів загальною площею близько 18 650 м<sup>2</sup>. Будинки збираються з об'ємних модулів із внутрішнім оздобленням, виготовлених з панелей CLT. Офісна восьмиповерхова будівля Cree LCT (Life Cycle Tower) One, м. Дорнбірн, Австрія. Будівля з продуманим життєвим циклом представляє особливий напрямок у висотному дерев'яному будівництві. Технологія, запропонована компанією Cree GmbH, передбачає використання гібридних конструкційних елементів із клеєної деревини, каркасних дерев'яних конструкцій та залізобетону. Ліфтово-сходовий вузол та цоколь будівлі виконані із залізобетону. У збірних панелей перекриття нижня частина із клеєних балок, верхня – із залізобетону. Ці частини пов'язані арматурою і працюють як одне ціле, що забезпечує високу несучу та шумоізолюючу здатність при суттєвій економії будматеріалів. Клеєні балки панелей перекриття знизу залишаються видимими, будучи поряд з дерев'яними колонами прикрасою інтер'єру, а простір між балками використовується для прихованого прокладання комунікацій. Комплекс восьми поверхових будівель Wood City, м. Гельсінкі, Фінляндія 2015 – 2025 роки. Проект передбачає зведення

цілого кварталу. Житлові будівлі та готель у Wood City будуть зведені з модулів, зібраних на фабриці, які будуть поставлені на будмайданчик із внутрішнім та фасадним оздобленням та змонтованими інженерними системами. У США цікавий проект Timber Tower Research Project. 42-поверхова будівля, де всі елементи конструкції, крім балок, є дерев'яними. Таке конструктивне рішення названо Concrete Joined Timber Frame, що можна перекласти як дерев'яна конструкція з бетонною обв'язкою. Заміна дерев'яних балок бетонними дозволяє виключити усихання та набухання конструкції по висоті. Два нижні поверхи будівлі передбачається повністю звести з бетону. У конструкції наступних поверхів на дерев'яні елементи припадає 70%, на бетон – 30%.

Вищевикладені факти говорять нам про те, що будинки з клеєної деревини приходять на зміну бетонним. Однак ми не можемо навести жодного прикладу вітчизняного домобудівництва. Чому в Україні не будують із дерева, коли у Фінляндії частка дерев'яних будинків становить 40%, а у Німеччині та Австрії будівлі з деревини займають 30% будівельного ринку? Адже найбільша перевага дерев'яних будинків у тому, що вони є найбільш екологічним, здоровим житлом. Як показує європейська практика, тепер із дерева можна побудувати навіть житло, яке відповідає найвищим стандартам. І зрозуміло, що згодом дерев'яне житло ставатиме нормою у багатьох країнах як Європи, так і світу. Перерахуємо ключові переваги багатоповерхових дерев'яних будинків: такі будинки економічні в плані енергозбереження, довгострокове використання деревини в будівництві впливає на зниження кількості вуглекислого газу в атмосфері, за рахунок своєї гнучкості і еластичності деревина більш стійка до сейсмічної активності, ніж бетон, квадратний. демонтаж застарілого житла з повною переробкою та утилізацією будівельних відходів. Однак, незважаючи на такі плюси, багатоповерхові будинки у нас відсутні, оскільки максимальна висота дерев'яних будинків обмежена трьома поверхами. А замовники насамперед думають не про якість та здоров'я, а про вартість квадратного метра. Однак є й інші проблеми, це відсутність спеціалістів як проектувальників, так і будівельників, і відсутність виробничо-технологічної бази. Звернімо увагу тільки на один, але визначальний фактор - відсутність будь-якої номенклатури дерев'яних конструкцій. Тобто відсутність нормативної бази, без якої не можна розпочинати проектування. І, найголовніше, психологічний чинник. Це недовіра звичайних людей, які вважають, що з деревини можна робити тільки столярні вироби, а надійний будинок може бути залізобетонним або цегляним. Для вирішення цієї проблеми можна або взяти за основу зарубіжні норми та номенклатуру, або розробляти свої. При цьому просте копіювання навряд чи буде ефективним.

**Конструктивні схеми багатоповерхових будинків з деревини.** Сьогодні існують наступні варіанти конструктивних схем багатоповерхових будівель з клеєної деревини: цільнодерев'яна та комбінована – дерево з бетоном, дерево зі сталлю.

#### Цільнодерев'яні.

- система будівництва з CLT панелей. Це технологія Cross-laminated timber або X-lam – з великогабаритних перехрестно-клеєних панелей. Висушені дерев'яні ламелі товщиною від 10 до 45 мм під тиском не менше 0,6 Н/мм<sup>2</sup> перекресно наклеюють один на одного за допомогою сполучного складу, який не містить фенолформальдегідних смол. Завдяки перпендикулярному розміщенню волокон нівелюється анізотропність деревини, майже до мінімуму зводиться ефект усихання та значно збільшується несуча здатність;

- система FFTT (Finding the Forest Through the Trees) [5]. Серед різновидів даної системи розглянемо цільнодерев'яну. Вона розроблена для будівель висотою до 12 поверхів і передбачає наявність жорсткого ядра з CLT панелей як стіни і плити перекриття, а також балок і колон з клеєної деревини. На балки спираються плити перекриття CLT;

- стійково - балкові системи - припускають формування несучого просторового каркаса з використанням стійок та балок з дерева. Мають обмеження по висоті через необхідність забезпечення нормативних вимог просторової стійкості і частіше поєднуються із залізобетоном і сталлю;

- каркасно – щитові конструкції – використовують укрупнені стінові елементи заводського виготовлення у вигляді щитів та каркасів;
- об'ємно-блокові будівлі – монтуються із блоків – кімнат заводського виготовлення із дерев'яних плит або каркасно – щитових елементів.

#### Дерево та бетон.

- Технологія CREE System. Заснована на застосуванні дерево-залізобетонних плит з максимальним прольотом 10 м, у яких дерев'яні ребра працюють на розтяг у нижній частині плити, а залізобетонна полиця на стиск у верхній;
- каркасні системи із залізобетонним ядром жорсткості – використовуються для будівництва висотних будівель при необхідності забезпечення підвищених вимог до жорсткості та стійкості за рахунок роботи несучого сердечника із залізобетону. До ліфтово-сходової шахти з монолітного залізобетону примикає стійково-балочна система з колонами з клеєної деревини та CLT панелями перекриттів;
- будівлі із залізобетонними елементами та вузловими з'єднаннями [6]. Для багатоповерхових будівель доцільно включати залізобетонні елементи на найнапруженіших ділянках. Так при перекриттях з дерев'яних панелей, використовують залізобетонні балки обв'язувальні.

#### Дерево та сталь.

- каркасні будівлі з ядром жорсткості із сталевих рам [7]. Bullitt Center financial case study [7]. Сталь використовується і для вузлових конекторів колон, балок та панелей;
- дерев'яні каркаси зі сталевими вузлами та розкосами, що дозволяють скоротити витрату матеріалу;
- попередньо напружене дерево – металеві системи у районах підвищеної сейсмічної активності. Застосування таких систем не знайшло широкого поширення через високу вартість;
- FTTT системи із сталевими конструкціями при висоті будівлі понад 12 поверхів. Рекомендується комбінувати сталеві балки та дерев'яні панелі для досягнення необхідної жорсткості каркасу.

**Мета дослідження.** Розробити конструкцію багатоповерхового безригельного каркасу з перехресно – балочними панелями перекриттів, обпертими по кутах на консолі колон.

**Методика дослідження.** Пропонується конструкція безригельного каркасу, основою якого є перехресно-балочні плити Рис. 1. Перший етап проектування – розробка дерев'яної перехресно – балочної плити з клеєної деревини. Наша пропозиція полягає у використанні оригінального сталевго конектора, запропонованого інженером Ковтуном В.П., що дозволяє виготовити плиту з окремих елементів невеликої довжини. Винахід належить до універсальних вузлів і способу збирання елементів каркасу будівельних конструкцій, що можуть бути з'єднані під різними кутами, як по проекту так і з можливістю внесення змін у вже існуючі конструкції. Запропонований нами спосіб з'єднання двох, трьох або чотирьох каркасних елементів дозволяє змінювати конструкції безпосередньо на місці, з'єднання може бути затребуване при будівництві поверхонь різної форми, включаючи плоскі, склепінчасті, хрестоподібні склепіння зруйновані тощо.

Технологія дозволяє споруджувати стратодезичні купольні системи, гіперболічні параболоїди та інші складні геометричні форми. В універсальному вузлі з'єднання елементів містяться діагональні кріпильні елементи. При цьому з'єднувані торці елементів виконані під кутом 45° до повздовжньої центральної осі з'єднуваного торця відповідного каркасного елемента, а каркасні елементи будівельних конструкцій сполучені гранями їх з'єднуваних торців з утворенням кута 90° між ними.

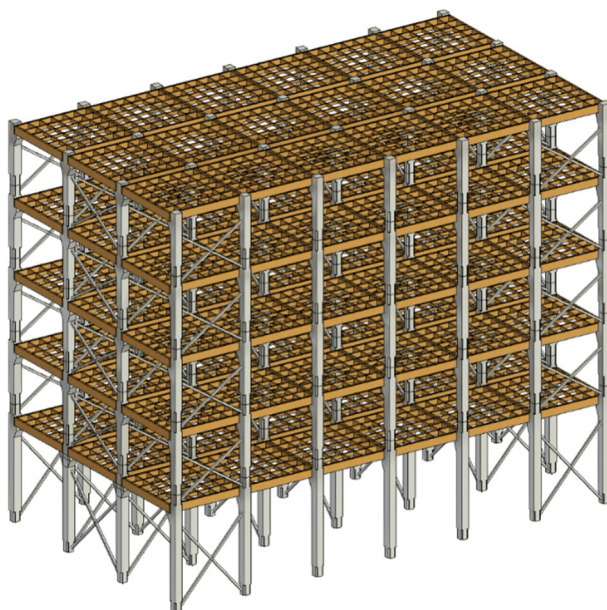


Рис. 1. Каркас з перехресно – балочними плитами

Значний внесок у розвиток методів розрахунку плит зробив С.П. Тимошенко [8], він застосував метод Рітца і теорію анізотропних пластин. У першому випадку енергетичне рівняння криволінійної поверхні системи задається у вигляді ряду подвійних тригонометричних функцій і зручно для вирішення завдань з вільною опорою по контуру. Інша робота С.П. Тимошенко заснована на заміні стержневої решітки еквівалентною анізотропною пластиною з пружними параметрами, «розподіленими» по поверхні, обмеженій тим же контуром. Цей спосіб приблизний і дає хороші результати тільки при окремому напрямку стержнів обох напрямків. На відміну від варіаційних методів обчислення, числові методи знайшли широке застосування лише в останні десятиліття. Метод обчислення з використанням часних рівнянь в умовах скінченних різниць був розроблений Ф. Блейхом і Е. Меланом [9]. При основних допущеннях будівельної механіки цей метод є точним (без урахування кручення). Однак його рішення громіздкі, а розрахунки трудомісткі.

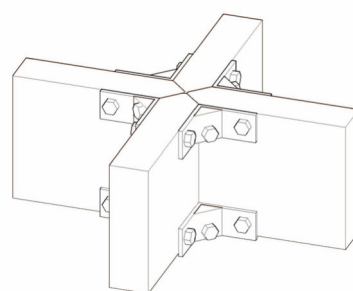
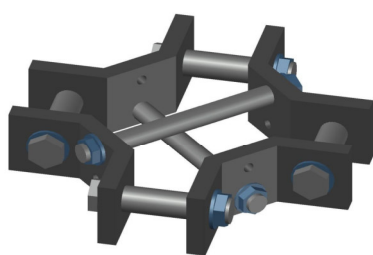


Рис. 2. Універсальний конектор

Апарат методу скінченних - різностей стає ще більш потужним в поєднанні з варіаційними принципами механіки, а також методами сил і переміщень. Розвиток класичних методів розрахунку складних статично невизначених систем, що призводять до вирішення великої системи лінійних рівнянь, довгий час гальмувався обчислювальними труднощами. Поява комп'ютерів значно розширило область застосування методів будівельної механіки і теорії пружності. Для точного статичного розрахунку використовуються обчислювальні комплекси типу "Ліра", SCAD, в яких, реалізовано метод скінченних елементів у вигляді переміщень [10].

**Результати досліджень.** Запроектована модель 2 х 2 м перехресно – балочної плити розміром 6 х 6 м зі спиранням по кутах на консолі колон. Перерізи елементів плити визначені під нормативне навантаження житлової багатоповерхової будівлі.

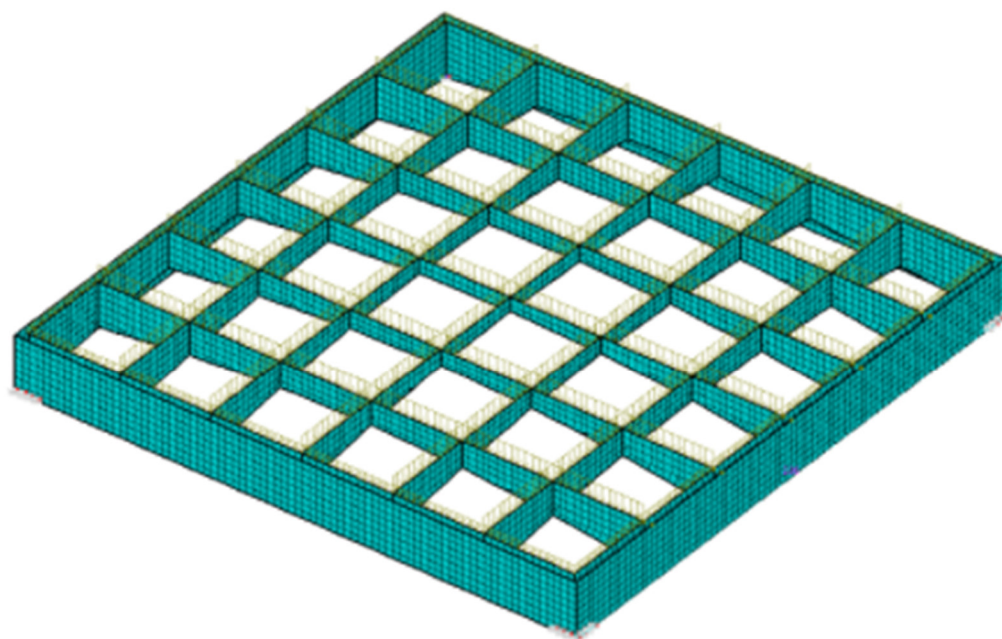
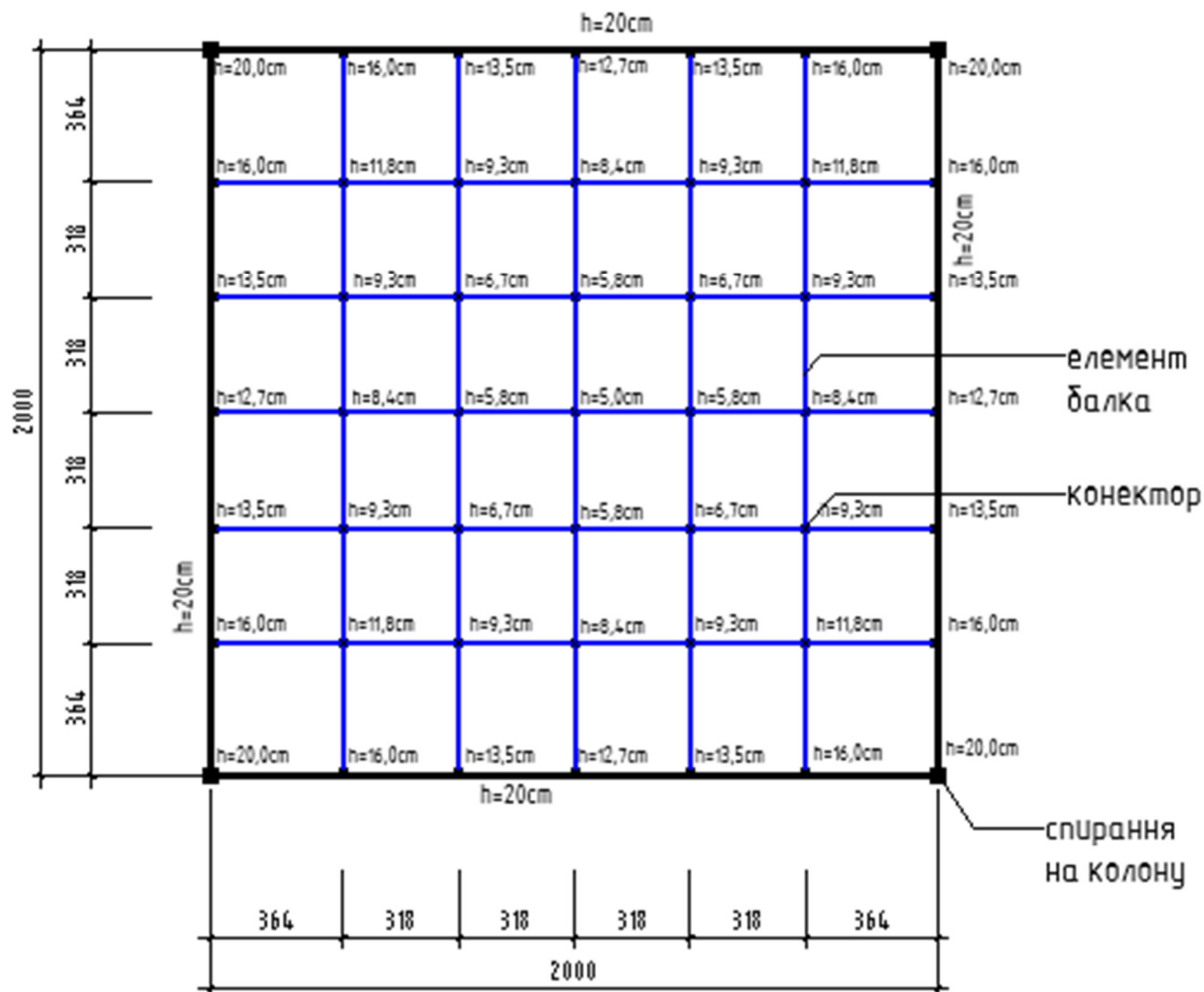


Рис. 3. Конструктивна та розрахункова схеми моделі панелі

Основою досліджень була теорія О.Ф. Лолейта для залізобетонного монолітного перекриття стосовно збірного: - традиційні балки балочного перекриття перетворились в контурні балки плити. При спиранні їх на колони, отримаємо конструкцію, яка представляє собою плиту, оперту по чотирьох кутах на кругові консолі колон. Особливістю плити є купольна форма її нижньої поверхні. Далі можна зробити новий крок і розглядати плиту, як пологу оболонку, що оперта на чотири кута. Безбалочне перекриття з крупнорозмірних плит отримало переваги просторової роботи під навантаженням пологої оболонки. Розвинуті контурні опорні балки плити добре сприймають розпір та накісні зусилля у кутах. Відсутність ригелів вимагає додаткових заходів для забезпечення просторової жорсткості каркасу. Загальна стійкість будівлі забезпечується суцільною роботою горизонтальних дисків перекриттів та вертикальних в'язів. Перекриття сприймають експлуатаційні навантаження і забезпечують жорсткість та незмінність будівлі в горизонтальній площині шляхом перерозподілу зусиль від вітру та інших горизонтальних навантажень. Забезпечення просторової жорсткості у вертикальній площині спрощується, якщо застосувати комбіноване рішення – зі сталевими колонами і в'язами.

Попередній розрахунок плити показав ї достатню несучу здатність. Рівномірно розподілене навантаження було приведено до зосередженого у вузлах. Визначивши зусилля, оптимізували поперечні перерізи окремих елементів плити – оболонки.

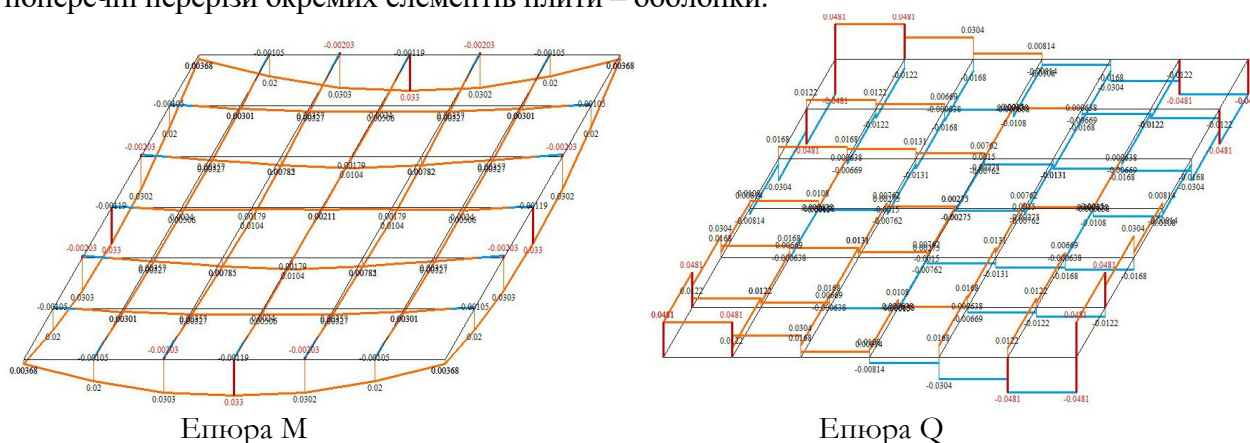


Рис. 4. Розрахункові зусилля в плиті

Для визначення ефективності пропонуємії конструкції перекриття були зроблені дві цифрові моделі багатоповерхових будівель з однаковим об'ємно – планувальним і різними конструктивними схемами - шести поверхова будівля 30 x 18 м, із сіткою колон 6 x 6 м. Перша схема – зі сталевими колонами у вигляді двотаврів 40K1 і дерев'яними плитами – оболонками, опертими на консолі колон, друга зі звичайним сталевим балочним каркасом з двотаврових колон 40K1, ригелів з двотаврів 35ШЗ і монолітних залізобетонних перекриттів товщиною 160 мм. В якості ядра жорсткості прийнята залізобетонна ліфтова шахта. По результатам розрахунку моделей в ПК Ліра САПР проведено їхній порівняльний аналіз. В результаті розрахунку отримані значення внутрішніх зусиль, що виникають в колонах першого поверху в обох варіантах, представлені в Таблиці 1.

Таблиця 1

Значення внутрішніх зусиль в колонах каркасів двох варіантів

| Вид каркасу | N, кН     | M, кНм  | Qy, кН |
|-------------|-----------|---------|--------|
| 1           | 2         | 5       | 6      |
| Варіант №1  | -1465,37  | 26,24   | 0,094  |
| Варіант №2  | - 954,957 | -17,533 | -4,91  |

Збільшення зусиль в колонах в першому конструктивному варіанті з безбалочним перекриттям не призвело до критичних деформацій каркасу. Максимальні деформації при дії розрахункових навантажень не перевищили критичних значень.

Таблиця 2

## Максимальні переміщення вузлів каркасу

| Вид каркасу | по X, см | по Y, см |
|-------------|----------|----------|
| 1           | 2        | 3        |
| Варіант №1  | 0,0999   | 0,149    |
| Варіант №2  | 0,268    | 0,0655   |

**Висновки:**

1. Запропонована конструкція безригельного каркасу, основою якого є перехресно-балочні плити, обперті по кутах.
2. Для виготовлення перехресно – балочної плити використовується оригінальний сталевий конектор, що дозволяє виготовити плиту з окремих елементів невеликої довжини.
3. Особливістю плити є купольна форма її нижньої поверхні. Безбалочне перекриття з крупнорозмірних плит отримало переваги просторової роботи пологої оболонки.
4. Розрахунок плити показав ї достатню несучу здатність в якості використання, як елемента міжповерхового перекриття житлового будинку.
5. Порівняльний аналіз розрахунку цифрових моделей традиційного балочного багатоповхового каркасу зі сталевими колонами, ригелями і монолітними залізобетонними перекриттями з варіантом безригельного каркасу зі сталевими колонами і перехресно – балочними плитами – оболонками показав, що безригельний каркас має суттєві резерви несучої здатності.
6. Запланована низка аналітичних і лабораторних випробувань перехресно – балочних плит та їхніх вузлів для визначення оптимальних умов кріплення плит між собою і плит з колонами та для точного опису моделювання проміжних вузлів.

**Література**

1. <https://www.moelven.com/contentassets/45063567b84944dab52c6d890dceb38f/wcte2023-mjostarnet.-the-worlds-tallest-timber-building.pdf>
2. [https://cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/CS-BrockCommon.Study\\_.23.pdf](https://cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/CS-BrockCommon.Study_.23.pdf)
3. <https://www.theguardian.com/cities/2018/feb/16/plyscraper-city-tokyo-tower-wood-w350>
4. <https://www.ubm-development.com/magazin/woho-berlin/>
5. Green Michael C. The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. – mgb Architecture + Design, 2012.
6. Timber tower research project. Final report. Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013.
7. <http://www.bullittcenter.org/2015/04/02/bullitt-center-financial-case-study/>
8. Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1963. – 635 с.
9. Блейх Ф. Уравнения в конечных разностях статики сооружений / Ф. Блейх, Е. Мелан. – Харьков: Гос. науч.-техн. изд-во Украины, 1936. – 156с
10. Перельмутер, А.В. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер, В.И. Сливкер. – Киев: Изд-во Сталь, 2002. – 600 с.

## References

- [1] <https://www.moelven.com/contentassets/45063567b84944dab52c6d890dceb38f/wcte2023-mjostarnet.-the-worlds-tallest-timber-building.pdf>
- [2] [https://cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/CS-BrockCommon.Study\\_.23.pdf](https://cwc.ca/wp-content/uploads/2019/03/CS-BrockCommon.Study_.23.pdf)
- [3] <https://www.theguardian.com/cities/2018/feb/16/plyscraper-city-tokyo-tower-wood-w350>
- [4] <https://www.ubm-development.com/magazin/woho-berlin/>
- [5] Green Michael C. The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmental Friendly Alternative for Tall Building Structures. – mgb Architecture + Design, 2012.
- [6] Timber tower research project. Final report. Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013.
- [7] <http://www.bullittcenter.org/2015/04/02/bullitt-center-financial-case-study/>
- [8] Tymoshenko, S.P. Plastynky y obolochky / S.P. Tymoshenko, S. Voynovskyy-Kryher. – M.: Nauka, 1963. – 635 s.
- [9] Bleykh F. Uravnenyya v konechnykh raznostyakh statyky sooruzhenyy / F.V. Bleykh, E. Melan. – Khar'kov: Hos. nauch.-tekhn. yzd-vo Ukrainy, 1936. – 156s
- [10] Perel'muter, A.V. Raschetnye modeli sooruzhenyy y vozmozhnost' ykh analiza / A.V. Perel'muter, V.Y Slyker. – Kyev: Yzd-vo Stal', 2002. – 600 s.

## FRAME MULTI-STOREY BUILDINGS WITH BEAMLESS PREFABRICATED FLOORS MADE OF GLUED WOOD

**Gilodo O.**, PhD, Associate Professor,  
gil@soborka.net, ORCID: 0000-0001-5387-5538

**Vysochan N.K.**, PhD, Associate Professor,  
ninokli24@gmail.com ORCID: 0009-0004-4481-2796

**Arsiriy A.**, PhD, Associate Professor,  
arsiriy@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3262-1488

**Korchevnyi D.S.**, graduate student,  
dmitry\_pro@ukr.net, ORCID: 0000-0002-7171-9421

**Pavlenko V.V.**, student

*Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*

**Abstract.** We propose the design of a transomless frame based on cross-beam slabs. Our proposal is to use an original steel connector, which allows us to make a slab from individual elements of small length. The invention belongs to the universal connections of frame elements that can form assemblies at different angles. A model of a 2 x 2 m cross-beam slab measuring 6 x 6 m with a corner support on column consoles was designed. Traditional beams of the beam floor are transformed into contour beams of the slab. When they are supported on the columns, we get a structure that is a slab supported at four corners on circular column consoles. Floors bear operational loads and ensure the rigidity and stability of the building in the horizontal plane by redistributing forces from wind and other horizontal loads. Ensuring spatial rigidity in the vertical plane is simplified by using a combined solution with steel columns and trusses. The peculiarity of the slab is the dome shape of its lower surface. The beamless slab of large-size slabs takes advantage of the spatial operation of the hollow core. The developed contour support beams of the slabs are well suited to accommodate bracing and overhang forces in the corners. To determine the feasibility of the proposed structural solution, two digital models of multi-storey buildings with the same space-planning solution were made. The first one has steel columns and wooden slabs - shells supported on column consoles, the second one has a conventional steel beam frame and monolithic reinforced concrete floors. The results of the calculations showed the efficiency of the beamless frame with cross-beam laminated wood slabs.

**Keywords:** beamless flooring, multi-storey buildings made of wood, connector for wooden cross-beam elements.