

Тімченко Р. О., д.т.н., професор, Крішко Д. А., к.т.н., доцент, Бихно В. О., аспірант (Криворізький національний університет)

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ МАТЕРІАЛУ ДЛЯ КАРКАСУ

Будівництво висотних будівель у великих містах досягає все більшого розвитку. Це зумовлено: високою вартістю земельних ділянок, обмеженістю міських площ, вирішенням питань урбаністичного розвитку та іншими причинами. Конструювання висотних будівель має свою специфіку, з погляду об'ємної форми, пропорцій, вибору конструктивних схем та елементів будівель. Враховуючи сучасні тенденції висотного будівництва, було наведено класифікацію конструктивних схем, розглянуто основні несучі конструкції висотних будівель, зроблено аналіз, дано опис деяких інженерних рішень, які знайшли себе у будівельній практиці. Основним питанням під час проєктування висотних будівель є забезпечення надійності експлуатації, тому будівництво таких об'єктів вимагає використання сучасних інженерних рішень.

Ключові слова: висотні будівлі; конструктивні схеми; каркас; монолітний залізобетон; аутригер.

Аналіз досліджень і постановка задачі. Питання проєктування конструктивних схем висотних будівель, зокрема, нові концептуальні підходи до створення ефективних конструкцій розглядалися: В.І. Травушем, Н.М. Складневим, Р.О. Тімченко, Г.В. Гетун, С.І. Дубінським, В.Г. Кривицьким. Праці зарубіжних дослідників зробили свій внесок у розгляд проблематики висотного будівництва: К. Александра, Д. Росса, М. Кольмара, С. Масетті та ін. [1].

Поштовхом для розвитку висотного будівництва в Україні можна вважати кінець 90-х років, коли були визнані недійсними радянські норми, що обмежували висоту будівель. З того часу в країні збудовано більше 30 будинків вищих 100 метрів. Прикладами реалізованих проєктів висотних житлових будівель в Україні є: ЖК «Башти», висота 123 м, 2005 р. в м. Дніпро; ЖК «Корона», висота 128 м, 2007 р., 2008 р.; ЖК «Срібний бриз», висота 111 м, 2009 р. в м. Київ; ЖК «Ark Palace» № 1, висота 106 м, 2009 р. в м. Одеса.

В Україні проєктування висотних будівель регламентується ДБН В.2.2-41:2019, зокрема, проєктування та будівництва висотних житлових будинків і громадських будівель (далі – висотних будівель)



з умовною висотою понад 73,5 м відповідно до ДБН В.1.1-7:2016, в тому числі житлових будинків висотою до 100 м включно та громадських будівель висотою до 150 м включно [2].

Метою даної статті є дослідження основних конструктивних схем висотних будівель, а також розгляд особливостей вибору матеріалу для каркасу (монолітний залізобетон, високоміцна сталь, комбінований сталезалізобітон, а також трубобетон).

Викладення основного матеріалу

Для висотних будівель першочерговим значенням є саме здатність витримувати значні вітрові навантаження та впливи сейсмічних коливань, а тому такі будівлі, на відміну від малоповерхових, повинні працювати як єдина структура. Іншими словами, висотна будівля – це, в широкому значенні, певна просторова структура, що складається з сукупності взаємопов'язаних конструктивних елементів, що забезпечують її міцність, просторову жорсткість, загальну стійкість та архітектурний вигляд.

У нашій країні порівняно невеликий досвід проєктування і зведення висотних будівель. Тому при їх проєктуванні та будівництві, може виникати ряд особливостей і питань. Одне з важливих питань при проєктуванні висотних будівель є ефективна конструкція фундаменту, оскільки важливим є великі навантаження на основу фундаменту, так і особливості інженерно-геологічних умов на ділянці будівництва.

Проблеми, що виникають при проєктуванні та будівництві основ і фундаментів висотних будівель обумовлені тим, що зростання поверховості та розмірів будівлі в плані призводить до суттєвих якісних змін процесу формування напружено-деформованого стану основи, конструкцій фундаментів та будівлі, а також спільної роботи всієї системи загалом. Для висотних будівель характерні висота від 75 м, великі розміри фундаментів у плані (площею $F = 10000 \text{ м}^2$ і більше), влаштування глибоких котлованів (20–30 м) та ще більш заглиблених конструкцій, що захищають; значущість та суттєвий ексцентриситет переданих на ґрунти основи навантажень (тисків $q = 0,5 \text{ МПа}$ і більше). В результаті до процесів формування напружено-деформованого стану зони впливу висотної будівлі (системи активна зона ґрунтової основи – огорожувальна конструкція та фундамент – підземна частина та верхня будова висотної будівлі) залучаються величезні масиви ґрунту як під подошвою фундаментів (плити, п'яти паль), так і осторонь від огорожувальних конструкцій [3; 4].

Також суттєве значення має вибір конструктивної схеми будівлі, яка б задовольняла архітектурним вимогам до конкретної

будівлі, а також була найбільш раціональною з точки зору технології її зведення, практики застосування даної схеми для існуючих інженерно-геологічних умов та умов забудови.

У висотних будівлях схеми передачі навантажень тісно пов'язані з формою і структурою плану. Цей взаємозв'язок обумовлений кількістю пілонів, ядер жорсткості, колон і їх розташуванням в плані. Щоб створити потрібні передумови для гнучкого планування поверхів і можливостей для подальшого перепланування приміщень на кожному поверсі, розробляють проект з несучими елементами, активними по висоті, націлений на максимально можливе зменшення кількості елементів, що передають навантаження та їх перерізів. У зв'язку з цим, для оптимального використання площ, всі просторові елементи, які необхідні для висотної будови, мають бути потенційними несучими конструкціями: сходові клітки, шахти ліфтів, санітарно-технічні канали тощо [5].

З розвитком висотного будівництва було розроблено кілька конструктивних схем будівель: рамно-в'язева, каркасна з діафрагмами жорсткості, безкаркасна з перехресно-несучими стінами, ствольна, каркасно-ствольна, коробчата (оболонкова), ствольно-коробчата («труба в трубі» або «труба в фермі») (рис. 1). Вибір тієї чи іншої конструктивної схеми залежить від багатьох факторів, основними з яких є висота будівлі, умови будівництва (сейсмічність, ґрунтові особливості, вітрові навантаження), архітектурно-планувальні вимоги [2].

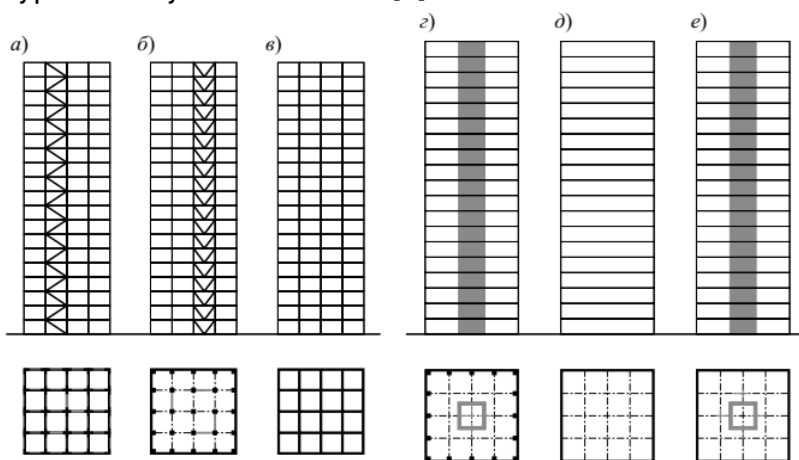


Рис. 1. Конструктивні схеми будівель: а – рамно-в'язева; б – каркасна з діафрагмами жорсткості; в – безкаркасна з перехресно-несучими стінами; г – ствольна; д – коробчата (оболонкова); е – ствольно-коробчата («труба в трубі» або «труба в фермі»)



Більшість висотних будівель зараз будується за каркасними або змішаними схемами. Також поширення набуло застосування ствольної (ядрової) конструктивної схеми: «труба в трубі» та «труба в фермі». Ця конструктивна схема складається з центрального стовбура (ядро жорсткості), що сприймає основну частку навантажень, і периметральних несучих елементів: окремих колон, ґратчастих схем (ферм, складових стрижнів та інших.), пілонів, які можна поєднати у єдину конструкцію.

При проектуванні слід застосовувати максимально ефективні рішення, що дозволить значно зекономити матеріально-технічні ресурси. Так, використання більш високого класу арматури в залізобетонних конструкціях дозволяє зменшити загальну вартість арматури на 10–15%. Вибір різних класів бетону залежно від висоти будівлі дає можливість зменшити вартість бетону, потрібного для будівництва. Пошук оптимальних конфігурацій будівлі та раціональних конструктивних схем необхідно проводити на всіх етапах проектування. Використання вже існуючих проєктів будівель в зоні з вищою сейсмічністю дозволить застосувати аналогічні конструктивні рішення, доповнивши їх додатковими елементами для підвищення жорсткості: сейсмоізоляція, аутригерні поверхи тощо [6].

Важливим аспектом є той факт, що незалежно від конструктивної схеми висотної будівлі перерізи вертикальних несучих елементів (пілони, головні та другорядні колони) повинні збільшуватися в розмірах, чим далі вниз по висоті будівлі вони розташовані, у відповідь на збільшення навантажень зверху. Спрощено цей ефект враховується в ітераційному розрахунку. Однак, точне рішення для кожного поверху в даному випадку непотрібне, оскільки малоімовірно, що колони будуть розраховані окремо для кожного ярусу. Оптимізація розмірів колон лише з огляду на обсяг матеріалу не є найбільш економічним рішенням, оскільки існують інші фактори, такі як опалубка та з'єднання, які слід враховувати. Наприклад, у будівлі Karlatornet Gothenburg, збудованої у 2023 р., колони змінюють переріз кожні 10–15 поверхів. Більш важливим в даному випадку є не економія загального обсягу матеріалу, а саме вибір матеріалу несучих вертикальних елементів (сталь, залізобетон або їх комбінація), та вибір типів з'єднання з горизонтальними дисками перекриттів та передача навантажень на основи [7].

При компоновці монолітних залізобетонних висотних будівель слід віддавати перевагу мінімальній кількості пілонів, що мають розвинені розміри в плані. Мінімумально необхідною і достатньою для забезпечення геометричної незмінності будівлі є система пілонів, до

складу якої входить не менше трьох плоских діафрагм, площині яких не перетинаються на одній прямій і не паралельні.

Первинною позицією при проєктуванні монолітних будівель має бути процедура вибору і призначення схеми несучих конструкцій: рамна, змішана, рамно-в'язева, в'язева (рис. 1). Вибору схеми повинно передувати техніко-економічне порівняння варіантів, що ґрунтується на аналізі висоти споруди, інженерних умов майданчику (геологія, гідрогеологія, сейсмічність), рівня і складу навантажень, конфігурації будівлі, технологічних особливостей зведення та ін. У зв'язку з чим, слід прийняти до уваги, що рамна схема – схема, функціонування, надійність і довговічність якої забезпечується жорсткістю вузлів рам. Вплив дисків перекриттів тут другорядне. Змішана схема – схема, функціонування, надійність і довговічність якої забезпечується в одному напрямку жорсткістю вузлів рам, а в другому системою зв'язків. Рамно-в'язева схема – схема, функціонування, надійність та довговічність якої забезпечується вузлами рам и зв'язками. В'язева схема – схема, функціонування, надійність та довговічність якої забезпечується системою пілонів (ядер) і дисками перекриттів.

Для підвищення загальної жорсткості з одного боку, зменшення коефіцієнтів армування окремих елементів з іншого боку, в роботу в'язевої схеми на сприйняття горизонтальних навантажень слід включати зовнішні колони. Включення здійснюється через аутригери (аутригерні поверхи) [1]. Особливістю цієї конструкції є те,

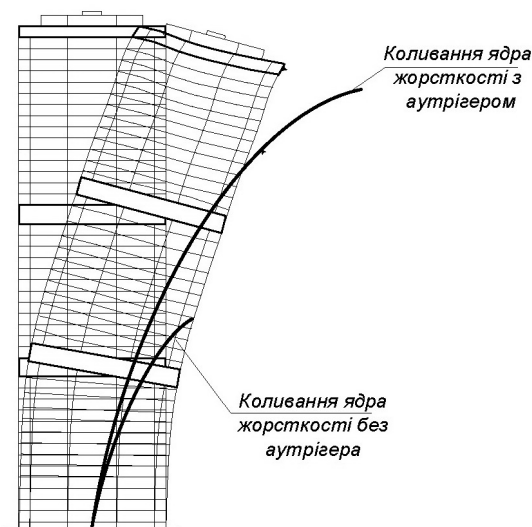


Рис. 2. Порівняльна схема загальної жорсткості будівлі з аутригерним поверхом та без нього

що вона збільшує загальну жорсткість будівлі (рис. 2). Це досягається розміщенням на певному поверсі просторових ферм, що з'єднують ядро жорсткості з зовнішнім периметром колон. Для кожної будівлі розташування «жорсткого» поверху визначається окремо залежно від його архітектурних і геометричних властивостей, але найбільше доцільним розташування його на 2/5–3/5 від висоти всієї будівлі.

В цьому випадку колони отримують тільки додаткові (вертикальні) навантаження. Окрім того, включення зовнішніх колон в роботу загальної в'язевої схеми на горизонтальні навантаження значно полегшує схему і одночасно підвищує загальну жорсткість будівлі. Аутригерні поверхи використовують в якості технічних і для розташування в їх межах систем сейсмо- і віброгасіння коливань [5].

Як приклад схеми аутригерного поверху можна розглянути схему будівлі «Шанхайський всесвітній фінансовий центр» (рис. 3).

Для зниження витрат сталі й полегшення бетонування в колонах, балках і фундаментних плитах замість стикування стержневої арматури діаметром 20 мм і більше шляхом перепуску рекомендується її стикувати в торець за допомогою ванного зварювання [5].

Металеві конструкції для колон набули теж досить великого поширення, адже сталь є найефективнішим матеріалом завдяки своїй жорсткості та стійкості (рис. 2). Сталеві несучі конструкції за своєю структурою в 5–8 разів жорсткіші та приблизно в 10 разів міцніші, ніж бетон. Менші перерізи колон збільшують корисну площу поверхів будівлі та зменшують навантаження на фундаменти [8].

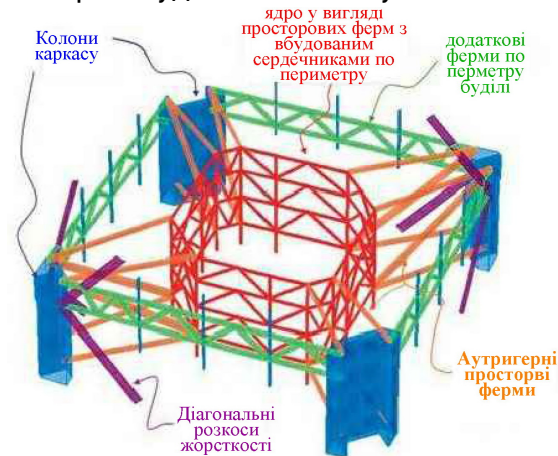


Рис. 3. Схема зображення аутригерного поверху будівлі «Шанхайський всесвітній фінансовий центр»

Сталезалізобетонні несучі конструкції, які виготовляються з бетону і сталевих гарячекатаних та зварних елементів (двотаврів, швелерів, труб, кутових елементів), рекомендується застосовувати, в основному, для колон із обмеженою площею поперечного перерізу та високими навантаженнями, коли їх несуча здатність при застосуванні несучої гнучкої арматури недостатня. При

розгляданні металевого чи комбінованого каркасу, виділяють наступні перерізи колон (рис. 4).

Варіантів перерізів їх колон та їх комбінацій значно більше, проте основне значення при зміні поперечного перерізу колон має універсальність їх монтажу та підбір таких перерізів, що дозволив би уніфікувати вузли їх з'єднання між собою та з'єднання з балками

перекрыттів, аутригерними фермами тощо.

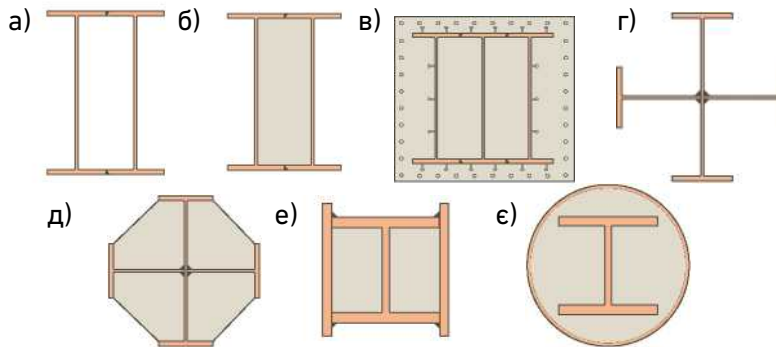
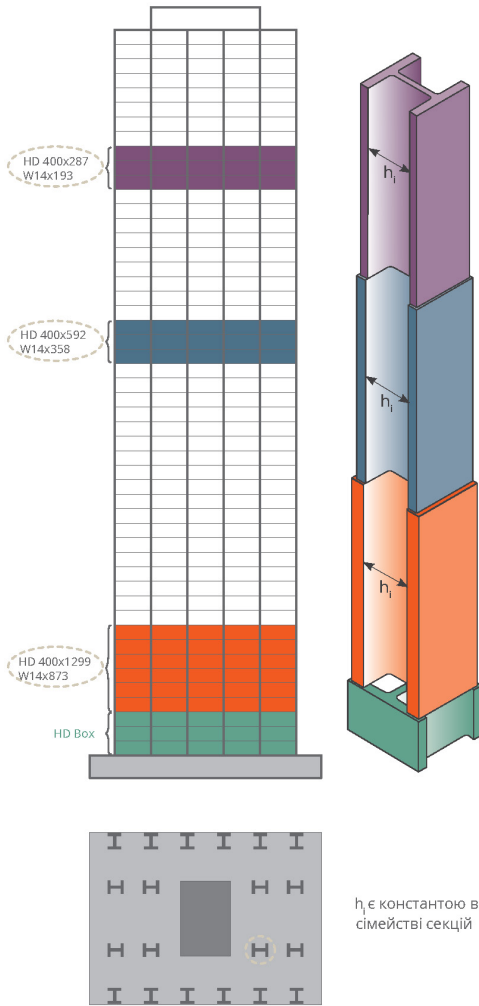


Рис. 4. Характерні перерізи металевих та комбінованих (стале залізобетонних) колон: а – коробчатий перетин зварний з двох секцій; б – складений стовпець: коробчаста зварена з двосекційної секції з бетонним заповненням; в – складна колона – коробчатий перетин зварний з трьох секцій обетонована з армуванням; г – хрестоподібний переріз виготовлений з одного прокату і двох Т-подібних перерізів; д – хрестоподібний переріз виготовлений з одного прокату і двох Т-подібних перерізів та обетонуванням; е – композиційна колона: широка фланцева балка в коробці з двох плит, залитих бетоном; з) – композиційна колона: широка фланцеві секції, укладені в заповнену бетоном сталеву трубу

50-поверхова офісна будівля висотою 185 м із залізобетонним ядром, колони каркасу якої виконані з профілів типу HISTAR виробництва ArcelorMittal Europe зображена на рис. 5.

В ній навантаження на підлогу становлять 8 кН/м^2 , а проліт між колонами – від 10 до 12 м [8]. Перевага таких колон полягає в тому, що вони мають кратні розміри полиць та однакові відстані між ними незалежно від площі перерізу їх елементів, що значно спрощує їх монтаж і розширює варіанти розташування та зміни їх перерізів в залежності від поверху будівлі. Це допомагає досягти оптимального кроку зміни перерізів колон по висоті будівлі, не знижуючи її зальну міцність та не ускладнюючи вузли з'єднання колон між собою, з балками перекриття та аутригерами.

Також слід звернути увагу на варіант використання трубобетонних колон, зокрема при каркасній схемі, оскільки у даних схемах згинальні моменти, що виникають від горизонтальних навантажень, сприймаються переважно монолітними стовбурами або ядрами жорсткості (рис. 6).



Трубобетон є комплексною конструкцією, що складається зі сталеві оболонки і бетонного ядра, які працюють спільно. Трубобетонні елементи, що мають невелику гнучкість і малі ексцентриситети докладання поздовжньої сили (що характерно для вертикальних несучих елементів каркасів висотних будівель), володіють виключно високою несучою здатністю при відносно малих поперечних перерізах, будучи прикладом вдалого поєднання цінних властивостей.

У Європі, США, Японії, Китаї та інших розвинених країнах при будівництві висотних будинків з використанням трубобетонних технологій переважно використовували каркасно-ствольну конструктивну схему [9].

Рис. 5. Принцип комбінування та розташування металевих колон у висотній офісній будівлі

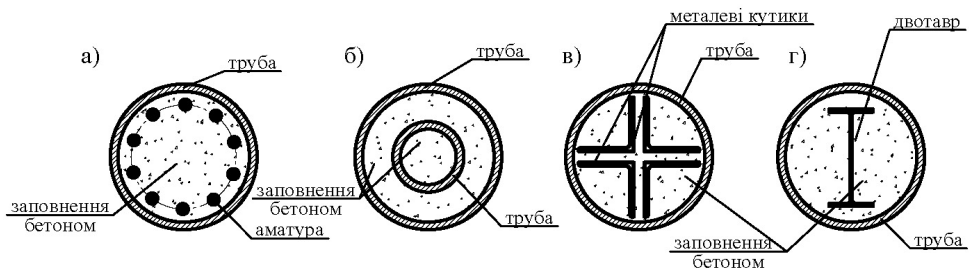


Рис. 6. Трубобетонні колони: а – армування бетонного ядра гарячекатаною арматурою; б – армування бетонного ядра трубою меншого діаметру; в – армування бетонного ядра металевими кутиками; г – армування бетонного ядра двотавром

Основним фактором при зведенні висотних будинків з урахуванням застосування трубобетонних елементів є забезпечення спільної роботи бетонного ядра і сталеві оболонки при експлуатаційних навантаженнях, що є істотним конструктивним недоліком даних конструкцій. У зв'язку з цим не вирішено питання моделювання трубобетонного елемента в доступних сучасних обчислювальних комплексах, що базуються на методі скінченних елементів («Scad Office», Ліра САПР тощо), де необхідно враховувати в комплексі фізико-механічні властивості різних матеріалів, а також зчеплення бетонного ядра з внутрішньою поверхнею сталеві оболонки труби [10].

Широкому застосуванню трубобетонних конструкцій в Україні перешкоджає відсутність вітчизняних нормативних документів щодо їх розрахунку та проєктування, особливо вузлових з'єднань з трубобетонними елементами. Крім того, зміна перерізу трубобетонної колони по висоті будівлі ще більше ускладнює вузли їх з'єднання між собою та з горизонтальними дисками перекриття. Тобто, зважаючи на вищесказане, застосування трубобетонних конструкцій у висотних будівель не знайшло широкого застосування і мало більш експериментальне значення.

Тому, у вітчизняній і світовій практиці найбільшого поширення знайшли саме комбіновані схеми будівель, із застосуванням монолітних залізобетонних ядер у вигляді стін та пілонів, а також металевого або ж сталезалізобетонного каркасу.

При виборі та конструюванню засобів сейсмічного захисту важливу роль відіграють коректні розрахунки. Одною з проблем сучасного проєктування у сейсмічних зонах є правильний вибір сейсмічного навантаження. Для задач висотних будівель і споруд необхідно використовувати прямі динамічні методи інтегрування в часі, які забезпечують можливість врахування згасань коливань в різних середовищах [11].

Також встановлено, що при розрахунках взаємодії елементів системи «основа – фундамент – будівля» діючі навантаження та жорсткість ґрунту, суттєво впливають на результуючий напружено-деформований стан і тому повинні враховуватись при розрахунках.

Висновки і перспективи досліджень

Використання комбінованих конструктивних рішень, вертикальних несучих елементів змінного перерізу при каркасній та змішаній схемах відкриває широкий спектр досліджень їх ефективності. Звісно, не існує універсального рішення для досягнення найкращих показників просторової жорсткості висотних



будівель, кожен варіант може мати свої переваги та недоліки. Тому застосування тієї чи іншої конструктивної схеми, або того чи іншого матеріалу несучих конструкцій, їх комбінацій є досить індивідуальним, і залежить від багатьох факторів: інженерно-геологічних характеристик території, навантажень, сейсмічності та архітектурно-планувальних рішень самої будівлі. Дослідження за алгоритмом вибору раціональнішого варіанту конструктивної схеми є дуже важливим і дозволить врахувати всі фактори, що перелічені вище.

Проведений аналіз показує недостатню вивченість використання труботону для каркасу висотної будівлі, навіть відсутні досліді на сейсмічні впливи для різних перерізів.

Передбачається більш детальне дослідження ефективності комбінування конструктивних схем, раціонального використання вертикальних несучих елементів змінного перерізу з різних матеріалів та використання засобів для підвищення просторової жорсткості та стійкості висотної будівлі при сейсмічних впливах і нерівномірних деформаціях основи.

1. Травуш В. И. Конин Д. В. Работа высотных зданий с применением этажей жесткости (аутригеров). *Вестник ТГАСУ* : науч.-техн. журнал. Томск, 2009. № 2. С. 77–91. 2. ДБН В.2.2-41:2019. Висотні будівлі. Основні положення. [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд, 2019. 57 с. 3. Тімченко Р. О., Головка С. І., Крішко Д. А., Бронів Д. Г. Проектування оптимальних фундаментних конструкцій для висотних будівель в особливих умовах. *Сучасні технології в науці та освіті* : міжн. наук.-практ. конф. (22–23 квітня 2021 р.). Сєвєродонецьк, 2021. С. 70–76. 4. Тімченко Р. О., Крішко Д. А., Бронів Д. Г. Фактори геотехнічної і геомеханічної безпеки висотних будівель. *Гірничий Вісник* : зб. наук. праць. Кривий Ріг, 2021. Вип. 109. С. 85–91. 5. Гетун Г., Колякова В., Безклубенко І., Баліна О., Мельник В. Аналіз специфічних особливостей проектування висотних будівель у сейсмічних районах. *Будівельні конструкції. Теорія і практика* : зб. наук. праць. Київ, 2019. № 4. С. 39–46. 6. Яцун В. В. Деякі аспекти архітектурного проектування та зведення висотних будівель. *Наукові записки* : зб. наук. праць. Кіровоград, 2010. № 10. С. 26–29. 7. Гапонова Л. В. Проектування висотних будівель. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 84 с. 8. Горев В. В., Уваров Б. Ю., Филиппов В. В. Металлические конструкции. Элементы конструкций. Москва : Высшая школа, 2004. Том 1. 551 с. 9. Сорочак А. П. Програмне забезпечення інженерних розрахунків. Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2018. 128 с. 10. Hill J. How to Build a Skyscraper. London : Firefly Books, 2017. 192 p. 11. Гетун Г. В., Сахаров В. О., Мельник В. А. Дослідження впливу сейсмоізоляції на напружено-деформований стан висотної будівлі під дією сейсмічних навантажень. *Світ*

геотехніки : наук.-техн. журн. Київ, 2013. Вип. 2. С. 18–23.

REFERENCES:

1. Travush V. Y. Konyn D. V. Rabota vysotnykh zdanyy s pryimenenyem étazhey zhestkosti (autryherov). *Vestnyk THASU* : nauch.-tekhn. zhurnal. Tomsk, 2009. № 2. S. 77–91.
2. DBH B.2.2-41:2019. Vysotni budivli. Osnovni polozhennia. [Chynnyi vid 2020-01-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Minrehionbud, 2019. 57 s.
3. Timchenko R. O., Holovko S. I., Krishko D. A., Bronov D. H. Proektuvannia optymalnykh fundamentnykh konstruksii dlia vysotnykh budivel v osoblyvykh umovakh. *Suchasni tekhnologii v nauksi ta osviti* : mizhn. nauk.-prakt. konf. (22–23 kvitnia 2021 r.). Sievierodonetsk, 2021. S. 70–76.
4. Timchenko R. O., Krishko D. A., Bronov D. H. Faktory heotekhnichnoi i heomekhanichnoi bezpeky vysotnykh budivel. *Hirnychiy Visnyk* : zb. nauk. prats. Kryvyi Rih, 2021. Vyp. 109. S. 85–91.
5. Hetun H., Koliakova V., Bezklubenko I., Balina O., Melnyk V. Analiz spetsyfychnykh osoblyvosti proektuvannia vysotnykh budivel u seismichnykh raionakh. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka* : zb. nauk. prats. Kyiv, 2019. № 4. S. 39–46.
6. Yatsun V. V. Deiaki aspekty arkhitekturnoho proektuvannia ta zvedennia vysotnykh budivel. *Naukovi zapysky* : zb. nauk. prats. Kirovohrad, 2010. № 10. S. 26–29.
7. Haponova L. V. Proektuvannia vysotnykh budivel. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. 84 s.
8. Horev V. V., Uvarov B. Yu., Fylyppov V. V. Metallicheskye konstruksyy. Élementy konstruksiy. Moskva : Vysshaya shkola, 2004. Tom 1. 551 s.
9. Sorochak A. P. Prohramne zabezpechennia inzhenernykh rozrakhunkiv. Ternopil : TNTU im. Ivana Puliuia, 2018. 128 s.
10. Hill J. How to Build a Skyscraper. London : Firefly Books, 2017. 192 s.
11. Hetun H. V., Sakharov V. O., Melnyk V. A. Doslidzhennia vplyvu seismoizoliatsii na napruzhenno-deformovanyi stan vysotnoi budivli pid diieiu seismichnykh navantazhen. *Svit heotekhniki* : nauk.-tekhn. zhurn. Kyiv, 2013. Vyp. 2. S. 18–23.

Timchenko R. O., Doctor of Engineering, Professor, Krishko D. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Bykhno V. O., Post-graduate Student (Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih)

STUDY OF THE BASIC STRUCTURAL SCHEMES OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH REGARD TO THE MATERIAL FOR THE FRAME

In the design and construction of foundations and bases for high-rise buildings, the increase in the number of floors and the building's size in plan leads to significant qualitative changes in the process of forming the stress-strain state of the foundation, foundation structures, and the building as a whole, as well as the overall interaction of the system. The selection of a structural scheme should



be preceded by a technical and economic comparison of options, based on an analysis of the building's height, site engineering conditions, level and composition of loads, building configuration, construction technology features, and more.

With the development of high-rise construction, various structural schemes for buildings have been developed. The choice of a particular structural scheme depends on many factors. The search for optimal building configurations and rational structural schemes should be carried out at all stages of design. An important factor is the selection of materials for the load-bearing vertical elements, as well as the choice of connection types with horizontal floor slabs and the transmission of loads to the foundation. When designing monolithic reinforced concrete high-rise buildings, preference should be given to the minimum number of pylons. To enhance overall rigidity, and to reduce the reinforcement ratios of individual elements, external columns should be included in the frame system for absorbing horizontal loads, and this inclusion is achieved through the use of outriggers.

A unique feature of this construction is that it increases the building's overall rigidity. This is achieved by placing spatial trusses on a certain floor that connect the core of rigidity to the outer perimeter of the columns. Steel structures for columns have also become widespread, as steel is the most efficient material due to its rigidity and stability. Steel-reinforced concrete load-bearing structures, made of concrete and hot-rolled or welded steel elements, are recommended primarily for columns with limited cross-sectional area and high loads, when their load-bearing capacity with flexible reinforcing bars is insufficient. Tubular concrete is a composite structure consisting of a steel shell and a concrete core, which work together. Tubular concrete elements, which have low flexibility and small eccentricities of the application of longitudinal force, exhibit exceptionally high load-bearing capacity with relatively small cross-sections.

When calculating the interaction of the "foundation – substructure – building" system elements, the acting loads and the stiffness of the soil significantly affect the resulting stress-strain state and should therefore be considered in the calculations. Research on the algorithm for selecting the most rational structural scheme is very important and will allow for the consideration of all key factors.

Keywords: high-rise buildings; structural schemes; frame; monolithic reinforced concrete; outrigger.