

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ БУДІВЕЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (ВІМ) ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРАХУНКУ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ І СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ КАРКАСНИХ БУДІВЕЛЬ

Вячеслав АДАМЕНКО¹, Олег РОМАНИШЕН²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹vchsvet@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7469-9585>

²olegromanyshen@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-0925-8329>

Анотація. Проаналізовано розвиток будівельного інформаційного моделювання в історичному контексті, зокрема, САД-систем для 2D та 3D моделювання, які вважаються предтечею сучасних систем ВІМ моделювання, систем параметричного 3D моделювання, використання інформаційних технологій при розрахунках будівельних конструкцій, питання сумісного використання систем будівельного інформаційного моделювання та інформаційних технологій розрахунку будівельних конструкцій.

На прикладі 20-ти поверхової каркасно-монолітної житлової будівлі, продемонстровано послідовність створення будівельної інформаційної моделі в ПК САПФІР, формування розрахункової моделі залізобетонного каркасу в ПК Ліра-САПР за рахунок прямої інтеграції вказаних програмних комплексів, розгляді питання підготовки будівельної інформаційної моделі в ПК САПФІР до її передачі в ПК Ліра-САПР, а також, питання доопрацювання розрахункової моделі в ПК Ліра-САПР, зокрема, призначення характеристик жорсткостей та навантажень, підбору армування елементів конструкцій.

Розглянуто послідовність створення розрахункової моделі сталезалізобетонного каркасу для трьох варіантів сталезалізобетонних колон: трубобетонні колони; трубобетонні колони з жорстким армуванням перехресними сталевими смугами; трубобетонні колони з жорстким армуванням з перехресних двотаврів.

Для обраних найбільш навантажених колон, переважно першого поверху, що працюють за умов центрального або позацентрального стиску, продемонстровано послідовність формування



Вячеслав АДАМЕНКО
доцент кафедри металевих і
дерев'яних конструкцій,
к.т.н., доцент



Олег РОМАНИШЕН
магістр

уточнених розрахункових моделей, шляхом моделювання вказаних колон та ділянок їх примикання до плит перекриття об'ємними 3D скінченними елементами. Приведено ізополі еквівалентних напружень, а також, окремо ізополі еквівалентних напружень сталевий оболонки та окремо бетонного осердя колон.

Ключові слова. ВІМ; ВІМ-технології; інформаційне моделювання; 3D моделювання; залізобетонні конструкції; сталезалізобетонні конструкції; залізобетонні каркасні будівлі, сталезалізобетонні каркасні будівлі.

ВСТУП

Сучасний розвиток комп'ютерної техніки, її обчислювальних можливостей, дозволяє застосовувати інформаційні технології при проєктуванні та розрахунках будівельних конструкцій.

цій. Зокрема, інформаційні системи будівельного інформаційного моделювання у зв'язі з комп'ютерними технологіями розрахунку будівельних конструкцій, дають можливість реалізувати комплексний підхід до процесу проектування та розрахунку будівель і споруд, особливо це стосується залізобетонних та сталезалізобетонних каркасних будівель, які відрізняються насиченістю конструктивних елементів, а також, складністю їх чисельної реалізації.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Концепція будівельного інформаційного моделювання відома починаючи з 1970-х років, проте її впровадження в практику проектування суттєво залежало від обчислювальних можливостей комп'ютерної техніки. Предтечою сучасних систем будівельного інформаційного моделювання вважаються комп'ютерні системи Building Description System [1, 2]; розроблена під керівництвом Чарльза Істмана (Charles Eastman) GLIDE (Graphical Language for Interactive Design) [3], хоч і не була комерційно реалізована, проте запропонувала більш досконалий підхід твердотільного моделювання і інтеграції баз даних, та стала основою більш вданих версій комерційних продуктів; CAD-системи RUCAPS (Really Universal Computer-Aided Production System), яка складалася з 38-ми різних програм і працювала в 2 1/2 D просторі; CAD система Gable CAD була розроблена під операційну систему UNIX та дозволяла працювати в 2D та 3D просторі; 3D-система Sonata [4] була комерційно реалізована в 1986 році і була одним із лідерів того часу, та пізніше після її неочікуваного зникнення, була відтворена двома попередніми розробниками у вигляді комерційного продукту Reflex. Незалежно, орієнтовно в той самий час було засновано компанію Charles River Software, яка в 2000 році була перейменована в компанію Revit Technology Corporation, та придбана Autodesk в 2002 році. В роботах [5, 6] відзначається, що більшість функціоналу Reflex

наявно також і у Revit. Детальний огляд розвитку будівельного інформаційного моделювання в історичному контексті приведені також в роботах [7, 8].

Питання розвитку CAD-систем, зокрема, параметричного 3D моделювання, для індустрії збірних залізобетонних конструкцій розглянуті в роботах [9, 10]. Послідовність експериментальних досліджень та використання інформаційних технологій при розрахунках монолітного ребристого перекриття силосу приведено в роботах [11, 12].

Автори праці [13] відпрацювали методику сумісного використання зв'язки програмних комплексів Revit – ADAPT для розрахунків і армування залізобетонних плит на прикладі 66-ти поверхової будівлі. В роботі [14] представлено можливості попередньо навченої нейромережі до проектування залізобетонних балок за нормами США. В дослідженні [15] розроблено автоматизований алгоритм конструювання залізобетонної плити перекриття на основі результатів скінченно-елементного аналізу. Автори роботи [16] запропонували платформу інтеграції інтернету речей і BIM-системи для контролю будівництва будинків із збірного залізобетону.

Розвиток методів розрахунку і конструювання сталевих будівель розглянуто в роботі [17]. Система автоматизованого проектування каркасних дерев'яних будинків, що реалізована на основі ПК Revit, запропонована в роботі [18]. Практичний приклад моделювання напружено-деформованого стану та підбору сталевих перерізів складних просторових конструкцій аеропорту за допомогою ПК Dlubal RSTAB та ПК Dlubal RFEM, приведено в роботі [19], досвід практичного впровадження BIM моделювання та інформаційних технологій розрахунку в навчальний процес, в роботі [20].

Переваги та недоліки проектування, розрахунку і оптимізації будівельних конструкцій за допомогою будівельного інформаційного моделювання та інформаційних технологій розрахунку проаналізовано в роботі [21, 26]. Взаємодія конструктивної,

будівельної та архітектурної моделей з точки зору інженера-конструктора в рамках єдиної будівельної інформаційної моделі розглянута в роботі [22], питання автоматизації перевірки будівельних креслень висвітлено в роботі [23].

В роботі [24] за допомогою 3D розрахункових програмних комплексів проведено аналіз вогнестійкості вузлів сталевих конструкцій. Автори роботи [25, 27] приводять розрахункову модель залізобетонних конструкцій при підвищених температурах.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета та завдання дослідження полягає у вивченні можливості інтеграції систем будівельного інформаційного моделювання та систем інформаційних технологій розрахунку будівельних конструкцій при проектуванні залізобетонних і сталезалізобетонних каркасних будівель.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріали та методи дослідження включають практичну інтеграцію систем будівельного інформаційного моделювання та систем інформаційних технологій розрахунку будівельних конструкцій при проектуванні 20-ти поверхової залізобетонної і сталезалізобетонної каркасних будівель.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У якості об'єкта дослідження прийнято 20-ти поверхову каркасно-монолітну житлову будівлю, з габаритними розмірами в плані 14 x 30.6 м, висотою поверхів 3.3 м, загальною максимальною висотою 72.5 м. Додатково, передбачено технічний, цокольний та підвальний поверхи. План типового поверху приведено на рис.1.

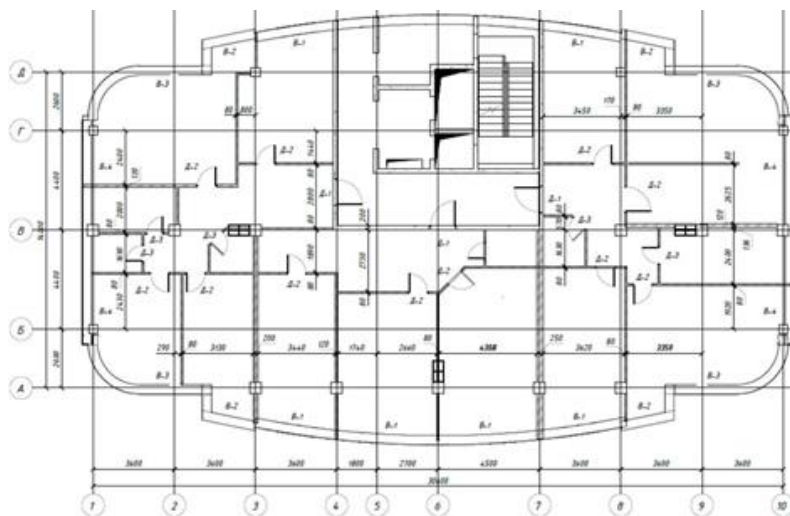


Рис.1. План типового поверху
Fig.1. Typical Floor Plan

Будівельна інформаційна модель багатоповерхового каркасно-монолітного житлового будинку побудована в ПК САПФІР. Стіни цокольного та підвального поверхів, що сприймають тиск ґрунту, а також, навантаження від поряд розташованого автотранспорту, змодельовані в ПК САПФІР у вигляді пластин (несучих стін), а перегородки - у вигляді навантаження. Влаштування стін цокольного та підвального поверхів приведено на рис. 2а.

При моделюванні колон, виставляються їх автоматичні інтерактивні прив'язки до відповідних верхніх та нижніх поверхів, що дає змогу в подальшому, при зміні висоти поверхів, автоматично змінювати їх значення (рис. 2б).

Сходова клітка, що включає фізичну і аналітичну модель, згенерована в ПК САПФІР автоматично, при цьому, додатково були призначені значення постійних і тимчасових

навантажень, а також, умови опирання в місцях перетину елементів сходової клітки з

каркасом будівлі. Типове влаштування сходових маршів і площадок приведено на рис. 2в.

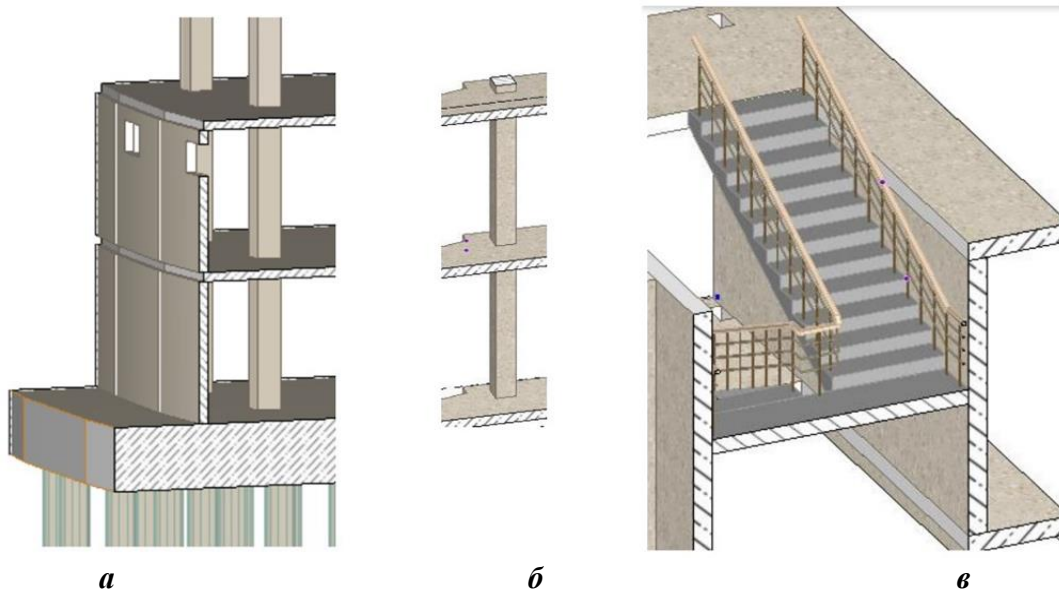


Рис.2. Конструктивні елементи в ПК САПФІР: *а* - влаштування стін цокольного та підвального поверхів; *б* - влаштування колон; *в* - типове влаштування сходових маршів і площадок

Fig.2. Structural Elements in PC SAPHIRE: *a* - arrangement of walls of the basement and cellar floors; *b* - arrangement of columns; *c* - typical arrangement of stair flights and landings

На наступному етапі, на основі будівельної інформаційної моделі ПК САПФІР створюється розрахункова модель в ПК Ліра-САПР, що є можливим завдяки прямій інтеграції вказаних програмних комплексів. Безпосередньому процесу формування розрахункової моделі передують процес доопрацювання конструктивної моделі із використанням операцій дотягування, вирівнювання, пошуку перетинів, редагування контурів, нанесення додаткових точок і ліній, які керують триангуляцією. Деякі з цих етапів можуть бути пропущені або, навпаки, повторені декілька разів. Ціллю таких операцій, є внесення додаткової інформації, яка дозволить генерувати коректну аналітичну модель. Зважаючи, що перерізи колон і діафрагм жорсткості відомі, також, автоматично формуємо контури продавлювання плит перекриття, шляхом створення абсолютно жорстких плит (АЖТ).

У якості характеристик жорсткостей, в першому наближенні, прийняті залізобетонні плити перекриття і покриття товщиною 200 мм, залізобетонні колони перерізом

500x500 мм і 400x400 мм., сходові марші і площадки товщиною 165 мм, ростверк товщиною 1400 мм, буроін'єкційні палі діаметром 620 або 820 мм. На основі даних інженерно-геологічних вишукувань, в системі ГРУНТ було створено відповідну модель ґрунту, а також, обчислено жорсткості палей. Клас бетону в усіх випадках прийнятий С20/25.

В якості навантажень, враховані навантаження від власної ваги, постійні навантаження від підлоги на перекриття, покрівлі на покриття, підлоги на сходові марші і площадки, перегородок і зовнішніх стін, тимчасові корисні навантаження на перекриття, покриття, сходові площадки і марші, снігові та вітрові навантаження, горизонтальне навантаження на стіни від тиску ґрунту та впливу транспортних засобів. Будівля віднесена до класу наслідків СС3.

Будівельна інформаційна модель в ПК САПФІР та розрахункова модель будівлі в ПК Ліра-САПР, приведені на рис. 3.



Рис.3. Будівельна інформаційна модель в ПК САПФІР (а) та розрахункова модель будівлі в ПК Ліра-САПР (б)

Fig.3. Building Information Model in PC SAPHIRE (a) and Structural Analysis Model in PC Lira-SAPR (b)

За результатами розрахунку залізобетонного каркасу в ПК Ліра-САПР отримані внутрішні зусилля в конструктивних елементах каркасу та результати підбору їх армування.

На основі скінченно-елементної моделі залізобетонного каркасу, також, було створено розрахункову модель сталезалізобетонного каркасу для трьох варіантів сталезалізобетонних колон: трубобетонні колони; трубобетонні колони з жорстким армуванням перехресними сталевими смугами; трубобетонні колони з жорстким армуванням з перехресних двотаврів.

По результатам аналізу підбраного армування, було обрано ряд найбільш навантажених колон, переважно першого поверху, що

працюють за умов центрального або позакентрового стискання, для яких було виконано уточнений розрахунок шляхом моделювання вказаних колон та ділянок їх примикання до плит перекриття об'ємними 3D скінченними елементами. Після моделювання обраних ділянок розрахункової моделі 3D скінченними елементами, розрахунок проводився в звичайному режимі, без жодних змін порівняно з основною схемою. Результати, отримані на основі уточненої розрахункової моделі залізобетонного каркасу для позакентрово-стиснутої колони приведені на рис. 4, сталезалізобетонного каркасу для трьох варіантів позакентрово-стиснутих сталезалізобетонних колон, на рис. 5-7

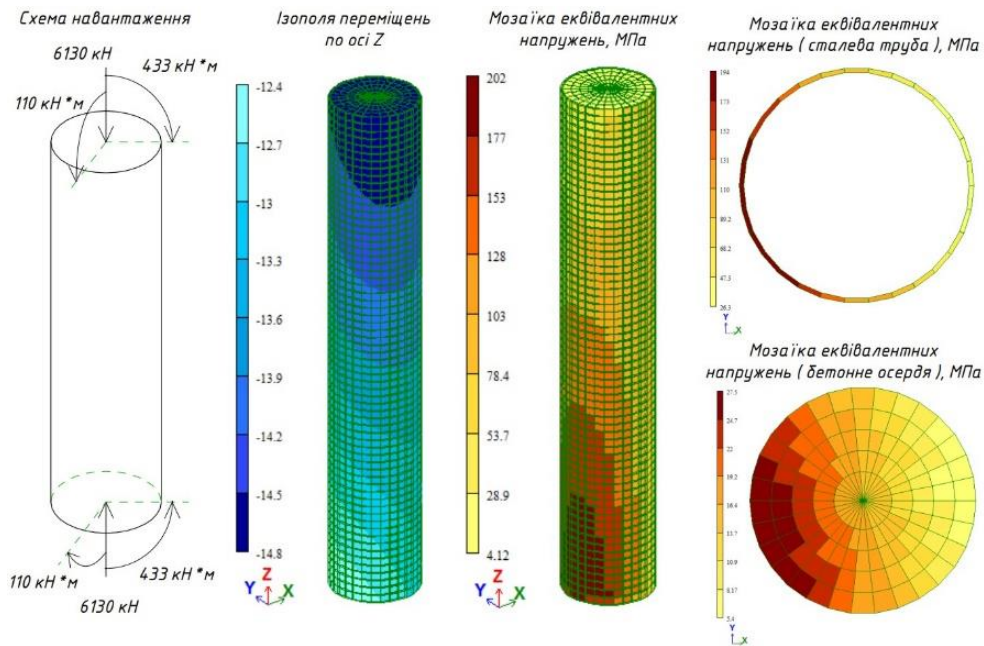


Рис.4. Скінченно-елементна модель залізобетонної колони перерізом 500 x 500 мм
Fig.4. Finite Element Model of a Reinforced Concrete Column with a Cross-section of 500 x 500 mm

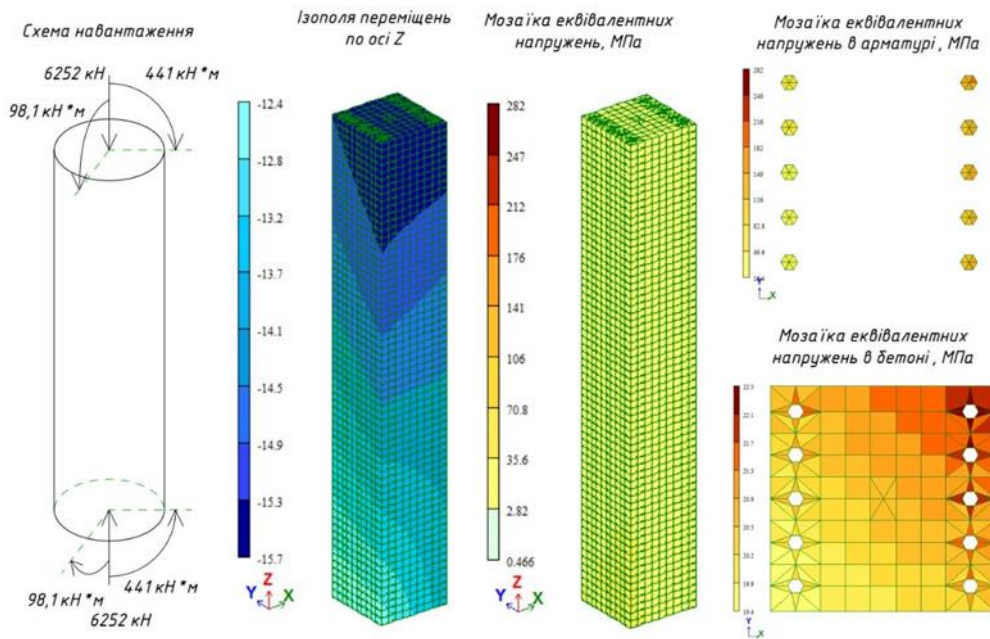


Рис.5. Скінченно-елементна модель трубобетонної колони перерізом 560 x 11 мм
Fig.5. Finite Element Model of a Tubular Concrete Column with a Cross-section of 560 x 11 mm

Для позацинтрово-стиснутої залізобетонної колони перерізом 500x500 (рис.4), при $N=6252$ кН, $M_x=441$ кНм, $M_y=98.1$ кНм, розподіл еквівалентних напружень по висоті колони змінний, залежить від напрямку дії найбільшого згинального моменту та варію-

ється, для арматури, від максимальних значень близько 282 МПа, до мінімальних близько 16.4 МПа (із протилежного боку), для бетону, від максимальних значень близько 22.5 МПа, до мінімальних близько 19.4 МПа (із протилежного боку) /

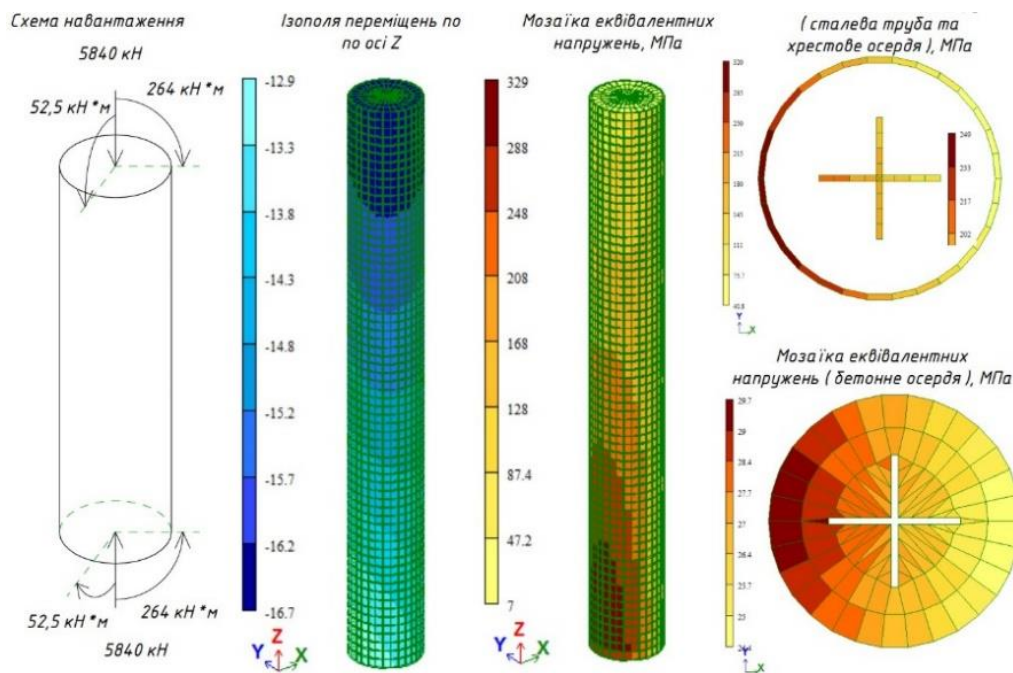


Рис.6. Скінченно-елементна модель трубобетонної колони перерізом 402 x 10 з жорстким армуванням перехресними сталевими смугами
Fig.6. Finite Element Model of a Tubular Concrete Column with a Cross-section of 402 x 10 with Stiff Reinforcement by Cross Steel Strips

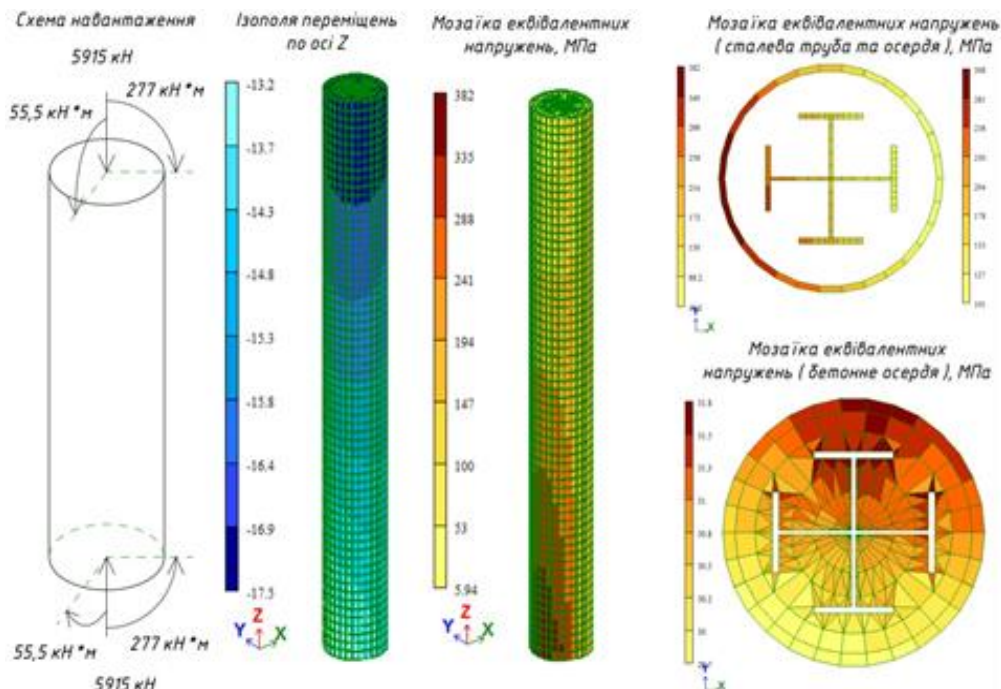


Рис.7. Скінченно-елементна модель трубобетонної колони перерізом 351 x 10 з жорстким армуванням з перехресних двотаврів
Fig.7. Finite Element Model of a Tubular Concrete Column with a Cross-section of 351 x 10 with Stiff Reinforcement from Cross Double T-sections

Аналогічно, для позацентрово-стиснутих сталезалізобетонних колон (рис.5-7), розподіл еквівалентних напружень по висоті колон змінний, залежить від напрямку дії найбільшого згинального моменту та варіюється, зокрема, для трубобетонної колони перерізом 560x11 (рис.5), при $N=6130$ кН, $M_x=433$ кНм, $M_y=110$ кНм, для зовнішньої сталевий оболонки, від максимальних значень близько 194 МПа, до мінімальних близько 26.3 МПа (із протилежного боку), для внутрішнього бетонного осердя, від максимальних значень близько 27.5 МПа, до мінімальних близько 5.4 МПа (із протилежного боку). Для трубобетонної колони перерізом 402x10 з жорстким армуванням перехресними сталевими смугами (рис.6), при $N=5840$ кН, $M_x=264$ кНм, $M_y=52.5$ кНм, в зовнішній сталевій трубі максимальні еквівалентні напруження складають 320 МПа, мінімальні – 40.8 МПа (із протилежного боку), у сталевих смугах максимальні значення складають 249 МПа, мінімальні – 20.2 МПа, у бетонному осерді, максимальні значення складають 29.7 МПа, мінімальні – 24.4 МПа (із протилежного боку). Для варіанту трубобетонної колони перерізом 351x10 з жорстким армуванням з перехресних двотаврів (рис.7), при $N=5915$ кН, $M_x=277$ кНм, $M_y=55.5$ кНм, в зовнішній сталевій трубі максимальні еквівалентні напруження складають 382 МПа, мінімальні – 46.2 МПа (із протилежного боку), у двотаврових елементах максимальні значення складають 308 МПа, мінімальні – 10.1 МПа, у бетонному осерді, максимальні значення складають 31.8 МПа, мінімальні – 29.7 МПа (із протилежного боку).

ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Реалізовано варіант сумісного використання систем будівельного інформаційного моделювання та систем інформаційних технологій розрахунку будівельних конструкцій при проектуванні залізобетонних і сталезалізобетонних каркасних будівель.

2. На основі уточнених розрахункових моделей, отримані нові дані щодо напру-

жено-деформованого стану складових елементів конструкцій залізобетонних та сталезалізобетонних колон.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Eastman, C.M.** (1974). An Outline of the Building Description System. *Research Report No. 50. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University.*
2. **Eastman, C.** (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal.*
3. **Eastman, C., & Henrion, M.** (1977). GLIDE a language for design information systems. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 11.* 24-33. <https://doi.org/10.1145/563858.563863>
4. **See, Richard.** (2007). Building Information Models and Model Views. *Journal of Building Information Modeling (JBIM). National Institute of Building Sciences.*
5. **Ingram, Jonathan** (2020). Understanding BIM: The Past, Present and Future. *Routledge.*
6. **Miller, Kasper** (January–February 2022). Exploring BIM's hidden past. *AEC Magazine.*
7. **Borkowski, A. S.** (2023). Evolution of BIM: epistemology, genesis and division into periods. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 28(34), 646-661,* <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.034>
8. **Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F.** (2014). Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. *Automation in Construction 38, pp.109-127,* <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
9. **Sacks, R., Eastman, C. M., & Lee, G.** (2004). Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction, 13(3), 291–312,* DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00043-8)
10. **Eastman, C. & Lee, G. & Sacks, G..** (2004). Development of a Knowledge-Rich CAD System for the North American Precast Concrete Industry. Connecting Crossroads of Digital Discourse [Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture / ISBN 1-880250-12-8] Indianapolis (Indiana) 24-27 October 2003, pp. 207-215.
11. **Адаменко, В. М.** (2015). Методика експериментальних досліджень деформованого стану монолітного ребристого перекриття силосу. *Містобудування та територіальне планування, (55), 9-13.*

12. **Адаменко, В. М.** (2015). Чисельне моделювання напружено-деформованого стану монолітного ребристого перекриття силосу. *Основи та фундаменти* (36), 48-56.
13. **Cho, Y.S., Lee, S.I. and Bae, J.S.** (2014), Reinforcement Placement in a Concrete Slab Object Using Structural Building Information Modeling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29: 47-59
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2012.00794.x>
14. **Jeong, J., & Jo, H.** (2021, October 22). Deep reinforcement learning for automated design of reinforced concrete structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(12), 1508–1529.
<https://doi.org/10.1111/mice.12773>
15. **Eleftheriadis, S., Duffour, P., Stephenson, B., & Mumovic, D.** (2018, December). Automated specification of steel reinforcement to support the optimisation of RC floors. *Automation in Construction*, 96, 366–377.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.005>
16. **Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q.** (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. *Automation in Construction*, 89, 146–161.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.001>
17. **Адаменко, В.** (2022). Розвиток методів розрахунку і конструювання сталевих будівель і споруд: від Ейфелевої вежі до національного стадіону Сінгапурського спортивного комплексу. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (11), 32–43, DOI:
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.32-43>
18. **Liu, H., Singh, G., Lu, M., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M.** (2018). BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings. *Automation in Construction*, 89, 235–249.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.001>
19. **Adamenko, V., & Mavdiuk, A.** (2020). Дослідження впливу ефектів другого порядку на прикладі сталевих каркасів аеропорту. *Містобудування та територіальне планування*, (72), 176–186,
<https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.176-186>.
20. **Адаменко, В.** (2022). Досвід впровадження BIM-технологій в навчальний процес на кафедрі металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (10), 66–78,
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.56-68>
21. **Chi, H. L., Wang, X., & Jiao, Y.** (2014, September 7). BIM-Enabled Structural Design: Impacts and Future Developments in Structural Modelling, Analysis and Optimisation Processes. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 22(1), 135–151.
<https://doi.org/10.1007/s11831-014-9127-7>
22. **Shin, T. S.** (2017, March). Building information modeling (BIM) collaboration from the structural engineering perspective. *International Journal of Steel Structures*, 17(1), 205–214.
<https://doi.org/10.1007/s13296-016-0190-9>
23. **Eastman, C., Lee, J. min, Jeong, Y. suk, & Lee, J. kook.** (2009, December). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>
24. **Хіцков, К., & Лавріненко, Л.** (2022). Аналіз вузлів металевих конструкцій на вогнестійкість із застосуванням спеціалізованих програмних комплексів 3D моделювання. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (12), 93–104.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.93-104>
25. **Neves, N. S., Camargo, R. S., & Azevedo, M. S.** (2021). Advanced computer model for analysis of reinforced concrete and composite structures at elevated temperatures. *Revista IBRACON De Estruturas E Materiais*, 14(4).
<https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000400010>
26. **Фесенко, О., Дубатовка, П.** (2022). Порівняльний аналіз програмних комплексів ARCHICAD, REVIT I SAPFIR, що розроблені на основі ВІМ технологій. *Збірник наукових праць / Вісник студентів факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природо-користування України*. – Вип. 10 – К., 2022. – с. 52-55
27. **Фесенко, О., Колякова, В.** (2023). Оцінка вогнестійкості залізобетонних конструкцій із застосуванням технологій будівельного інформаційного моделювання (БІМ). *Збірник тез III-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Роль науки у відбудові України» до 80-річчя від дня заснування Інституту 29 листопада 2023 року – Київ : ДП НДІБК, 2023. – 131 с. – с. 31-34*

REFERENCES

1. **Eastman, C.M.** (1974). An Outline of the Building Description System. *Research Report No. 50. Institute of Physical Planning, Carnegie-Mellon University.*
2. **Eastman, C.** (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal.*

2. **Eastman, C., & Henrion, M.** (1977). GLIDE a language for design information systems. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 11, 24-33.
<https://doi.org/10.1145/563858.563863>
4. **See, Richard.** (2007). Building Information Models and Model Views. *Journal of Building Information Modeling (JBIM)*. National Institute of Building Sciences.
5. **Ingram, Jonathan** (2020). Understanding BIM: The Past, Present and Future. *Routledge*.
6. **Miller, Kasper** (January–February 2022). Exploring BIM's hidden past. *AEC Magazine*.
7. **Borkowski, A. S.** (2023). Evolution of BIM: epistemology, genesis and division into periods. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 28(34), 646-661, DOI:
<https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.034>
8. **Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F.** (2014). Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. *Automation in Construction* 38, pp.109-127, DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
9. **Sacks, R., Eastman, C. M., & Lee, G.** (2004). Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. *Automation in Construction*, 13(3), 291–312,
[https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00043-8](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00043-8)
10. **Eastman, C. & Lee, G. & Sacks, G..** (2004). Development of a Knowledge-Rich CAD System for the North American Precast Concrete Industry. Connecting Crossroads of Digital Discourse [Proceedings of the 2003 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture / ISBN 1-880250-12-8] Indianapolis (Indiana) 24-27 October 2003, pp. 207-215.
11. **Adamenko, V. M.** (2015). Metodyka eksperymentalnykh doslidzen deformovanoho stanu monolitnoho rebrystoho perekryttia sylosu *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (55), 9-13.
12. **Adamenko, V. M.** (2015). Chyselne modeliuвання napruzhenno-deformovanoho stanu monolitnoho rebrystoho perekryttia sylosu. *Osnovy ta fundamenti* (36), 48-56.
13. **Cho, Y.S., Lee, S.I. and Bae, J.S.** (2014), Reinforcement Placement in a Concrete Slab Object Using Structural Building Information Modeling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29: 47-59.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2012.00794.x>
14. **Jeong, J., & Jo, H.** (2021, October 22). Deep reinforcement learning for automated design of reinforced concrete structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(12), 1508–1529.
<https://doi.org/10.1111/mice.12773>
15. **Eleftheriadis, S., Duffour, P., Stephenson, B., & Mumovic, D.** (2018, December). Automated specification of steel reinforcement to support the optimisation of RC floors. *Automation in Construction*, 96, 366–377.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.005>
16. **Li, C. Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q.** (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. *Automation in Construction*, 89, 146–161.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.001>
17. **Adamenko, V.** (2022). Rozvytok metodiv rozrakhunku i konstruiuvannia stavevykh budivel i sporud: vid eifelevoi vezhi do natsionalnoho stadionu sinhapurskoho sportyvnoho kompleksu. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, (11), 32–43, DOI:
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.32-43>
18. **Liu, H., Singh, G., Lu, M., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M.** (2018). BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings. *Automation in Construction*, 89, 235–249.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.001>
19. **Adamenko, V., & Mavdiuk, A.** (2020). Doslidzhennia vplyvu efektyvnoho poriadku na prykladi stavevoho karkasu aeroportu. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (72), 176–186,
<https://doi.org/10.32347/2076-815x.2020.72.176-186>.
20. **Adamenko, V.** (2022). Dosvid vprovadzhennia BIM-tekhnologii v navchalnyi protses na kafedri metalevykh i derevianykh konstruksii KNUBA. *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka*, (10), 66–78, DOI:
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.9.2021.56-68>.
21. **Chi, H. L., Wang, X., & Jiao, Y.** (2014, September 7). BIM-Enabled Structural Design: Impacts and Future Developments in Structural Modelling, Analysis and Optimisation Processes. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 22(1), 135–151.
<https://doi.org/10.1007/s11831-014-9127-7>
22. **Shin, T. S.** (2017, March). Building information modeling (BIM) collaboration from the structural engineering perspective. *International Journal of Steel Structures*, 17(1), 205–214.
<https://doi.org/10.1007/s13296-016-0190-9>
23. **Eastman, C., Lee, J. min, Jeong, Y. suk, & Lee, J. kook.** (2009, December). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>

24. **Khitskov, K., & Lavrinenko, L.** (2022). Analiz vuzliv metalevykh konstrukttsii na vohnestiikist iz zastosuvanniam spetsializovanykh prohramnykh kompleksiv 3d modeliuвання. *Budivelni konstrukttsii. Teoriia i praktyka*, (12), 93–104. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.12.2023.93-104>
25. **Neves, N. S., Camargo, R. S., & Azevedo, M. S.** (2021). Advanced computer model for analysis of reinforced concrete and composite structures at elevated temperatures. *Revista IBRACON De Estruturas E Materiais*, 14(4). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952021000400010>
26. **Fesenko, O., Dubatovka, P.** (2022). Porivnialnyi analiz prohramnykh kompleksiv ARCHICAD, REVIT I SAPFIR, shcho rozrobleni na osnovi BIM tekhnolohii. Zbirnyk naukovykh prats / *Visnyk studentiv fakultetu konstruiuvannia ta dyzainu Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodo-korystuvannia Ukrainy*. – Vyp. 10 – K., 2022. – s. 52-55
27. **Fesenko, O., Koliakova, V.** (2023). Otsinka vohnestiikosti zalizobetonnykh konstrukttsii iz zastosuvanniam tekhnolohii budivelnoho informatsiinoho modeliuвання (BIM). *Zbirnyk tez III-yi Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Rol nauky u vidbudovi Ukrainy» do 80-richchia vid dnia zasnuvannia Instytutu 29 lystopada 2023 roku – Kyiv : DP NDIBK, 2023. – 131 s. – s. 31-34.*

IMPLEMENTATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PRINCIPLES AND INFORMATION TECHNOLOGIES FOR STRUCTURAL ANALYSIS IN THE DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND COMPOSITE STEEL-REINFORCED CONCRETE FRAMED BUILDINGS

*Viacheslav ADAMENKO,
Oleh ROMANYSHEN*

Summary. The development of Building Information Modeling (BIM) in historical context has been analyzed, including CAD systems for 2D and 3D modeling, considered predecessors of modern BIM systems, parametric 3D modeling systems, the use of information technologies for structural analysis, issues of combined use of BIM systems and information technologies for structural analysis.

Using the example of a 20-story frame-mono-lithic residential building, the sequence of creating a building information model in PC SAPPHIRE, forming a calculation model of the reinforced concrete frame in PC Lira-SAPR through direct integration of the specified software complexes is demonstrated. The issues of preparing a building information model in PC SAPPHIRE for transfer to PC Lira-SAPR are discussed, as well as the issues of refining the calculation model in PC Lira-SAPR, including assigning stiffness and load characteristics, and selecting reinforcement for structural elements. The sequence of creating a calculation model of a steel-reinforced concrete frame for three options of steel-reinforced concrete columns is considered: tubular concrete columns; tubular concrete columns with rigid reinforcement by cross steel strips; tubular concrete columns with rigid reinforcement by cross double T-sections.

For the selected most loaded columns, mainly on the first floor, operating under the conditions of central or off-center compression, the sequence of forming refined calculation models is demonstrated by modeling these columns and areas of their connection to the floor slabs with 3D finite elements. Equivalent stress iso-surfaces are provided, as well as separate iso-surfaces of equivalent stresses of the steel shell and separately the concrete core of the columns.

Keywords: BIM; BIM technologies; information modeling; 3D modeling; reinforced concrete structures; composite steel-reinforced concrete structures; reinforced concrete frame buildings; composite steel-reinforced concrete frame buildings

Стаття надійшла до редакції 19.11.2023