

DOI: 10.32347/2076-815x.2022.81.59-69

УДК 528:4

к.т.н., доцент Білошицька Н.І.,

beloshitska@ukr.net, ORCID:0000-0002-8840-2885

к.т.н., доцент Білошицький М.В.,

beloshitskiy@ukr.net, ORCID:0000-0002-9935-4161,

Татарченко З.С., zyaka95@gmail.com, ORCID:0000-0003-4632-1363,

Дячук Б.А., bdiachuk190@gmail.com, ORCID:0000-0001-6524-0265,

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ В СКЛАДНИХ УМОВАХ ХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянуто проведення чисельного експерименту по дослідженню напружено-деформованого стану будівельних конструкцій за допомогою розроблених математичних моделей. Методика досліджень полягає у використанні однієї із передових в світі ВІМ-технологій, а саме програмного комплексу ЛІРА 10.10 © 2013-2021 ЛІРА Софт, для створення адекватних математичних моделей промислової будівлі з урахуванням найбільш вірогідних складних умов експлуатації: навантаження, сейсмічні та експлуатаційні впливи, прогресуюче обвалення. Зроблено розрахунки на прогресуюче обвалення, де за початкову розрахункову схему прийнята основна схема етажерки. Для визначення найнебезпечнішої ділянки будівлі у випадку виникнення аварійної ситуації був виконаний комплекс розрахунків з послідовним видаленням кожної несучої колони. З аналізу розрахунків, були визначені розрахункові схеми, у яких виникають найбільші зусилля від особливої комбінації навантажень. В подальшому ці схеми були прийняті за основні для розрахунків на аварійну ситуацію. Проведене математичне моделювання роботи будівельних конструкцій в складних умовах хімічного виробництва за допомогою сучасної ВІМ-технології, такої як ПК ЛІРА 10.10, дозволяє отримати необхідні достовірні дані по роботі реальних будівель завдяки використанню світового досвіду проектування, будівництва та експлуатації будівельних конструкцій, будівель і споруд при створенні програмного продукту.

Ключові слова: будівля; будівельна конструкція; напружено-деформований стан; навантаження; розрахункова схема.

Постановка проблеми: В наш час практично всі розрахунки будівельних конструкцій виконуються за допомогою спеціалізованих програм. Ці програми мають простий інтерфейс, дозволяють виконати найскладніші обчислення та

багато сучасних фахівців вже давно забули, як ці розрахунки виконуються «вручну».

Необхідність вирішувати на постійній основі проблеми із забезпечення необхідного рівня безпечної експлуатації будівельних конструкцій промислових будівель, особливо в складних умовах хімічного виробництва, де виникнення аварійних ситуацій, зазвичай, супроводжується значними людськими та матеріальними втратами, порушенням екологічного балансу.

Метою статті є розробка адекватних математичних моделей промислової будівлі хімічного виробництва з урахуванням найбільш вірогідних складних умов експлуатації.

Методика досліджень полягає у використанні однієї із передових в світі ВІМ-технології, а саме програмного комплексу ЛІРА 10.10 © 2013-2021 ЛІРА Софт, для створення адекватних математичних моделей промислової будівлі з урахуванням найбільш вірогідних складних умов експлуатації: навантаження, сейсмічні та експлуатаційні впливи, прогресуюче обвалення [1-3].

Програмний комплекс ЛІРА компанії ЛІРА Софт наразі застосовується в Україні, Казахстані, Киргизії, Туркменістані, Білорусії, Вірменії, країнах Євросоюзу, Індії, Ірані, Алжирі, Туреччині, Ізраїлеві, США. За допомогою ЛІРА 10 розраховано більш ніж 10000 об'єктів різного типу.

Загальні параметри будівлі

Будівля в осях 1-4 x N-1/К є відкритою етажеркою з металевих конструкцій, на якій розташовано технологічне обладнання, прямокутної в плані форми з розмірами в осях 21,0 x 24,7 м та майданчиками на відмітках +6,730 м, + 12,850 м, +18,850 м.

Геометрична незмінюваність і жорсткість каркасу будівлі забезпечується:

- 1) жорстким з'єднанням колон з фундаментом у площині та із площиною рам;
- 2) жорсткими рамними з'єднаннями балок з колонами у поперечному напрямку;
- 3) вертикальними зв'язками по колонах у поздовжньому напрямку та шарнірними з'єднаннями балок з колонами.

Фундаменти запроектовані монолітними залізобетонними з відмітками підшви -1,850 м та підколонника +0,150 м.

З метою проведення детального аналізу напружено-деформованого стану (НДС) будівельних конструкцій (БК) відкритої технологічної етажерки (ВТЕ) від дії різноманітних навантажень з урахуванням реальних характеристик жорсткості і міцності елементів каркасу за допомогою програмного комплексу ЛІРА 10.10 © 2013-2021 ЛІРА Софт була розроблена наступна математична модель – «1451 виправлені конструкції»;

Математична модель ВТЕ «1451 виправлені конструкції» є базовою (рис. 1). Розроблена для дослідження НДС БК з урахуванням навантажень від власної ваги, від устаткування, трубопроводів, монтажу, снігу, вітру із пульсаціями, а також сейсмічного навантаження з рівнем сейсмічного впливу – проектний землетрус (РЗ).

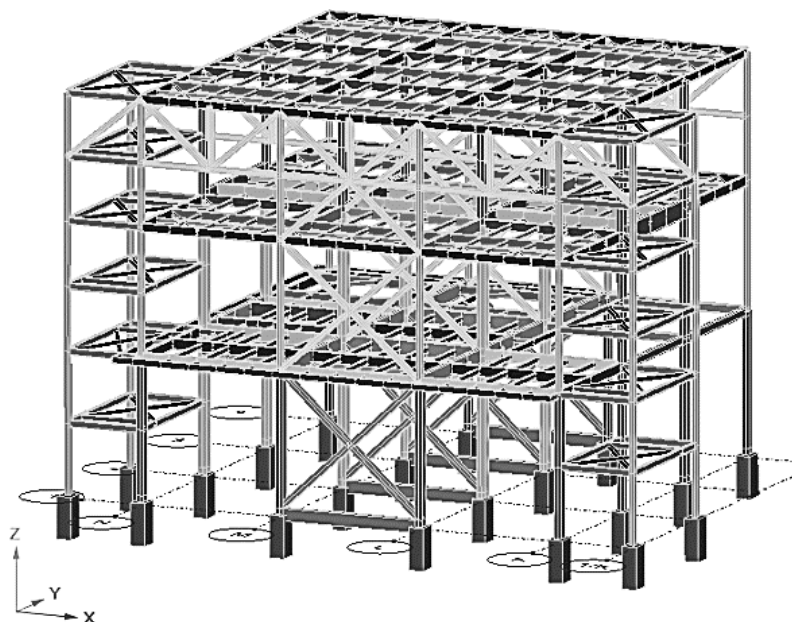


Рис. 1. Базова розрахункова схема математичної моделі ВТЕ з урахуванням призначених перерізів скінченних елементів.

1. Технологічне навантаження

ВТЕ має підвищений рівень відповідальності, тому коефіцієнт надійності по відповідальності прийнятий рівним 1.1.

Збір навантажень виконувався на підставі технологічних завдань та [6]. Навантаження від устаткування приймалися на підставі завдання Е 19006-ЮС7.1 [7-11].

2. Снігове навантаження

Розрахунки снігового навантаження виконано згідно [6]. Нормативне значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття складає:

$$S_0 = 0,644 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,1 \times 1,4 = 0,09 \text{ т/м}^2 \text{ на відм. +18,850;}$$

$$S_0 = 0,09 \times 0,5 = 0,45 \text{ т/м}^2 \text{ - на інших відмітках.}$$

3. Навантаження від дії вітру у напрямках осей X та Y

Вітрове навантаження визначене згідно з [6]

Об'єкт належить до V району за характеристичними значеннями ваги снігового покриву.

Відповідно до вимог [6] нормативне вітрове навантаження W визначається як сума середньої W_m і пульсаційної W_p складових.

Пульсаційна складова вітрового впливу W_p визначена автоматично програмним комплексом ПК "Ліра 10".

Для визначення розрахункових значень навантажень прийнятий коефіцієнт надійності по вітровому навантаженню $\gamma_f = 1,4$.

4. Сейсмічне навантаження

Розрахунки будівлі на сейсмічні навантаження зроблені згідно з вимогами [4].

Для розрахунків у ПК ЛІРА 10.10 обраний розрахунковий модуль Сейсмічний вплив відповідає [4], для якого задаються параметри:

- поправочний коефіцієнт до інерційних сил – 1;
- прийнятий тип будівлі – житлові, суспільні й виробничі будівлі;
- категорія ґрунту – III;
- прискорення в рівні основи – 1 м/с^2 ;
- коефіцієнт вертикальної складової сейсмічного навантаження – 1;
- коефіцієнт, що визначає призначення споруди – для розрахунків по КЗ $K_0 = 2,0$ і по РЗ $K_0 = 1,2$;
- коефіцієнт, що враховує ушкодження будівель і споруд, що допускаються – $K_1 = 0,22$;
- коефіцієнт, що враховує здатність будівель і споруд до розсіювання енергії – $K_\psi = 1,0$.

Спосіб підсумовування внеску форм прийнятий рівним 0 (SRSS).

Напрявні косинуси рівнодіючої від сейсмічного впливу в ГСК:

- $CX=1, CY=0, CZ=0$ для 11 навантаження;
- $CX=0, CY=1, CZ=0$ для 12 навантаження.

Формування матриці мас для поточного навантаження походить із заданих навантажень на БК ВТЕ шляхом перетворення статичних навантажень у маси.

5. Навантаження від монорейок

Нормативне навантаження від монорейок прийнято згідно із серією 1,426.2-6, випуск 1/91:

- нормативне вертикальне навантаження від монорейки $Q = 2 \text{ т}$ прийнято $3,2 \text{ т}$ у точках кріплення до балок;
- горизонтальне навантаження уздовж кранового шляху $3,2 \times 0,1 = 0,32 \text{ т}$ ($0,1$ від вертикальної згідно [6]).

Результати розрахунків базової моделі.

Епюри й зусилля для елементів розрахункової схеми відображаються шляхом роботи із файлом «1451_ виправлені конструкції.fer» у ПК ЛІРА 10.10. Приклади мозаїки наведені на рис. 2 та 3.

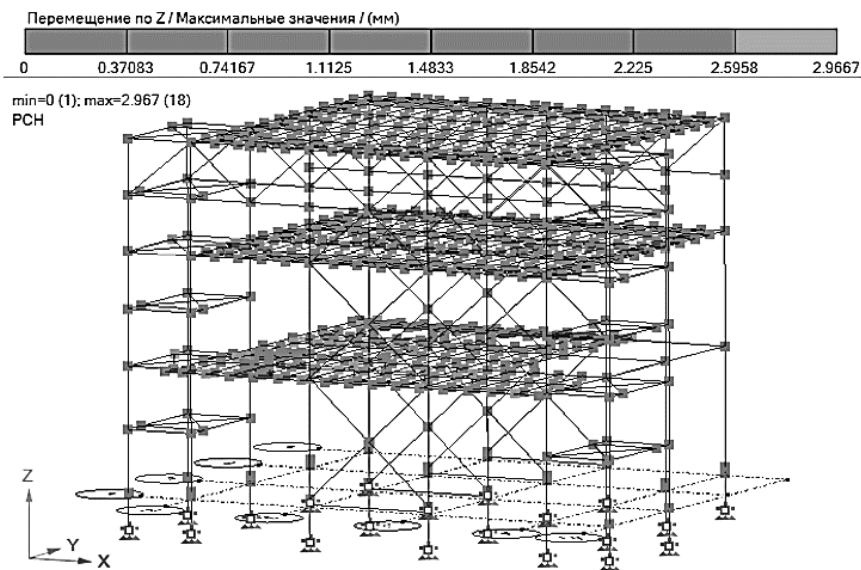


Рис. 2. Мозаїка переміщень по Z max

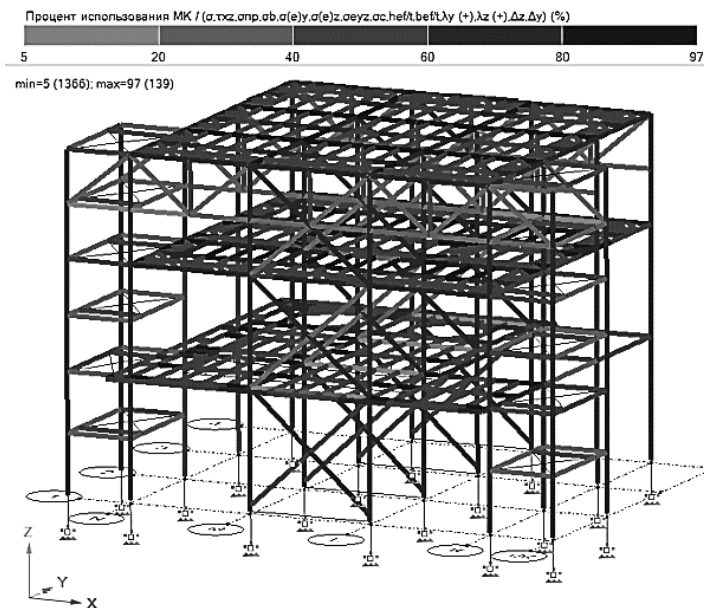


Рис. 3. Відсоток використання перерізів скінченних елементів

За результатами розрахунків елементи розрахункової моделі пройшли перевірку по I та II групам граничних станів.

Результати розрахунків на прогресуюче обвалення

За початкову розрахункову схему прийнята основна схема етажерки. Для визначення найнебезпечнішої ділянки будівлі у випадку виникнення аварійної ситуації був виконаний комплекс розрахунків з послідовним видаленням кожної несучої колони. Виконавши аналіз кожного розрахунків, були визначені розрахункові схеми, у яких виникають найбільші зусилля від особливої

комбінації навантажень. Дані схеми були прийняті за основні для розрахунків на аварійну ситуацію.

Передбачено дві найбільш небезпечні та вірогідні ситуації:

- 1) відмова найбільш навантаженої кутової колони по осі 4-N;
- 2) відмова найбільш навантаженої середньої колони по осі 2-M.

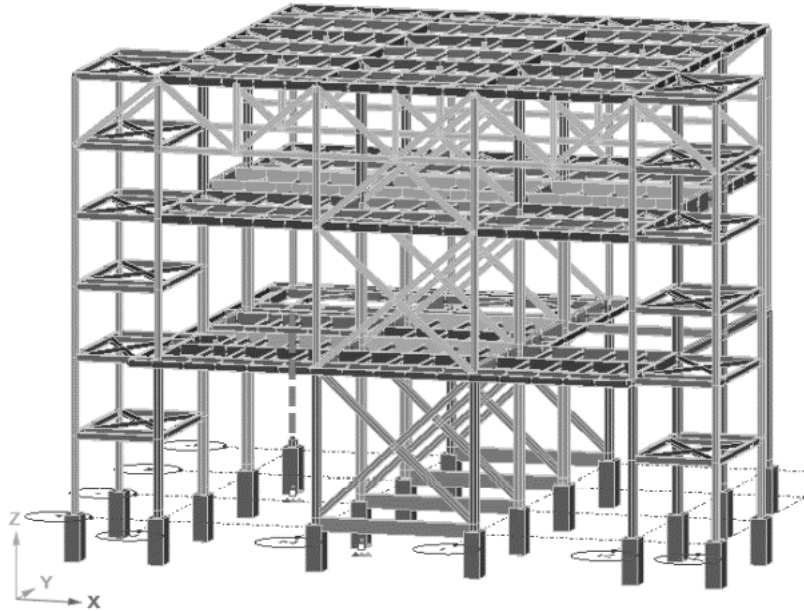


Рис. 4. Загальний вид каркаса будівлі після руйнування

Ситуація 1: відмова колони по осі 4-N після її руйнування.

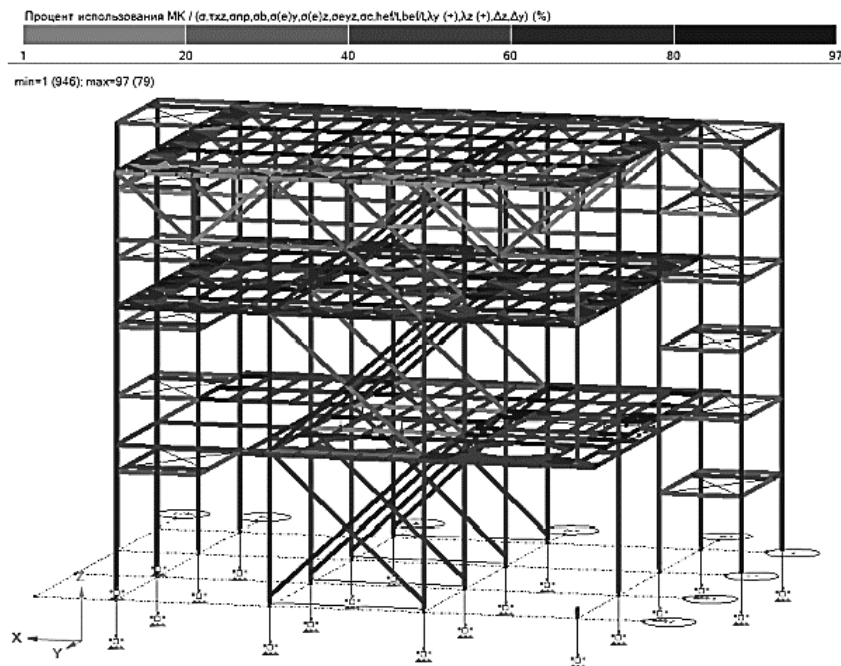


Рис. 5. Відсоток використання перерізів елементів. Загальний вид ВТЕ після руйнування колони по осі 4-N

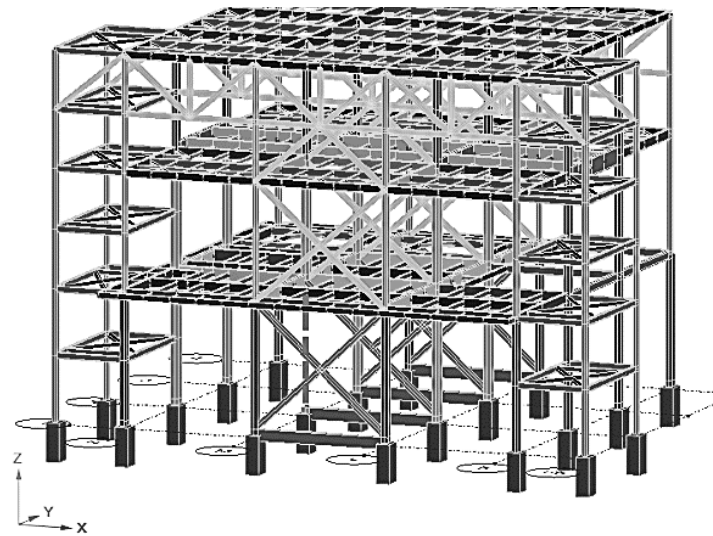


Рис. 6. Загальний вид каркаса будинку після руйнування

Ситуація 2: відмова колони по осі 2-М після її руйнування.

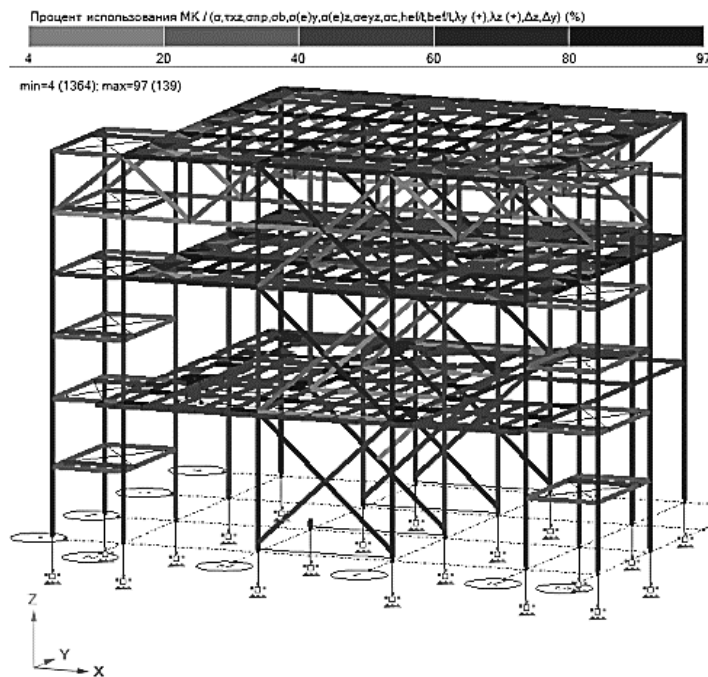


Рис. 7. Відсоток використання перерізів елементів. Загальний вид ВТЕ після руйнування колони по осі 2-М

У розрахунках розглянуті усі найбільш несприятливі аварійні ситуації та відображені ті з них, які виявляють найбільш істотний вплив на розрахункову схему. Локальні руйнування окремих конструкцій не призводять до обвалення сусідніх конструкцій, на які передається навантаження в результаті аварійного

впливу. Несучий каркас ВТЕ стійкий до прогресуючого обвалення у випадку локального руйнування окремої конструкції при аварійних впливах.

Результати розрахунків на КЗ

Розрахунки на КЗ (максимальний розрахунковий землетрус) виконано з використанням нелінійного статичного аналізу (Pushover Analysis) відповідно [4].

Розрахункова діаграма сталей прийнята по варіанту кривій OACDE відповідно до [5]. Коефіцієнт $K_0 = 2,0$ відповідно до ДБН В.1.1-12:2014. Після виконання перевірочних розрахунків на КЗ отримали наступний графік (рис. 8).

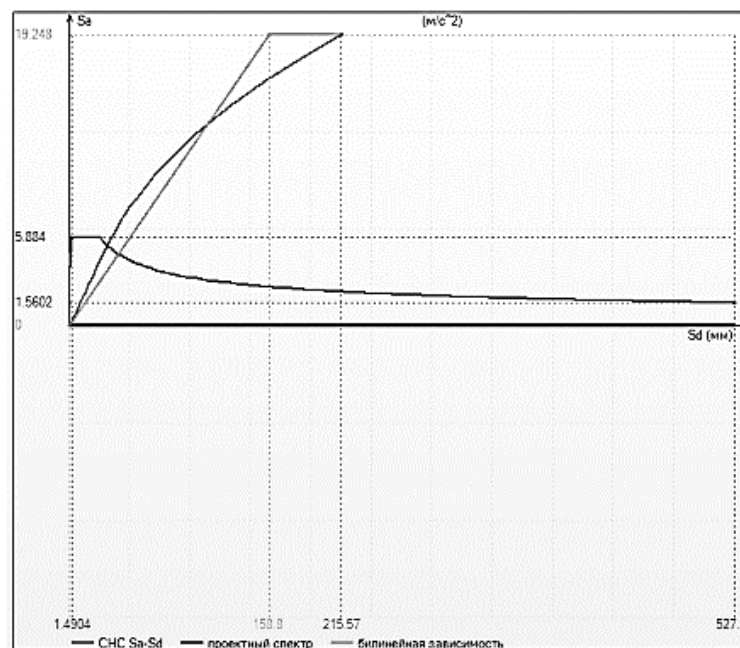


Рис. 8. Графік «сейсмічної вимоги» (проектного спектра) і спектра несучої здатності та коефіцієнт використання запроєктованої споруди до впливів сейсмічного навантаження рівня КЗ (коефіцієнт до інерційних сил)

Сумарний коефіцієнт до інерційних сил $M_u = 2,08 > 1,0$ тобто необхідна умова виконується: це свідчить про те, що прийнята розрахункова схема забезпечує запобігання глобального обвалення БК будівлі ВТЕ або її частини і унеможливорює створення загрози безпеки для людей.

Висновок: проведене математичне моделювання роботи будівельних конструкцій промислової етажерки в складних умовах хімічного виробництва за допомогою сучасної ВІМ-технології, такої як ПК ЛІРА 10.10, дозволяє отримати необхідні достовірні дані по роботі реальних будівель завдяки використанню світового досвіду проектування, будівництва та експлуатації будівельних конструкцій, будівель і споруд при створенні програмного продукту.

Список використаної літератури

1. Інструмент BIM-технології: ЛІРА Софт: [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://lira-soft.com/>.
2. Гензерский Ю.В. ЛІРА – САПР 2011. Учебное пособие / Ю.В., Гензерский, Д.В. Медведенко, О.И. Палиенко, В.П. Титок – Киев: Электронное издание, 2011. – 396 с.
3. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: [Чинний з 2019-01-01]. Гордєєв В., Шимановський В., Шимановський О., Кордун О. та ін. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 36 с. (Національний стандарт України).
4. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво у сейсмічних районах України: [Чинний з 2014-10-01]. Немчинов Ю., Бабік К., Бамбура А., Богдан В., Богдан Д. та ін. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 118 с. (Національний стандарт України).
5. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування: [Чинний з 2015-01-01]. Адріанов В., Гейфман В., Гордєєв В., Журба С., Колесниченко С. та ін. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 206 с. (Національний стандарт України).
6. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи: [Чинний з 2007-01-01]. Гордєєв В., Микитаренко М., Перельмутер А., Шимановський В., Шимановський О. та ін. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 75 с. (Національний стандарт України).
7. ДСТУ Б В.2.2-29:2011. Будівлі підприємств. Параметри: [Чинний з 2012-12-01]. Бобунова О., Бобунов О., Желудков Г., Тарахтій А. – Київ: Мінрегіон України, 2012. – 18 с. (Національний стандарт України).
8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель: [Чинний з 2016-10-01]. Фаренюк Г., Тимофєєв М., Фаренюк Є., Павлюк П. та ін. – Київ: Мінрегіон України, 2017. – 37 с. (Національний стандарт України).
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія: [Чинний з 2011-11-01]. Фаренюк Г., Колесник Є., Прокопчук М. та ін. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 127 с. (Національний стандарт України).
10. ДСТУ-НБ В.1.2-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва: [Чинний з 2013-09-01]. Брусан А., Галінський О., Захарчук М., Перельмутер А., Гордєєв В. та ін. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 32 с. (Національний стандарт України).
11. «Установка»: «Науково-проектний інститут» // Звіт за результатами розрахунків несучих конструкцій етажерки ректифікації в осях 1-4 x 1/К-Н.-2021. – 150 с.

Ph.D., Associate Professor **Biloshytska Nataliia**,
Ph.D., Associate Professor **Biloshytskyi Mykola**,
Tatarchenko Zakhar, Diachuk Bohdan,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

MATHEMATICAL MODELING OF CONSTRUCTION WORK CONSTRUCTIONS IN COMPLEX CONDITIONS OF CHEMICAL PRODUCTION

The article deals with the conduct of a numerical experiment on study of the stress-strain state of building structures according to using developed mathematical models. Research methodology consists in the use of one of the most advanced BIM technologies in the world, namely of the LIRA 10.10 software complex © 2013-2021 LIRA Soft, for creating adequate mathematical models of an industrial building taking into account the most likely difficult operating conditions: loads, seismic and operational impacts, progressive collapse. Calculations have been made progressive collapse, where the initial calculation scheme is taken as the main scheme of the shelf. To determine the most dangerous part of the building in in the event of an emergency situation, a set of calculations was carried out with the sequential removal of each support column. From the analysis of calculations, calculation schemes were determined, in which the greatest forces arise from a special combination of loads. Later, these schemes were adopted basic for emergency calculations. Conducted mathematical modeling the work of building structures in difficult chemical conditions production using modern BIM technology, such as PC LIRA 10.10, allows you to get the necessary reliable data on the operation of real buildings thanks to the use of world experience in design, construction and operation of construction structures, buildings and structures during creation software product.

Key words: building; building structure; stress-deformed state; load; calculation scheme.

REFERENCES

1. Instrument BIM-tekhnolohii: LIRA Soft: [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <https://lira-soft.com/>. {in Ukrainian}
2. Henzerskyi Yu.V. LYRA – SAPR 2011. Uchebnoe posobye / Yu.V., Henzerskyi, D.V. Medvedenko, O.Y. Palyenko, V.P. Tytok – Kyev: Elektronnoe yzdanye, 2011. – 396 s. {in Ukrainian}
3. DBN V.1.2-14:2018. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud: [Chynnyi z 2019–01–01]. Hordeiev V,

Shymanovskiy V., Shymanovskiy O., Kordun O. ta in. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2018. – 36 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

4. DBN V.1.1-12:2014. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy: [Chynnyi z 2014–10–01]. Nemchynov Yu., Babik K., Bambura A., Bohdan V., Bohdan D. ta in. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. – 118 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

5. DBN V.2.6-198:2014. Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia: [Chynnyi z 2015–01–01]. Adrianov V., Heifman V., Hordeiev V., Zhurba S., Kolesnychenko S. ta in. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2014. – 206 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

6. DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennia i vplyvy: [Chynnyi z 2007–01–01]. Hordeiev V., Mykytarenko M., Perelmuter A., Shymanovskiy V., Shymanovskiy O. ta in. – Kyiv: Minbud Ukrainy, 2006. – 75 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

7. DSTU B V.2.2-29:2011. Budivli pidpriemstv. Parametry: [Chynnyi z 2012–12–01]. Bobunova O., Bobunov O., Zheludkov H., Tarakhtii A. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2012. – 18 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

8. DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel: [Chynnyi z 2016–10–01]. Farenjuk H., Tymofieiev M., Farenjuk Ye., Pavliuk P. ta in. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2017. – 37 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

9. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivelna klimatolohiia: [Chynnyi z 2011–11–01]. Farenjuk H., Kolesnyk Ye., Prokopchuk M. ta in. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 127 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

10. DSTU-NB V.1.2-16:2013. Vyznachennia klasu naslidkiv (vidpovidalnosti) ta katehorii skladnosti ob'ektiv budivnytstva: [Chynnyi z 2013–09–01]. Brusan A., Halinskyi O., Zakharchuk M., Perelmuter A., Hordeiev V. ta in. – Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2013. – 32 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy). {in Ukrainian}

11. «Ustanovka»: «Naukovo-proiektnyi instytut» // Zvit za rezultatamy rozrakhunkiv nesuchykh konstruksii etazherky rektyfikatsii v osiakh 1-4 kh 1/K-N.-2021. – 150 s. {in Ukrainian}