

**ПРОЄКТ РЕАБІЛІТАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ ДЛЯ
ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ТА ВЕТЕРАНІВ ВІЙНИ В М. ЖИТОМИР,
ЯКИЙ ЗАЙНЯВ ПЕРШЕ МІСЦЕ В АРХІТЕКТУРНОМУ КОНКУРСІ
«STEEL FREEDOM»**

Вознюк Л.І., к.т.н., доцент

leonid.i.vozniuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-9512-8338

Баб'як В.І., к.арх., доцент

volodymyr.i.babiak@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-9672-0971

Мазур Д.В., бакалавр

dmytro.mazur.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0003-1593-2847

Лейбич С.Р., бакалавр

sofiia.leibych.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0006-1533-8284

Кійко С.Ю., бакалавр

sofiia.kiiko.ar.2020@lpnu.ua ORCID: 0009-0001-0877-7645

Іваськів Я.Я., бакалавр

yaroslav.ivaskiv.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0002-0869-4812

Мицик О.С., магістр

oleksandr.mytsyk.mbdpts.2023@lpnu.ua, ORCID: 0009-0003-4935-159X

Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Стаття присвячена дослідженню досвіду використання металевих конструкцій при проєктуванні реабілітаційних центрів на прикладі проєкту команди R-240 “Реабілітаційний центр для військовослужбовців та ветеранів війни в м. Житомир” для конкурсу “Steel Freedom”. Розглянуто застосовану конструктивну схему та розрахункову модель будівлі, поєднання прийнятих конструктивних рішень із архітектурними. Стаття має на меті довести переваги використання металевих конструкцій в проєктуванні та будівництві, реабілітаційних центрів. Результати дослідження будуть корисними для інженерів, архітекторів та студентів ВНЗ відповідних спеціальностей.

Ключові слова: сталевий каркас, структура, вузли, метод скінченних елементів.

Вступ. Через російське вторгнення в Україну велика кількість людей, в першу чергу військовослужбовців, отримала фізичні та психічні травми. Внаслідок цього зросла потреба в реабілітаційних центрах. Вони повинні бути збудованими в якомога швидші терміни, економічно доцільними, але при цьому залишатися зручними та функціональними. Перед інженерною та архітектурною спільнотою стоїть завдання знайти способи задовольнити ці вимоги. Для цього потрібно розглядати та досліджувати нові для нашої країни методи в проєктуванні таких об'єктів. Як відомо, металеві конструкції завдяки своїй високій надійності, індустріальності, можливості надання архітектурної виразності, ізотропності самого матеріалу й невразливості до різноманітних факторів посідають чільне місце у сфері будівництва. Враховуючи ці переваги, їхнє використання може бути доцільним при спорудженні реабілітаційних центрів. Взявши до уваги вищенаведене та вимоги до студентського конкурсного проєкту, викладені організатором конкурсу “Steel Freedom”, було розроблено проєкт команди R-240 “Реабілітаційний центр для військовослужбовців та ветеранів війни в м. Житомир” із застосуванням металевих великопролітних конструкцій.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Для аналізу досвіду використання металевих каркасів при будівництві були обрані декілька будівель. AZ Alma Hospital -

медичний заклад, розташований у місті Екло, Бельгія [1]. Вестибюлем лікарні виступає атриум, акцентом якого є скляний дах. Конструкція має площу 1400 м² і здіймається на висоту 25 м. Поєднання сталевих конструкцій, алюмінієвих елементів, скла, жолобів, гідроізоляції робить цей проєкт унікальним у своєму регіоні. Unileão School Veterinary Hospital [2] - ветеринарний центр в Бразилії. Основним архітектурно-конструктивним рішенням проєкту є великий дах, відокремлений від будівлі, що забезпечує тінь і комфортний мікроклімат. Цей дах вигнутий і забезпечує вентиляцію за рахунок виходу гарячого повітря, а деякі зони обладнані напівпрозорими полікарбонатними листами, щоб використовувати переваги природного освітлення. Ця покрівля підтримується великопрольотними конструкціями.

Науковими дослідженнями сталевих несучих конструкцій займається багато науковців, зокрема в [3, 4] описано підхід до вибору найбільш оптимальної структурної сталевих конструкції на основі біоенергетичного методу, а в [5] подано реальні об'єкти, які запроєктовані із урахуванням цього методу. У [6] пропонується новий обчислювальний процес, який зменшує складність конструкцій просторових рамних конструкцій довільної форми за рахунок мінімізації варіативності їх з'єднань. Велика кількість складних вузлів часто призводить до похибок у монтажі, що в свою чергу може спричинити аварійні ситуації та прогресуюче обвалення конструкції [7], що дуже важливо враховувати при проєктуванні. У багатьох дослідженнях активно вивчаються питання оптимізації [8, 9] та раціоналізації [10-12] сталевих конструкцій.

Постановка завдання. Завданням роботи була розробка проєкту реабілітаційного центру для військовослужбовців та ветеранів війни в м. Житомирі, в архітектурному студентському конкурсі “STEEL FREEDOM”. Особливістю завдання є те, що будівля має бути запроєктованою із сталевих конструкцій, враховуючи сучасні реалії, які склалися в Україні.

Основний матеріал і результати. Використання металевих конструкцій в реабілітаційних центрах в Україні не є широко поширеною практикою, незважаючи на всі переваги такого рішення. Під час роботи над проєктом реабілітаційного центру для військовослужбовців та ветеранів війни в м. Житомир” було використано металевий каркас, проведено відповідні розрахунки, що доводять його ефективність. Окрім того, використання сталевих конструкцій дозволило створити впізнаваний фасад із консольною конструкцією вильотом 9 метрів (рис. 1). Використання сталевих конструкцій з можливістю розширення 1-3 поверхів за рахунок консолей дозволило ефективно використовувати простір і збільшити кількість палат на одному рівні. Це дозволило зменшити загальну висоту будівлі, забезпечивши при цьому необхідну функціональність і зручність для пацієнтів і персоналу. Зменшення загальної висоти будівлі важливо для інтеграції об'єкта в ландшафт і навколишнє середовище. Конструктивні елементи вирішено не приховувати, а навпаки, інтегрувати їх в архітектуру таким чином, щоб вони стали не лише функціональними, а й естетично привабливими елементами.



Рис. 1 (а,б). Візуалізації голованих фасадів з просторовою консольною конструкцією

Формотворення будівлі (рис. 2) розпочалося з розташування основного блоку з медичними приміщеннями та палатами вздовж ділянки, що забезпечує меридіальну орієнтацію, для максимальної інсоляції житлових приміщень. Ідея розділення будівлі на блоки була запроваджена з метою оптимізації функціональності. Так, їдальня та спортивні зали були

відокремлені у власні блоки, оскільки їх облаштування під житловими зонами не є ефективним через велику кількість вертикальних інженерних комунікацій для обслуговування палат пацієнтів.

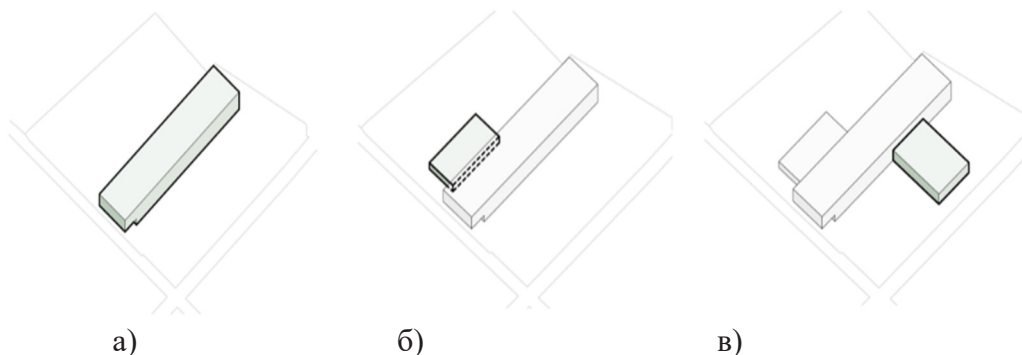


Рис. 2. Формотворення будівлі: а) – основні приміщення; б) – їдальня; в) - спортивний блок

Основним принципом при проектуванні реабілітаційного центру було зменшення протяжності і складності шляхів пересування пацієнтів. В центрі будівлі розташовано вестибюль з рецепцією, навколо якого сформовано декілька блоків. Вестибюль запроєктовано таким чином, щоб розділити потоки амбулаторних пацієнтів та пацієнтів стаціонару. Послідовність відвідування процедур та тренувань пацієнтів зумовлює розташування лікувальних та спортивних приміщень поруч. Вид з їдальні розкривається на тиху частину ділянки. Розташування приміщень персоналу та адміністрації мінімізує потребу в пересуванні пацієнтів цим блоком.

Ліфти у вестибюлі забезпечують максимально швидкий та зручний доступ пацієнтів стаціонару до їдальні та реабілітаційних приміщень. Також завдяки цьому розосереджено потоки пацієнтів амбулаторії та стаціонару. Протипожежну безпеку забезпечено великою кількістю евакуаційних виходів з будівлі та наявністю незадимлюваних зон, з'єднаних вертикальними комунікаціями.

Житлові палати знаходяться на 2, 3 та 4 поверхах. На кожному поверсі запроєктовані зони для відпочинку та комунікації пацієнтів, на 2 і 3 поверхах є відкриті озелененні тераси. Окрім рекреаційної функції вони виконують також і естетичну.

Конструктивна схема запроєктованого реабілітаційного центру – металевий рамно-в'язевий каркас (рис. 3), у якому колони та ригелі формують основні плоскі тримальні одиниці системи каркасу – поперечні рами (рис. 4).

Оскільки будівля має досить великі розміри в плані (91,5×68,9 м в осях), різну висоту окремих частин та є багатофункційною, то від добових, річних коливань температури та різних температурно-вологісних режимів експлуатації приміщень існує ймовірність виникнення значних деформацій елементів каркасу. Щоб уникнути появи неконтрольованих несприятливих переміщень та розмежувати різні за призначенням зони, будівлю розділено деформаційними (температурними) швами [13] на три блоки. Кожен блок представляє собою незалежний каркас, непов'язаний із поруч розташованими конструкціями.

Жорсткість та стійкість каркасу в поперечному напрямку (у площині рами) забезпечується жорсткістю самих елементів і жорсткими з'єднаннями ригелів з колонами; у повздовжньому напрямку (перпендикулярно до площини рами) – групами вертикальних зв'язків. Крім цього, вагому роль у створенні геометричної незмінності відіграють монолітні ліфтові шахти-ядра та диски перекриттів по профнастилу, що перешкоджають взаємному зсуву вертикальних елементів.

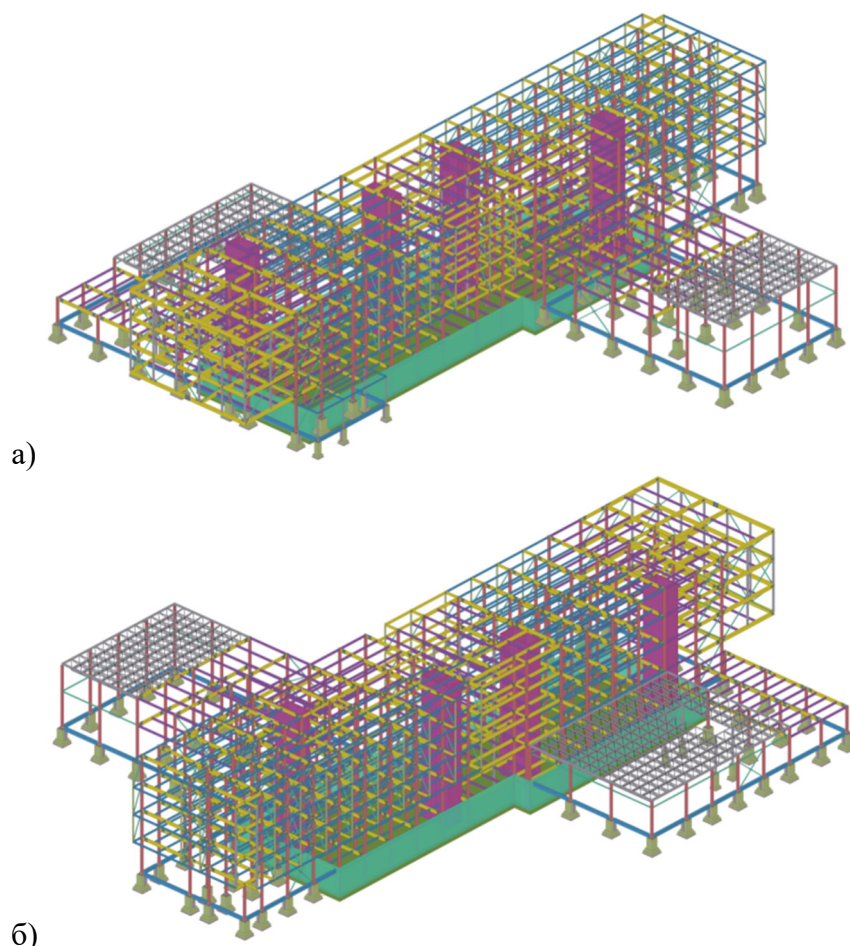


Рис. 3. Конструктивна модель каркасу:
а) – передній вигляд каркасу; б) – задній вигляд каркасу

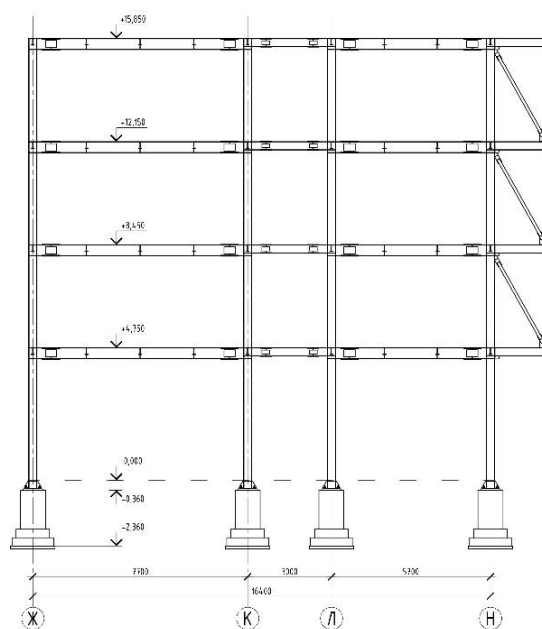


Рис. 4. Типова поперечна рама правої частини основного блоку будівлі

Системи в'язей запроєктовано окремо для кожного температурного блоку будівлі [13]. Застосовано хрестові в'язі в площині фасадів та порталні – в місцях проходів для збереження функціональності внутрішнього об'єму. Поперечний переріз в'язей – труба профільна квадратного перерізу. В'язі забезпечують правильну роботу каркасу (рис. 5), сприймають горизонтальні зусилля та передають їх на фундаменти.

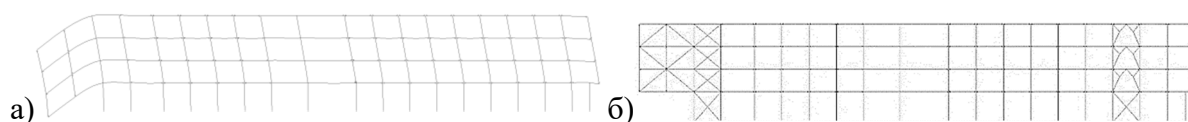


Рис. 5. Схеми роботи каркасу:

а) – некоректна робота каркасу (відсутні в'язі); б) – правильна робота каркасу

Своєрідною особливістю каркасу є просторова консольна конструкція з вильотом 9 м. Високе співвідношення між міцністю і густиною сталі та отримані допустимі значення прогинів [14] у розрахунковій програмі (рис. 6) доводять доцільність використання сталевих конструкцій та реальність реалізації задуму.

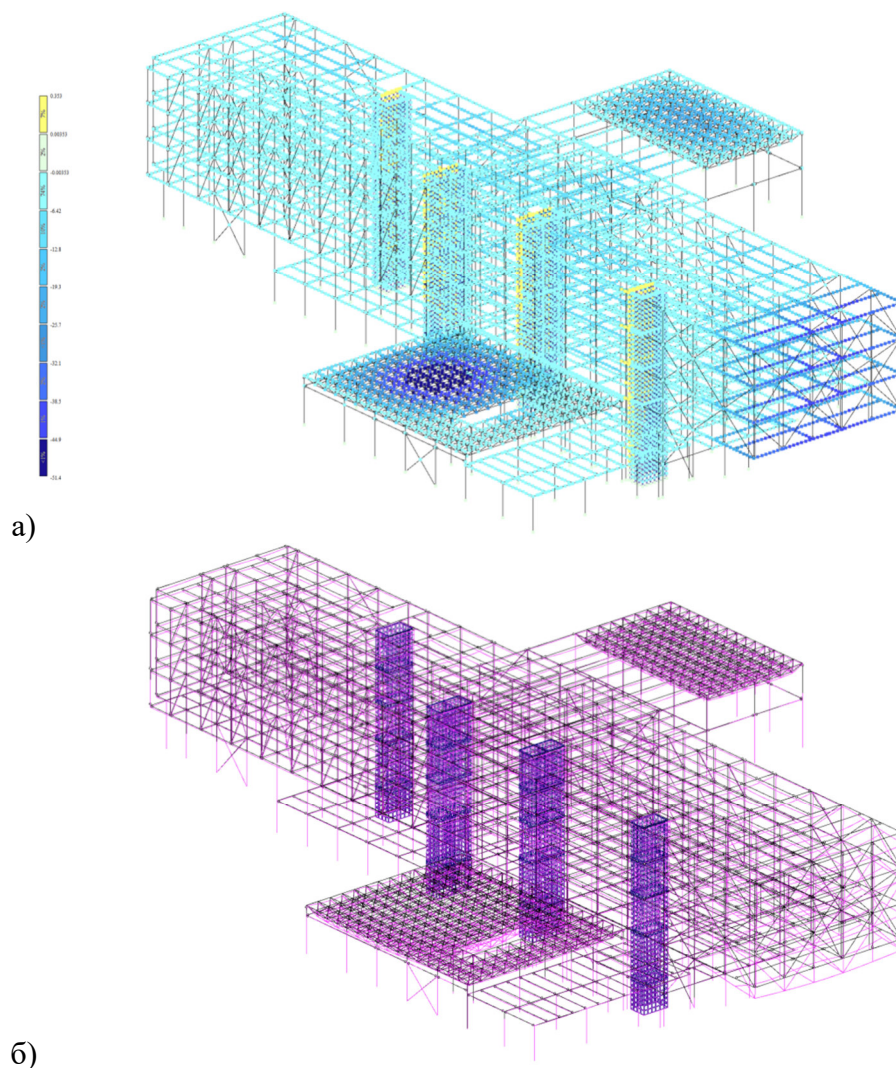


Рис. 6. Розрахункова схема каркасу: а) – мозаїка переміщень елементів каркасу вздовж осі Z; б) – вихідна та деформована схеми

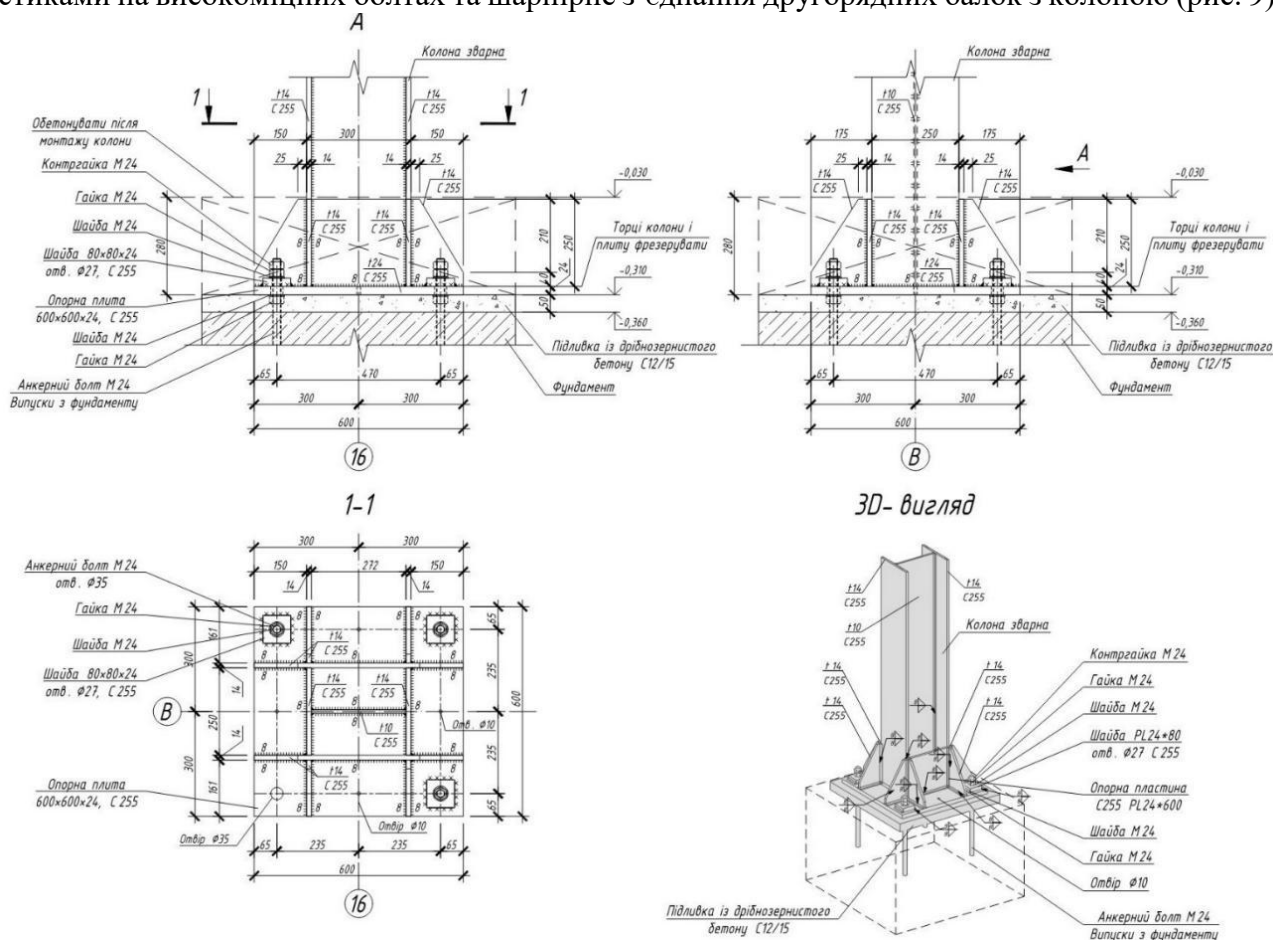
Покриття басейну та їдальні – просторові стержневі структури на основі пентаедрів із будівельною висотою 1 м, що дозволили перекрити великі прольоти та надати архітектурної виразності приміщенням, зберігаючи їхню висоту (рис. 7). Така конструкція дискретно розподіляє зусилля всередині системи й передає їх на опори. Сила, прикладена до будь-якого вузла структури, спочатку викликає зусилля в елементах, які безпосередньо примикають до цього вузла, а потім – просторову реакцію всієї системи, що нагадує реакцію суцільного середовища. При завантаженні структури можна зауважити, що розподілення потенціальної енергії деформації у місцях виникнення найбільших розтягувальних зусиль є близьким до рівномірного, що є черговою перевагою таких конструкцій [3, 5].



Рис. 7. Інтер'єр їдальні з просторовими стержневими структурами на основі пентаедрів

На жаль, наразі українські підприємства не мають можливості виготовляти всього переліку прокатних профілів, виробництво яких велося на знищених росією металургійних комбінатах. Зважаючи на цей виклик сьогодення, було застосовано зварні складені перерізи та профілі наявні в Україні, зокрема й імпорتنі з країн Європейського Союзу. Відповідно до вимог конкурсного проєкту детально розроблено характерні вузли будівлі:

1. Жорстка база колони із траверсами (рис. 8).
2. Жорстке з'єднання з привареними до колони опорними частинами ригелів і виносними стилями на високоміцних болтах та шарнірне з'єднання другорядних балок з колоною (рис. 9).



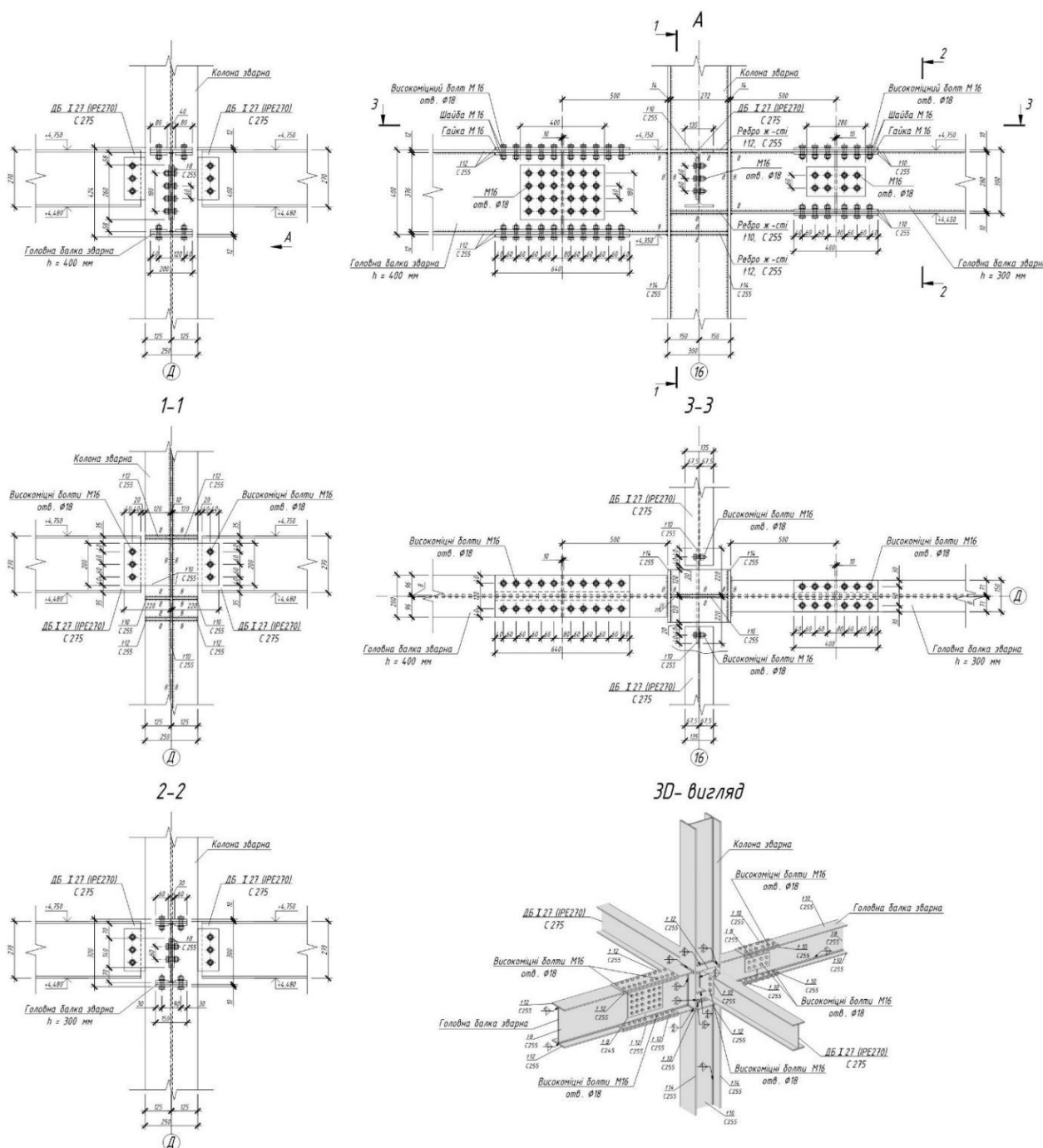


Рис. 9. Вузол з'єднання ригелів з колоною

Фізична реалізація та легкість монтажу каркасу підтверджується обраним способом компоновки на відправні елементи.

Висновки. При створенні проекту були розглянуті особливості металевих каркасів в контексті актуальних для України реалій часу, способи його використання для підкреслення особливостей архітектурного образу. У світлі сучасних викликів та потреб, створення реабілітаційних центрів для військовослужбовців та ветеранів стає надзвичайно важливою соціальною місією. Проектування цих об'єктів вимагає ретельних обрахунків, адже забезпечення економічної доцільності проектування є також важливим аспектом в контексті країни, що розвивається і має обмежені ресурси. Сталеві конструкції є надійними, відносно дешевими та відкривають нові можливості для архітекторів та конструкторів. Приклад використання їх в представленому проекті доводить, що вони якнайкраще підходять для

зведення нових будівель та споруд, а також реконструкції існуючих об'єктів під час післявоєнної відбудови України.

Література:

1. Luco, A. Unileão School Veterinary Hospital / Lins Arquitetos Associados. ArchDaily. https://www.archdaily.com/1011616/unileao-school-veterinary-hospital-lins-arquitetos-associados?ad_source=search&ad_medium=projects_tab
2. Caballero, P.. Educán School for Dogs, Humans and Other Species / Eeestudio + Lys Villalba. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/972435/educan-school-for-dogs-humans-and-other-species-eeestudio-plus-lys-villalba>.
3. Vozniuk L. Selection of a Variant Steel Space Truss Structure Based on the Bioenergetic Method // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2024. – Vol. : 807: 2nd International conference on Smart technologies in urban engineering, STUE 2023, 8–10 June 2023. P. 104–116.
4. Шмуклер В. С., Вознюк Л. І., Бережна К. В. Енергетичний портрет конструктивної системи як критерій варіантного проектування // Вісник ХНАДУ. 2022. Вип. 98. С. 136–143.
5. Lachowicz M., Shmukler V., Kot H., Vozniuk L., Demchyna K. Use of innovative solutions in the area of construction process planning // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2949, iss. 1 : XI International scientific session on Applied mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
6. Koronaki A., Shepherd P., Evernden M.: Rationalization of freeform space-frame structures: Reducing variability in the joints. International Journal of Architectural Computing, vol. 18, pp. 84-99 (2020).
7. Lee T.-U., Liu Y., Xie Y.M.: Dividing a Sphere Hierarchically into a Large Number of Spherical Pentagons Using Equal Area or Equal Length Optimization. CAD Computer Aided Design, vol. 148, 116016 (2022).
8. Yan S., Zhao X., Chen Y., Xu Z., Lu Y.: A new type of truss joint for prevention of progressive collapse. Engineering Structures, vol. 167, pp. 203-213 (2018).
9. Sun G., Xiao S., Qu X., Zhuang P.: Experimental and numerical study on truss string structure considering hysteretic performance asymmetry. Journal of Building Engineer-ing, vol. 70, Article number 106311 (2023).
10. Shmukler, V.: About one approach to the formation of design technology of rational designs; Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University, vol. 98, pp. 93-113 (2022).
11. Shmukler, V., Babaev, V., Shimanovskyi, O. and other.: Rational Design of Structural Building Systems; Berlin: DOM publishers – 384 p. (2020).
12. Koronaki A, Shepherd P, Evernden M.: Geometry optimization of space frame structures for joint modularity. In: Adriaenssens S, Mueller C (eds) IASS annual symposium: creativity in structural design, Boston, MA, pp. 16–20 (2018).
13. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014. 199 с.
14. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги до проектування. - 10 с.

References:

- [1] Luco, A. Unileão School Veterinary Hospital / Lins Arquitetos Associados. ArchDaily. https://www.archdaily.com/1011616/unileao-school-veterinary-hospital-lins-arquitetos-associados?ad_source=search&ad_medium=projects_tab
- [2] Caballero, P.. School for dogs, people and other species / Eeestudio + Lys Villalba. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/972435/educan-school-for-dogs-humans-and-other-species-eeestudio-plus-lys-villalba>.
- [3] Vozniuk L. Selection of a variant of steel spatial truss structure based on the bioenergy method // Lecture notes on networks and systems. - 2024. - Issue 807: 2nd International Conference on Smart Technologies in Urban Construction, STUE 2023, 8-10 June 2023 - P. 104-116.

- [4] Shmukler V.S., Vozniuk L.I., Berezhna K.V. Energy portrait of a constructive system as a criterion for variant design // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University. 2022. Issue 98. Pp. 136-143.
- [5] Lakhovych M., Schmukler V., Kot G., Vozniuk L., Demchyna K. The use of innovative solutions in the field of planning construction processes // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2949, iss. 1: XI International Scientific Session on Applied Mechanics, 18 November 2022, Bydgoszcz, Poland.
- [6] Koronaki A., Shepherd P., Evernden M.: Rationalisation of free-form space-frame structures: Reducing variability in connections. International Journal of Architectural Computing, vol. 18, pp. 84-99 (2020).
- [7] Li, T.-W., Liu, Y., Xie, Y.M.: Hierarchical partitioning of a sphere into a large number of spherical pentagons using equal area or equal length optimisation. CAD Computer Aided Design, vol. 148, 116016 (2022).
- [8] Yan S., Zhao X., Chen Y., Xu Z., Lu Y.: A new type of truss connection to prevent progressive failure. Structural Engineering, vol. 167, pp. 203-213 (2018).
- [9] Sun G., Xiao S., Qu X., Zhuang P.: Experimental and numerical study of string truss structure considering hysteresis asymmetry of characteristics. Journal of Structural Engineering, volume 70, article number 106311 (2023).
- [10] Schmuckler, W.: About one approach to the formation of technology for designing rational structures; Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University, vol. 98, pp. 93-113 (2022).
- [11] Schmuckler, V., Babayev, V., Shimanovsky, O. et al: Rational design of structural building systems; Berlin: DOM publishers. 384 p. (2020).
- [12] Koronaki, A., Shepherd, P., Evernden, M.: Optimising the geometry of spatial frame structures for joint modularity. In: Adriaenssens S, Mueller C (eds) IASS annual symposium: creativity in structural design, Boston, MA, pp. 16-20 (2018).
- [13] DBN V.2.6-198: 2014. Steel structures. Design standards. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. 199 c.
- [14] DSTU B V.1.2-3: 2006 deflections and displacements. Design requirements. 10 c.

PROJECT OF A REHABILITATION CENTRE FOR MILITARY PERSONNEL AND WAR VETERANS IN ZHYTOMYR, WHICH WON FIRST PLACE IN THE «STEEL FREEDOM» ARCHITECTURAL COMPETITION

Vozniuk L.I., PhD in Engineering, Associate Professor
leonid.i.vozniuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-9512-8338

Babiak V.I., Candidate of Architecture, Associate Professor
volodymyr.i.babiak@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-9672-0971

Mazur D.V., Bachelor Student
dmytro.mazur.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0003-1593-2847

Leibych S.R., Bachelor Student
sofiia.leibych.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0006-1533-8284

Kiiko S., Bachelor Student
sofiia.kiiko.ar.2020@lpnu.ua ORCID: 0009-0001-0877-7645

Ivaskiv Y., Bachelor Student
yaroslav.ivaskiv.ar.2020@lpnu.ua, ORCID: 0009-0002-0869-4812

Mytsyk O.S., Master Student
oleksandr.mytsyk.mbdpts.2023@lpnu.ua, ORCID: 0009-0003-4935-159X
Lviv Polytechnic National University

Annotation. The article is devoted to the study of the experience of using metal structures in the design of rehabilitation centres on the example of the project of the R-240 team ‘Rehabilitation Centre for Military Personnel and War Veterans in Zhytomyr’ for the Steel Freedom competition. Due to the Russian invasion of Ukraine, a large number of military personnel have suffered physical and mental injuries. As a result, the need for rehabilitation centres has increased. The engineering and architectural community is faced with the challenge of finding ways to meet these demands. Metal structures, due to their high reliability, industrial nature, the ability to provide architectural expression, the isotropic nature of the material itself and their invulnerability to various factors, are best suited for this purpose. When working on the project of a rehabilitation centre for military personnel and war veterans in Zhytomyr, a metal frame was used, and relevant calculations were carried out to prove its effectiveness. The structural scheme of the projected rehabilitation centre is a metal frame and ligature frame, in which columns and crossbars form the main flat supporting units of the frame system - transverse frames. As the building is quite large in plan (91.5×68.9 m in axes), has different heights of individual parts and is multifunctional, there is a possibility of significant deformation of the frame elements due to daily and annual temperature fluctuations and different temperature and humidity conditions of the premises. To avoid uncontrolled adverse movements and to differentiate between zones with different purposes, the building is divided into three blocks by expansion joints. Each block is an independent frame that is not connected to adjacent structures. A distinctive feature of the frame is the spatial cantilever structure with a 9 m overhang. The high ratio between the strength and density of steel and the permissible deflection values obtained in the calculation programme prove the feasibility of using steel structures and the reality of the plan. The study proves that the use of a metal frame is best suited for the construction of new buildings and structures, as well as the reconstruction of existing facilities during the post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: steel frame, structure, nodes, finite element method