

УДК 624.01

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.070720.83.644

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ СПОРУДИ З УРАХУВАННЯМ УЛАШТУВАННЯ НА ПОКРІВЛІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

РОМАНЕНКО С. М.^{1*}, *ст. виклад.*,
АНДРІЄВСЬКА Я. П.², *асист.*

^{1*} Кафедра будівництва, Херсонський державний аграрний університет, вул. Стрітенська, 23, 73006, Херсон, Україна, тел. +38 (095) 8297341, e-mail: romanesko666@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-3896

² Кафедра будівництва, Херсонський державний аграрний університет, вул. Стрітенська, 23, 73006, Херсон, Україна, тел. +38 (095) 2193191, e-mail: yanaandrievska321@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3052-2515

Анотація. Постановка проблеми. Ситуація з використанням енергії Сонця у світі рухається вперед швидкими темпами. Всього за 10 років (з 2010 по 2019 р.) сонячна енергетика в Україні перетворилася з екзотичного захоплення декількох багатих бізнесменів на економічну галузь, що бурхливо розвивається. До 2030–2035 року Україна увійде в число країн, що покривають до чверті необхідної потреби в енергії за рахунок альтернативних джерел. Наразі постає ефективним рішення для суб'єктів підприємницької діяльності та виробництва встановлення сонячних електростанцій на дахах будівель та споруд. У зв'язку із цим будівельні конструкції покриття будівель та споруд потребують перевірки несної здатності та експлуатаційної придатності. Аби визначити можливість використання існуючих конструкцій в подальшому, виконується обстеження існуючих конструкцій і перевірні розрахунки для з'ясування несної здатності елементів каркаса в результаті зростання навантаження (кріплення сонячних панелей). Конструкції, які не задовольняють вимогам перевірних розрахунків, можуть бути посилені з відновленням їх працездатності і підвищенням несної здатності за рахунок спеціальних заходів або замінені на нові. Наведено результати обстеження споруди та перевірні розрахунки існуючих конструкцій навісу. **Мета дослідження** – для оцінки несної здатності металоконструкцій каркаса спорудження покрівлі виконати розрахунок металевої ферми в програмному комплексі «Ліра САПР 2013», який є комп'ютерною системою для структурного аналізу і проектування. Розрахунок ферми виконати в такій послідовності: визначення та збір навантаження; встановлення розрахункової схеми ферми; визначення розрахункових зусиль в елементах ферми; підбір поперечних перерізів розтягнутих і стиснутих елементів. **Висновок.** Розрахунок прогону покриття і колони показав, що існуючі перетини колони і прогону не задовольняють вимогам і потребують посилення або повної заміни. Прийнято рішення, що експлуатація споруди після установки на даху елементів джерел альтернативної енергії можлива за умови розроблення спеціального проекту на посилення або заміну колон поперечної рами навісу.

Ключові слова: колона; ферма; прогін; підсилення; навантаження; переміщення

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ НА КРЫШЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

РОМАНЕНКО С. Н.^{1*}, *ст. препод.*,
АНДРИЕВСКАЯ Я. П.², *ассист.*

^{1*} Кафедра строительства, Херсонский государственный аграрный университет, ул. Стретенская, 23, 73006, Херсон, Украина, тел. +38 (095) 829-73-41, e-mail: romanesko666@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-3896

² Кафедра строительства, Херсонский государственный аграрный университет, ул. Стретенская, 23, 73006, Херсон, Украина, тел. +38 (095) 219-31-91, e-mail: yanaandrievska321@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3052-2515

Аннотация. Постановка проблемы. Ситуация с использованием энергии Солнца в мире движется вперед быстрыми темпами. Всего за 10 лет (с 2010 по 2019 г.) солнечная энергетика в Украине превратилась из экзотического увлечения нескольких богатых бизнесменов в бурно развивающуюся экономическую отрасль. К 2030–2035 году Украина войдет в число стран, покрывающих до четверти необходимой потребности в энергии за счет альтернативных источников. На сегодняшний день эффективным является решение для субъектов предпринимательской деятельности и производства установить солнечные электростанции на

крышах зданий и сооружений. В связи с этим строительные конструкции покрытия зданий и сооружений требуют проверки несущей способности и эксплуатационной пригодности. Для определения возможности использования существующих конструкций в дальнейшем выполняются обследование и расчеты для проверки несущей способности элементов каркаса в результате роста нагрузки (крепление солнечных панелей). Конструкции, которые не удовлетворяют требованиям проверочных расчетов, могут быть усилены с восстановлением их работоспособности и повышением несущей способности за счет специальных мероприятий или заменены на новые. Приведены результаты обследования сооружения и проверочные расчеты существующих конструкций навеса. **Цель работы** – для оценки несущей способности металлоконструкций каркаса сооружения кровли выполнить расчет металлической фермы в программном комплексе «Лира САПР 2013», который является компьютерной системой для структурного анализа и проектирования. Расчет фермы выполнить в такой последовательности: определение и сбор нагрузки; установление расчетной схемы фермы; определение расчетных усилий в элементах фермы; подбор поперечных сечений растянутых и сжатых элементов. **Вывод.** Расчет прогона покрытия и колонны показал, что существующие пересечения колонны и пролета не удовлетворяют требованиям и нуждаются в усилении или полной замене. Принято решение, что эксплуатация сооружения после установки на крыше элементов источников альтернативной энергии возможна при условии разработки специального проекта на усиление или замену колонн поперечной рамы навеса.

Ключевые слова: колонна; ферма; прогон; усиление; нагрузка; перемещение

STRUCTURAL SURVEY AND ANALYSIS OF THE BUILDING WITH ROOF SOLAR PANELS

ROMANENKO S.M.^{1*}, *Assist. Prof.*,
ANDRIEVSKAYA Ya.P.², *Assist.*

^{1*} Department of Civil Engineering, Kherson State Agrarian University, 23, Stritenska Str., 73006, Kherson, Ukraine, tel. +38 (095) 829-73-41, e-mail: romanesko666@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0443-3896

² Department of Civil Engineering, Kherson State Agrarian University, 23, Stritenska Str., 73006, Kherson, Ukraine, tel. +38 (095) 2193191, e-mail: yanaandrievska321@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3052-251

Abstract. Problem statement. The situation with using the solar energy in the world is moving forward at a fast pace. The solar power in Ukraine has been transformed from an exotic hobby of several wealthy businessmen into a booming economic industry over just 10 years – from 2010 into 2019. By 2030–2035, Ukraine will be among the countries that could cover up a quarter of the required energy demand from alternative sources. Nowadays an effective solution for business entities and production plants is to installation solar panels on the roof of buildings and structures. Thus, it requires the assessment of load-bearing capacity and serviceability of buildings. The possibility of using structures is subsequently performed by an examination of existing structures and structural analysis to determine the load-bearing capacity of the frame elements as a result of load (solar panel mounting). Constructions that do not meet structural requirements can be reinforced to renew and increase their bearing capacity due to special measures or their replacement with new ones. The results of the survey of structures and structural analysis of existing buildings are presented in the article. **Purpose.** To estimate the load-bearing capacity of metal structures of the roof, a calculation of a metal girder was performed in a software complex for structural analysis and design "Lyra CAD 2013". Calculation of the girder was implemented in the following stages: determination and collection of load; establishment of the girder's settlement scheme; determination of design effort in girder elements; selection of cross sections of stretched and compressed elements. **Conclusion.** The analysis and calculation of the roof bearer and the column showed that the existing section of the column and the roof bearer does not meet the requirements and needs to be reinforced or completely replaced. It was decided that the installation of the elements of alternative energy on the roof is possible, provided the development of a special project to reinforce or replace the column of the cross frame.

Keywords: column; girder; span; reinforcement; loading; moving

Постановка проблеми. Одне із першочергових завдань Стратегії сталого розвитку «Україна – 2020», схваленої Указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015 – реалізація програми енергонезалежності, основна мета якої полягає у забезпеченні енергетичної безпеки

і переходу до енергоефективного, енергоощадного використання та споживання енергоресурсів з упровадженням інноваційних технологій.

Створення свідомого та енергоефективного суспільства – одна з цілей та пріоритетів Енергетичної стратегії України

на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 року № 605-р.

Інструментом втілення у життя поставлених у сфері енергоефективності завдань і цілей на державному рівні постає Державна цільова економічна програма енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв із відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010–2020 роки, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 01 березня 2010 року № 243.

Попит на енергію досягає безпрецедентного рівня внаслідок швидкого зростання швидкої урбанізації та індустріалізації. Для задоволення цього попиту необхідні більш високі рівні технологічних та нетехнологічних інновацій, як на виробничій стороні рівняння енергії (альтернативні джерела, нові передові технології енергозбереження), так і на стороні споживання.

Сучасна науково-технічна література до альтернативних джерел енергії відносить такі її форми: сонячна, вітрова, енергія морських хвиль, припливів і відпливів, енергія біомаси, низькопотенційна теплова енергія.

Наразі бачиться ефективним рішення для суб'єктів підприємницької діяльності та виробництва встановлення сонячних електростанцій на дахах будівель та споруд. У зв'язку з цим будівельні конструкції покриття будівель та споруд потребують перевірки несної здатності та експлуатаційної придатності.

Аналіз публікацій. Проблему розвитку альтернативної енергетики в Україні розглядали Н. С. Косар, Л. І. Третякова, С. А. Різенко, А. В. Гриценко, В. В. Соловей, В. Г. Носач, Е. В. Скляренко.

Альтернативні джерела енергії прийнято встановлювати на дахах будівель та споруд, що спричинює зростання навантаження на несні конструкції покриття і потребує повної або часткової заміни чи підсилення існуючих конструкцій.

Підсилення конструкцій – найбільш поширений спосіб відновлення несної здатності і забезпечення надійної експлуатації [9–15]. Використовують такі методи підсилення сталевих конструкцій [3]:

- збільшення площі поперечного перерізу окремих елементів конструкції;
- зміна конструктивної схеми всього каркаса або окремих елементів;
- зміна виду з'єднань елементів і конструкцій;
- регулювання напружень.

Кожен із цих методів може застосовуватися самостійно або в комбінації з іншим.

Мета дослідження – обстеження споруди навісу для визначення несної здатності конструкцій з урахуванням улаштування на покрівлі сонячних панелей, формулювання пропозицій щодо підсилення чи заміни цих конструкцій, розрахунок їх конструктивних параметрів. Дослідження виконано із застосуванням класичних розрахунків будівельної механіки та методів комп'ютерного моделювального експерименту в програмному комплексі «Ліра САПР 2013», який алгоритмічно базується на методі кінцевих елементів.

Завдання дослідження:

- розрахунок прогону покриття;
- розроблення розрахункової моделі металеві ферми;
- розрахунок існуючої металеві ферми;
- розрахунок колони;
- аналіз результатів, отриманих після перевірки розрахунків.

Виклад матеріалу. Згідно з результатами інженерно-технічного обстеження будівель та споруд філії Управління «Укргазтеззв'язок» у м. Боярка Київської області по вул. Білогородська, 61, виконаного ТОВ Управляюча компанія «Служба комунального сервісу» м. Києва в 2018 році, наведено загальну характеристику адміністративної будівлі та навісу [1; 4; 5].

Навіс у плані прямокутної форми з розмірами в осях 5,5 × 40,0 м. Конструктивна схема споруди – каркас. Основні елементи каркаса однопрогінної

споруди – колони і ферми, які утворюють поперечну раму каркаса. Поздовжні елементи каркаса – це в'язи між колонами і фермами, покрівельні прогони.

Ферма має трикутний обрис. Трикутна система решітки без додаткових стояків. Решітка ферми виконана із ГЗП квадратного перерізу. Всі елементи ферми Ф1 – із гнutoзварного сталевого профілю квадратного перерізу $50 \times 50 \times 4$ мм згідно з ДСТУ Б В.2.6-8-95.

Прогони виконані суцільного перерізу із ГЗП квадратного перерізу $50 \times 50 \times 4$ мм. Прогони кріпляться до верхнього поясу за допомогою зварювання.

Колони суцільного і постійного по висоті перерізу виконані з гнutoзварного замкнутого сталевого профілю квадратного перерізу $50 \times 50 \times 4$ мм згідно з

ДСТУ Б В.2.6-8-95. Крок колон у повздожньому напрямку 4,0 м.

Дах – односхилий. Матеріал покриття – профіль оцинкований листовий гнугий із трапецієподібними гофрами для будівництва. Для покрівлі використано профільований лист НС35 (для настилення та стінових огорож згідно з ДСТУ Б В.2.6-9:2008), який має лакофарбове покриття по поверхні. Товщина профільованого листа, згідно з обстеженням, 0,5 мм. Кріплення прогонів до верхнього поясу виконане за допомогою зварювання. Ухил покрівлі 7 градусів.

Поверхні металоконструкції пофарбовані.

Загальний вигляд навісу показано на рисунку 1, а креслення плану навісу та розріз – на рисунках 2–4.



Рис. 1. Загальний вигляд та головний фасад навісу

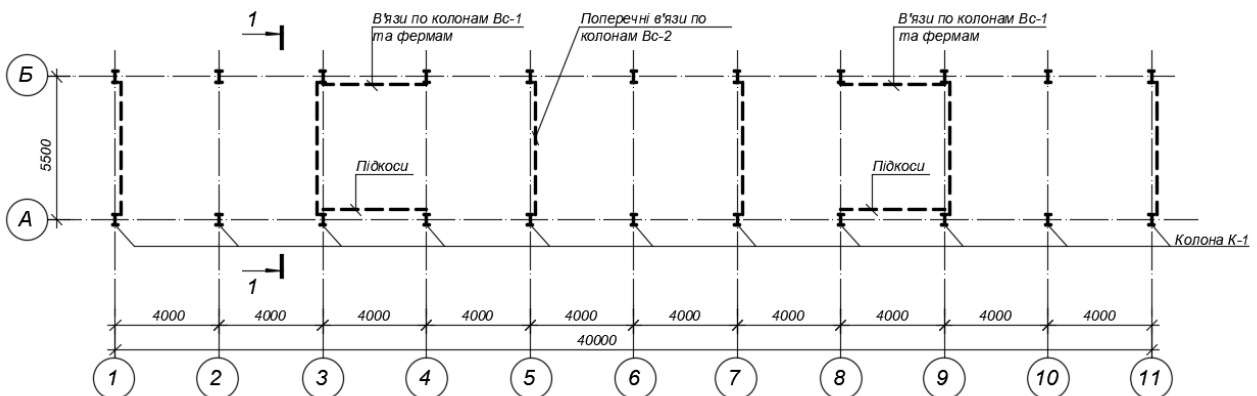


Рис. 2. План навісу на відм. 0.000

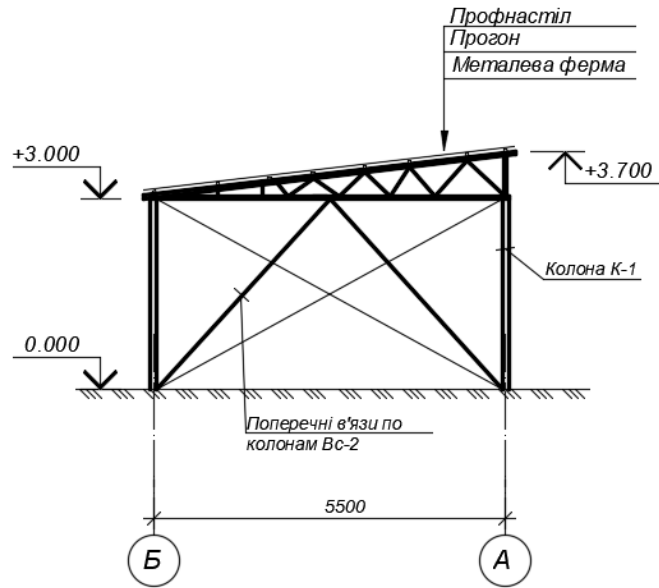


Рис. 3. Розріз 1-1

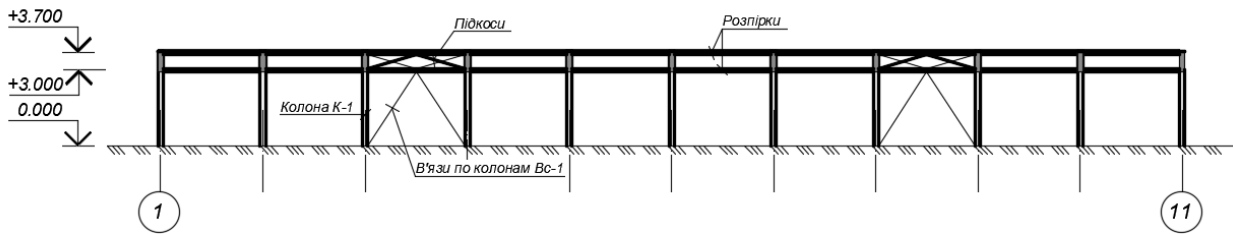


Рис. 4. Головний фасад в осях 1-11

У результаті обстеження споруди під час експлуатації встановлено, що для покриття даху слід використовувати профільований лист товщиною 0,6 мм до 0,7 мм згідно з ДБН В.2.6-220:2017 «Покриття будівель і споруд». Після обстеження прийнято рішення про можливість використання існуючих конструкцій у подальшому після виконаних перевірних розрахунків. Конструкції, які не задовольняють вимогам перевірних розрахунків, можуть бути підсилені з поновленням їх працездатності та підвищенням несної здатності за допомогою спеціальних засобів або замінені на нові.

Результати досліджень. Статичний розрахунок конструкції виконувався з урахуванням виявленого фактичного стану елементів і з'єднань. Для оцінення несної здатності металоконструкцій каркаса споруди навісу філії «Управління «Укргазтехзв'язок» у м. Боярка Київської області по вул. Білогородська, 61, згідно з нормами [6; 7] виконано розрахунок металевої ферми у програмному комплексі «Ліра САПР 2013»,

що є комп'ютерною системою для структурного аналізу та проектування [2].

Розрахунок елементів навісу виконувався в такій послідовності:

- розрахунок прогонів покриття;
- розрахунок металевої ферми;
- розрахунок колони.

Несні елементи покриття і каркаса розраховувалися на постійне навантаження (власну масу), снігове і вітрове навантаження відповідно до вимог ДБН В.1.2-2. У перевірних обчисленнях враховується коефіцієнт надійності за відповідальністю γ_n згідно з ДБН В.1.2-14.

Розрахунок прогону покриття. Прогін покриття розраховувався з урахуванням кута нахилу до горизонту (кут нахилу покрівлі – 7°), розрахункового навантаження від ваги 1 м^2 покрівлі, кроку прогонів (0,725 м), розрахункового погонного навантаження від ваги прогону та розрахункового навантаження від ваги сонячних панелей.

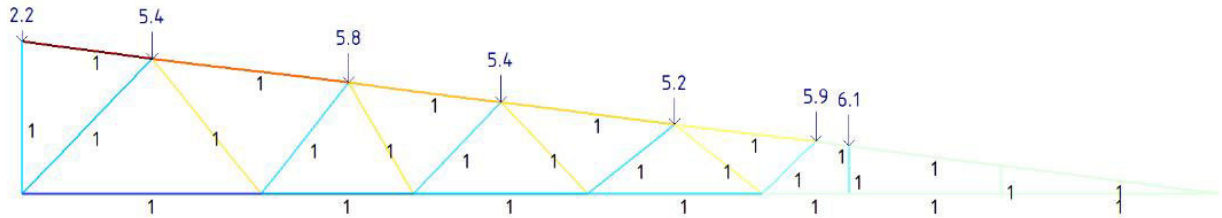
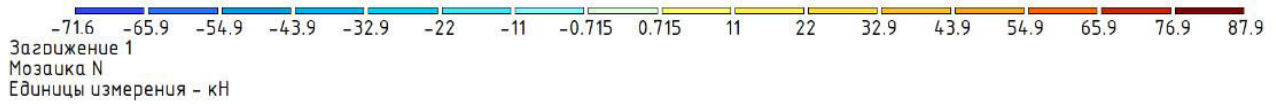


Рис. 5. Розрахункові зусилля від нормативних навантажень в елементах ферми

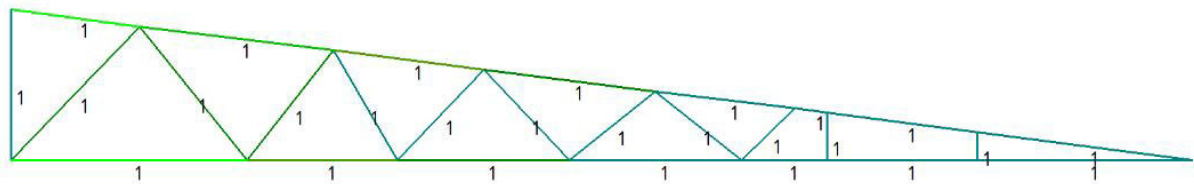


Рис. 6. Мозаїка результатів перевірки призначених перерізів граничних станів по 1-й групі граничного стану

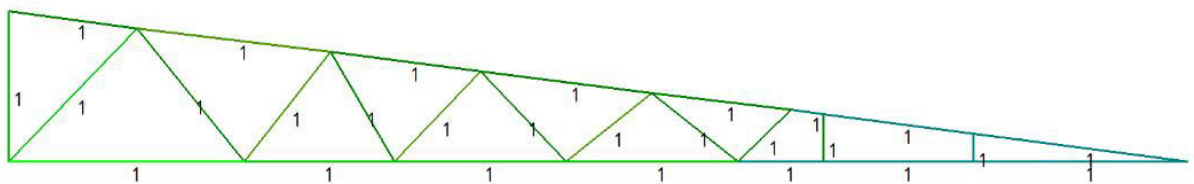


Рис. 7. Мозаїка результатів перевірки призначених перерізів граничних станів по 2-й групі граничного стану

Розрахункове навантаження на існуючий сталевий прогін з урахуванням улаштування на покрівлі альтернативних джерел енергії складає 133,25 кг/м. Після визначення розрахункового моменту опору та моменту інерції із сортаменту прийнято трубу гнutoзварного профілю квадратного перерізу 80 × 80 × 4 мм.

Розрахунок металевої ферми виконано у

програмному комплексі «Ліра САПР 2013». Перевірка несної здатності і стійкості конструкцій виконана відповідно до діючого нормативного документа ДБН В. 2.6-198: 2014 [8]. Розрахунок ферм виконувався у такій послідовності згідно з діючими нормами:

- встановлення розрахункової схеми ферми;

- визначення та збір навантаження;
- визначення розрахункових зусиль в елементах ферми;
- підбір поперечних перерізів розтягнутих та стиснутих елементів.

Розрахункова схема з доданими навантаженнями і переміщень уздовж осі Z від розрахункових навантажень наведена на рисунках 5–7.

Переріз існуючих елементів ферми – згідно з розрахунком.

Відповідно до таблиці 1 ДСТУ Б В.1.2-3:2006 «СНББ. Прогини і переміщення. Вимоги проектування» граничний прогин для ферми прольотом від 3–6 м складає $l/200$. Відносний прогин ферми $l/200 = 5500/200 = 27,5$ мм. Згідно з даними статичного розрахунку прогин склав 7,87 мм. Умова виконується.

Розрахунок існуючої колони навісу з урахуванням улаштування сонячних панелей на покрівлі виконувався згідно з ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції».

Зусилля, яке діє на колону при вантажній площі, склало $N = 854,5$ кг. Коефіцієнт розрахункової довжини колони постійного за довжиною перерізу у площині вільних і невольних рам за жорсткого спряження ригелів із колонами і за однакового навантаження розміщених в одному рівні вузлів $\mu = 2,0$. Розрахункова

довжина колони 600 см. Гранична гнучкість за стиску для колон $\lambda = 150$.

Колона розраховувалась на міцність та стійкість. Після проведених розрахунків з'ясувалось, що існуючий переріз колони не задовольняє вимогам. Прийнято сталеву трубу гнutoго профілю $100 \times 100 \times 3$ мм.

Колона потребує підсилення або повної заміни. Рекомендовано підсилення сталеві конструкції колони збільшенням площі поперечного перерізу шляхом установлення додаткової металеві труби. Оскільки опорна частина (траверса та опорна плита) відсутня, підсилення слід виконати шляхом установлення додаткових анкерних болтів, які кріпляться до колони через виносні консолі (кутики) та затягуються з напругою.

Висновок. Установлення на даху навісу альтернативних джерел енергії можливе тільки після виконання проекту на заміну чи підсилення елементів каркаса.

Заміна сталевих прогонових покриття. Існуюча колона, виконана із гнutoзварного профілю, квадратного перерізу $50 \times 50 \times 4$ мм, не достатня за 2-ю групою граничних станів і тому повинна підлягати підсиленню або повній заміні.

Конструкція ферми задовольняє вимогам і забезпечує нормальну експлуатацію встановленому обладнанню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барашиков А. Я., Малышев А. Н. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений. Київ : НМЦ Держнаглядочоронпраці України, 1998. 231 с.
2. Городецкий Д. А., Барабаш М. С., Водопьянов Р. Ю., Титок В. П., Артамонова А. Е. Программный комплекс Лира-Сапр 2013: учеб. пособ. Москва : Электронное издание, 2013. 376 с.
3. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель та споруд. [Чинний з 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 67 с. (Державний стандарт України).
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний з 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 32 с. (Державний стандарт України).
5. ДСТУ Б В.2.6-210-2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Чинний з 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016. С. 46–51. (Державний стандарт України).
6. ДБН В. 1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. [Чинний з 2019-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. 29 с. (Державні будівельні норми України).
7. ДБН В.1.2-9-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації. [Чинний з 2008-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 21 с. (Державні будівельні норми України).

8. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний з 2015-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 199 с. (Державні будівельні норми України).
9. Козлов С. В., Кудашкин М. С. Усиление стальных конструкций методом увеличения сечения с использованием плазменной сварки. *Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського*. Вип. 4. 2009. С. 108–113.
10. Попов В. О., Войцехівський О. В. Раціональні методи підсилення просторового каркаса кіноконцертного залу «райдуга» в умовах збільшення навантаження. *Будівельні конструкції : теорія і практика*. 2017. Вип. 1. С. 15–21.
11. Романенко С. Н., Андриевская Я. П. Усиление существующей несущей конструкции покрытия. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Вип. 23. Одеса, 2019. С. 74–81.
12. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 97144. Проектування підсилення кроквяної ферми. С. М. Романенко, Я. П. Андриєвська (Україна); заяв. 08.04.2020.
13. Adam J. M., Ivorra S., Gimenez E., Moragues J. J., Miguel P., MirAgall C., Calderon P. A. Behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips. *Steel and composite structures*. 2007. № 7 (5). Pp. 405–419. URL: <https://doi.org/10.12989/scs.2007.7.5.405>
14. Abramski M. Load-carrying capacity of axially loaded concrete-filled steel tubular columns made of thin tubes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18. Pp. 902–913. URL: <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.01.002>
15. Yang Y., Chen Z., Zhao Z. *et al.* Axial compression performance of steel box columns with different strengthening schemes. *International Journal of Steel Structures*. 2017. Vol. 17. Pp. 367–378. URL: <https://doi.org/10.1007/s13296-017-6001-0>

REFERENCES

1. Barashykov A.Ya. and Malyshev O.M. *Otsenka tekhnicheskoho sostoiannya stroytelnykh konstruksiy, zdaniy y sooruzheniy* [Assessment of the technical condition of building structures, buildings and structures]. Kyiv: SMC of the State Labor Inspectorate of Ukraine, 1998, 23 p. (in Russian).
2. Horodetskiy D.A., Barabash M.S., Vodopianov R.Iu., Tytok V.P. and Artamonova A.E. *Prohramnyi kompleks Lyra-Sapr 2013: uchebnoe posobyе* [Study Guide software package Lira-SAPR 2013: study guide]. Moscow : Electronic edition, 2013, 376 p. (in Russian).
3. DSTU B V.3.1-2:2016. *Remont i pidsilennya nesuchih i ogorodzhivalnih budivelnih konstruksiy ta osnov budivel ta sporud* [DSTU B V.3.1-2: 2016. Repair and reinforcement of load-bearing and enclosing building structures and foundations of buildings and structures]. [Effective from 2017-04-01]. View. offic. Kyiv : UkrNDNC, 2017, 67 p. (in Ukrainian). (State Standard of Ukraine).
4. DSTU-N B V.1.2-18:2016. *Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu* [DSTU-N B V.1.2-18: 2016. Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition]. [Effective from 2017-04-01]. View. offic. Kyiv : UkrNDNC, 2017, 32 p. (in Ukrainian). (State Standard of Ukraine).
5. DSTU B V.2.6-210-2016. *Otsinka tekhnichnoho stanu stalevykh budivelnykh konstruksiy, shcho ekspluatuiutsia* [DSTU B V.2.6-210-2016. Assessment of the technical condition of steel structures in operation]. [Effective from 2017-01-01]. View. offic. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016, pp. 46–51. (in Ukrainian). (State Standard of Ukraine).
6. DBN V. 1.2-14-2018. *Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel ta sporud* [DBN B. 1.2-14-2018. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures]. [Effective from 2019-01-01]. View. offic. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2018, 29 p. (in Ukrainian). (State building norms of Ukraine).
7. DBN V.1.2-9-2008. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob`iektiv. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Bezpeka ekspluatatsii* [DBN B.1.2-9-2008. System for ensuring the reliability and safety of construction sites. Basic requirements for buildings and structures. Operational safety]. [Effective from 2008-10-01]. View. offic. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2008, 21 p. (in Ukrainian). (State building norms of Ukraine).
8. DBN V.2.6-198:2014. *Stalevi konstruksii. Normy proektuvannia* [DBN B.2.6-198: 2014. Steel structures. Design standards]. [Effective from 2015-01-01]. View. offic. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014, 199 p. (in Ukrainian). (State building norms of Ukraine).
9. Kozlov S.V. and Kudashkin M.S. *Usilenie stalnykh konstruksiy metodom uvelicheniya secheniya s ispolzovaniem plazmennoy svark*. [Strengthening steel structures by increasing the cross section using plasma welding]. *Zbirnik naukovih prats Ukrayinskogo naukovo-doslidnogo ta proektnogo Institutu stalevikh konstruksiy Imeni V.M. Shimanovskogo* [Zbirnik naukovykh prats Ukrainian pre-scientific and design institute of steel construction named after V.M. Shimanovskiy]. Vol. 4, 2009, pp. 108–113. (in Russian).
10. Popov V.O. and Voytsehivskiy O.V. *Ratsionalni metodi pidsilennya prostорового karkasu kinokontsertnogo zalu "rayduga" v umovah zbilshennya navantazhennya* [Rational methods of strengthening the spatial framework of the

cinema-concert hall "rainbow" in terms of increasing the load]. *Budivelni konstruktsiyi: teoriya i praktika* [Building constructions : theory and practice]. 2017, vol. 1, pp. 15–21. (in Ukrainian).

11. Romanenko S.N. and Andrievskaya Ya.P. *Usilenie suschestvuyushey nesuschey konstruktsii pokryitiya* [Reinforcement of the existing load-bearing structure of the coating]. *Suchasni budivelni konstruktsiyi z metalu ta derevini : zbirnik naukovih prats* [Modern building structures made of metal and wood : a collection of scientific papers]. Odessa, 2019, vol. 23, pp. 74–81. (in Russian).

12. Romanenko S.M. and Andrievska Ya.P. *Svidotstvo pro reestratsiyu avtorskogo prava na tvir № 97144 Proektuvannya pidsilennya krokvyanoi fermi (Ukrayina); zayav. 08.04.2020* [Certificate of registration of copyright to the work no. 97144 Design of strengthening the rafter farm (Ukraine); application 04/08/2020]. (in Ukrainian).

13. Adam J.M., Ivorra S., Gimenez E., Moragues J.J., Miguel P., MirAgall C. and Calderon P.A. Behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips. *Steel and composite structures*. 2007, no. 7 (5), pp. 405–419.

14. Abramski M. Load-carrying capacity of axially loaded concrete-filled steel tubular columns made of thin tubes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 2018, vol. 18, pp. 902–913.

15. Yang Y., Chen Z., Zhao Z. et al. Axial compression performance of steel box columns with different strengthening schemes. *International Journal of Steel Structures*. 2017, vol. 17, pp. 367–378.

Надійшла до редакції: 17.04.2020 р.