

ПІДСИЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ОДЕСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ЦИРКУ

Твардовський І.О., к.т.н., доцент,
igortvardovsky@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4897-5272

Чучмай С.М., к.т.н., доцент,
bran9942@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5295-0820

Чучмай О.М., к.т.н., ст. викл.,
alexsandrch14061983@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5856-623X
(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Яременко Н.О., к.т.н., доцент
odessa_l@ukr.net, ORCID: 0000-0002-8510-4938
(Одеський національний морський університет)

Анотація. В даній статті розглядається проблематика підсилення конструкцій арок-ферм, що утримують купол Одеського державного цирку (рис.1), у зв'язку зі збільшенням навантаження від ваги реkvізитів, які інколи встановлюють при підготовці до показу нової програми виступів. Відсутність реальної картини напружено-деформованого стану в перетинах металевих елементів арок-ферм призводить до відміни або скорочення нової програми виступу, яку пропонують артисти з інших міст України та інших держав. Вирішення вище означеної проблеми є актуальною задачею, яка потребує розрахунків із застосуванням сучасних програмних комплексів та результатів досліджень зміни властивостей металу при тривалій експлуатації металевих конструкцій.

Ключові слова: арки-ферми, можливість збільшення навантаження, підсилення конструкцій, результати розрахунків, обмеження навантаження, безпечна експлуатація.



Рис.1. Фото купола над ареною цирку.

Вступ. Використання стиснутих металевих елементів в існуючих просторових конструкціях, у тому числі куполів, потребує врахування можливості втрати їх стійкості при збільшенні навантаження, яке сьогодні регламентується сучасними нормами та необхідністю створення умов подальшої безпечної експлуатації. Означена проблема має як теоретичне так і практичне значення та потребує продовження досліджень можливості підвищення надійності експлуатації існуючих металевих просторових конструкцій давньої будівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрахунки та проектування куполів з несучими арокними фермами розглянуто в роботах [1-3], в яких надається методика розрахунку арокних ферм, яка базується на виділенні плоских розрахункових схем з просторових систем. У випадку оцінки експлуатаційної здатності конструкцій куполів минулих роїв побудови врахування сучасних діючих нормативних вимог [4-7] потребує перегляду несучої здатності та стійкості конструкцій з застосуванням сучасних програмних комплексів, які дають змогу виявити залишкові резерви та врахувати сумісну роботу елементів просторової системи.

Метою роботи. Визначення несучої здатності металевих конструкцій куполу будівлі Одеського цирку і з'ясування можливості збільшення експлуатаційного навантаження від навісного обладнання для виступу циркових артистів і забезпечення їх надійної експлуатації.

Результати досліджень. Будівля Одеського цирку є найстарішою в Україні серед просторових споруд. Вона будувалася за проектом інженера А.Гольфанда із металевих конструкцій, запроєктованих і виготовлених у Німеччині. Каркас його зроблений з металу німецького виробництва, склад якого невідомий, але він не іржавіє і не піддається зварці. Відкритий був «залізний цирк» або «Цирк-вар'єте» тільки в 1894 р., в рік сторіччя Одеси. Будівля виросла між вулицями Коблевською та Садовою – величезна за тими мірками, кам'яна, дванадцятикутної форми, з великим подвійним залізним куполом. Усередині була своя природна вентиляція – влітку прохолодно, а взимку - тепло. Партер напівкруглий, з п'яти лав (365 місць). Конструкції, на яких влаштовані партер, ложі, перші і другі місця, галереї – залізні. У партері – гнуті стільці з сидіннями, що піднімаються при вставанні, в других місцях – красиві лави з такими ж сидіннями. За кріслами 40 лож, за ними 480 перших місць, потім 346 других місць, а вище – галерея на 1000 глядачів, без сидінь. Освітлювався цирк електрикою з міської станції. З правого боку головного входу – двоповерхова будівля, де на нижньому поверсі розташований зал для репетицій балету, гімнастів, переодягальні для артистів і наїзників. Незвичність Одеського цирку полягає в тому, що відстань від манежу до верху куполу становить 22 метри, тоді як стандарт – 18 метрів.

В конструктивному рішенні купол Одеського цирку виконаний з дванадцяти арок-ферм (рис2), які поєднані по висоті горизонтальними, діагональними та хрестовими в'язями жорсткості. Для виготовлення нижнього і верхнього поясів ферм-арок були використані парні кутики, а розкоси виконані з пластин. Всі металеві елементи між собою з'єднані на заклепках.

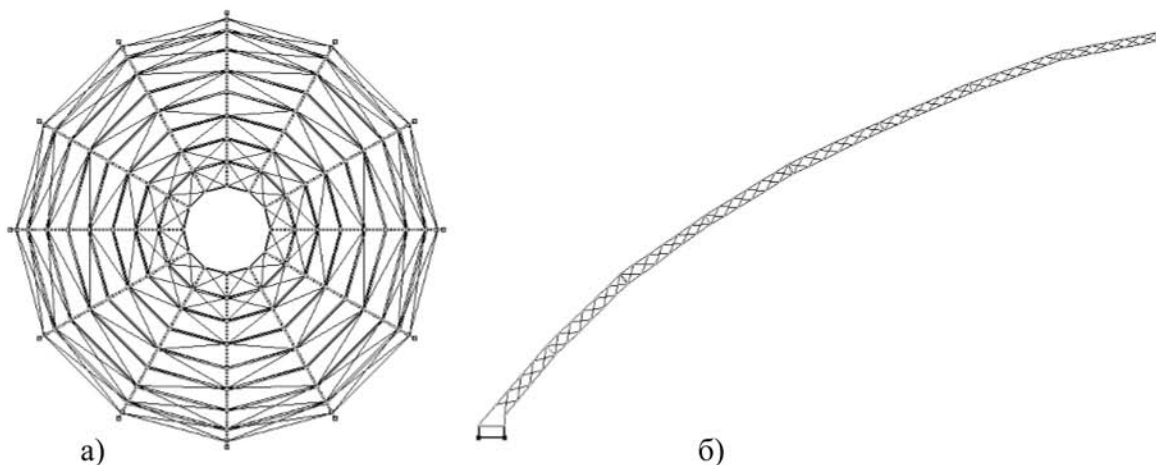


Рис.2. План-схема розміщення арок-ферм, ребер жорсткості купола,

горизонтальних і діагональних в'язів (а); перетин напіварки-ферми (б).

З'єднання верхніх поясів ферм-арок з дерев'яною обрешіткою, яка сформувала поверхню оболонки купола, було виконано на болтах. Поверхня купола захищена від атмосферних опадів шарами м'якої покрівлі із сучасних матеріалів.

З часом і розвитком розважальної циркової індустрії виникла необхідність підсилення несучих металевих конструкцій купола – арок-ферм, що несуть колосниково-хрестову замкнену кільцеву ферму, на яку підвішують обладнання, декорації, а також обпираються стіни технічного приміщення. Ферми купола працюють в основному на динамічне навантаження, яке може змінюватися в залежності від програми виступу циркових артистів та ваги застосованого обладнання. Необхідно також урахувати те, що при сприйнятті навантаження різні частини кожної металевої ферми-арки ведуть зазнають різного напружено-деформованого стану: якщо у верхній частині конструкція вигинається до низу, то в середній частині – догори.

З часом в конструкції купола виявилася проблемна ділянка - опорні вузли арокних ферм (рис.3), а саме: металеві елементи опорних вузлів, які сприймають горизонтальний розпір, потребували збільшення жорсткості. Для вирішення проблем, які виникли з опорними вузлами було здійснено їх підсилення шляхом додавання по нижньому поясу арки-ферми двох кутиків, які закріплені болтами до кутиків нижнього кругового поясу і до елементів самої решітки. Існуючі опорні башмаки і нижнє контурне кільце купола було очищено від іржі, обмотано тонким дротом та забетонровано.

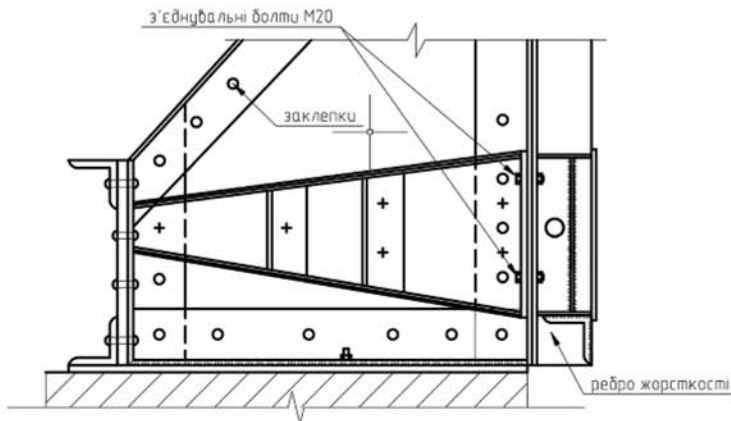


Рис. 3. Опорний вузол (з архівних матеріалів)

Для перевірки ефективності виконаного підсилення та визначення наявності резерву несучої здатності несучих ферм-арок купола та їх роботу у просторовій розрахунковій схемі (рис.4) проведений розрахунок з допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР. З розвитком комп'ютерної індустрії з'явилися набагато більші можливості, що допомагають побудувати більш точніші розрахункові схеми та змодельовати більш реалістичні навантаження й урахувати зношеність конструкцій. Це призводить до підвищення надійності, міцності та довговічності при реконструкції споруд попередніх часів забудови.

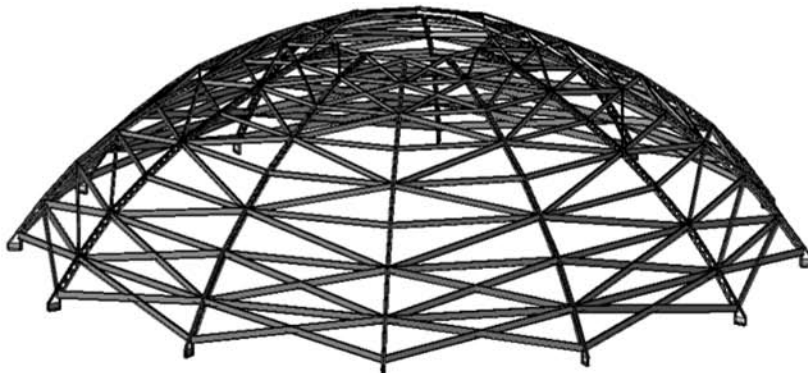
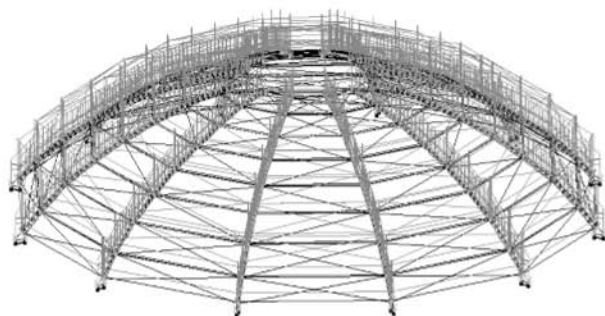
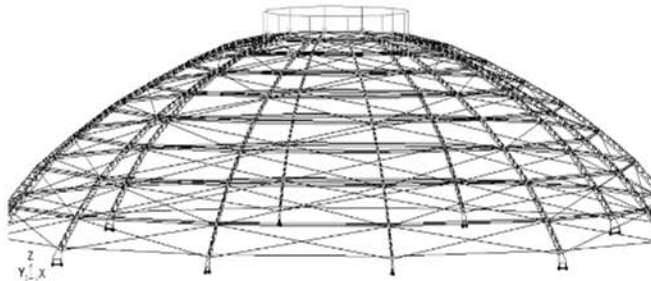


Рис. 4. Візуалізована 3D модель купола

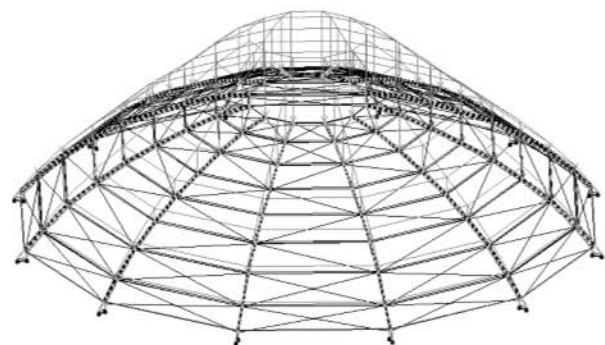
Розрахунок купола виконувався з урахуванням діючих навантажень (рис. 5): власної ваги (а); ваги від технічного приміщення з обладнанням для підвісу конструкцій реквізиту артистів, що виступають (б); навантаження від снігу (в); від вітру (г); сейсмічного впливу.



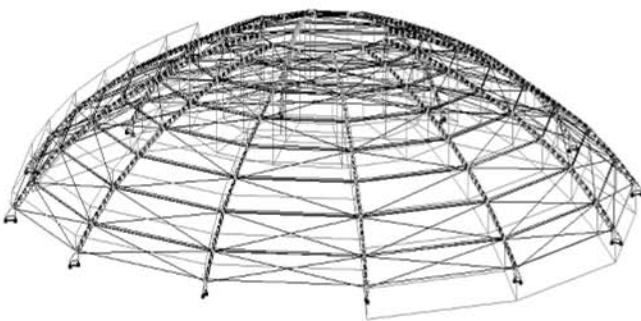
а) навантаження від власної ваги



б) навантаження від технологічного обладнання



в) навантаження від снігу

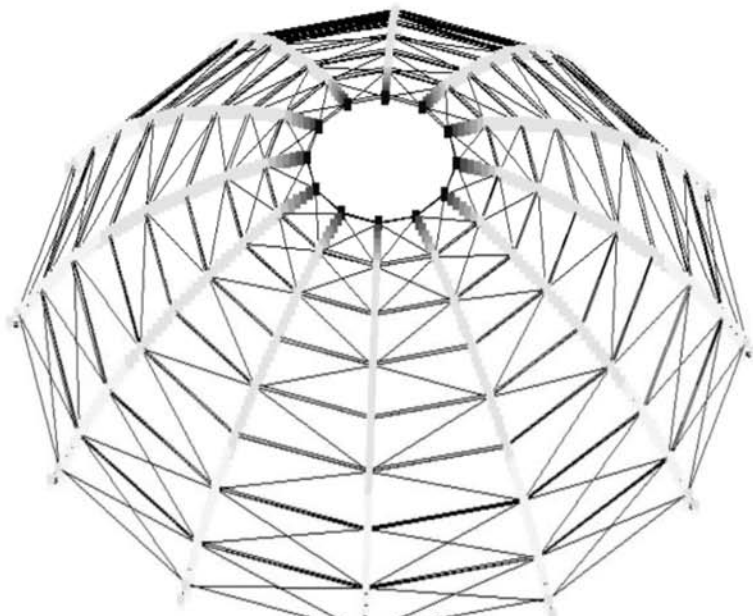
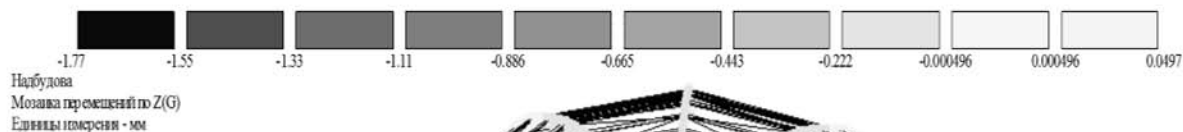


г) навантаження від вітру

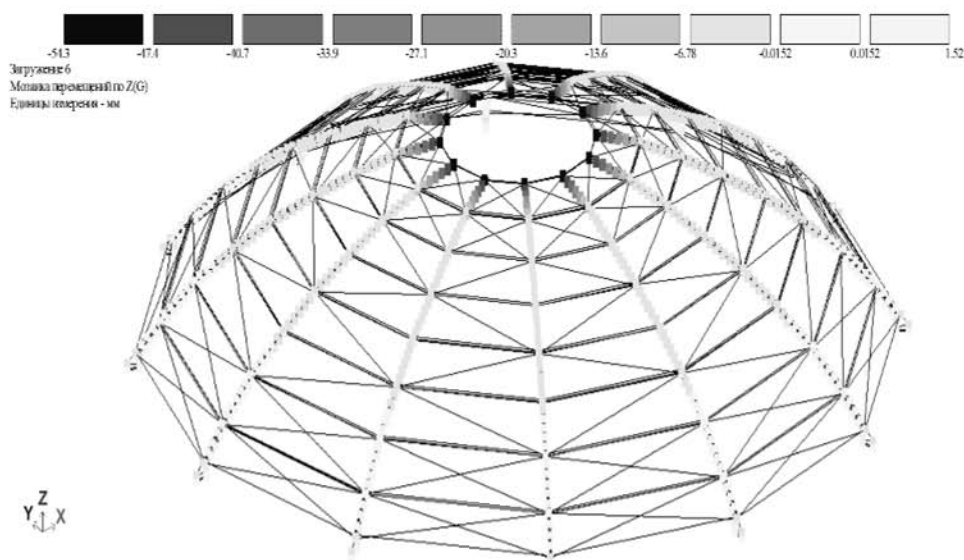
Рис. 5. Основні навантаження, які враховувалися при розрахунку купола

Нижче наведені результати розрахунків переміщень купола (рис.6)

а) переміщення від технологічного обладнання



б) переміщення від граничного навантаження



в) переміщення від сейсмічного навантаження

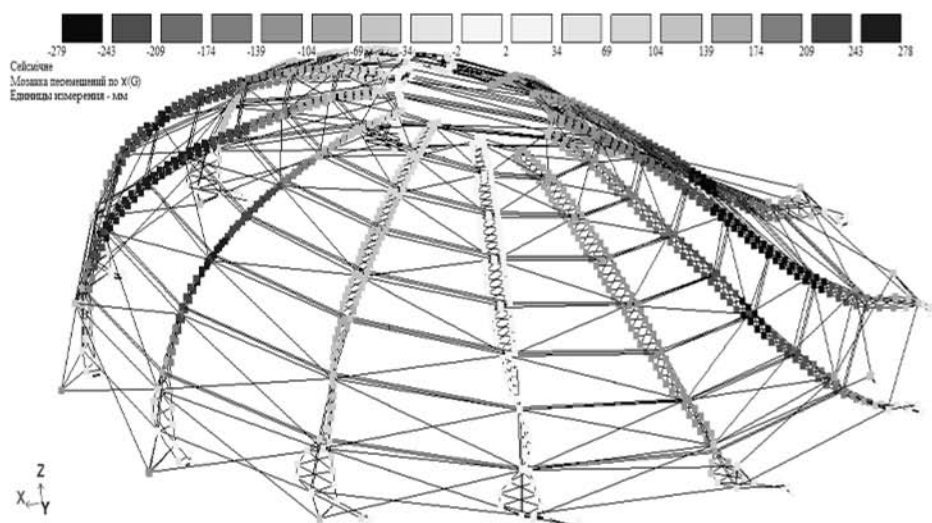


Рис. 6. Результати визначених переміщень від розрахункових навантажень

За результатами виконаного комп'ютерного моделювання й розрахунку отримано значення деформацій і внутрішніх зусиль в елементах конструкції ферм-арок при дії статичних і динамічних навантажень, а також виявлене максимальне допустиме граничне навантаження. Аналіз отриманих результатів розрахунку куполу надав змогу прийняти відповідні правильні рішення щодо можливості збільшення динамічного навантаження, потреба в якому виникає з часом при виступі артистів цирку, та необхідності додаткового підсилення для забезпечення подальшої надійної експлуатації споруди при урахуванні сучасних нормативних вимог.

Висновки і перспективи подальших досліджень:

В ході аналізу чисельного дослідження напружено-деформованого стану несучих конструкцій куполу (арок-ферм) на підставі виконаних розрахунків були отримані наступні результати:

1. Конструкція куполу будівлі Одеського цирку витримує всі діючі на даний час навантаження, які регламентовані сучасними нормативними документами.

2. Конструкція арок-ферм купола може не підлягати підсилению, але за умови належної експлуатації без збільшення діючих навантажень.

3. Додаткове навантаження для визначення граничної несучої здатності показало, що при досягненні значення навантаження 10кН/м з'являється надмірний і недопустимий прогин, що може призвести до втрати несучої здатності конструкції.

4. На підставі виконаних розрахунків рекомендована максимальна величина навантаження по верхньому кільцю (у місці розташування стінок технічного приміщення та ваги технологічного обладнання з вагою реквізиту циркових артистів), яка становить – 8 кН/м.

5. Для збільшення навантаження на купол більш, ніж 8 кН/м, необхідно прийняти заходи щодо підсилень несучих конструкцій, зокрема елементів опорного вузла та нижніх поясів несучих фер (ребер купола) на стику з опорними вузлами.

6. Враховуючи тривалість експлуатації купола будівлі Одеського цирку подальші дослідження несучої здатності несучих арок-ферм купола мають бути продовжені для гарантування їх подальшої безпечної експлуатації.

Література

1. Баженов В. А. Будівельна механіка / В.А.Баженов – К. : Вища школа, 2000. – 670 с.

2. Бабічев П.Є. Розрахунок підсилень кроквяних ферм підведенням поздовжньої вертикальної ферми / П.Є. Бабічев // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського. - Видавництво «Сталь», Київ.- Вип.9, 2012. - С. 79-92.

3. О.О.Нілов. Металеві конструкції. Загальний курс. /О.О.Нілов, В.О.Пермінов, О.В.Шимановський, С.І.Білик, Л.Г.Лаврінєнко, І.Д.Бєлов, В.О.Володимирський // Підручник для Вищих навчальних закладів.- Видавництво «Сталь», Київ, 2010. - 869 с.

4. Навантаження і впливи : ДБН В.1.2-2:2006 - [Чинний від 2017-10-1] - К.: Мінрегіон України, 2006. - 110 с. - (Державні будівельні норми України).

5. Сталеві конструкції: ДБН В.2.6-198:2014 – [Чинний від 2015-1-1] – К.: Держспожив-стандарт України, 2014.-127с. – (Державні будівельні норми України).

6. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2014 – [Чинний від 2015-07-1] – К. : Мінрегіон України, 2014. -110с. (Державні будівельні норми України).

7. Прогини і переміщення. Вимоги проектування: ДСТУ Б В.1.2-3:2006 – [Чинний від 2007-1-1] – К. : Мінбуд України, 2006.-15с. – (Національний стандарт України).

References

[1] Bazhenov V.A. Budivselna mehanika / V.A. Bazhenov - K.: Vishcha school, 2000. - 670 p.

[2] Babichev P.E. Rozrahunok p_dsilennya krokvyanyi farms povedenennyam pozdvzhnyo vertically fermi / P.E. Babichev // Zbirnik naukovikh prats Ukrainianskiy Institute of Steel Design im. V.M. Shimanovsky. - Vidavnitsvo "Steel", Kiev. - VIP. 9, 2012 - S. 79-92.

[3] O.O.Nilov. Metal construction. Ignition course. / O.O. Nilov, V.O. Perminov, O.V.Shimanovsky, S.I. Bilik, L.G. Lavrinenko, I.D. Belov, V.O. Volodimirsky // Pidruchnik for Vishchikh vlichnyh mortgages. - Vidavnitsvo "Steel", Kyiv, 2010. - 869 p.

[4] Navantazhny i vplyvy: DBN V.1.2-2: 2006 - [Chinniy vid 2017-10-1] - K.: Ministry of Ukraine, 2006. - 110 p. - (The State Daily Norms of Ukraine)

[5] Steel construction: DBN V.2.6-198: 2014 - [Chinniy vid 2015-1-1] - K.: Holding the standard of Ukraine, 2014.-127p. - (The State Daily Norms of Ukraine)

6. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN B.1.1-12: 2014 - [Effective from 2015-07-1] - K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. -110s.

[7] Run and change. Vimogi project: DSTU B V.1.2-3: 2006 - [Chinniy vid 2007-1-1] - K.: Minbud of Ukraine, 2006.-15p. - (National Standard of Ukraine)

STRENGTHENING DESIGN OF THE ODESSA HOLDING CIRCUS

Tvardovsky I.O., Ph.D., associate professor,
igortvardovsky@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4897-5272

Chuchmay S.M., Ph.D., associate professor,
bran9942@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5295-0820

Chuchmai O.M., Ph.D., assistant professor,
alexsandrch14061983@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5856-623X
(*Odessa State Academy of Architecture and Architecture*)

Yaremenko N.O., Ph.D., associate professor,
odessa_l@ukr.net, ORCID: 0000-0002-8510-4938
(*Odessa National Maritime University*)

Annotation. In this article, various designs are available that provide high quality data, as well as requirements for the weight of details that require installation in preparation for the presentation of new programs of performances. Lack of analysis of the real picture of the stress-strain state in the sections of the metal elements of arch trusses leads to the cancellation or reduction of the new program of performances, which are offered by artists from other cities of Ukraine and other countries. The solution to the existing problem is an urgent task that requires calculations using modern software systems and the results of studies of changes in the properties of metal during the long-term operation of metal structures.

With the development of the computer industry, much greater opportunities have appeared that help to build more accurate design schemes and simulate more realistic loads and take into account the deterioration of structures. This leads to increased reliability, strength and durability during the reconstruction of structures of long-time construction.

To check the effectiveness of the amplification performed and to determine the presence of the load-bearing capacity reserve of the bearing truss dome arches and their operation in the spatial calculation scheme, the calculation was performed using the LIRA-SAPR software package.

The performed computer modeling and calculation made it possible to obtain the values of deformations and internal forces in the structural elements of truss arches under the action of static and dynamic loads, as well as to determine the maximum permissible ultimate load.

The analysis of the dome calculation results made it possible to take the appropriate correct decisions regarding the possibility of increasing the dynamic load that arises with time when circus performers meet, or the need for additional reinforcement of structures to ensure reliable operation of the building, taking into account current regulatory requirements.

Based on the calculations, it is recommended that the maximum load on the upper ring (at the location of the walls of the technical room and the weight of the process equipment with the weight of the props of the performing circus artists), which is - 8 kN/m.

Upon reaching a load value of 10 kN / m, an unacceptable deflection appears, which can lead to a loss of the bearing capacity of the structure. To increase the load on the dome more than the recommended value of 8 kN / m, it is necessary to carry out measures to strengthen the supporting structures, especially the elements of the support unit and the lower belts of the bearing ferries (dome ribs) at the junction with the support nodes.

Keywords: arch trusses, the possibility of increasing the load, strengthening structures, calculation results, load limitation, safe operation.

УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ОДЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЦИРКА

Твардовский И.А., к.т.н., доцент,
igortvardovsky@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4897-5272

Чучмай С.М., к.т.н., доцент,
bran9942@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5295-0820

Чучмай А.М., к.т.н., ст. преп.,
alexsandrch14061983@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5856-623X
(Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Яременко Н.О., к.т.н., доцент
odessa_1@ukr.net, ORCID: 0000-0002-8510-4938
(Одесский национальный морской университет)

Аннотация. В данной статье рассматривается проблематика усиления конструкции арок-ферм, удерживающих купол Одесского государственного цирка, в связи с увеличением нагрузки от веса реквизитов, которые порой требуют установки при подготовке к показу новой программы выступлений. Отсутствие анализа реальной картины по напряженно-деформированному состоянию в сечениях металлических элементов арок-ферм приводит к отмене или сокращению новой программы выступления, которую предлагают артисты из других городов Украины и других государств. Решение существующей проблемы является актуальной задачей, требующей расчетов с применением современных программных комплексов и результатов исследований изменения свойств металла при длительной эксплуатации металлических конструкций.

С развитием компьютерной индустрии появились гораздо большие возможности, помогающие построить более точные расчетные схемы и смоделировать более реалистичные нагрузки и учесть изношенность конструкций. Это приводит к повышению надежности, прочности и долговечности при реконструкции сооружений давних по времени постройки.

Для проверки эффективности выполненного усиления и определения наличия резерва несущей способности несущих ферм-арок купола и их работу в пространственной расчетной схеме произведен расчет с помощью программного комплекса LIRA-SAPR.

Выполненное компьютерное моделирование и расчет позволили получить значения деформаций и внутренних усилий в элементах конструкций ферм-арок при действии статических и динамических нагрузок, а также определить максимально допустимую предельную нагрузку. Анализ полученных результатов расчета купола дал возможность принять соответствующие правильные решения в отношении возможности увеличения динамической нагрузки, которая возникает со временем при выступлении артистов цирка, или необходимости дополнительного усиления конструкций для обеспечения надежной эксплуатации сооружения при учете действующих нормативных требований.

На основании выполненных расчетов рекомендуется максимальная величина нагрузки по верхнему кольцу (в месте расположения стенок технического помещения и веса технологического оборудования с весом реквизита выступающих цирковых артистов), которая составляет - 8 кН/м. При достижении значения нагрузки 10 кН/м появляется недопустимый прогиб, что может привести к потере несущей способности конструкции. Для увеличения нагрузки на купол больше чем рекомендуемой величины 8 кН/м необходимо проводить мероприятия по усилению несущих конструкций, особенно элементов опорного узла и нижних поясов несущих ферм (ребер купола) на стыке с опорными узлами.

Ключевые слова: арки-фермы, возможность увеличения нагрузки, усиление конструкций, результаты расчетов, ограничение нагрузки, безопасная эксплуатация.