

Гапонова Л. В., к.т.н., доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків);

Гребінчук С. С., к.т.н., директор (ТОВ «Будівельник», м. Харків);

Коренєв Р. В., аспірант (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків)

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖОРСТКОСТІ ВАЛЬЦЬОВОГО З'ЄДНАННЯ МЕТАЛЕВИХ ОБОЛОНОК СПЕЦІАЛЬНОГО ВИДУ

В статті розглядаються великопрольотні безкаркасні споруди, а саме металеві оболонки спеціального виду. Проведено аналіз попередніх досліджень, з огляду на який, в контексті застосування зазначених конструкцій в сфері цивільного будівництва. Відзначена характерна висока ступінь соціальної значущості і відповідальності при експлуатації, пов'язана з можливим масовим скупченням людей, при проведенні тих чи інших суспільних заходів. Відзначена ймовірність настання прогресуючого обвалення і, відповідно, необхідність заходів та методів його запобігання. Висвітлюються основні етапи процедури визначення характеристик жорсткості вальцьового з'єднання, необхідних для подальшого врахування при оцінці ймовірності прогресуючого обвалення конструкцій що досліджуються.

Ключові слова: металева оболонка спеціального типу, вальцьове з'єднання, прогресуюче обвалення.

Вступ. Актуальність проблеми. Істотний інтерес до досліджуваних конструкцій обумовлений їх низькою вартістю, можливістю швидкого зведення і виготовлення в умовах будівельного майданчика, а також можливістю застосування в різних архітектурно-планувальних рішеннях промислового і цивільного будівництва.

Науковий інтерес викликає напружено-деформований стан зазначених конструкцій (рис. 1). Також, в контексті застосування зазначених конструкцій в сфері цивільного будівництва, характерна висока ступінь соціальної значущості і відповідальності при експлуатації, пов'язана з можливим масовим скупченням людей, при проведенні тих чи інших суспільних заходів, актуальним є питання прогресуючого руйнування і, відповідно, заходів та методів його запобігання.



Рис. 1. Металеві оболонки спеціального виду

Перераховане, в сукупності з даними про аномалії та аварійні ситуації протягом експлуатації зазначених конструкцій підтверджує актуальність і свідчить про доцільність подальших досліджень в означеному напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проаналізувавши дані про досліджувані металеві оболонки спеціального виду, можна відзначити, що особливості чисельного моделювання роботи безкаркасних покриттів розглядаються в дослідженнях Жабинського А.Н., Старовойтова А.Ф. [1], Армєнского М.Ю. [2]. Вивченням безкаркасних покриттів займалися також і за кордоном. У США були проведені великомасштабні дослідження з вивчення дійсної роботи означених металевих оболонок, основним конструктивним елементом яких був профіль U-образного перетину. Дослідження проводили Steven Sweeney, Demetred Briassoulis і Anthony Kao. Випробовували як окремі секції профілів на консольний і поперечний вигин, так і натурні фрагменти покриттів. За результатами випробувань були визначені характеристики жорсткості профілів, а також граничні навантаження втрати загальної та місцевої стійкості. Результати використовувалися при створенні керівництва з проектування безкаркасних конструкцій, яке розробила компанія M.I.C. Industries, Inc [3]. Найбільш пов-

ний огляд досліджень, проведених за кордоном, наведено в роботі Wei-Wen Yu і R.A. LaBoube [4], а також в роботі D. Dubina, V. Ungureanu, R. Landolfo [5], де розглядаються основні передумови, покладені в основу розробки Американських та Європейських нормативних документів з розрахунку конструкцій з холодногнутих профілів [6; 7].

Як згадувалося, істотний науковий інтерес викликають не тільки самі споруди, а й аномалії і колапси, які трапляються під час їх експлуатації. В роботі [8] розглядаються причини обвалення споруди досліджуваного типу. Алгоритм аналізу напружено-деформованого стану зазначених конструкцій, що відображає можливість прогресуючого обвалення, розглядається в статті, що зараз знаходиться у друці, під назвою «Progressive collapse of the special-type arch systems: modeling algorithm», авторів P. Reznik, L. Gaponova, S. Grebenchuk, R. Koreniev. Особливість зазначеного підходу, полягає у відображенні конструкційної нелінійності металевих оболонок спеціального виду, та використанні потенційної енергії деформації, як критерію вичерпання несучої здатності, згідно підходів зазначених у роботі [9]. Та з імплементацією інформатичних технологій та підходів зазначених в [10]. Алгоритм у загальному вигляді проілюстровано на блок-схемі рис. 2.

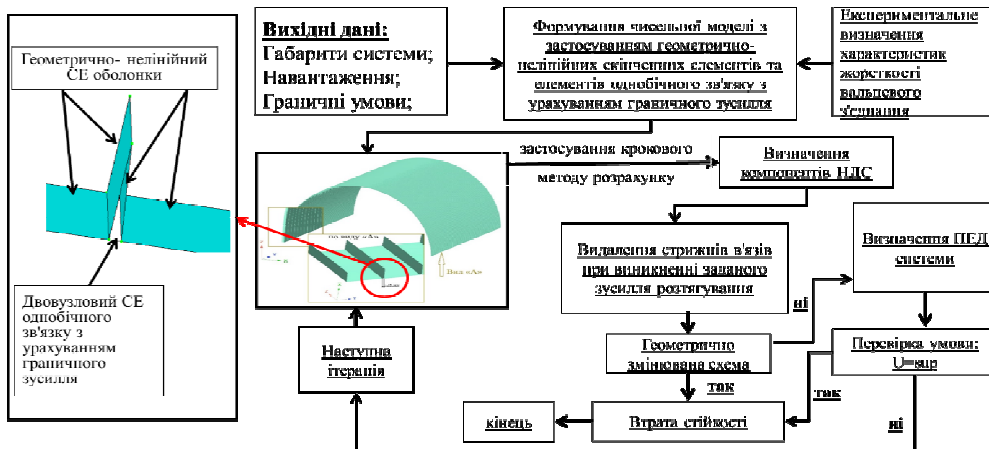


Рис. 2. Загальна схема алгоритму обчислення НДС з можливістю врахування настання прогресуючого обвалення

Формулювання мети та завдання статті

Одним з важливих етапів алгоритму обчислення НДС оболонок спеціального виду, що ілюстровано на рис. 2 є визначення характеристик жорсткості вальнового з'єднання з метою адекватного врахування конструкційної нелінійності.

Метою дослідження є встановлення процедури та проведення чисельного експерименту з визначення погонної жорсткості вальцьованого з'єднання.

Виклад основного матеріалу

Об'єктом дослідження є вальцьоване з'єднання фрагмента оболонки, який складається з 2-х аркових профілів.

Предмет дослідження – характер деформування і руйнування об'єкта дослідження при дії рівномірно розподіленого навантаження.

Використано класичні методи механіки деформованого твердого тіла, чисельні методи будівельної механіки конструкцій, зокрема, метод скінченних елементів (МСЕ), що імплементовано в багатофункціональний розрахунковий програмний комплекс «ANSYS 19.1». При 3D моделюванні вихідних конструктивних елементів фрагмента оболонки, використовувалися сучасні методи промислового моделювання, в ході експлуатації системи автоматизованого проектування (САПР) – «Autodesk Inventor 2017», а саме параметричне моделювання, що здійснювали шляхом введення необхідних параметрів елементів моделі, а також співвідношеннями між ними. Іншими словами створюється математична модель з потрібними параметрами, змінюючи які можна створити різні комбінації моделі і тим самим уникнути помилок, вносячи необхідні корективи.

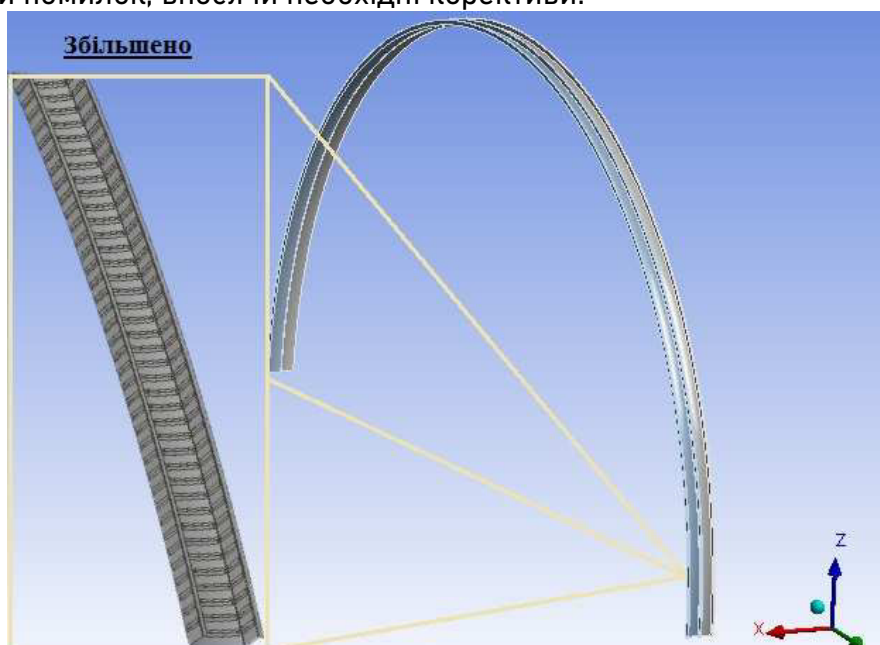


Рис. 3. Візуалізація розглянутого фрагмента оболонки

Використовуючи інструментарій програмного комплексу «Autodesk Inventor 2017», що надається для наукових і студентських,



некомерційних цілей по безкоштовній ліцензії, були побудовані детальні тривимірні моделі двох аркових конструктивних елементів, об'єднані між собою вальцювальних з'єднанням. Опис процесу побудови опускається, оскільки базується на стандартних процедурах, що застосовуються при побудовах моделей такого роду, а на рис. 3 зображена кінцева візуалізація розглянутого фрагмента оболонки із збільшеним видом основного конструктивного елемента.

Далі розглянутий фрагмент, шляхом стандартного імпорту просторової геометрії був перенесений в універсальну програмну систему скінченно-елементного аналізу «Ansys», також для наукових і студентських (некомерційних цілей) використану за безкоштовною ліцензії.

З отриманої фізичної, конструктивної моделі, стандартними інструментами ПК «Ansys», була отримана аналітична модель, з використанням скінченних елементів *SHELL181* – чотирьох вузловий скінченний елемент оболонки. У місцях обпирання були заборонені лінійні переміщення за глобальними осями X, Y, Z, що моделюють таким чином нерухомий шарнір. Як навантаження прикладалася рівномірно розподілене навантаження еквівалентне 0.00147 МПа. Отримана таким чином розрахункова модель представлена на рис. 4.

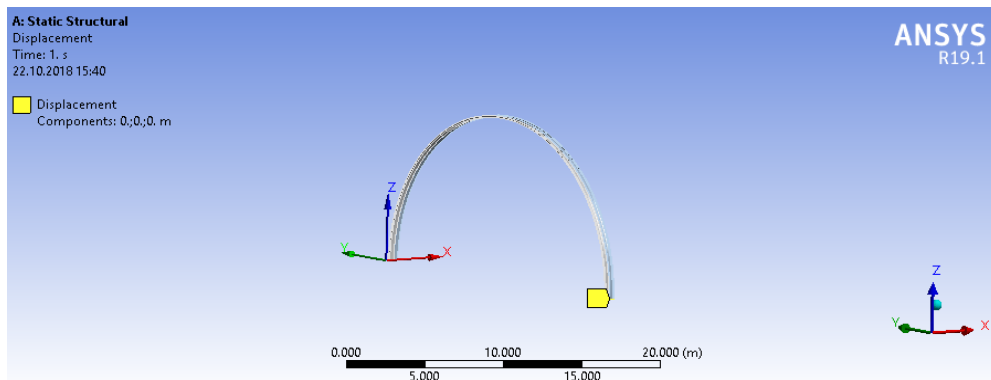


Рис. 4. Розрахункова модель фрагмента оболонки в середовищі ПК «Ansys»

За допомогою високопродуктивного генератора сіток скінченних елементів «ANSYS Meshing», була проведена триангуляція розрахункової моделі. Для побудови даної розрахункової сітки був застосований метод Delanay (триангуляція Делоне), який відноситься до методів «знизу вгору». За допомогою даного методу спочатку будується одновимірна розрахункова сітка ліній геометрії, потім двовимірна сітка на поверхнях, після цього на основі отриманої сітки створюється

ся тривимірною об'ємною розрахунковою сіткою. Для автоматичного подрібнення сітки на краях була застосована функція автоматичного подрібнення розрахункової сітки (Size Function). Даний інструмент був застосований з налаштуванням Curvature – подрібнення сітки пропорційне кривизні поверхонь. Це дозволило подрібнити розрахункову сітку на краях, не ставлячи численні подрібнення вручну.

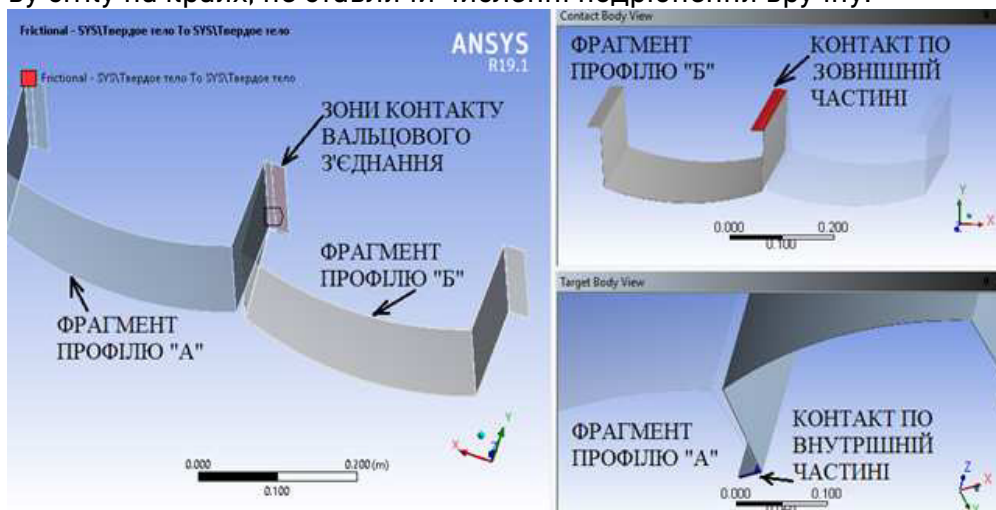


Рис. 5. Зони контактних поверхонь

Далі була проведена ідентифікація контактної пари, тобто були позначені зони, в яких під час деформування моделі може відбуватися контакт. Після виділення потенційних контактних поверхонь, які внаслідок кінематики процесу відстежують деформування, також був призначений коефіцієнт взаємодії, що є, в даному випадку коефіцієнтом тертя «сталь по сталі» і дорівнює 0.8.

Висновки

Встановлено основні етапи моделювання та розрахунку погонної жорсткості вальцьового з'єднання аркових конструктивних елементів металевих оболонок спеціального виду. За вище згаданими процедурами, був проведений скінченно-елементний аналіз зазначеного фрагмента, в ході якого вдалося встановити максимальні нормальні напруження σ , що виникають в вальцьовому з'єднанні, рівні 14,874 МПа.

Також встановлена залежність розкриття шва між конструктивними елементами фрагмента складовою оболонки від чинного завантаження, представлено на рис. 6.

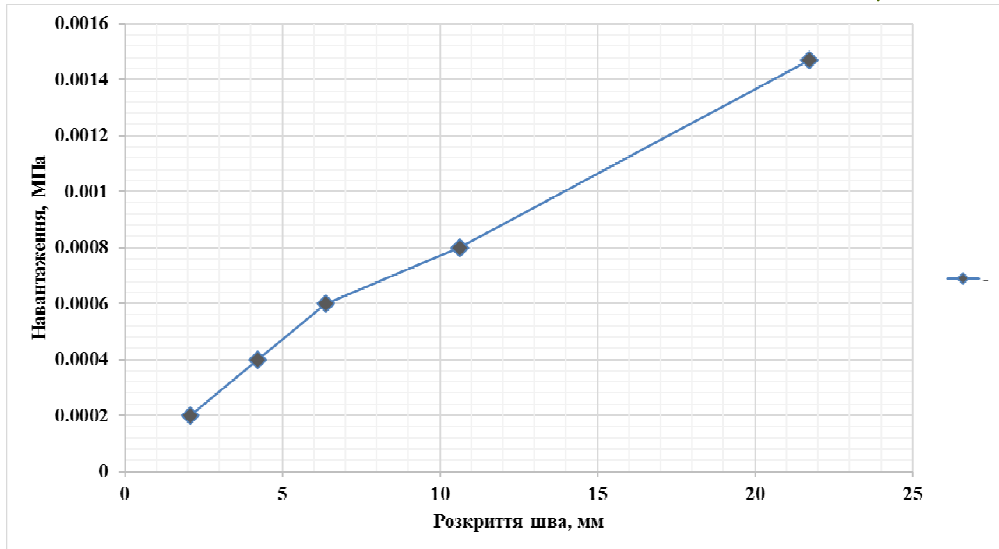


Рис. 6. Графік залежності розкриття шва від навантаження

1. Жабинский, А. Н., Старовойтов А. Ф. Моделирование арочных покрытий из тонкостенных холодногнутох профилей. *Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве*. 2012. № 4. С. 20–21. 2. Арменский, М. Ю. Опыт использования численных методов в исследованиях геометрических характеристик тонкостенных профилей. *Промышленное и гражданское строительство*. 2009. № 6. С. 23–26. 3. Structural analysis software for the automatic building machine: user guide. Reston : M.I.C. Industries, Inc., 2009. 75 pp. 4. Wei-Wen Yu., Roger A. LaBoube. Cold-formed steel Design. N.Y. : John Wiley & Sons, 2010. 489 pp. 5. Dubina, D., Viorel Ungureanu, Raffaele Landolfo. Design of cold-formed steel structures: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3 – Design of cold-formed steel structures, First Edition. Berlin : Ernst & Sohn, 2012. 676 pp. 6. AISI S100-2012. North American Specification for the Design of ColdFormed Steel Structural Members, 2012 Edition. American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, DC. 7. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. CEN, Brussels. 8. Кузнецов, И. Л., Исаев А. В., Гимранов Л. Р. Причины обрушения бескаркасного арочного сооружения пролетом 30 м. *Известия КазГАСУ*. 2011. № 4. С. 166–170. 9. Шмуклер В. С., Климов Ю. А., Буряк Н. П. Каркасные системы облегченного типа. Харьков : Золотые страницы; 2008. 10. Kalmykov, O. A, Garonova, L. V., Reznik, P. A. and Grebenchuk, S. S. (2017) Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells. *Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC Web Conf. Volume 116, 2017 : 6 th International Scientific Conference (Transbud-2017) 10 July 2017*. DOI: 10.1051/matecconf/201711602017.

REFERENCES:

1. Zhabinskii, A. N., Starovoitov A. F. Modelirovanie arochnykh pokrytii iz tonkostennykh kholodnohnutykh profilei. *Tekhnicheskoe normirovanie, standartizatsiia i sertifikatsiia v stroitelstve*. 2012. № 4. S. 20–21.
2. Armenskii, M. Yu. Opyt ispolzovaniia chyslennykh metodov v issledovaniiahk heo-metrichekikh kharakteristik tonkostennykh profilei. *Promyshlennoe i hrazhdanskoe stroitelstvo*. 2009. № 6. S. 23–26.
3. Structural analysis software for the automatic building machine: user guide. Reston : M.I.C. Industries, Inc., 2009. 75 pp.
4. Wei-Wen Yu., Roger A. LaBoube. Cold-formed steel Design. N.Y. : John Wiley & Sons, 2010. 489 pp.
5. Dubina, D., Viorel Ungureanu, Raffaele Landolfo. Design of cold-formed steel structures: Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-3 – Design of cold-formed steel structures, First Edition. Berlin : Ernst & Sohn, 2012. 676 pp.
6. AISI S100-2012. North American Specification for the Design of ColdFormed Steel Structural Members, 2012 Edition. American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, DC.
7. EN 1993-1-3:2006. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting. CEN, Brussels.
8. Kuznetsov, I. L., Isaev A. V., Himranov L. R. Pri-chiny obrusheniia beskarkasnoho arochnoho sooruzheniia proletom 30 m. *Izvestyia KazHASU*. 2011. № 4. S. 166–170.
9. Shmukler V. S., Klimov Yu. A., Buriak N. P. Karkasnye sistemy oblehchenoho tipa. Kharkov : Zolotyie stranitsy; 2008.
10. Kalmykov, O. A, Gaponova, L. V., Reznik, R. A. and Grebenchuk, S. S. (2017) Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells. *Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC Web Conf. Volume 116, 2017 : 6 th International Scientific Conference (Transbud-2017) 10 July 2017*. DOI: 10.1051/matecconf/201711602017.

Рецензент: д.т.н. доц. Кічаєва Оксана Володимирівна (зав. каф. механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології ХНУГХ ім. О.М. Бекетова, м. Харків)

Haponova L. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov); **Hrebinchuk S. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Director** (LLC “STROITEL”, Kharkov); **Koreniev R. V., Post-graduate Student** (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov)

TO DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF RIGIDITY OF FOLDED CONNECTION OF SPECIAL TYPE METAL SHELLS



The article deals with large-span frameless structures namely special-type metal shells. An analysis of previous researches has been carried out. In the context of the application of these structures in the field of civil engineering the characteristic high degree of social significance and responsibility during exploitation. It associated with the possible mass gathering of people during certain social events. The probability of progressive collapse and, accordingly, the need for measures and methods for its prevention were noted. The main steps of the procedure for determining the rigidity characteristics of the folded joint that necessary for further consideration in assessing the probability of progressive collapse of the structures under research are highlighted.

Keywords: special-type metal shell, folded joint, progressive collapse.

Гапонова Л. В., к.т.н., доцент (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. О. М. Бекетова, г. Харьков);
Гребенчук С. С., к.т.н., директор (ООО «Строитель», г. Харьков);
Корнев Р. В., аспирант (Харьковский национальный университет городского хозяйства им. О. М. Бекетова, г. Харьков)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ВАЛЬЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

В статье рассматриваются большепролетные бескаркасные сооружения, а именно металлические оболочки специального вида. Проведен анализ предыдущих исследований, учитывая который, в контексте применения указанных конструкций в сфере гражданского строительства. Отмечена характерна высокая степень социальной значимости и ответственности при эксплуатации, связанная с возможным массовым скоплением людей, при проведении тех или иных общественных мероприятий. Отмечена вероятность наступления прогрессирующего обрушения и, соответственно, необходимость мероприятий и методов его предотвращения. Освещаются основные этапы процедуры определения характеристик жесткости вальцового соединения, необходимые для дальнейшего учета при оценке вероятности прогрессирующего обрушения конструкций исследуемых.

Ключевые слова: металлическая оболочка специального типа, вальцовых соединения, прогрессирующее обрушение.
