АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННОГО СТАНУ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Надточій Г.А. ДМ-51-19, Брензович Д.А. ДМ-42-17, ХНАДУ
Керівник: к.т.н., доц. каф. МКБМ – Синьковська О.В.

Як свідчать літературні джерела металеві гофровані конструкції (МГК) були відомі ще з кінця XIX століття [1, 2, 3]. У Росії перші згадки про спорудження МГК зустрічаються, ще з 1875 р. У США вперше МГК з'явилися у 1896 р. [2]. Спочатку будували труби невеликих отворів (до двох метрів), пізніше, в міру виготовлення потужнішого металевого профілю, стали зводити великі споруди: мости (типу арочних), шляхопроводи, тунелі, потужні огорожі. Дослідивши довговічність, корозійну стійкість і надійність оцинкованих МГК, американці визнали їх придатними, як для суворих умов Канади та Аляски, так і для тропіків Африки, Азії та Південної Америки. В інших країнах гофровані туби знайшли широке застосування тільки в останні 50 р.

Особлива увага дослідженням МГК приділяється у таких країнах, як Польща, Швеція, Італія, США, і застосування МГК на сьогоднішній день динамічно розвивається. В Україні будівництво МГК почало розвиватися, в основному, з середини 90-их рр. XX століття [4].

Однак авторами відмічається , що при спостереженні за поведінкою металевої гофрованої труби у процесі експлуатації [3,

5] виявилося, що вони мають незатухаючий характер. Так, аналіз інтенсивності накопичення залишкових деформацій за один рік служби металевої гофрованої труби показав, що відносні деформації труби не збільшуються, а поступово зменшуються

Світова практика проектування і експлуатації металевих гофрованих конструкцій показує, що вирішальний вплив на напружено-деформований стан МГК має ступінь ущільнення ґрунтової засипки [1-10]. Рекомендоване ущільнення повинно сягати ступеня 0,95–0,97. Разом з тим, у роботі [10] зазначено, що зниження ущільнення ґрунту навіть з 0,95 до 0,8 призводить до зменшення модуля деформації ґрунту у 4 рази, що, своєю чергою, є причиною значного зростання у стінках конструкції напружень і деформацій. Проведення багаторічного моніторингу понад 900 об’єктів з гофрованих труб, збудованих протягом 1951–1965 рр. в штаті Огайо (США) [9] уможливило такий висновок: у всіх випадках для конструкцій, які не зазнали руйнувань, великі деформації становили 22–34 %; для конструкцій, які зазнали руйнувань, такі деформації сягали 45–55 %. Ці дослідження однозначно довели, що причиною надмірних деформацій було недостатнє ущільнення ґрунту, або використання для засипки невластивого типу матеріалу. За даними [9, 11, 12], якщо деформації перебувають у межах 15–20 %, а висота шару над трубою більша за 1,8 м, то конструкція не вимагає для свого зміцнення додаткових заходів. Розширення області застосування МГК (металеві гофровані конструкції) не має достатнього наукового і нормативного забезпечення.

Отже, досвід застосування МГК у ґрунтовому середовищі переконливо показав, що розглянуті конструкції при їх позитивних властивостях характеризуються відносно низькою надійністю і довговічністю. У процесі експлуатації у багатьох випадках спостерігається зростання недопустимих деформацій, а саме збільшення горизонтального та зменшення вертикального діаметрів труби. Для виключення недопустимих деформацій труб необхідно у подальшому розвинути методи розрахунку МГК, які працюють спільно з ґрунтом засипки, що дозволяють прогнозувати міцність і довговічність МГК.

Точніших розрахунків напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій можна отримати за допомогою розрахунків з використанням методу скінченних елементів [1, 3, 8, 9, 11, 12]. Згідно з [12], розрахункова схема МГК повинна адекватно відображати роботу труби, ґрунтової обойми та основи, а за розрахункову схему потрібно приймати тривимірну модель. Метод скінченних елементів передбачає дискретизацію суцільного середовища об’єкта деякою кількістю скінченних елементів різної форми і розмірів. Цей метод дозволяє розв’язувати задачі, реалізація яких за допомогою аналітичних методів неможлива: це розрахунки просторових конструкцій; врахування чинників будівництва та експлуатації; дослідження об’єктів зі складною структурою та дослідження їх напружено-деформованого стану. Один з таких методів було розроблено Лучко Й.Й. [9].

Результати чисельного експерименту, що було отримано

автором свідчать про можливість коректного опису за допомогою МСЕ складних ефектів деформації МГК і ґрунтового середовища при дії високоінтенсивних навантажень.

У роботах [1, 4, 10] зазначено, що для оптимального проектування металевих гофрованих конструкцій необхідно враховувати вплив товщини металевого гофрованого листа на міцність і стійкість всієї конструкції, зазначено що найбільше впливає товщина металевого листа на напружений стан конструкції та вертикальні деформації МГК.

Наприклад, дослідження впливу товщини металевої гофрованої конструкцій на несучу здатність було проведено Ковальчуком В.В. [8, 10]. В цих дослідженнях автор використовує металеву гофровану трубу конструкції Multiplate MP 150 у формі горизонтального еліпсу. Розрахунки напружено-деформованого стану металевої гофрованої конструкції виконано за допомогою методу Петерсона [8, 10] у програмному комплексі Matchad 11. Навантаження на МГК змінювали таким чином: навантаження від власної ваги труби, засипки, дорожнього одягу, показник RP (ступінь ущільнення ґрунтової засипки) приймали рівним 0,97. Динамічне навантаження пропорційно збільшували і перераховували відповідні напруження у точках контуру перерізу труби.

За результатами проведених досліджень, наглядно видно що при збільшенні товщини металевої гофрованої конструкції при однаковому навантаженні зменшуються всі досліджувані показники: напруження, відносна вертикальна деформація,

відносна горизонтальна деформація. Цей факт повністю доказує вплив товщини металевого гофрованого елемента конструкції транспортної споруди на напружено-деформований стан.

Значну роботу Ковальчук В.В. [8] також провів з експериментальних вимірювань розподілу температур на поверхнях металевих гофрованих конструкцій та розробці методів оцінки температурного поля і термопружного стану транспортних споруд із МГК.

Експериментальними дослідженнями автором встановлено, що температура на поверхнях металевих гофрованих листів конструкції розподіляється нерівномірно. Різниця температур між нижньою та верхньою поверхнями листа становить +7,1°С – при максимальних додатних температурах навколишнього середовища та -5,5°С – при мінімальних від’ємних температурах. Тому при розрахунку таких конструкцій необхідно враховувати нерівномірний розподіл температури на поверхні металевих гофрованих конструкцій. Встановлено, що при ясній погоді та у випадку хмарності температура розподіляється рівномірно із коливанням температур, залежно від впадини чи виступу гофри конструкції, у межах 2,5 ºС. Максимальне додатне значення температури на поверхні металевого гофрованого листа споруди зафіксовано величиною +38,8 ºС, а мінімальне від’ємне – -28,4 ºС.

Таким чином, в результаті проаналізованих експериментальних досліджень, автором зроблено висновки, що напруження, спричинені температурними перепадами навколишнього середовища, досягають максимальних значень у

випадку обмеження переміщень гофрованого листа споруди на торцях. Величина напружень при заданих умовах закріплення гофрованої конструкції становить 5,26 МПа при виміряних максимальних додатних температурах влітку і 6,55 МПа при виміряних мінімальних значеннях температур взимку. Встановлено, що величина напружень, яка виникає у спорудах із МГК при дії змінних кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища, становить до 10 % від допустимих значень напружень.

Таким чином, в даній роботі нами було представлено, сучасний стан досліджень напружено-деформованого стану металевих гофрованих конструкцій. Результати досліджень показують, що: при проектному ущільненні ґрунтової засипки рівному 97 % критерій міцності та відносні вертикальні деформації металевої гофрованої труби забезпечуються навіть при товщині металу 3 мм; при збільшенні товщини металевої гофрованої конструкції при однаковому навантаженні зменшуються такі показники, як: напруження, відносна вертикальна деформація, відносна горизонтальна деформація (цей факт повністю доказує вплив товщини металевого гофрованого елемента конструкції транспортної споруди на напружено-деформований стан); при розрахунку таких конструкцій необхідно враховувати нерівномірний розподіл температури на поверхні гофрованих листів конструкції; величина напружень, які виникають у спорудах із МГК від кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища, становить до 10 % від

допустимих напружень.

Література:

1. Жинкин А. Проблемы и перспективы типового проектирования металлических гофрированных конструкций [Текст] / А. Жинкин // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 2. – С. 53–54.

2. Металлические гофрированные конструкции: достоинства и перспективы [Текст] // Евразия Вести. Транспортная газета. Министерство транспорта РФ. – 2008. – № 2.

3. Ковальчук В.В. Дослідження міцності металевих гофрованих конструкцій залізничної колії / В.В. Ковальчук, Р.В. Маркуль, О.М. Баль А.Р. Мілянич та інші/ Восточно-Европейский журнал передовых технологий: Прикладная механика, Вып. 2/7 (86), 2017.

4. Коваль, П. М. Нормування при проектуванні і будівництві споруд з металевих гофрованих конструкцій [Текст] / П. М. Коваль, І. П. Бабяк, Т. М. Сітдикова // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту зал. трансп. ім. ак. В. Лазаряна. – 2010. – № 39. – С. 114–117.

5. Machelski Cz. Kinematic method for determining influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel bridge / Cz. Machelski // Studia Geotechnica et Mechanica, 2010. – Vol. XXXII. – no. 3. – pp. 28 – 40.

6. AASHTO Guide specifications: Thermal effects in concrete bridge superstructures. Washington. DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. – AASHTO. 1989. – 99 c

7. Luchko J. Experimental research of deflected mode of corrugated metal structures of railway track / Josef Luchko, Vitalii Kovalchuk, Yuri Kovalchuk // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2017. — Vol 88. — No 4. — P. 67–75. — (Mechanics and materials science).

8. Ковальчук В.В. Несуча здатність транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій в умовах експлуатації / В.В. Ковальчук / автореферат на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, Одеса, 2019. – 44с.

9. Лучко Й. Й. Напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій при взаємодії із ґрунтом засипки / Й. Й. Лучко, В. В. Ковальчук, Ю. Є. Ковальчук // Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія: Теорія і практика будівництва. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – № 877. – С. 131–136.

10. Ковальчук В. В. Вплив товщини гофрованого елемента на напружено-деформований стан металевих гофрованих конструкцій. Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту. залізн.. транспорту ім. академ. В. Лазаряна “Наука та прогрес транспорту”. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип.3 (57). – С.199-207.

11. Wysokowski A., Howis J. Obliczenia przepustow Metodą Elementow Skończonych – MES, 2011, nr 3 (36), s. 54–57.

12. Zagrajek T., Krzesiński G., Marek P.: Metoda elementow skończonych w mechanice konstrukcji. Ćwiczenia z wykorzystaniem ANSYS. Ofi cyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.