

Міністерство освіти і науки України

Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка

РЕСУРСОЕКОНОМНІ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

1. ЧИЧУЛІНА Ксенія Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент
Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка

2. ХАРЧЕНКО Максим Олександрович – кандидат технічних наук, доцент
Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка

РЕФЕРАТ

Полтава – 2018

1. Вступ

За результатами сучасних сейсмологічних досліджень встановлено, що як в усьому світі, так і на території України, в т.ч. і на її платформеній частині існує небезпека місцевих і сильних підкорових землетрусів з магнітудою понад 5 (більше 6 балів за шкалою MSK-64). При забудові та промисловій експлуатації даних територій раніше вважалося, що сейсмічні впливи будуть набагато меншими, що в майбутньому може призвести до катастрофічних наслідків. Тому з метою мінімізації витрат на зменшення небезпеки від землетрусів доцільно розробити ефективні рішення пристосування основ до можливих сейсмічних впливів за рахунок покращення властивостей ґрунтів. Такий підхід зменшує вартість будівництва як за умов сейсмічних впливів, так і при статичному режимі експлуатації будівель і споруд. Зниження матеріаломісткості з одночасним підвищенням надійності та забезпеченням сприятливих показників економічної ефективності є однією з пріоритетних задач, які ставлять перед собою проектувальники. Головним з багатьох шляхів підвищення ефективності будівництва є розробка та удосконалення нових прогресивних полегшених конструктивних форм та ефективних фундаментів, застосування яких, дозволяє суттєво поліпшити техніко-економічні показники. Останнім часом великої популяризації дістали різноманітні комбіновані системи, які включають до свого складу елементи різного напружено деформованого стану. Дослідження нових конструктивних форм з застосуванням прогресивних технологій і матеріалів, нові алгоритми розрахунку чисельними методами, досягнення в області будівельної механіки та механіки ґрунтів відкрили шляхи до широкого розповсюдження комбінованих систем закордоном. З появою роботизованих зварювальних ліній з'явилась можливість виготовлення ресурсоекономних конструкцій з гофрованими стінками (балок, колон, арок) та комплексних легких металевих конструкцій з профільних труб альтернативних традиційним конструктивним рішенням. В свою чергу широкого застосування набули різні методи покращення властивостей ґрунтів та нові технології фундування, що значно підвищують ефективність сумісної роботи системи «основа – фундаменти – каркас». Але в нашій країні вони

недостатньо вивчені, внаслідок відсутності експериментальних та теоретичних досліджень, а також значної вартості імпортного обладнання для їх виготовлення.

Комплексне розв'язання поставленої проблеми потребує розроблення нових ресурсоекономних і сейсмостійких конструкцій, ефективних штучних основ і фундаментів та їх подальше впровадження, розроблення інженерних методів їх проектування, врахування всіх складових внутрішніх та зовнішніх факторів їх роботи з метою отримання рівнонадійних і більш економічних конструктивних рішень.

Актуальність розв'язання поставлених у роботі завдань зумовлена тим, що використовуючи легкі металеві конструкції замість традиційних, а також при влаштуванні штучних основ чи ефективних фундаментів, можна одержати значний економічний ефект завдяки оптимальній роботі системи «основа – фундаменти – каркас», зниженню навантажень від власної ваги і сейсмічних навантажень, зменшенню транспортних витрат і трудовитрат на монтажі, скороченню термінів будівництва та зниження загальної вартості будови, суттєвому збільшенню надійності на етапах проектування та експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема досліджень відповідає напрямам науково-технічної політики держави в галузі оцінювання технічного стану будівель і споруд згідно з постановами Кабінету Міністрів України: від 5 травня 1997 р. № 409 «Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та мереж», від 23 травня 2011 № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій, та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу».

Результати наукових досліджень представлені у науково-дослідних роботах за напрямом «Енергетика та енергоефективність», що фінансуються за рахунок видатків загального фонду державного бюджету України: «Оцінювання надійності та ризиків несучих та огорожувальних будівельних конструкцій» (№ д.р. 0111U000839), «Регулювання надійністю та ризиками будівельних конструкцій» (№ д.р. 0113U000382), «Ресурсоекономні технології

відновлення й реконструкції житлових, громадських і виробничих будівель та захисних споруд цивільної оборони», (№ д.р. 0116U002567), «Конструктивна і теплова надійність несучих і огорожувальних комплексних конструкцій», (№ д.р. 0115U002417), «Збірно-монолітна конструктивна система будівлі під соціальне житло» (№д.р. 0113U000383), а також за напрямом «Нові технології екологічно чистого виробництва та будівництва, охорони навколишнього природного середовища, видобутку та переробки корисних копалин; хімічні процеси та речовини в екології; раціональне природокористування» – «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах» (№д.р. 0117U003086).

2. Мета і завдання роботи

Метою роботи є комплексне розв'язання проблеми ресурсоекономного будівництва із застосуванням нових ефективних конструктивних рішень ферм, балок, арок, штучних основ і фундаментів; дослідження сейсмостійкості штучних основ, надійності легких складених балок на основі визначення напружено-деформованого стану з подальшим отриманням економічних та надійних конструкцій.

У рамках застосування нового комплексного підходу в роботі було розв'язано низку актуальних на сьогодні теоретично-експериментальних та практичних завдань, основними серед яких є:

- розробити ефективні види штучних основ для будівель та споруд підвищеної небезпеки при статичних і динамічних (сейсмічних) навантаженнях і впливах, а також практичні методи їх розрахунку й проектування;
- розробити оптимальні за показниками рішення ресурсоекономних металевих конструкцій, а саме: балок з подвійною профільованою стінкою трапецеїдального обрису з поясами різних конфігурацій, комбіновані конструкції металевих ферм та арок окремо та в складі вузлових з'єднань;
- запропонувати достовірний інженерний метод розрахунку розроблених ресурсоекономних конструкцій та їх вузлових з'єднань;

- розробити проект сортаменту легких балок з подвійною профільованою стінкою;
- шляхом експериментального дослідження визначити характер роботи запропонованих конструкцій під дією статичного навантаження;
- визначити імовірність безвідмовної роботи складних вузлів ресурсоекономних балок на основі аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, врахувати роботу окремих елементів вузлів та міру кореляційного зв'язку між ними;
- запропонувати методику розробки оптимальних конструкцій вузлів за рахунок зміни перерізів елементів при забезпеченні загального рівня надійності конструкції, що призведе до зниження матеріаломісткості;
- розробити інформаційні моделі досліджуваних об'єктів, що дають змогу при їх експлуатації приймати відповідні оптимальні рішення;
- розробити пропозиції щодо удосконалення державних норм для проектування, зведення та експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки у складних інженерно-геологічних умовах, в т.ч. у сейсмічно небезпечних районах;
- упровадити результати досліджень на об'єктах цивільного і громадського призначення, гірничо-збагачувального і нафтогазового комплексів.

3. Наукова новизна та практична значимість роботи

Наукову новизну роботи становлять вперше розроблені ресурсоекономні конструкції та вузли сталевих балок з подвійною профільованою стінкою трапецеїдального обрису з перервними поясними швами, поясами зі зварних таврів, поясами з прокатних таврів, з гнутих швелерів, заповненням внутрішнього простору між стінками пінополістиролом, розкріплені розкісною та хрестовою решіткою, розкріплені решіткою у вигляді арокних елементів та одиночного; сталеві балки з одинарною поперечно профільованою стінкою синусоїдального та трапецеїдального обрису з поясами зі швелерів; ресурсоекономні комбіновані

металеві конструкції ферм та арок; монтажні вузли металевих рам з просторовими елементами із квадратних та круглих труб.

Удосконаленим теоретичним та чисельним аналізом виявлені залежності, що характеризують напружено-деформований стан розроблених ресурсоекономних конструкцій та їх вузлових з'єднань, а також дозволяють отримати розрахункові параметри для проектування та оцінки їх надійності.

Визначена імовірність безвідмовної роботи складних вузлів ресурсоекономних конструкцій на основі аналізу їх напружено-деформованого стану. Отримана залежність для розрахунку імовірності відмови послідовно з'єднаних елементів конструкцій з урахуванням міри кореляційного зв'язку та доведена доцільність врахування коефіцієнту кореляції в розрахунках надійності розроблених конструктивних систем.

Запропонована методика знаходження оптимальних вузлів розроблених сталевих балок з заданим рівнем надійності, що дозволяє регулювати існуючі резерви вузла за рахунок зміни перерізів елементів при забезпеченні загального рівня надійності конструкції. Визначена значущість елементів існуючих вузлів, що надає можливість знаходження «слабкої ланки», що дозволяє при реконструкції або підсиленні раціонально впливати на несучу здатність складної конструктивної системи. Виявлена можливість зменшення розмірів елементів вузлів ресурсоекономних конструкцій з підвищенням результуючої оцінки надійності, що призвело до зниження матеріаломісткості на 15 ÷ 19%;

Удосконалено методику розрахунку за деформаціями штучних основ шляхом урахування встановлених законів розподілу фізико-механічних характеристик ущільнених ґрунтів при чисельній імітації аналітично та методом скінченних елементів з використанням пружно-пластичної моделі, отримано функції розподілу випадкових величин розрахункового опору ущільнених ґрунтів та осідань основ фундаментів і їх нерівномірностей.

Обґрунтовано зменшення періоду (підвищення частоти) коливань основи, покращення демпферних її характеристик, що в свою чергу призводить до дисипації енергії сейсмічної хвилі, ліквідацію тиксотропних

властивостей і властивостей розрідження ґрунтів в межах штучної основи, а також стабілізації властивостей основи протягом експлуатації на ній будівель, споруд та інженерних систем.

Одержані в роботі наукові результати мають **суттєве практичне значення**, що полягають у розробці ефективних основ і фундаментів, нових типів сталевих ресурсоекономних конструкцій та визначенні доцільності їх використання для будівель і споруд підвищеної небезпеки у складних інженерно-геологічних умовах навіть при значних сейсмічних впливах.

Для отримання більш надійних та економічних конструктивних рішень обґрунтована можливість раціонального проектування вузлів ресурсоекономних конструкцій при забезпеченні загального рівня надійності.

Розроблені для узагальненого проектування сортаменти розроблених ресурсоекономних балок з профільованою стінкою, які дозволяють забезпечити зниження матеріалу до 46% в порівнянні з прокатними двотаврами та до 28% зі зварними двотаврами;

Сформована процедура врахування коефіцієнту кореляції, що при наявності відповідної статистичної інформації дозволяє збільшити надійність вузла як цілісної системи;

Запропонована інженерна методика визначення напружено-деформованого стану вузлів та ресурсоекономних балок з профільованою стінкою з використанням різних марок профільованого листа.

4. Основні науково-технічні результати роботи

У роботі вирішено актуальну науково-технічну проблему розробки та дослідження ресурсоекономних конструкцій будівель та споруд, ефективних методів проектування, будівництва та експлуатації цих об'єктів у складних геотехнічних умовах, особливо на сейсмічно небезпечних територіях, надійності сталевих балок нового типу та штучних ґрунтових основ на основі визначення напружено-деформованого стану з подальшим отриманням економічних та надійних конструкцій.

Завдяки розробленню комплексних заходів покращення геотехнічних властивостей слабких основ зменшено вплив динамічного навантаження на

надземну частину будівель споруд, зменшено період (підвищено частоту) коливань основи, покращено демпферні її характеристики, що в свою чергу призводить до дисипації енергії сейсмічної хвилі, ліквідовано тиксотропні властивості й властивості розрідження ґрунтів в межах штучної основи, а також стабілізовано властивості основи протягом експлуатації на ній будівель, споруд та інженерних систем.

Представлені нові конструктивні рішення легких комбінованих металевих ферм, балок та арок, а також штучних основ і ефективних фундаментів, які мають широкий спектр застосування у будівництві.

В роботі теоретичним та чисельним аналізом виявлені залежності, що характеризують напружено-деформований стан запропонованих легких балок та їх вузлових з'єднань.

Визначена імовірність безвідмовної роботи балочних конструкцій та отримана залежність для розрахунку імовірності відмови послідовно з'єднаних елементів з урахуванням міри кореляційного зв'язку. Запропонована методика проектування оптимальних конструкцій з заданим рівнем надійності, що дозволяє регулювати існуючі резерви ресурсоекономних конструкцій за рахунок зміни перерізів елементів при забезпеченні загального рівня надійності. Розроблений інженерний метод розрахунку запропонованих конструкцій та сортаменти для їх проектування. Розроблено сучасні сейсмостійкі штучні основи шляхом ущільнення природного ґрунту і його армуванням ґрунтоцементними елементами для об'єктів підвищеної відповідальності, що дозволяють мінімізувати можливі технологічні, технічні та екологічні ризики.

Обґрунтовані результати розрахунку напружено-деформованого стану легких комбінованих систем з застосуванням гнутих зварних квадратних або прямокутних труб, які виявили, що застосування таких систем для громадських будівель надає можливість монтувати у будь-якій точці нижнього поясу конструкції підвісної стелі, або технологічні конструкції в промислових будівлях тощо.

Підтверджена ефективність представлених конструктивних рішень та діапазон можливого застосування. Виявлені можливі прольоти та ухили такого типу конструкцій, що дозволяють на стадії варіантного проектування вибрати оптимальні значення геометричних параметрів розроблених конструктивних систем.

В рамках даної наукової роботи було розроблено інформаційні моделі досліджуваних об'єктів – віртуальна копія з усіма геометричними, фізико-механічними і технологічними параметрами конструкцій, матеріалів та обладнання, що легко коректувати на протязі життєвого циклу цих об'єктів, що дозволить значно спростити у майбутньому освоєння надземного і підземного простору при будівництві нових об'єктів і комунікацій, в т.ч. при реконструкції існуючих будівель та споруд.

5. Техніко-економічні показники

У процесі створення економічних та надійних конструкцій виявлена можливість зменшення розмірів елементів вузлів балок з профільованою стінкою із забезпеченням загального рівня надійності, що призвело до зниження матеріаломісткості на 15 –19%. Порівнюючи конструкції типових сталевих складених балок зі сталевими ресурсоекономними балками з профільованою стінкою виявлено суттєвий економічний ефект зменшення матеріаломісткості від до 17% та кошторисної вартості до 11%. На основі оцінки вартісних показників, матеріаломісткості та трудовитрат за одиничними розцінками для розроблених сталевих балок з профільованою стінкою, розкріплених решіткою різного обрису, виявлений економічний ефект зменшення маси та кошторисної вартості, який варіюється в межах 11% без втрат міцності та стійкості. Технологія виготовлення запропонованих конструктивних рішень забезпечує мінімальні допуски та велику точність монтажу, а проектування ведеться з урахуванням можливості урізноманітнення типорозмірів та естетичних потреб.

За основний критерій оптимальності або економічної ефективності конструкцій приймалося значення вартості її створення, тобто зменшення

витрат сталі. У свою чергу зниження маси конструкції відбивалося на зниженні трудомісткості виготовлення і монтажу.

У результаті проведеного техніко-економічного аналізу запропонованих ресурсоекономних конструкцій, доведено, що саме гофрування забезпечує зниження матеріаломісткості, а застосування листів профільованого настилу дозволяє варіювати розмірами гофрів призводячи до суттєвої втрати ваги конструкції при виконанні умов міцності і стійкості. Знаходження ефективних геометричних параметрів перерізу балок з гофрованими (профільованими) стінками дозволить всебічно реалізувати потенційні можливості легких балочних конструкцій такого типу.

Перевагами запропонованих ресурсоекономних комбінованих конструкцій є забезпечення економії будівельної висоти (одночасно виконує функцію огорожувальної конструкції), транспортних та монтажних витрат, відсутня необхідність встановлення поперечних ребер жорсткості (за виключенням при опорних зон та ділянок концентрації значних навантажень), поява можливостей використання сучасного технологічного обладнання, широка варіантність застосування, естетичність та багато інших переваг.

6. Впровадження результатів досліджень

Результати досліджень реалізовано в нормативних документах України: 1) ДБН В.1.1-46-2017 «Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення»; 2) ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014 «Настанова з проектування підпірних стін»; 3) ДСТУ-Н Б В.2.1-32:2014 «Настанова з проектування котлованів для улаштування фундаментів і заглиблених споруд»; 4) ДСТУ-Н Б В.1.1-40:2016 «Настанова щодо проектування будівель і споруд на слабких ґрунтах»; 5) ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016 «Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів».

Результати роботи було використано при розробці комплексних програм підвищення енергоефективності на підприємстві (МП «Протон»), (ТОВ «Торг-індустрія»), проектуванні і науково-технічному супроводі: насипу (площею 1,9 млн. м²) для електрометалургійного заводу «Ворскла Сталь» у м. Горішні Плавні Полтавської обл. на підтопленій території; 25-поверхових

будівель житлового комплексу по вул. Генуезській (ЖК «Гольфстрім») та по вул. Михайлівській (ЖК «Михайлівське містечко») у м. Одеса в зоні підземних виробок і на сейсмічно небезпечній території; комплексу об'єктів громадського та житлового призначення у Шевченківському районі м. Києва; висотної будівлі у Дніпровському районі м. Києва; об'єктів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату у м. Горішні Плавні Полтавської обл. в зоні дії динамічних навантажень від вибухів у кар'єрі; нафтових резервуарів об'ємом 20 тис. м³ нафто-перекачувальних станцій Глинсько-Розбишівська у с. Качанове Гадяцького району Полтавської області і у с. Августівка Беляївського району Одеської області на просадочних ґрунтах тощо. Економічний ефект від впровадження наукових розробок сягає 10 млн. грн.

Крім цього, результати досліджень широко використовуються під час підготовки фахівців будівельних, механічних, нафтогазових та економічних спеціальностей у ПолтНТУ, зокрема при викладанні курсів «Економіка будівництва», «Економіка будівництва (спецкурс) », «Економіка підприємств будіндустрії», «Ціни і ціноутворення», «Основи та фундаменти», «Проектування основ і фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах», а також виконання дипломних і магістерських робіт за спеціальностями «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність», «Будівництво та цивільна інженерія».

7. Публікації та апробація результатів досліджень

Основні результати досліджень висвітлено у чотирьох монографіях та 106 наукових статтях, отримано дев'ятнадцять патентів на корисні моделі, а також широко впроваджено в практику будівництва.

Автори:

_____ К.В. Чичуліна

_____ М.О. Харченко

«26» січня 2018 р.