Міністерство освіти і науки України

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ЗВЕДЕННЯ, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ УНІКАЛЬНИХ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД: КОНСТРУКЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЇ, РІШЕННЯ

**РЕФЕРАТ**

1. **ШУЛЬЦ** **Роман Володимирович -** доктор технічних наук, доцент, декан факультету Київського національного університету будівництва і архітектури

2. **БОЙКО Ігор Петрович** - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету будівництва і архітектури.

3. **ВОЙТЕНКО Степан Петрович** - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету будівництва і архітектури.

4. **ГАЙДАЙЧУК Віктор Васильович -** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету будівництва і архітектури.

5. **ГАЛІНСЬКИЙ Олександр Михайлович -** доктор технічних наук, директор ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва».

6. **ГРИГОРОВСЬКИЙ Петро Євгенійович -** кандидат технічних наук, перший заступник директора ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва»

7. **СЛЮСАРЕНКО Юрій Степанович -** кандидат технічних наук, заступник директора ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

8. **ШИМАНОВСЬКИЙ Олександр Віталійович -** член-кореспондент Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, директор ВАТ «Український інститут сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського»

**Актуальність проблеми**

Стрімкий науково-технічний прогрес за останні десятиріччя значно змінив і ускладнив традиційні підходи до здійснення будівельної діяльності. В цьому сенсі необхідно вказати на два найсуттєвіші аспекти. По-перше, повсюдне запровадження комп’ютерних методів і технологій, інтенсивне створення і застосування нових ефективних будівельних матеріалів і виробів із унікальними властивостями, широке впровадження нових зразків будівельної техніки і технологій, які ще не набули значного досвіду використання, вимагають від проектувальників і будівельників постійних змін у традиційних методах роботи. По-друге, наявні потреби у створенні все більш великих і складних, унікальних будівельних об’єктів, які призводять не тільки до помітного, а й часто-густо негативного впливу на довкілля, вимагають підвищення відповідальності всіх учасників будівельного процесу за надійність, ефективність і безпечність як самих будівельно-монтажних робіт, так і кінцевих результатів їхньої роботи.

Одним із шляхів вирішення проблем, пов’язаних із сучасною ситуацією у будівництві, є все більш широке використання ресурсів будівельної науки, причому не тільки при проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, а також у навчальному процесі (яким наука завжди опікувалась), але й безпосередньо при створенні й відслідковуванні життєдіяльності будівельних об’єктів на всіх етапах їх життєвого циклу – починаючи з проектування, через будівництво та експлуатацію і аж до повної утилізації.

Саме в останні роки, із помітним збільшенням кількості унікальних інженерних споруд, постає проблема у системному переосмисленні і впорядкуванні знань будівельної науки та розробленні нових методів, моделей, методик і технологій для якісного забезпечення процесів проектування, зведення, реконструкції та експлуатації споруд такого класу. До переліку унікальних інженерних споруд відносять незвичні будівельні об’єкти, а саме об’єкти, що мають унікальне та особливо важливе народногосподарське та/або соціальне значення та об’єкти експериментального будівництва.

Вказані вище аспекти, докорінно змінили підхід до проектування не тільки унікальних інженерних споруд, а й будь-яких інженерних об’єктів взагалі, і на нашу думку призвели до необхідності застосування всебічного та всеохоплюючого наукового підходу до проектування інженерних споруд. За таких умов науковий супровід унікальних інженерних споруд виходить на перше місце і створює сприятливі умови для успішної реалізації будь-якого проекту.

Навіть такий короткий огляд дозволяє уявити наскільки складною і комплексною є проблема зведення, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд з позицій теоретичного та практичного рішення.

Представлена робота покликана дати відповідь та надати практичні рекомендації щодо комплексного вирішення питань проектування, зведення, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд. Автори намагалися викласти основні наукові результати отримані ними протягом тривалого часу і вдало експериментально реалізовані при проектуванні, зведенні, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд, в першу чергу при проектуванні, зведенні та реконструкції НСК «Олімпійський».

**Метою роботи** є розроблення методів, моделей, методик і технологій щодо комплексного вирішення питань проектування, зведення, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд та узагальнення основних наукових результатів отриманих авторами протягом тривалого часу і вдало експериментально реалізованих при проектуванні, зведенні, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд, в першу чергу при проектуванні, зведенні та реконструкції НСК «Олімпійський».

**Основні напрямки теоретичних досліджень**

При зведенні, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд необхідно враховувати величезну кількість особливостей таких споруд, пов’язаних із складними інженерно-геологічними умовами, впливом будівництва на вже зведені або існуючі споруди, та їх взаємодією, унікальними конструктивними рішеннями, дотриманням геометрії та правильності технологічних процесів. З огляду на це в роботі на прикладі реконструкції та зведення конструкцій НСК «Олімпійський» було поставлено та вирішено наступні наукові завдання:

* удосконалення методики визначення сейсмічних вимог до території будівництва, ефективність якої була доведена отриманими практичними результати при проектуванні реконструкції існуючих конструкцій споруд і новому будівництві;
* розроблення оригінальної методики експериментальних досліджень несучої здатності залізобетонних елементів існуючих конструкцій, нових залізобетонних і металевих конструкцій, визначенні їх відповідності вимогам українських і європейських норм із проектування, а також вогнестійкості залізобетонних конструкцій;
* виконання унікальних досліджень та розроблення відповідної методики та математичної моделі взаємодії фундаментів нових споруд і будівель з існуючими підземними комунікаціями на прикладі взаємодії НСК «Олімпійський» та головного міського каналізаційного колектору;
* розроблення та дослідження математичної моделі для розрахунку міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах споруди. На прикладі одного з найбільших у світі висячих покриттів НСК «Олімпійський» запропоновано методику та виконано унікальні розрахунки міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах і вогнестійкості металевих конструкцій;
* розроблення та чисельна реалізація методики аналізу і виявлення впливу різноманітних геометричних недосконалостей конструктивних елементів, які були припущені під час їх виготовлення і монтажу;
* розроблення та дослідження удосконаленої методики проектування спеціальних високоточних інженерно-геодезичних мереж з використанням методів статистичного моделювання та методики розрахунку точності різних стадій побудови інженерно-геодезичних мереж з урахуванням вимог до точності положення окремих конструктивних елементів інженерної споруди;
* розроблення нового методу розрахунку точності геодезичних розмічувальних та контрольно-вимірювальних робіт за допомогою накладання ізополів похибок вихідної інженерно-геодезичної мережі та похибок найсучаснішого методу розмічувальних робіт – методу вільної станції;
* розроблення математичної моделі врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій при виконанні інженерно-геодезичних робіт та методики розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт з урахуванням температурного впливу. Отримані моделі та методики було апробовано на прикладі розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт при зведенні металевих конструкцій НСК «Олімпійський».

**Стислий зміст роботи**

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури. У вступній частині наведено актуальність роботи, її наукове та практичне значення.

У першому розділі наведено методичні засади проектування, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд. З методичної та наукової точки зору розкрито питання, пов’язані з науково-технічним супроводом робіт, по-перше, із обстеження та проектування реконструкції існуючих конструкцій споруд і будівель як на території об’єкту будівництва, так і на території, що його оточує, і, по-друге, нових об’єктів проектування й будівництва.

Наведено наукові та практичні результати виконаних робіт із визначення сейсмічних вимог до території будівництва, а також описано їх застосування при проектуванні реконструкції існуючих конструкцій споруд і будівель при новому будівництві. Особливу увагу зосереджено на методиці експериментальних досліджень несучої здатності залізобетонних елементів існуючих конструкцій, нових залізобетонних і металевих конструкцій, визначенні їх відповідності вимогам українських і європейських норм із проектування, а також вогнестійкості залізобетонних конструкцій. Наведено методику та результати розрахунку несучої здатності залізобетонних конструкцій споруд і будівель, наведено результати їх аналізу та порівняння з даними експериментальних досліджень. Представлено результати дослідження міцності та довговічності нових покриттів відремонтованих залізобетонних конструкцій, а методику і результати розрахунків підсилення фундаментів існуючих споруд. всі практичні та експериментальні дослідження виконано при проектуванні конструкцій та споруд НСК «Олімпійський».

Вперше виконано унікальні дослідження питання взаємодії фундаментів нових споруд і будівель з існуючими підземними комунікаціями на прикладі взаємодії НСК «Олімпійський» та головного міського каналізаційного колектору, що пролягає під територією стадіону. Представлено результати розрахункових досліджень системи «ґрунт – конструкція» без урахування та з урахуванням додаткових навантажень від фундаментів. Наведено дані їх порівняльного аналізу, а також визначена оцінка впливу реконструкції на роботу колектору.

У другому розділі наведено методи і моделі проектування елементів конструкцій унікальних інженерних споруд. Запропоновано та розроблено математичні моделі для розрахунку міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах. На прикладі одного з найбільших у світі висячих покриттів НСК «Олімпійський» запропоновано методику та виконано унікальні розрахунки міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах і вогнестійкості металевих конструкцій. Наведені результати розрахунків та їх аналіз дозволив зробити висновок про ефективність запропонованого підходу до дослідження якості проектування будівельних конструкцій та підтвердили, що конструкції притаманні не тільки висока несуча спроможність, достатньо великий запас міцності, загальної стійкості й динамічної жорсткості, а також слабка чутливість до рівномірно розподілених температурних впливів. Запропоновано та чисельно реалізовано методику аналізу і виявлення впливу різноманітних геометричних недосконалостей конструктивних елементів, які були припущені під час їх виготовлення і монтажу, на загальний напружено-деформований стан.

Значну увагу приділено питанням технологічності виготовлення та забезпечення можливості монтажу несучих металевих конструкцій укрупненими блоками з метою спрощення й прискорення будівельних робіт. Представлено нові технологічні рішення щодо конструкції укрупнювальних стендів та монтажної оснастки для встановлення і регулювання геометрії несучих конструкцій покриття, а саме: переставних веж, домкратних пристроїв та спеціальних підпірок. Описано послідовність виконання монтажних робіт.

Третій розділ присвячено питанням розроблення нових методів та методик виконання і аналізу якості інженерно-геодезичних робіт при зведенні унікальних інженерних споруд. Виконано детальний аналіз сучасного стану та проблем інженерно-геодезичного забезпечення будівництва.

Наведено удосконалену методику проектування спеціальних високоточних інженерно-геодезичних мереж з використанням методів статистичного моделювання та методику розрахунку точності різних стадій побудови інженерно-геодезичних мереж з урахуванням вимог до точності положення окремих конструктивних елементів інженерної споруди. Запропоновано новий метод розрахунку точності геодезичних розмічувальних та контрольно-вимірювальних робіт за допомогою накладання ізополів похибок вихідної інженерно-геодезичної мережі та похибок найсучаснішого методу розмічувальних робіт – методу вільної станції.

Розроблено строгі математичні моделі врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій при виконанні інженерно-геодезичних робіт та спрощену методику розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт з урахуванням температурного впливу. Отримані моделі та методики було апробовано на прикладі розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт при зведенні висотних будівель та металевих конструкцій НСК «Олімпійський».

Наостанок розглянуто питання організації системи геодезичного моніторингу унікальних інженерних споруд на прикладі висотної будівлі з розробленням відповідної методики і технології моніторингу.

Четвертий розділ розкриває питання науково-технічного супроводу складних технологічних процесів. Особливу увагу зосереджено на характеристиці процесів управління якістю при встановленні, забезпеченні та підтриманні рівня якості будівельної продукції на всіх етапах розробки його показників – від виготовлення будівельних матеріалів та виробів і виконання будівельно-монтажних робіт й аж до експлуатації готових споруд.

На прикладі НСК «Олімпійський» викладено розроблену інноваційну технологію відновлення існуючих конструкцій, будівництва нових конструкцій, у тому числі з використанням спеціально розроблених і виготовлених механізмів та обладнання, виконання гідроізоляційних робіт із застосуванням нових матеріалів та улаштування дренажних систем. Однією з особливостей розробленої технології є виконання вхідного контролю параметрів застосовуваних матеріалів та поопераційного контролю усіх технологічних процесів. Представлено методику та результати моделювання утримувальних споруд на зсувонебезпечних територіях в межах будівництва, а також запропоновані конструктивно-технологічні рішення підсилення тимчасових і постійних стін з метою забезпечення можливості проведення будівельно-монтажних робіт при будівництві багаторівневої споруди. Отримано параметри та конструктивні рішення підпірних стін, дренажної системи і лінійної дрени.

Розроблено методику вхідного контролю металевих конструкцій, що включає порядок і обсяги проведення контролю, його етапи, операції, склад і правила оформлення результатів із переліком відповідної виробничої документації, а також програми організації вхідного контролю конкретних металевих конструкцій покриття на прикладі НСК «Олімпійський» з ілюстрованими схемами і технологічними картами та програми організації вхідного геодезичного контролю.

Представлено результати досліджень впливу вібрації від демонтажних та пальових робіт на конструкції НСК «Олімпійський» та прилеглі будівлі. Запропоновано методику визначення вібраційних навантажень не тільки у реальному часовому вимірі, а й з урахуванням реального стану будівельних конструкцій. Розкрито сутність запропонованих технологічно-конструктивних заходів та рішень зі зменшення впливу вібрації. Висвітлено результати оцінки ефективності вжитих заходів й прийнятих рішень із віброізоляції.

Розроблено технологію оперативного контролю якості виконання земляних робіт, а також лабораторного контролю якості ґрунтових матеріалів, що використовувались для зворотного засипання траншей і котлованів підземних приміщень споруд НСК «Олімпійський».

**Практичне значення роботи**

 Розроблені в роботі методи, моделі, методики і технології пройшли серйозну апробацію при зведенні та реконструкції НСК «Олімпійський» і можуть бути впевнено рекомендовані до застосування при зведенні аналогічних за складністю споруд. Основні практичні результати і результати впровадження полягають у наступному:

1. На стадії обстеження унікальних інженерних споруд з метою їх подальшої реконструкції розроблено технологію та методику експериментальних досліджень несучої здатності залізобетонних елементів існуючих конструкцій, нових залізобетонних і металевих конструкцій, визначення їх відповідності вимогам українських і європейських норм із проектування, а також вогнестійкості залізобетонних конструкцій.
2. На стадії проектування унікальних інженерних споруд запропоновано використовувати удосконалену методику визначення сейсмічних вимог до території будівництва, ефективність якої була доведена отриманими практичними результати при проектуванні реконструкції існуючих конструкцій споруд і новому будівництві.
3. На стадії проектування унікальних інженерних споруд на прикладі взаємодії НСК «Олімпійський» та головного міського каналізаційного колектору, що пролягає під територією стадіону, методом математичного моделювання виконано унікальні дослідження взаємодії фундаментів нових споруд і будівель з існуючими підземними комунікаціями які дозволяють оцінити вплив реконструкції на роботу підземних інженерних мереж та колектору зокрема.
4. На стадії проектування унікальних інженерних споруд розроблено та досліджено удосконалену методику проектування спеціальних високоточних інженерно-геодезичних мереж з використанням методів статистичного моделювання та методики розрахунку точності різних стадій побудови інженерно-геодезичних мереж з урахуванням вимог до точності положення окремих конструктивних елементів інженерної споруди. Розроблено новий метод розрахунку точності геодезичних розмічувальних та контрольно-вимірювальних робіт за допомогою накладання ізополів похибок вихідної інженерно-геодезичної мережі та похибок найсучаснішого методу розмічувальних робіт – методу вільної станції.
5. На стадії проектування унікальних інженерних споруд було розроблено та досліджено математичну модель для розрахунку міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах споруди. На прикладі одного з найбільших у світі висячих покриттів НСК «Олімпійський» запропоновано методику та виконано унікальні розрахунки міцності, стійкості та коливань у найбільш критичних станах і вогнестійкості металевих конструкцій. Розроблено та побудовано чисельну реалізацію методики аналізу і виявлення впливу різноманітних геометричних недосконалостей конструктивних елементів, які були припущені під час їх виготовлення і монтажу, що дозволяє оцінити їх вплив на загальний напружено-деформований стан споруди.
6. На стадії зведення унікальних інженерних споруд розроблено математичну модель врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій при виконанні інженерно-геодезичних робіт та методику розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт з урахуванням температурного впливу. Отримані моделі та методики було апробовано на прикладі розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт при зведенні металевих конструкцій НСК «Олімпійський» і використані при розробленні технології монтажу металевих та залізобетонних конструкцій.
7. На стадії зведення унікальних інженерних споруд розроблено технологію вхідного контролю металевих конструкцій, що включає порядок і обсяги проведення контролю, його етапи, операції, склад і правила оформлення результатів із переліком відповідної виробничої документації, а також програми організації вхідного контролю конкретних металевих конструкцій покриття на прикладі НСК «Олімпійський».
8. На стадії реконструкції унікальних інженерних споруд на прикладі НСК «Олімпійський» розроблено інноваційну технологію відновлення існуючих конструкцій, будівництва нових конструкцій, у тому числі з використанням спеціально розроблених і виготовлених механізмів та обладнання.
9. На стадії реконструкції унікальних інженерних споруд розроблено методику та представлено результати моделювання утримувальних споруд на зсувонебезпечних територіях в межах будівництва, а також запропоновані конструктивно-технологічні рішення підсилення тимчасових і постійних стін з метою забезпечення можливості проведення будівельно-монтажних робіт при будівництві багаторівневої споруди.
10. На стадії реконструкції унікальних інженерних споруд досліджено вплив вібрації від демонтажних та пальових робіт на конструкції НСК «Олімпійський» та прилеглі будівлі. Запропоновано алгоритм визначення вібраційних навантажень не тільки у реальному часовому вимірі, а й з урахуванням реального стану будівельних конструкцій. Висвітлено результати оцінки ефективності вжитих заходів й прийнятих рішень із віброізоляції.

**Висновки**

На думку авторів роботи наведена у ній всебічна інформація обґрунтовано доводить тезу про необхідність і ефективність запровадження сучасних наукових знань при будівництві і реконструкції великих, складних унікальних будівельних об’єктів, які сприяють підвищенню їх надійності й безпеки. Вказане твердження однозначно підтверджується значним досвідом авторів, набутим при будівництві НСК «Олімпійський» й багатьох інших об’єктів який свідчить, що на науковий супровід, як правило, витрачається не більше 1 % коштів від вартості будівництва, а економічна ефективність від залучення науковців завдяки оптимізації конструктивних і технологічних рішень, у десятки разів перевищує ці витрати.

Підсумовуючи, можна зробити загальний висновок, що в роботі розроблено методи, моделі, методики і технології для комплексного вирішення питань проектування, зведення, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд та узагальнено основні наукові результати отримані авторами протягом тривалого часу і вдало експериментально реалізовані при проектуванні, зведенні, реконструкції та експлуатації унікальних інженерних споруд, в першу чергу при проектуванні, зведенні та реконструкції НСК «Олімпійський».

Результати досліджень викладено у 18 монографіях та підручниках. Загальна кількість публікацій 155, з них у міжнародних збірниках і журналах 27, загальна кількість посилань - 297; h-індекс згідно з базою даних Google Scholar - 11 , патентів на винахід - 8; результати роботи було використано при захисті докторських дисертацій (2) та кандидатських дисертацій (5).

Всі отримані результати було впроваджено при реалізації проекту із реконструкції та зведення нових конструкцій НСК «Олімпійський».

ШУЛЬЦ Роман Володимирович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

БОЙКО Ігор Петрович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ВОЙТЕНКО Степан Петрович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ГАЙДАЙЧУК Віктор Васильович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ГАЛІНСЬКИЙ Олександр Михайлович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ГРИГОРОВСЬКИЙ Петро Євгенійович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

СЛЮСАРЕНКО Юрій Степанович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ШИМАНОВСЬКИЙ Олександр Віталійович \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_