

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Раздуя Романа Вячеславовича**

«Напружено-деформований стан системи «грунтоцементна основа – фундамент – будівля»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 – Архітектура та будівництво)

Аналіз дисертаційної роботи Раздуя Романа Вячеславовича «Напружено-деформований стан системи «грунтоцементна основа – фундамент – будівля» дозволяє сформулювати такі узагальнені висновки щодо актуальності, наукової новизни, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, практичного значення та загальної оцінки роботи.

**Актуальність теми** дисертації Раздуя Р.В. зумовлена тим, що за складних інженерно-геологічних умов у сучасному будівництві отримали поширення методи покращення будівельних властивостей ґрунтів основ, складених слабкими ґрунтами, зокрема, метод армування ґрунтової основи вертикальними елементами за допомогою ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ). Ці штучні основи вже зарекомендували себе як достатньо надійними, так і економічно доцільними, що й обґрунтовує актуальність досліджень використання ґрунтоцементу при влаштуванні основ фундаментів. Але при цьому ще не достатньо вивчене питання ефективності армування ГЦЕ й залежності осідань основ від тиску стрічкових фундаментів, оптимальної глибини армування основи тощо. Отже, необхідні комплексні лабораторні, натурні та теоретичні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) слабких основ, армованих ГЦЕ за бурозмішувальною технологією, з урахуванням взаємодії основи, фундаменту та надземної частини будівлі тощо.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Дістали подальшого розвитку дослідні залежності першого та другого критичного тисків від відсотка армування основи ґрунтоцементними елементами

для стрічкових фундаментів за умов слабких глинистих ґрунтів.

Отримано дослідні дані розвитку в часі осідань армованих вертикальними ГЦЕ слабких основ стрічкових фундаментів житлових багатоповерхових цегляних будівель.

Експериментально обґрунтовано застосування адекватних моделей ґрунтових основ: пружно-пластичної Мора-Кулона та ізотропного ущільнення (зміцнення) ґрунту Hardening soil model (HSM) для моделювання та розрахунку методом скінчених елементів (МСЕ) НДС системи «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Обґрунтування наукових положень дисертації витікає з проведеного аналізу сучасного стану нормативної та іншої науково-технічної літератури, формулювання задач досліджень, постановки лоткових, натурних і чисельних досліджень зі статистичною обробкою їх результатів, використання апробованих апаратів класичної і нелінійної механіки ґрунтів, сучасних методів розв'язання змішаної пружно-пластичної задачі МСЕ у фізично нелінійній постановці для оцінювання НДС системи «ґрунтоцементна основа – фундамент – будівля», а також ретельним проведенням чисельного експерименту з використанням сучасного програмного забезпечення й порівнянням його результатів з даними виконаних дисертантом лоткового та натурального експериментів, що дозволило автору достатньо коректно оцінити НДС системи «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля».

Наукові висновки органічно витікають з проведених експериментальних і теоретичних досліджень і їх порівняння, що підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх розрахунковим величинам. Це дозволило автору вдосконалити загальний підхід до оцінювання НДС системи «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля» з урахуванням коефіцієнту та глибини армування масиву, особливостей використання розрахункових моделей ґрунту і способів моделювання ГЦЕ, що за своїми загальними положеннями відповідає вимогам ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд.

## **Практичне значення результатів досліджень**

Удосконалено методики до 3D моделювання системи «грунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля» за пружно-пластичною моделлю ґрунту Мора-Кулона та моделлю ізотропного ущільнення (зміцнення) ґрунту Hardening soil model (HSM), а також при імітації ГЦЕ об'ємними тілами та пальовими елементами й оцінено її достовірність порівнянням з величинами осідань натурних об'єктів.

Визначено вплив на НДС армованих вертикальними ГЦЕ за бурозмішувальною технологією основ стрічкових фундаментів цегляних будівель відсотка їх армування, характеристик ґрунту та режиму завантаження основи.

Результати досліджень використано при розробленні проєктів будівництва багатопверхового житлового будинку в м. Полтава, багатофункціонального торговельного комплексу в м. Запоріжжя, двох виробничих споруд у м. Горішні Плавні Полтавської області та в м. Ніжин Чернігівської області, а також при складанні одного з пунктів державного стандарту України та при викладанні навчальних дисциплін для підготовки магістрів зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

## **Аналіз змісту та завершеності дисертації**

Дисертація Р.В. Раздуга містить вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел зі 163 назв, з яких 106 англійською мовою, та два додатки. Загальний обсяг роботи становить 194 стор., з яких 118 стор. основного тексту, 18 стор. списку використаних джерел і 11 стор. додатків. При цьому основна частина містить 81 рисунок і 20 таблиць.

Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним і повною мірою відображає зміст дисертації і в достатній мірі висвітлює її основні результати та висновки.

У вступі ґрунтовно викладено актуальність теми, науково сформульовано мету, яка відповідає обраній темі та розкрита у завданнях, викладено об'єкт і предмет дослідження, публікації та апробацію наукових розробок.

**У розділі 1** проаналізовано проблематику проектування та експлуатації будівель і споруд на армованих ґрунтоцементом слабких основах, особливості методів їх покращення. Визначено переваги й недоліки нормативних методів розрахунку деформацій системи «ґрунтоцементна основа – фундамент – споруда». Узагальнено плюси і мінуси чисельних методів оцінювання НДС цієї системи. Доведено, що нормативні методи не повною мірою враховують особливості виготовлення ГЦЕ, їх взаємодію між собою у групі та з навколишнім ґрунтом. Методи, реалізовані в програмних комплексах для оцінювання НДС цієї системи при використанні ГЦЕ, потребують апробації шляхом порівняння результатів моделювання з даними натурних спостережень.

З цього аналізу органічно витікають мета, задачі, об'єкт і предмет, а також методи досліджень. Розглянуті джерела інформації вважаю достатніми. Принципових зауважень з аналізу немає.

**У розділі 2** подано результати лоткових досліджень армованих вертикальними ГЦЕ основ під жорстким стрічковим штампом. Випробування виконано за планом одночинникового експерименту з варіюванням відсотку вертикального армування ґрунтової основи 0; 2,1; 4,4 і 7,1% при діаметрі поперечного перерізу елементу 5 мм і щільності скелета ґрунту  $\rho_d = 1,45 \text{ г/см}^3$ .

Викладено графіки статичних штампових випробувань при усіх відсотках армування основи із розвитком осідань у часі та з впливом розвантаження. Проаналізовано графіки залежності осідань основи штампу від тиску на неї.

Встановлено, що при заданих параметрах ґрунтової основи та висоти армування величини першого та другого критичних тисків системи «армована основа – жорсткий штамп» зростають залежно від відсотка за лінійною залежністю. Апроксимовано емпіричні залежності значень першого та другого критичних тисків на основу в залежності від відсотку її армування.

**У розділі 3** розглянуто результати геодезичних натурних спостережень за багатопверховими цегляними будівлями зі стрічковими фундаментами на армованих ГЦЕ основах. Описано інженерно-геологічні умови майданчику, конструктивно-технологічні рішення основ і фундаментів будівлі, її надземної частини, принципи влаштування та розміщення осадкових марок.

Отримано дослідні дані розвитку фактичних деформацій слабких основ, армованих вертикальними ГЦЕ, у часі. Приведено графіки розвитку мінімальних, максимальних і середніх осідань марок у часі, суміщені з графіками зведення та експлуатації будівлі. Наведено величини стабілізованих абсолютних і відносних осідань, епюри осідань марок. Проаналізовано дані натурного експерименту, зокрема, частку осідань за періоди зведення та експлуатації. Підтверджено ефективність застосування ГЦЕ за умов слабких ґрунтів.

**У розділі 4** наведено методику та результати тестового моделювання лоткових досліджень МСЕ. Зокрема, проведено моделювання МСЕ у 3D постановці з використанням ідеальної пружно-пластичної моделі ґрунту з критерієм міцності Мора-Кулона та моделі ізотропного ущільнення ґрунту. Проведено моделювання основ без армування ГЦЕ та при різному відсотку армування з глибиною елементів 100 мм при діаметрі елементів 6 мм із варіюванням значення відсотка армування.

Виконано два варіанти розрахунку, базуючись на методі задання ГЦЕ: перший – з моделюванням об'ємними елементами та постадійним заданням виймання ґрунту, заповнення свердловин ґрунтоцементом, влаштування подушки, штампу й поступовим навантаження; другий – з моделюванням пальовими елементами із постадійним заданням стадій улаштування паль і прикладення навантаження.

Отримано залежності осідань основи штампa від тиску на основу за різними моделями поведінки ґрунту та ГЦЕ. Наведено графіки осідань за обома розрахунковими моделями (обома варіантами задання ГЦЕ) для неармованої основи штампa та варіативних параметрів армованої основи. Встановлено величини першого та другого критичних тисків на основу. Наведено графіки осідань від тиску, перерізи із візуалізацією деформацій основи.

Подано вихідні дані та методики моделювання НДС системи «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля» із заданням коефіцієнтів жорсткості основи. Візуалізовано просторові схеми конструкцій системи. Наведено алгоритм визначення коефіцієнтів жорсткості основи, коефіцієнтів жорсткості елементів армування. Отримано нові дослідні дані про

зміну НДС системи. Моделюванням та розрахунком МСЕ у 3D постановці з використанням пружно-пластичної моделі ґрунту Мора-Кулона досліджено розвиток деформацій у разі зведення будівлі на природній основі, за наявності шарів слабких глинистих ґрунтів і порівняно з моделюванням основи, армованої вертикальними ГЦЕ.

Встановлено, що модель поведінки ґрунту ізотропного ущільнення (зміцнення) HSM показує доволі точне співпадіння графіків осідання від тиску, як для моделювання об'ємними елементами, так і для пальовими елементами, тоді як ідеально пружно-пластична модель ґрунту Мора-Кулона завищує осідання, а моделювання елементів армування об'ємними тілами коректніше описує розподіл осідань ґрунту в масиві, як в пружній, так і в пластичній стадії роботи ґрунту. Після переходу з пружної до пластичної поведінки ґрунту моделювання пальовими елементами завищує несучу здатність основи при застосуванні ГЦЕ, а використання моделі Мора-Кулона не дає різниці для пружної частини графіку при застосуванні різних процентів армування.

У розділі 5 проведено порівняльний аналіз аналітичних і чисельних методів визначення осідань основи. Наведено наочні порівняльні графіки. Подано інформацію про впровадження результатів роботи. Визначено найбільш точні методи прогнозування осідань системи «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля», найбільш раціональні способи задання вертикальних ГЦЕ.

У дисертаційній роботі відсутні ознаки порушення академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело.

Слід додатково відзначити, що дисертація охайно оформлена, добре проілюстрована. Значний статистичний матеріал здобувач представив у вигляді компактних таблиць і графіків. Загальні висновки до дисертації логічні, короткі й у цілому відповідають пунктам наукової новизни.

Автор продемонстрував високий рівень володіння математичним апаратом МСЕ для нелінійних задач механіки ґрунтів, знання моделей ґрунту, здатність

самостійно планувати, проводити лоткові, натурні і чисельні експерименти й обробляти їх результати, аналізувати та представляти їх тощо.

### **Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях**

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 18 наукових роботах, у т. ч.: 1 статті у виданні, включеному до міжнародної наукометричної бази Scopus; 5 статтях у фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України категорії «Б»; 2 статтях у закордонних виданнях; 10 працях і тезах у збірниках за матеріалами конференцій.

Праці Р.В. Раздуга відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167. Наведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня, де доповідалися основні положення та результати досліджень.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації**

Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід вказати на певні дискусійні положення та зауваження, зокрема:

1. Для вибору оптимальної глибини армування ГЦЕ, крім ширини підшви фундаменту, слід було б розглядати вплив стисливої товщі під підшвою фундаменту, яка також пов'язана з інтенсивністю тиску під підшвою.

2. «Удосконалено загальний підхід до 3D моделювання ...» не є науковою новизною, а відноситься до практичної цінності роботи.

3. У Розділі 1 слід було сконцентрувати увагу на слабких ґрунтах та й не відволікатися на інші складні умови, які не розглядаються у дисертаційному дослідженні.

4. У аналітичному Розділі 1 не розглянуто роботи проф. Мірсаяпова І.Т., який багато років займається дослідженнями НДС армованих ґрунтових основ та розробкою методик їх розрахунку.

5. У Розділі 4 проведені чисельні дослідження, тому розділ повинен мати більш коректну назву, а не «Теоретичні дослідження...».

6. За текстом доволі часто зустрічаються некоректне застосування понять: «спосіб» і «метод».
7. У табл. 4.1-4.2 не вказано коефіцієнт Пуассона ГЦЕ.
8. Слід було б розглянути плоску задачу для стрічкового фундаменту при чисельних дослідженнях та її результати порівняти з НДС систем у просторовій постановці.
9. Розгляд та порівняння впливу моделей Фусса-Вінклера чи Пастернака на НДС систем взагалі не актуально за можливостей моделювання у сучасних розрахункових комплексах суцільних моделей ґрунтових основ.

### **Загальний висновок**

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дослідження Раздуга Р.В. «Напружено-деформований стан системи «ґрунтоцементна основа – фундамент – будівля» є завершеним самостійним науковим дослідженням. Вирішена конкретна наукова задача з удосконалення загального підходу до моделювання та розрахунків слабких ґрунтових основ, що армовані вертикальними ґрунтоцементними елементами у системі «ґрунтоцементна основа – стрічковий фундамент – будівля» з урахуванням коефіцієнту та глибини армування масиву, особливостей використання розрахункових моделей ґрунту і способів моделювання ґрунтоцементних елементів, що має важливе народногосподарче значення для підвищення надійності й економічності проектування основ і фундаментів будівель і споруд у складних інженерно-геологічних умовах, наукове значення для розвитку теорії та практики будівництва на слабких ґрунтах, механіки ґрунтів і фундаментобудування.

Вказані зауваження не змінюють загального позитивного враження від дисертації. У роботі відсутні порушення академічної доброчесності.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їх практичного значення дисертація «Напружено-деформований стан системи «ґрунтоцементна основа – фундамент – будівля» є закінченою роботою, містить наукову новизну,



має теоретичне та практичне значення, розв'язані в роботі задачі мають істотне значення для будівельної галузі знань і відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) і «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а її автор Раздуй Роман Вячеславович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри геотехніки,  
підземних споруд та гідротехнічного  
будівництва Харківського національного  
університету міського господарства  
імені О.М. Бекетова

Олександр САМОРОДОВ

Підпис д.т.н., професора

Самородова Олександра «засвідчую»:

