

## ВІДГУК

офіційного опонента Власюка Анатолія Павловича, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедрою економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія»  
по дисертації **Берчуна Ярослава Олександровича**  
**«Математичне та експериментальне моделювання протяжних систем»,**  
представленої  
на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 11 - «Математика та статистика» за спеціальністю 113 - «Прикладна математика»

## АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРАНОЇ ТЕМИ

Необхідність побудови нових математичних моделей протяжних систем (ПС) і коректних швидкодіючих обчислювальних алгоритмів їх реалізації зумовлена широким їх використанням як необхідних елементів підвісних канатних доріг, шахтних підйомників, кранового устаткування, систем заякорення і буксирування в космосі, водному й повітряному середовищах, морських і океанічних бурових платформ, систем видобутку корисних копалин з дна океану. Недостатня розробленість нелінійних хвильових динамічних математичних моделей залізобетонних паль (ЗП), чисельних методів розрахунку напружено-деформованого стану (НДС) протизсувних споруд (ПЗС) та ЗП призводить до того, що вимоги будівельних норм не завжди виконуються, адже вкрай обмеженими є можливості експериментальних приладів визначення технічного стану ПЗС та ЗП, алгоритми роботи яких базуються на математичних моделях досліджуваних будівельних конструкцій та матеріалів, з яких вони виготовлені. Обмежені можливості коректного розрахунку запасу стійкості ПЗС та ЗП, математичного моделювання різних сценаріїв активізації геодинамічних процесів та оцінки відповідної реакції будівельних конструкцій на цю активізацію. Як наслідок, кількість зсувних аварій та катастроф будівельних конструкцій та споруд, основу яких складають ПС, постійно збільшується разом з відповідними навантаженнями на бюджети різних рівнів.

Тому **розробка нових та вдосконалення існуючих математичних моделей та методів розрахунку ПС** – актуальна задача математичного моделювання та обчислювальних методів.

Сказане обґрунтовує актуальність і своєчасність досліджень автора. Вони виконані відповідно до робіт, які є складовою частиною досліджень, що проводилися Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України в межах науково-дослідної роботи «Дослідження асиміляційного потенціалу поверхневих вод, геологічного середовища та приземної атмосфери в умовах техногенезу» (№ ДР 0113U004982) та увійшли до звітів декількох тем, зареєстрованих в УкрІНТЕІ. Окремі дослідження виконувалися в рамках науково-дослідних робіт з розробки Настанови (державного будівельного нормативного документу України) ДСТУ-



Н Б В.1.2-17:2016 сумісно з Державним підприємством “Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій”.

## **СТУПІНЬ ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ ТА ВИСНОВКІВ, СФОРМУЛЬОВАНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ**

Обґрунтування наукових положень дисертації витікає з проведеного аналізу сучасного стану науково-технічної та нормативної літератури, чіткого формулювання задач досліджень, постановки натурних і чисельних дослідів зі статистичною обробкою їх результатів, використання апробованих апаратів математичного аналізу та моделювання, класичної і нелінійної механіки будівельних конструкцій, сучасних методів розв’язання динамічних задач методами скінченних елементів (МСЕ) та скінченних різниць (МСР) у нелінійній постановці з використанням сучасних методів та мов програмування, а також порівняння результатів аналітичних, чисельних і власних експериментальних досліджень. Все це дозволило дисертанту *обґрунтувати та розробити* фізично та геометрично нелінійну чотирьохмодову математичну модель розповсюдження хвильових процесів в ПС, розглянути її коректність; *обґрунтувати та розробити* алгоритми і прикладні програми для аналізу динамічного НДС ПС, метод розпаралелюваних обчислень багатохвильової динаміки ПС та *довести* його ефективність; *провести* математичне моделювання розповсюдження пружних та згинальних хвиль в ЗП для обґрунтування можливості ідентифікації та інтерпретації різного типу дефектів її стовбуру; *виконати математичне моделювання та експериментальне діагностування* технічного стану (ТС) ПЗС в умовах динамічних навантажень; *провести* моніторингові дослідження улаштування ЗП довжиною 40 м на зсувонебезпечній ділянці зі значним перепадом висот в м. Києві та в якості співавтора *взяти участь у розробці нового нормативного документу* «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд: ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016» (Накази Мінрегіону № 185 від 24.04.2016, введена в дію в будівельній галузі України з 01.04.2017). Результати дисертаційного дослідження за розділом 4 були впроваджені в будівельній компанії «НЕСТ» на будівництві багатоповерхової будівлі в складних ґрунтових умовах м. Києва.

Наукові висновки органічно витікають з проведених експериментальних, теоретичних та чисельних досліджень. Їх порівняння підтвердило достатню відповідність дослідних даних їх розрахунковим моделям та величинам. Це дозволило здобувачу вдосконалити теоретико-методичні засади діагностики ЗП у ґрунті з можливістю визначення дефектів, які складають 30% і більше площі поперечного перерізу палі в найвужчому місці дефектного відрізка, що за своїми загальними положеннями відповідає вимогам ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків» та ДСТУ-Н Б.В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд».

Повний об’єм дисертації становить 179 стор. і містить 130 стор. основного тексту, 44 рис., 17 таблиць, список використаних джерел зі 221 найменувань, 2 додатки на 7 стор. Автореферат дисертації містить 20 стор.



## ДОСТОВІРНІСТЬ І НАУКОВА НОВИЗНА ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Достовірність отриманих дисертантом результатів досліджень забезпечується: коректністю і строгістю постановок задач та їх математичних моделей; застосуванням теоретично обґрунтованих і добре апробованих сучасних чисельних методів МСЕ та МСР реалізації розроблених в роботі математичних моделей; використанні відомих раніше рішень класичної та нелінійної динаміки стрижнів; науково обґрунтованій методиці планування чисельного та натурального експериментів, їх ретельному проведенні з обробкою даних відомими методами математичної статистики; паралельному визначенні розрахункових характеристик експериментальним і аналітичним шляхом; а також порівнянні теоретичних даних з результатами експериментів, у т. ч. виконаних іншими дослідниками тощо.

Наукова новизна досліджень полягає у тому, що:

- *Вперше* розроблена фізично та геометрично нелінійна гіперболічна чотирьохмодова математична модель ПС та *доведено* її коректність для окремих випадків.

- *Вперше* розроблено метод, алгоритм і прикладну програму розпаралелюваних обчислень за швидкостями розповсюдження хвиль динаміки ПС та *доведено* їхню ефективність.

- *Дістало подальшого розвитку* математичне моделювання НДС ЗП та ПЗС в умовах розподілених та концентрованих динамічних впливів різної інтенсивності та величини.

- *Дістали подальшого розвитку* експериментальні моніторингові дослідження улаштування ЗП довжиною 40 м на зсувонебезпечній будівельній ділянці в м. Києві та ПЗС Львівської залізниці.

Такі дослідження виконані вперше. Висновки з них підтверджуються й даними інших дослідників і одночасно дають можливість використати отримані результати для діагностики ТС ЗП.

## ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

За темою дисертації опубліковано 15 наукових праць, зокрема 6 статей у наукових фахових виданнях України (причому це збірники різних установ у різних містах країни), з яких 7 статей – в спеціалізованих виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 5 статей – у збірниках наукових праць за матеріалами міжнародних конференцій (одна з них – англійською мовою). **Видані матеріали достатньо повно висвітлюють основні положення роботи.**



## ІДЕНТИЧНІСТЬ АВТОРЕФЕРАТУ ОСНОВНИМ ПОЛОЖЕННЯМ ДИСЕРТАЦІЇ

Автореферат складено державною мовою. Його написано на високому науково-методичному рівні. Він містить необхідні ілюстрації та табличні дані для достатнього сприйняття результатів досліджень і повністю віддзеркалює сутність досліджень. Автореферат відповідає змісту дисертації.

### АНАЛІЗ ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертація містить вступ, 4 розділи і висновки.

1. *Аналітичний огляд* (розділ 1) присвячено короткому критичному аналізу публікацій з чисельних методів моделювання, математичних моделей та експериментально-теоретичних наробок сучасного стану дослідження ПС. З огляду органічно витікають мета, задачі, об'єкт і предмет, а також методи досліджень. Розглянуті джерела інформації загалом вважаю достатніми. Принципових зауважень щодо огляду немає.

2. *Математичні моделі ПС та їх тестування* (розділ 2). Автором окреслено мету побудови чотирьоххвильової моделі ПС, що описує шість мод чотирьох типів: поздовжню, крутильну, конфігураційні (поперечні; дві) і згинальні (дві). Розглянуто виведення трьохмодової моделі нелінійної динаміки поздовжньо деформованої ПС. Вона враховує поздовжні і конфігураційні (дві) хвилі в напрямку нормалі і бінормалі, а також хвилю «крутіння». Розглянуто доказ теореми про коректність задачі Коші для отриманих моделей ПС і особливості застосування МСР для вирішення нелінійних динамічних задач з визначення нестационарного НДС ПС у просторі та ЗП в ґрунті. Побудовано метод розпаралелювання при обчисленні багатохвильової динаміки ПС. Досліджено монотонізацію 3D-задач динаміки ПС за допомогою розпаралелювання за типами хвиль та хвильовими швидкостями.

3. *Чисельне моделювання НДС ПС МСР та МСЕ* (розділ 3). Цей розділ логічно пов'язаний з попереднім. Зокрема автором проведено чисельне моделювання згинальних та зсувних хвиль у палях при поперечному ударі по торцю. Виконано розрахунки НДС ПЗС в програмному комплексі LIRA на базі МСЕ. Варто відзначити високий науково-методичний рівень математичного моделювання. Об'єм чисельних досліджень та отриманих результатів розрахунків вважаю достатнім для зроблених автором висновків. Чисельне моделювання (розділ 3) виконане на гідному рівні і, безумовно, є науковим внеском у задачу діагностики ТС ЗП та ПЗС.

4. *Впровадження результатів дисертації* (розділ 4). Автором розглянуто нормативну і методологічну базу створення систем моніторингу будівельних конструкцій. На її основі виконано моніторинг вібрації несучих конструкцій житлового будинку за адресою вул. Пимоненка, 14 в м. Києві при виконанні буронабивних паль  $\varnothing 820$  мм. Наведено результати експериментальних вібродинамічних досліджень ПЗС, що за загальною концепцією логічно



пов'язані з попереднім розділом дисертації (чисельними розрахунками та математичним моделюванням тої самої ПЗС з розділу 3.3 частини 3 дисертації).

Основні результати досліджень враховано при складанні державних будівельних норм ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016 «Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд». Результати досліджень за розділом 4 були впроваджені в будівельній компанії «НЕСТ» на будівництві багатоповерхової будівлі в складних ґрунтових умовах м. Києва. Все це підтверджено відповідними довідками.

Загальні висновки логічні й відповідають пунктам наукової новизни.

Варто додатково відзначити, що як дисертація, так і автореферат охайно оформлені, добре проілюстровані. Значний розрахунковий та експериментальний статистичний матеріал здобувач представив у вигляді компактних таблиць і графіків. Дисертант достатньо чітко формулює висновки в кінці розділів і роботи взагалі. Дисертація виконана на високому науково-методичному рівні й носить комплексний характер. Наявні як натурний, так і чисельний експерименти, що логічно пов'язані між собою.

Автор продемонстрував високий рівень володіння апаратом нелінійних рівнянь математичної фізики, задачами динаміки розподілених ПС та будівельних конструкцій, здатність самостійно планувати, проводити натурний і чисельний експерименти й обробляти їх результати, аналізувати та представляти їх тощо. Результати досліджень апробовані на міжнародних і державних конференціях.

### **ЗАУВАЖЕННЯ ДО РОБОТИ**

1. Ви розглядаєте чотирьоххвильову нелінійну модель. Чому саме чотирьоххвильову? Чому не трьох-, не п'яти-, чому Ви вирішили, що чотири – це саме те, що вам треба винести на захист? Ви наводите приклад однохвильової, двоххвильової, а далі - чотирьоххвильові моделі. Чому саме чотири?
2. Навіщо розглядати гіперболічність моделей протяжних систем? Як це пов'язано зі скінченно-різницевиими схемами?
3. Як впливає складність математичних моделей на можливість діагностики дефектів у палях?
4. Навіщо Ви довели теорему Коші для математичних моделей ПС?
5. У чому полягає різниця між застосуванням методів скінченних різниць та скінченних елементів до протяжних систем?
6. В авторефераті та в дисертації на деяких спектрах сигналів відсутні розмірності по осях.

### **ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА РОБОТИ**

1. Розглянута дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому одержані нові науково обґрунтовані результати. Вирішена конкретна



наукова задача: розроблені нові математичні моделі, чисельні алгоритми та прикладне програмне забезпечення для дослідження складного напружено-деформованого стану розподілених ПС при постійно діючих природних та техногенних динамічних навантаженнях у полі масових та поверхневих сил.

2. Дисертація написана чітко і в стислій формі висвітлює всі частини виконаного дослідження. Поставлені мета і задачі виконані повністю, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів не викликає сумнівів. Структура, обсяг й оформлення дисертації відповідають вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

3. Автореферат і видані здобувачем роботи достатньо повно висвітлюють основні результати проведених досліджень.

4. Висловлені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертації в цілому та не применшують її здобутків. Вона відповідає спеціальності 113 – «Прикладна математика».

5. Судячи зі змісту дисертації, Берчун Я.О. виявив себе, як ерудований висококваліфікований спеціаліст в галузі знань 11 – «Математика і статистика» за спеціальністю 113 – «Прикладна математика», що впевнено володіє як теоретичними, так і практичними методами досліджень, зокрема, математичного моделювання розглядуваних процесів, сучасними чисельними методами їх дослідження (МСЕ, МСР), проведенням чисельних експериментів, впровадженням власних розробок у практику.

6. Дисертація відповідає діючим вимогам стосовно кандидатських дисертацій (пункти 11, 12, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань») та вимогам МОН України, а здобувач **Берчун Ярослав Олександрович** заслуговує надання йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика».

### Офіційний опонент:

Завідувач кафедри  
економіко-математичного моделювання  
та інформаційних технологій  
Національного університету «Острозька академія»  
доктор технічних наук, професор



А. П. Власюк



*Людмила Власюк А.П.  
підтверджую інспектор  
з кадрів На У.О.А.*

*Савчук Н.П.*