

## ДО 100-РІЧЧЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

УДК 519.2, 519.6, 519.8

**О.М. ТРОФИМЧУК, М.Л. МИРОНЦОВ**

### СУЧАСНІ ДИСЕРТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНСТИТУТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ: МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

***Анотація.** Наведено основні теоретичні і практичні результати, що увійшли в дисертаційні дослідження, які були успішно захищені працівниками (або під їх науковим керівництвом) Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Матеріал подано у вигляді анотаційного узагальнення основних наукових друкованих праць у періодичних міжнародних та вітчизняних фахових виданнях, монографіях, матеріалах наукових конференцій та авторських свідоцтв.*

***Ключові слова:** математичне моделювання, обчислювальні методи, основи і фундаменти.*

#### **Вступ**

Цього року виповнюється 100 років Національній академії наук України.

Сто років тому, 27 листопада 1918 р., Загальними зборами Української АН було обрано свого першого Президента – видатного вченого В.І. Вернадського [1].

Це перша з трьох статей, задача яких – відмітити цю історичну дату, згадавши найбільш важливі результати, що увійшли до дисертаційних досліджень, які були успішно захищені безпосередньо співробітниками Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГІП НАНУ) або були захищені під їх науковим керівництвом з моменту створення Спеціалізованої Вченої Ради Д 26.255.01 (при ІТГІП НАНУ).

Мета першої статті: викладення основних результатів за спеціальностями «01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи» (три докторські та шість кандидатських робіт) і «05.23.02 – основи і фундаменти» (одна докторська робота). У наступних статтях буде висвітлено результати досліджень за спеціальностями «05.13.06 – інформаційні технології» та «21.06.01 – екологічна безпека».

Окремо зазначимо, що майже всі наведені нижче результати доповідались на щорічних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» [2–5], головним організатором яких є ІТГП НАНУ.

## 1. Основні результати

**Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками** (2017, на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант чл.-кор. НАН України, д.т.н. **О.М. Трофимчук**).

Робота **В.О. Васяніна** [6] (докторант ІТГП у 2012–2017 рр.) присвячена підвищенню ефективності функціонування багатопродуктових транспортних мереж за рахунок зниження дефіцитних матеріальних, сировинних, енергетичних, фінансових і трудових витрат на основі запропонованої методології моделювання та проектування процесів обробки і розподілу дрібнопартійних дискретних потоків і комплексу заходів інформаційно-аналітичного забезпечення та автоматизації процедур прийняття рішень в управлінні транспортними потоками.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [3, с. 64–70; 7–17]:

1. Розроблено теоретичні та методологічні основи побудови та аналізу функціонування багатопродуктових ієрархічних мереж з дискретними параметрами і дрібнопартійними дискретними потоками кореспонденцій, в тому числі: концепції, принципи та критерії обробки і розподілу потоків, методологія синтезу та аналізу багаторівневої структури мережі. Визначено основні принципи та технологію організації сортування і транспортування потоків у зонально-вузловій структурі мережі. На відміну від існуючих підходів, запропонована методологія ґрунтується на комплексному вирішенні завдань довгострокового, поточного і оперативного планування та управління і дозволяє логічно пов'язати процеси обробки потоків у вузлах мережі з їх подальшим розподілом у мережі та доставкою одержувачам і при заданих обмеженнях підвищити економічну ефективність функціонування і розвитку транспортної системи в цілому за рахунок зниження приведених витрат у вузлах і на транспортних маршрутах.

2. Для управління нелінійними і нестационарними процесами обробки і розподілу потоків у мережі запропоновано концептуальний підхід до побудови багаторівневої інформаційно-аналітичної системи прийняття рішень, яка оснований на технологіях обробки просторових даних і геоінформаційних систем та функціонує в режимі реального часу.

3. Визначено основні задачі поточного планування, що становлять методологічну основу – ядро для вирішення завдань оперативного управління процесами обробки і розподілу потоків, а також для вирішення завдань перспективного розвитку мережі. Показано взаємозв'язок завдань поточного планування із завданнями оперативного управління і перспективного розвитку.

4. Запропоновано основні принципи та схеми організації перевезень у внутрішніх зонах магістральних вузлів і визначені технічні та економічні особливості реальних транспортних процесів обробки і транспортування дрібнопартійних вантажів, які повинні бути враховані при формуванні цільових функцій математичних моделей задач маршрутизації на рівнях

довгострокового і поточного планування та оперативного управління. На підставі проведеного огляду і аналізу відомих математичних моделей розроблено кілька варіантів математичної постановки задачі проектування постачальних, складальних і комбінованих маршрутів транспортних засобів для перевезення дрібнопартійних вантажів.

5. На підставі доведених тверджень запропоновано спосіб та ефективні алгоритми побудови довідкової матриці об'єднання дрібнопартійних потоків, що дозволяє визначати вузли об'єднання і об'єднані потоки для всіх пар вузлів, що кореспондуються в багатопродуктовій мережі. Доведена NP-повнота задачі оптимізації упаковки, яка використовується при сортуванні, та упаковки дрібнопартійних вантажів у контейнери у транспортних мережах або об'єднанні повідомлень у віртуальні контейнери в мережах передачі даних. Розроблено метод та ряд евристичних алгоритмів розв'язання задачі оптимізації упаковки. Отримано оцінки часової складності алгоритмів. Проведені експериментальні дослідження розроблених алгоритмів довели їх обчислювальну ефективність при розв'язанні практичних задач на мережах великої розмірності.

6. Доведено, що на етапі розв'язання задачі упаковки немає необхідності розв'язувати дискретну задачу вибору пропускних спроможностей дуг, а нелінійна функція транспортних витрат може бути замінена функцією питомої вартості транспортування блоків від відстані і вантажопідйомності транспортних засобів або пропускної здатності ліній зв'язку. Це доводять результати числового моделювання. Показано, що задача вибору пропускних спроможностей може бути розв'язана незалежно після розв'язання задачі упаковки і використовуватися при розв'язанні задачі розподілу і маршрутизації транспортних блоків.

7. Доведено, що задача вибору пропускних спроможностей дуг, сформульована як задача розпізнавання, є NP-повною. Наведено поліноміальне перетворення вихідної постановки задачі до задачі про ранець з мультिवибором і булевими змінними, для розв'язання якої запропоновано два псевдополіноміальних алгоритми, заснованих на апроксимації дискретних функцій витрат лінійними та на методі послідовного аналізу варіантів.

8. Запропоновано математичну модель і евристичний метод вирішення задачі вибору ієрархічної структури магістральної мережі, заснований на застосуванні алгоритмів упаковки і розподілу потоків у зональних мережах. Експериментально показано, що вибір структури мережі слабо залежить від пропускних здатностей її дуг і їх можна не враховувати при розв'язанні задачі.

9. Отримала подальший розвиток математична модель задачі розподілу і маршрутизації потоків транспортних блоків з упакованими дрібнопартійними кореспонденціями. Запропоновано метод зведення розв'язання вихідної нелінійної багатоекстремальної дискретної задачі до послідовного розв'язання деякої сукупності лінійних багатовимірних задач про ранець зі зв'язуючими обмеженнями і обмеженнями на час доставки дрібнопартійних кореспонденцій одержувачу і середній час затримки потоків. На основі ефективних структур представлення даних розроблено методи та поліноміальні за складністю алгоритми розв'язання перетвореної задачі, які можуть працювати в інтерактивному режимі і допускають

можливість параметричного завдання правих частин всіх обмежень і їх ослаблення у процесі розв'язування за неможливості розподілу потоків. Отримано оцінки часової складності алгоритмів. Доведено, що при формулюванні початкової задачі у вигляді задачі із заданими тарифами на дугах і у вузлах, вона може бути за поліноміальний час перетворена до задачі цілочислового лінійного програмування, для розв'язання якої можна застосовувати відомі методи і пакети програм цілочислового програмування.

10. Розроблена поліпшена версія раніше запропонованого автором алгоритму побудови всіх найкоротших шляхів у мережі за лексикографічним критерієм: мінімум дуг в шляху; мінімум довжини шляху. Доведено, що час роботи нового алгоритму може бути скорочено за рахунок застосування абстрактних типів даних і зменшення перегляду вузлів у внутрішніх циклах. Емпірично показано, що покращений алгоритм на розріджених мережах працює швидше раніше запропонованого і при збільшенні щільності мережі на кілька порядків перевищує за швидкістю роботи алгоритм Флойда, модифікований для побудови двокритеріальних шляхів.

11. Розроблена ефективна реалізація алгоритму Краскала для знаходження кістякового дерева мінімальної (максимальної) ваги для зв'язного неорієнтованого графа з практичною часовою складністю  $O(e)$ , де  $e$  – кількість ребер графа. На підставі проведених експериментальних досліджень отримана оцінка порівнянності швидкодії запропонованого алгоритму з алгоритмом Прима, з якої випливає, що для зв'язних графів запропонований алгоритм краще алгоритму Прима при  $e \leq 0.27v^2$ , де  $v$  – кількість вершин графа. Експериментальне порівняння швидкодії алгоритму Краскала із списковою і деревовидною структурою даних показало, що алгоритми із списковою структурою на практиці працюють швидше, ніж алгоритми з деревовидною структурою як на зв'язних, так і на незв'язних графах.

12. Запропоновано методика отримання вихідних даних для побудови динамічних моделей поетапного розвитку вузлів і транспортних маршрутів магістральної мережі, яка заснована на розв'язанні задач поточного планування. Розроблено методика та схему прийняття оперативних рішень у інформаційно-аналітичній системі підтримки прийняття рішень щодо стабілізації роботи магістральної мережі при перерозподілі потоків у випадках введення директивних обмежень на ієрархічну структуру і ресурси мережі, відмови окремих вузлів і ліній зв'язку, непередбачуваних ситуацій і стихійних лих.

**Чисельне моделювання руху поверхневих і ґрунтових потоків та їх взаємодія на території водозбору** (на здобуття наукового ступеня д.ф.-м.н.; науковий консультант чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук).

Робота П.С. Венгерського [18] присвячена побудові і дослідженню математичних моделей стоку води з поверхні водозбору у гідродинамічному та кінематичному наближеннях і ґрунтової води при плановій фільтрації та гідравлічному підході; створенню сумісної моделі взаємодії поверхневих і ґрунтових вод; формулюванню початково-крайових і варіаційних задач; обґрунтуванню стійкості і збіжності розроблених рекурентних схем; розробці нових ефективних інтервальних ітераційних методів розв'язання систем проєкційних рівнянь; апробації алгоритмів розроблених методів на тестових прикладах; застосуванні новітніх геоінформаційних технологій для збору і візуалізації даних досліджень.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [4, с. 210–211; 19–25]:

1. Виходячи із загальних законів збереження кількості руху і маси шляхом їхнього усереднення за глибиною потоку та збереження усіх складових тензора напружень в рівняннях руху, запропоновано і обґрунтовано математичні моделі поверхневого стоку мілкої води у гідродинамічному підході і в наближенні кінематичної хвилі. Узагальнені і уточнені постановки початково-крайових та варіаційних задач.

2. Розроблено стабілізаційну схему методу скінченних елементів для дискретизованої в часі задачі поверхневого стоку у гідродинамічному наближенні при великих значеннях чисел Рейнольдса, яка базується на використанні функцій-бульбашок та методу найменших квадратів. Отримано верхню оцінку стабілізаційного множника цієї схеми для розв'язання варіаційної задачі рівнянь Нав'є – Стокса.

3. Виведено систему основних рівнянь фільтрації ґрунтової води із загальних законів збереження енергії, маси і стану рідини відносно невідомого вектора швидкості і густини потоку. Сформульовано постановки початково-крайової та варіаційної задач.

4. Розроблено уточнені постановки початково-крайових та варіаційних задач фільтрації ґрунтової води, виходячи з рівняння Бусинеска. Показано і обґрунтовано постановку задачі у випадку залежності коефіцієнта фільтрації від невідомої величини п'єзометричного тиску. Проведено лінеаризацію дискретизованої задачі в часі і використано ефективні методи для розв'язування системи проєкційних рівнянь.

5. Побудовано математичну модель сумісного руху поверхневих і ґрунтових вод. Для опису руху поверхневих потоків використано узагальнені рівняння Нав'є – Стокса і для ґрунтових – рівняння, виведені з гідравлічного підходу. Такий підхід дає змогу прийняти однакові гіпотези для спільного потоку. Враховуючи закони механіки суцільного середовища, з варіаційної постановки задачі виведено умови взаємодії поверхневої і ґрунтової води через спільну границю областей.

6. Розроблені чисельні схеми з використанням трикутних скінченних елементів для дискретизації задачі поверхневого стоку води у гідродинамічному наближенні за просторовими змінними з використанням кусково-лінійних апроксимацій для розходів потоків і кусково-постійних – для глибини та однокрокових рекурентних схем інтегрування в часі.

7. Побудовано чисельну схему методу скінченних елементів для знаходження розв'язків задачі поверхневого стоку у наближенні кінематичної хвилі. Для цієї схеми вибирались кусково-лінійні апроксимації для невідомої величини глибини. Наведено застосування методу лінеаризації для зведення дискретизованої задачі за часом до системи лінійних рівнянь. Доведено коректність поставленої варіаційної задачі та збіжність чисельної схеми. Для розв'язання проєкційної системи нелінійних рівнянь показано використання інтервального ітераційного методу Рунге, який для початкового наближення використовує проміжки поділу за часом.

8. Досліджено стійкість інтервального часу ітераційного методу типу Рунге, зумовлену збуреннями оберненого оператора і вибором початкових операторів в його апроксимаціях. Побудовано і досліджено один клас двосторонніх рекурсивних ітераційних методів типу Рунге. Розроблено і

досліджено клас інтервальних методів для розв'язання систем рівнянь з домінуючою діагоналлю.

9. Проведено аналіз результатів чисельного розв'язування побудованих математичних моделей. Проведено апробацію на тестових прикладах чисельної схеми розв'язування задачі сумісного руху поверхневих і ґрунтових потоків води. Показано порівняння результатів розв'язку лінеаризованої задачі про кінематичну хвилю і знаходження розв'язку системи нелінійних рівнянь інтервальними ітераційними методами.

10. Розроблено геоінформаційну систему для збору даних про характеристики водних потоків на вибраній території. Показано використання розроблених алгоритмів для обчислення швидкостей та глибини потоків. Проведено візуалізацію результатів роботи програм на реальних річкових системах водозборів.

**Динамічні моделі статистичних експериментів, їх аналіз і моделювання** (2016, на здобуття наукового ступеня д.ф.-м.н.; науковий консультант **чл.-кор.** (з 2018 р. – **академік**) **НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий**).

Робота **Д.В. Королюка** (докторант ІТГП у 2013–2016 рр.) [27] присвячена визначенню і обґрунтуванню ймовірнісних і статистичних властивостей динамічних статистичних експериментів; аналізу їх асимптоти; побудові класифікації моделей статистичних експериментів та розв'язанню статистичних проблем оптимізації оцінок параметрів цих моделей.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [2, с. 143–148; 4, с. 72–75; 5, с. 13–18; 28–40]:

1. Введено поняття статистичних експериментів, що визначається усередненими сумами вибірових величин.

2. Досліджена асимптотична поведінка статистичних експериментів (СЕ), при необмеженому зростанні об'єму вибірки, з урахуванням наявності рівноважного стану, що визначається еквілібріумом функції регресії приростів.

3. Встановлено закон великих чисел для СЕ: збіжність з імовірністю 1 до рівноважного стану.

4. Отримана апроксимація флуктуацій СЕ процесом нормальної авторегресії.

5. Встановлена збіжність за розподілом СЕ у дискретно-неперервному часі при різних умовах на функції регресії приростів, зокрема в залежності від стану зовнішнього середовища, що описується марківським процесом.

6. Встановлені умови стаціонарності (у широкому сенсі) для бінарних і мультиваріантних СЕ.

7. Встановлена сильна спроможність, а також оптимальність апіорної оцінки параметра передбачувальної компоненти.

8. Встановлені чотири основні моделі СЕ, що характеризуються різними граничними поведінками траєкторій.

9. Доведено, що стаціонарні гаусівські СЕ, при додатковій умові марковості, задаються розв'язком різницевого стохастичного рівняння, зі стохастичною компонентою, що породжується гаусівським мартингалом.

10. Наведено застосування математичної моделі дискретної марківської дифузії (ДМД) для опису механізмів біологічних макромолекул взаємодій.

11. Статистичні оцінки параметрів моделі ДМД  $V$  і  $\sigma^2$  мають зручну форму як для реалізації обчислювальних процедур, так і для математичного опису механізмів колективних біологічних взаємодій. Представлена математична модель і її перевірка на модельованому наборі даних, отриманих на основі відомої моделі Стокса – Ейнштейна. Зокрема, чисельно згенеровані дані вимірювання сумішей частинок з двома значеннями коефіцієнта дифузії:  $D1 = 10 \mu m^2 / sec$  і  $D2 = 100 \mu m^2 / sec$ .

12. Запропоновані апріорні оцінки параметрів ДМД на змодельованих даних демонструють їх адекватність, в порівнянні з теоретичними параметрами, які використовуються в моделюванні.

13. При аналізі даних для змішування частинок з різними коефіцієнтами дифузії, теоретичні параметри моделі  $V$  (регресія) і  $\sigma^2$  (квадрат дисперсії стохастичної компоненти) мають квазілінійну дискримінаційну здатність до молярного визначення суміші фракцій.

**Динаміка фундаментів на складних основах** (2012; спеціальність 05.23.02 – основи і фундаменти; на здобуття наукового ступеня д.т.н.; науковий консультант **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **О.А. Савицького** [41] присвячена розробці і розвитку моделей системи “малозаглиблений фундамент – ґрунтова основа”, аналітичних і чисельних методів аналізу просторової динамічної взаємодії фундаментів з основою з урахуванням основних фізичних властивостей: пружності, інерційності, розповсюдження хвиль та загасання коливань у в'язкопружних, шаруватих, пористих пружних та пружнопластичних насичених рідиною середовищах, воді і елементах конструкцій та використанню запропонованих моделей і методів для розв'язку просторових задач динаміки системи “споруда – фундамент – ґрунт”, коливань вібротомашин і сейсмостійкості споруд.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [42–50]:

1. Вирішено науково-технічну проблему розрахунків динаміки системи “споруда – ґрунтова основа” на базі моделювання взаємодії малозаглиблених фундаментів з основою при врахуванні теоретичного розподілу динамічної складової контактних напружень під фундаментом.

2. Розвинуто метод ортогональних поліномів для розв'язку просторових динамічних контактних задач при моделюванні динамічної взаємодії малозаглиблених фундаментів з ґрунтовою основою. Метод відрізняється використанням аналітичних розв'язків для переміщень площадки границі моделі основи під фундаментом і врахуванням теоретичних особливостей розподілу контактних напружень і порового тиску, що забезпечує ефективність методу. Динамічна реакція основи споруди при дії зовнішніх навантажень та коливань надбудови враховується в будь-який момент часу.

3. Використано ускладнені по відношенню до пружного півпростору хвильові динамічні моделі ґрунтової основи: в'язкопружної горизонтально-шаруватої основи, пористопружного насиченого рідиною півпростору (модель М. Біо), пористопружнопластичного насиченого рідиною середовища.

4. Розроблено методики розрахунків для дослідження динаміки морських гравітаційних платформ при їхній взаємодії з ґрунтом і з навколишнім водним середовищем при сейсмічних та техногенних діях. Для моделі

циліндричної конструкції з круглим у плані фундаментом на пружному півпросторі під шаром води при горизонтально-обертальних, горизонтальних та вертикальних коливаннях споруди встановлено закономірності зміни по частоті та в часі переміщень і прискорень, реакції основи, гідродинамічної реакції при коливаннях циліндра, моменту в пружному стрижні (модель циліндричної надбудови) на рівні з'єднання надбудови з фундаментною плитою залежно від характеру динамічного навантаження, пружності основи, інерційних і деформівних властивостей циліндра й основи, висоти шару рідини. При усталених горизонтальних коливаннях помітні уточнення дає врахування взаємодії з шаром води, що значно змінює резонансну частоту, збільшує резонансні амплітуди коливань деформівного циліндричного корпусу. При збільшенні гнучкості циліндра вплив води збільшується. Збільшення маси циліндра зменшує переміщення. Шар води зменшує резонансну частоту та збільшує амплітуду коливань моменту у вправлянні стрижня у фундамент. Взаємодія з основою знижує прискорення підосви споруди відносно акселерограми площадки. Максимальні прискорення зменшуються зі збільшенням висоти шару води. Досліджено також зміну в часі переміщень та моменту при дії раптово прикладеної постійної горизонтальної сили на верх циліндра. Кількісні співвідношення встановлюються при розрахунках.

5. Виконано постановку задач про вертикальні і горизонтально-обертальні коливання жорсткого прямокутного в плані штамп на в'язкопружному горизонтально-шаруватому середовищі, отримано інтегральні рівняння відповідних динамічних контактних задач, які методом ортогональних поліномів зведені до систем нескінченних алгебраїчних рівнянь. Розроблено ефективні методики обчислення коефіцієнтів систем у вигляді невласних подвійних інтегралів від складних комплексних функцій.

6. Досліджено вертикальні і горизонтально-обертальні коливання штампа на в'язкопружному шаруватому середовищі при гармонічних та нестационарних діях. Розглянуто вплив механічних характеристик шаруватої основи на переміщення і прискорення штампа, реакції основи. Врахування в'язкості по моделі частотно-незалежного внутрішнього тертя забезпечує виконання умов випромінювання, значно спрощує обчислення подвійних інтегралів і проявляється у зниженні переміщень штампа і збільшенні модуля реакції на власних частотах системи та резонансних частотах шаруватої основи. Висота в'язкопружного шару, при якій при вертикальних коливаннях помітні резонанси, не перевищує 4-х ширин квадратного штампа. При горизонтальних сейсмічних коливаннях прояв ефектів шаруватості є незначним. Кількісні співвідношення встановлюються при розрахунках.

7. Виконано моделювання взаємодії вібростанини з шаруватою в'язкопружною ґрунтовою основою. Досліджено вплив маси вібростанини та шаруватості основи на амплітудно-частотні характеристики. Результати розрахунків вимушених усталених коливань системи штамп – в'язкопружний шар показують, що при збільшенні маси штампа власні частоти зменшуються, для масивного штампа характер коливань визначається в основному власною частотою системи, а при зменшенні маси штампа знижується прояв резонансів.

8. Підтверджено достовірність отриманих розрахункових результатів задовільною узгодженістю з експериментальними даними інших авторів для



усталених коливань вібротомашин (частоти з максимальною амплітудою переміщень) та вільних коливань масивних блоків на ґрунтовій основі (зміна горизонтальних переміщень в часі) і співпадінням з відомими аналітичними та чисельними результатами в граничних випадках.

9. Отримано аналітичні вирази для динамічних переміщень границі двофазного пористопружного насиченого рідиною півпростору (модель М. Біо) при дії розподілених навантажень на обидві фази на прямокутній площадці границі.

10. Виконано постановку задачі про вертикальні коливання жорсткого прямокутного в плані штампа з непроникною для порової рідини підшовою на пористопружному насиченому рідиною півпросторі, отримані інтегродиференційні рівняння динамічної контактної задачі. Розроблено новий чисельно-аналітичний метод розв'язку задачі методом ортогональних поліномів. Створено ефективну методику обчислення коефіцієнтів розв'язувальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь як невластних подвійних інтегралів від складних комплексних функцій зі складною залежністю від частоти.

11. Встановлено закономірності зміни імпедансу і реакції основи під непроникним штампом в залежності від: частоти коливань, розмірів підшови штампа і його маси, проникності (коефіцієнта фільтрації) середовища. Розділення складових імпедансу твердої і рідинної фаз дозволило пояснити суттєву відмінність жорсткості двофазної основи від пружної однофазної. Жорсткість твердого скелету змінюється пропорційно жорсткості пружної основи, а складова жорсткості рідинної фази приймає зі збільшенням частоти протилежний знак. При дії гармонічної сили постійної амплітуди на масивний штамп присутність порової рідини і взаємодія фаз знижує максимальну амплітуду реакції і збільшує реакцію при подальшому рості частоти. При низьких частотах реакція твердої фази більша за реакцію порової рідини. Фаза загальної реакції і реакції порової рідини співпадають. Зі збільшенням величини коефіцієнта фільтрації збільшується доля твердої фази в реакції основи при низьких частотах і на частоті максимуму реакції.

12. Розглянуто поведінку водонасиченого ґрунту з урахуванням пластичних деформацій твердого скелету при зміні напруженого стану під дією горизонтальної компоненти акселерограми. Методом скінченних елементів (пласка деформація) оцінюється зміна порового тиску під час сейсмічної дії на шар ґрунту внаслідок горизонтально-обертальних коливань споруди від нестационарних коливань ґрунту та її ваги. Застосовано модель пористопружнопластичного насиченого рідиною середовища, яка побудована на системі рівнянь М. Біо і моделі Пастора – Зенкевича для врахування пластичної течії скелету ґрунту. При сейсмічній дії в області пластичних деформацій під спорудою виникає приріст порового тиску. Результати обчислень свідчать про зниження коливань в нелінійній моделі порівняно з лінійною.

13. З використанням створеного комплексу комп'ютерних програм проведені розрахунки сейсмічних прискорень споруди блоку ЧАЕС з урахуванням взаємодії з ґрунтом (в'язкопружна та водонасичена основи) при дії заданих синтезованих для площадки ЧАЕС акселерограм. Вивчено вплив швидкості пружних поперечних хвиль у ґрунтовій основі на трансформацію вихідної акселерограми землетрусу для споруд. Згідно з розрахунками

прискорення споруди при високій швидкості поперечної хвилі в ґрунті (до 500 м/с) можуть перевищувати максимальне прискорення вихідної акселерограми майже в 2 рази, а при невеликих швидкостях (100 м/с) можуть зменшуватися в 2–3 рази. Для водонасиченої основи встановлено відмінності спектральної щільності вихідних і розрахункових акселерограм у сейсмічному діапазоні частот.

14. Розроблено нову чисельно-аналітичну методику порівняння моменту на валу двигуна вібромашини та вібраційного моменту від гармонічних коливань системи “штамп – шарувата основа”. Вібраційний момент зростає при збільшенні маси вібромашини та зменшенні товщини шару ґрунту на жорсткій основі. В околі власної частоти системи цей момент може перевищувати момент на валу двигуна, при цьому усталені коливання системи будуть неможливі в деяких діапазонах частот (ефект Зоммерфельда – Кононенка).

**Математичне моделювання зсувної небезпеки в умовах підтоплення та сейсмічних впливів** (2010 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **Г.С. Глебчук** [51] присвячена створенню ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації оцінки зсувної небезпеки локального та регіонального рівнів на основі системного поєднання математичного моделювання та ГІС-технологій.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [52–59]:

1. Проведено аналіз існуючого інформаційного матеріалу і програмно-технічних розробок в галузі математичного та комп'ютерного моделювання, ГІС-технологій зі створення моделей відображення зсувних процесів локального та регіонального рівнів, який включає розробку рекомендацій щодо запобігання і локалізації розвитку зсувів та інженерного захисту зсувонебезпечних схилів на великих територіях на основі використання ГІС-технологій, а також окремих ділянок міських територій, передусім тих, що відводяться під забудову, або існуючих будівель і споруд.

2. За допомогою математичного та чисельного моделювання з використанням нелінійного програмування розв'язана обернена задача механіки ґрунтів відносно ідентифікації фізико-механічних характеристик ґрунту, з якого складається зсув.

3. Розроблено математичну модель, алгоритм, програму розрахунку напружено-деформованого стану схилів, а також автоматизоване робоче місце із графічним інтерфейсом, написано і відредаговано програму LANDSLIP07 на базі „візуального програмування”. За основу для розроблення програми було взято мову JAVA і операційне середовище UNIX. Програма LANDSLIP07 дає змогу моделювати напружено-деформований стан схилів при підтопленні, землетрусах та інженерній підготовці території.

4. Узагальнено і проведено математичне моделювання зсувної небезпеки схилу за наявності таких умов: підвищення рівня ґрунтових вод; зміни сейсмічності ділянки будівництва; в результаті системної дії двох факторів: сейсміки і води; за наявності будівлі та при облаштуванні котловану за умови відсутності ґрунтових вод або підвищення їх рівня.

5. Установлено, що у випадку, коли схил перебуває у стані стійкої рівноваги, зсувний тиск симетрично розподілений, має параболічну форму; у міру збільшення навантажень (у вигляді підтоплення, сейсмічних впливів, їх

поєднання) схил переходить у стан граничної рівноваги. Відбувається перерозподіл напруг, відносно симетричний розподіл зсувного тиску поетапно змінюється несиметричним. Стан граничної рівноваги схилу, що досліджується, досягається в разі виконання однієї з умов: обводнення схилу становить 15%~33%; сейсмічність ділянки – 7–8 балів; сейсмічність – до 7 балів, обводнення схилу – до 15 %. При подальшому збільшенні навантажень відбувається перехід зсувного схилу із стану граничної рівноваги у нестійкий стан. Нестійкий стан досягається за наявності у схилі: обводнення, що становить 33%~66%; сейсмічності ділянки – 9 балів і вище; сейсмічності у 7 балів та обводненні схилу – 33%. Зміна епюри зсувного тиску за наявності двох факторів впливу відбувається більш інтенсивно, швидше зникає симетрія напружено-деформованого стану схилу.

6. Створено базу даних, яка має інформаційно-довідковий характер відносно 52 паспортів зсувних ділянок Харківської області стислої форми та даних відносно суми опадів по метеостанціях Харківської області за 20 років (1983–2002 рр.). Визначено зсувонебезпечні схили на території Харківської області, побудовані відповідні карти, діаграми та таблиці даних. Показано роль різних факторів у розвитку і активізації зсувів.

**Обчислювальні технології моделювання аеродинамічних процесів** (2012 р., на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **к.ф.-м.н. Д.І. Черній**).

Робота **А.Д. Головенка** [60] присвячена розробці обчислювальних технологій моделювання аеродинамічних процесів для моделюючих систем інженерно-технологічного призначення.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [61–64]:

1. Розроблено метод побудови математичної та чисельної моделі окремої споруди та системи споруд, який забезпечує представлення результатів моделювання відривного обтікання споруд в заданих перерізах.

2. Вперше розроблено метод комплексної автоматизованої обробки даних, що враховує геометричні параметри окремої споруди або системи споруд та фізичні особливості аеродинамічного процесу поблизу границь складної геометрії для визначення критеріїв просторово-часової дискретизації, при чисельному розв'язанні початково-крайових задач аеродинаміки методом дискретних особливостей. Метод забезпечує просторове розташування числових моделей споруд в області дослідження, формування двовимірного представлення тривимірних аеродинамічних ефектів.

3. Побудовано удосконалені чисельні математичні моделі розвитку відривних аеродинамічних процесів в області із границею складної геометрії, в частині взаємодії непроникних рухомих границь та нерухомих і рухомих вільних границь, які апроксимують вихрові шари при моделюванні відривних явищ.

4. Вперше, на основі методу дискретних особливостей, розроблено чисельну модель для обчислення поля тиску в геометрично складній області течії при обтіканні контурів довільної геометрії. За допомогою удосконаленої чисельної моделі вдалося відокремити домінуючі впливи відривної течії біля контуру та вперше виявити складові причини ефекту підвищення значень миттєвих динамічних характеристик на границі області відривної нестационарної течії.

5. Вперше розроблено модель визначення станів аеродинамічного процесу, їх термінів та вибору домінуючого тривалого режиму відривного обтікання споруд при його моделюванні із застосуванням методу дискретних особливостей.

6. Створено обчислювальну технологію функціонування автоматизованої програмно-моделюючої системи з елементами інтелектуального інтерфейсу, придатну для застосування у моделюючих системах інженерно-технологічного призначення.

7. Виділено основні обмеження на застосування математичних моделей, побудованих на основі методу дискретних особливостей, для задач, пов'язаних з аеродинамічним впливом на споруди та комплекси споруд. Виявлені геометричні умови для чисельного представлення відривних течій в термінах методу дискретних особливостей. Виявлені умови можливості розпаралелювання при застосуванні методу дискретних особливостей для збільшення швидкодії обчислювальної технології. Визначено межі застосування чисельних моделей в залежності від геометричних та динамічних параметрів задачі.

**Математичне моделювання та моніторинг зсувних масивів** (2017, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **О.А. Клименкова** [65] присвячена математичному моделюванню та моніторингу напружено-деформованого стану зсувонебезпечних масивів і розташованих на них будівель і споруд в умовах сейсмічних впливів.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [66–71]:

1. Систематизовані та узагальнені наявні дані щодо чисельних методів математичного моделювання напруженого стану зсувонебезпечних масивів та напружено-деформованого стану будівель і споруд за I та II групами граничних станів, за програмними комплексами LANDSLIP та LIRA; по моніторингових інформаційно-аналітичних системах та ін.

2. Удосконалено методи врахування динамічних впливів різної інтенсивності для моделювання стійкості схилів за першою групою граничних станів (моделі Маслово-Берера та Шахунянца), що потім були алгоритмізовані в новій версії програми LANDSLIP, яка додатково на статистичній основі визначає найбільш вірогідну поверхню ковзання зсуву і вирішує обернену задачу напруженого стану зсувонебезпечних масивів для фізико-математичних характеристик ґрунтів (до 10), що складають зсувонебезпечні масиви.

3. Верифікація розроблених методів була виконана для двох практичних прикладів об'єктів будівництва в умовах щільної міської забудови на зсувонебезпечних масивах при сейсмічних навантаженнях 8 балів. Математичне моделювання напружено-деформованого стану стінок котлованів та протизсувних споруд проведено за допомогою програмних комплексів LANDSLIP та LIRA. Геотехнічний аналіз напружено-деформованого стану протизсувних споруд в програмному комплексі LIRA показав, що міцність і жорсткість запропонованих споруд достатня для сприйняття тиску ґрунту при розробці котлованів на різних етапах, а максимальні горизонтальні деформації конструкцій зіставні зі значеннями, отриманими в ході натурних спостережень. Експериментально заміряні максимальні вертикальні деформації ґрунтового масиву основи по одному з

об'єктів не перевищують 6,5 мм. За навколишньою територією велося спостереження, та встановлені на протизсувних спорудах котлованів контрольні марки за час будівництва практично не мали деформацій.

4. На основі обробки результатів системи моніторингу “Sensor-M” доведено, що південно-східне крило Лівадійського Палацу (ЛП) здійснює повільні коливання відносно деякого середнього положення. В окремих випадках фіксувалося збільшення кута нахилу ЛП до 6 кутових хвилин. Причинами добових коливань ЛП можуть бути перепади денної і нічної температур. Причинами збільшення амплітуди відхилення фасаду будівлі ЛП від середнього положення можуть бути рясні опади і пов'язане з ними тимчасове підвищення рівня ґрунтових вод та фільтраційного тиску на схили; подальша зсувна активізація Центральної Лівадійської зсувної системи (ЦЛЗС); природні та техногенні динамічні впливи. У результаті розрахунків отримано, що зміна фізико-математичних характеристик ґрунтів, що спричиняє зменшення стійкості схилів ЦЛЗС, є визначальним фактором тріщиноутворення у фундаментах, підлозі і стінах ЛП.

5. Математичне моделювання зсувонебезпечних масивів ЦЛЗС виявило тенденцію розвитку трьох локальних зсувів, розташованих нижче палацу. Прогнозується, що ЛП і прилегла з південного сходу територія через 2–4 роки опиняться в зоні інтенсивного тріщиноутворення, а в 2019–2021 рр. – в зоні активних зсувних зміщень. Локальні зсуви будуть вільно розширюватися (прогресивно і регресивно) і об'єднуватися в просторі, формуючи тим самим єдиний великий зсув по всій території ЦЛЗС в межах «Східного» і частини «Західного» зсувів вже в 2017–2018 рр. Збільшення зволоження ґрунту, гідрогеодеформаційних навантажень сейсмічних полів можуть радикально змінити напружено-деформований стан ЦЛЗС та зруйнувати палац.

**Математичне моделювання обтікання ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями** (2013, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник чл.-кор. (з 2018 р. – академік) НАН України, д.ф.-м.н. С.О. Довгий).

Робота О.Г. Лебідя [72] присвячена дослідженню і розвитку методів математичного та комп'ютерного моделювання, обчислювальних методів і технологій, призначених для дослідження і створення об'єктів нової техніки в галузі вітро/гідроенергетики.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [73–79]:

1. Розроблено модель нестационарно-відривного обтікання тонкого профілю зі скругленою передньою кромкою при його нестационарному обтіканні динамічно змінним потоком.

2. Розроблено нелінійну модель нестационарної циркуляційної течії в області довкола ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями, яка враховує динамічну зміну зв'язності області течії.

3. Удосконалено чисельно-аналітичну модель обчислення поля тиску в області змінної зв'язності, що дозволяє визначати як миттєві розподілені аерогідродинамічні характеристики на кожній лопаті, так і усереднені інтегральні аерогідродинамічні характеристики ротора в цілому.

4. Розроблено математичну модель управління лопатями, яка суттєво покращує енергоефективність ротора з вертикальною віссю та істотно розширює діапазон швидкостей потоку для його експлуатації.

5. Вперше виявлено кількісні та якісні закономірності формування і еволюції сліду за ротором з керованими лопатями, визначено умови виникнення когерентних вихрових структур.

6. Виявлено та підтверджено за результатами натурального і напівнатурного моделювання ефект покращення динамічних характеристик ротора з вертикальною віссю при керуванні його лопатями. Для створених натурних і напівнатурних моделей розроблено закони керування лопатями, що суттєво підвищують енергоефективність ротора в практично актуальному низькошвидкісному діапазоні коефіцієнта швидкохідності.

**Математичне моделювання кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд** (2014, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник д.т.н. Д.В. Стефанишин).

Робота **Я.В. Ходневича** (аспірант ІТГП у 2010–2013 рр.) [80] присвячена розвитку методів математичного та чисельного моделювання, призначених для ефективного дослідження кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [81–84]:

1. Проаналізовано сучасні математичні методи та моделі для дослідження турбулентних водних потоків при високих числах Рейнольдса. Показано, що більшість чисельних схем та алгоритмів для дослідження розвинутих турбулентних потоків ґрунтуються на розв'язанні осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є – Стокса, що замикаються деякою моделлю турбулентності. Доведено, що найбільш прийнятною з практичної точки зору для чисельного моделювання кінематики розвинутої турбулентної течії є  $k - \varepsilon$  модель турбулентності. Вона характеризується стійким ітераційним процесом та прийнятною точністю.

2. Здійснено гідродинамічний опис потоку в руслі за допомогою його одновимірної, двовимірної та тривимірної математичних моделей. На засадах системного підходу запропоновано алгоритм поетапного дослідження кінематики руслового потоку при обтіканні донної гряди: 1) обчислення рівнів вільної поверхні для одновимірної моделі; 2) моделювання плану течії; 3) моделювання поля швидкостей та тисків турбулентної течії у локальній тривимірній області.

3. Розроблено чисельні моделі для обчислення рівнів вільної поверхні та моделювання плану течії. Показано, що точність усереднених значень швидкості потоку, які отримуються в рамках одновимірної та двовимірної моделей гідродинаміки, є достатньою на етапі чисельного розв'язання тривимірної задачі.

4. Удосконалено математичну модель кінематичних характеристик тривимірного турбулентного водного потоку в локальній області за русловою грядою. Модель ґрунтується на системі рівнянь Рейнольдса, яка замикається за допомогою  $k - \varepsilon$  моделі турбулентності. При цьому поетапно застосовуються стаціонарні та нестаціонарні рівняння Рейнольдса. Доведено, що такий підхід дозволяє вирішити проблему стійкості розв'язків системи рівнянь Рейнольдса.

5. Розроблено чисельну модель для оцінки наближених значень поля швидкостей та тисків турбулентного водного потоку в локальній тривимірній області за донною грядою, яка забезпечує стійкість розв'язків рівнянь Рейнольдса, зменшення тривалості обчислень та економію пам'яті

комп'ютера. Для поетапного обчислення гідродинамічного тиску в тривимірній локальній області застосовано рівняння Пуассона. Для згладження наближеного поля швидкостей та тисків у вузлах згущеної рівномірної сітки застосовано інтерполяцію кубічними сплайнами.

6. Удосконалено чисельний метод  $LU$  – розкладання для випадку ефективного розв'язання класу великих розріджених систем лінійних рівнянь, які є різницеvim аналогом стаціонарних диференціальних рівнянь Рейнольдса.

7. Здійснено верифікацію чисельної моделі для оцінки кінематики водного потоку у локальній тривимірній області. Показано, що обчислені значення швидкостей водного потоку достатньо добре наближаються до даних аналітичних розв'язків та експериментальних вимірів швидкості за донною перешкодою.

8. Вперше побудовано залежність інтенсивності місцевого розмиву русла від кута розташування і висоти донної перешкоди, виявлені режими найбільш інтенсивного розмиву дна. Встановлено за результатами імітаційного моделювання сил опору дна, що при висоті донної гряди, яка дорівнює  $1/3$  глибини потоку, найбільш потужні деформації русла можуть відбуватися при її розташуванні під кутом  $35\text{--}40$  градусів до набігаючого потоку.

**Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу** (2016, на здобуття наукового ступеня к.т.н.; науковий керівник **чл.-кор. НАН України, д.т.н. О.М. Трофимчук**).

Робота **І.Г. Шитікової** [85] присвячена дослідженню і розробці математичних моделей, чисельних методів розрахунку процесу тепломасообміну та оптимізації ефективних рішень конструкції теплообмінних апаратів для незалежної системи опалення та гарячого водопостачання.

До основних результатів цієї роботи слід віднести такі [5, с. 120–121; 86–89]:

1. На основі аналізу існуючих конструкцій теплообмінних апаратів і теплообмінників різного типу обґрунтовано висновок, що запропоновані в роботі нові трьохконтурні змієвикові теплообмінники з акумулюючою ємністю ефективніші за існуючі і для широкого впровадження потребують розробки математичних моделей, чисельних методів розрахунку процесу тепломасообміну та оптимізації ефективних рішень побудови їхніх конструкцій.

2. Розроблено статичні математичні моделі теплообмінників змієвикового типу для незалежних місцевих систем опалення та гарячого водопостачання від індивідуального теплового пункту з підігрівально-акумуляторною установкою, на основі яких запропоновано математичну модель загального розрахунку конструктивних параметрів теплообмінних апаратів.

3. Запропоновано математичні моделі нових конструкцій трьохконтурних теплообмінників з паралельним і послідовним розташуванням змієвоків, що в рамках імітаційного моделювання дає можливість оптимізувати конструктивні параметри і режими роботи теплообмінних апаратів.

4. Побудовано алгоритм імітаційного моделювання, який дозволяє, на відміну від існуючих, моделювати широке коло тепломасообмінних процесів

з графічною інтерпретацією отриманих результатів і дозволяє оптимізувати параметри теплообмінних апаратів в інтерактивному режимі, а саме визначити рекомендації щодо їх водопостачання і номінальні температурні показники в контурах опалення і гарячого постачання води при їх використанні в житловому комунальному господарстві.

5. Розроблена чисельна процедура параметричної ідентифікації математичних моделей теплообмінних апаратів в стаціонарних режимах роботи, яка базується на методах Ньютона-Рафсона і послідовних наближень та  $\epsilon$ , на відміну від існуючих, ефективним практичним інструментом для оптимізації конструктивних параметрів теплообмінних апаратів.

6. Побудовано і досліджено натурний дослідно-експериментальний стенд підігрівально-акумуляторної установки з теплообмінником змієвикового типу. Визначено оптимальні розміри загальної конструкції підігрівально-акумуляторної установки з трьохконтурним теплообмінником для індивідуальних теплових пунктів для забезпечення стабільного ефективного тепломасообміну. Оптимальна довжина підігрівально-акумуляторної установки складає від 2,2 до 3,0 м. Такі конструкції підігрівально-акумуляторної установки дозволяють приєднувати до теплової мережі будівлі підвищеної поверховості. Це підвищує стійкість і надійність системи централізованого теплопостачання при експлуатації і згладжує пікові навантаження на графіку добового водоспоживання в системі гарячого водопостачання.

7. Доведено, що, використовуючи нову конструкцію змієвикового теплообмінника для систем індивідуального або централізованого теплопостачання від індивідуального теплового пункту з підігрівально-акумуляторною установкою, можна добитись збільшення теплопродуктивності за рахунок інтенсифікації теплообміну при одній і тій самій поверхні нагріву змієвиків для незалежних систем опалення і гарячого водопостачання. Оптимізовано діаметр трубки змієвика гарячого водопостачання до 8 мм, що зменшує металоємність контуру і залишає нормативною температуру  $55^{\circ}\text{C}$  при незмінній температурі гріючого контуру  $80^{\circ}\text{C}$ .

## Висновки

Необхідно особливо відмітити результати, опубліковані в міжнародних журналах: «Journal of Automation and Information Sciences» **A.N. Trofymchuk**, **V.A. Vasyanin** [16]; там же **V.A. Vasyanin** [17]; «International Journal of Engineering Sciences and Research Technology» **P. Venherskyi** [20]; «International Journal of Engineering Sciences and Research Technology» **P. Venherskyi**, H. Shynkarenko [21]; «Eureka: physics and engineering. Computer sciences and mathematics» **P. Venherskyi**, Y. Kokovska [23]; «Interval Computations» P. Senio, **P. Vengersky** [24]; «Journ. of Theor. Probab» **D. Koroliuk** [28]; «Disease Makers» **D. Koroliouk** etc. [29]; «Journ. of Computat. and Applied Math.» **D. Koroliuk** [30]; «Journ.of Computat. and Applied Math.» Bertotti M.L., **Dovgyi S.O.**, **Koroliouk D.** [37]; «Statistics, Optimization and Information Computing» **Koroliouk D.**, etc [39]; «International Journal of Fluid Mechanic Research» V. P. Kayan, V.A. Kochin, **O.G. Lebid** [79]; «Zeszyty Naukowe Inzynieria Ładowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska»



**Y.V. Khodnevich, D.V. Stefanyshyn** [83]; «Journal of Energy and Power Engineering» **Shytikova I., Trofymchuk O., Oleksiuk A.** [87].

Також необхідно відмітити результати, що доповідались на міжнародних наукових конференціях: у Чорногорії, 2015 р., **O. Trofymchuk, L. Ushakova, V. Vasyanin** [90]; у Німеччині, 1996 р., **P.S. Vengersky, P.S. Senyo** [91]; у Чехії, 2014 р., **P. Venherskyi, M. Bartish** [92]; у Чехії, 2016 р., **P. Vengerskyi, O. Trofymchuk, Y. Kokosova** [93]; у Франції, 2002 р., **O. M. Trofymchuk, O. M. Gomilko, O. A. Savitsky** [94]; у Японії, 2016 р., **O. Trofymchuk, I. Kaliukh, O. Klimenkov** [95]; у Єгипті, 2010 р., **S.O. Dovgy, V. P. Kayan, O.G. Lebid** [96]; у Хорватії, 2011 р., **Lebid O.** [97].

Окремо слід відзначити, що деякі з наведених результатів вже стали об'єктами права інтелектуальної власності. Зокрема це результати, що увійшли до докторської роботи **В.О. Васяніна** [98–102] та кандидатських робіт **Г.С. Глебчук** [103], **О.Г. Лебідя** [104], **І.Г. Шитікової** [105–108].

Автори висловлюють подяку **Л.В. Зотовій** за надані матеріали під час підготовки рукопису статті та не можуть не відзначити її постійну технічну допомогу всім здобувачам при проведенні захистів у Спеціалізованій Вченій Раді Д 26.255.01 при ІТГП НАНУ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Історія Академії наук України 1918-1923: документи і матеріали / відп. ред. П.С. Сохань. Київ: Наук. Думка, 1993. – 375 с.
2. XIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2014 – 340 с.
3. XIV Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» – Київ, 2015 – 428 с.
4. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-06 жовтня 2016 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. – 258 с.
5. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях / Колективна монографія за матеріалами 16-ї міжнародної науково-практичної конференції (Київ, Пуща-Водиця, 03-04 жовтня 2017 р.) / За заг. ред. С.О. Довгого. – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2017. – 252 с.
6. Васянін В.О. Методологія проектування багатопродуктових комунікаційних мереж з дискретними потоками: автореф. дис. докт. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 44 с.
7. Васянін В.А. Задачи построения комбинированных и отдельных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети / В.А. Васянін // Математичне моделювання в економіці. – 2017. – № 1 – 2. – С. 74–92.
8. Васянін В.А. Задачи построения доставочных и сборочных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети / В.А. Васянін, Л.П. Ушакова // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 3–4. – С. 102–131.

9. Васянин В.А. Экономико-математические модели задачи распределения потоков в многопродуктовой коммуникационной сети / В.А. Васянин, А.Н. Трофимчук, Л.П. Ушакова // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – № 2. – С. 5–21.
10. Васянин В.А. Компьютерное моделирование распределения и маршрутизации дискретных многопродуктовых потоков в коммуникационной сети / В.А. Васянин // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 3. – С. 43–53.
11. Трофимчук А.Н. Компьютерное моделирование иерархической структуры коммуникационной сети с дискретными многопродуктовыми потоками / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 2. – С. 48–57.
12. Трофимчук А.Н. Алгоритмы оптимизации упаковок мелкопартионных корреспонденций в коммуникационных сетях / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин, В.Н. Кузьменко // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Т. 52. – № 2. – С. 93–106.
13. Трофимчук А.Н. О сложности одной задачи оптимизации упаковок / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин, В.Н. Кузьменко // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – Т. 52. – № 1. – С. 83–92.
14. Трофимчук А.Н. Время работы алгоритма Краскала с древовидной и списочной структурой данных / А.Н. Трофимчук, В.А. Васянин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2015. – № 3. – С. 48–61.
15. Васянин В.А. Балансировка матрицы контейнерных потоков в задаче перевозки мелкопартионных грузов / В.А. Васянин, Л.П. Ушакова // Екологічна безпека та природокористування: Зб. наук. праць. – Київ, 2015. – Вип. 17. – С. 98–115.
16. Trofimchuk A.N. Simulation of Packing, Distribution and Routing of Small-Size Discrete Flows in a Multicommodity Network / A.N. Trofimchuk, V.A. Vasyanin // Journal of Automation and Information Sciences. – 2015. – Vol. 47. – Issue 7. – P. 15–30.
17. Vasyanin V.A. Problem of Distribution and Routing of Transport Blocks with Mixed Attachments and Its Decomposition / V.A. Vasyanin // Journal of Automation and Information Sciences – 2015. – Vol. 47. – Issue 2. – P. 56–69.
18. Венгерський П.С. Чисельне моделювання руху поверхневих і ґрунтових потоків та їх взаємодія на території водозбору: автореф. дис. докт. фіз.-мат. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача, 2017. 36 с.
19. Венгерський П.С. Аналіз різних підходів для опису математичних моделей фільтрації рідини в насиченій зоні ґрунту / П.С. Венгерський, О.М. Трофимчук // Математичне моделювання в економіці. – 2016. №2(6). – С. 36–52.
20. Venherskyi P. Numerical modelling of shallow water flow in hydrodynamic approximations / P. Venherskyi, V. Trushevskyi // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2014. – №2(116). P. 152–166.
21. Venherskyi P. Investigation of the Properties of Solution of Variatiol Problem Coupled Flow of Surface and Groundwaters / P. Venherskyi, H. Shynkarenko // International Journal of Engineering Sciences and Research Technology. 2016. Vol.5, Issue 11. – P. 399–403.
22. Венгерський П.С. Чисельне дослідження енергетичних рівнянь варіаційної задачі сумісного руху поверхневих і підземних водних потоків на водозборі / П.С. Венгерський, Г.А. Шинкаренко // Математичне моделювання в економіці. – 2016. №3–4(7). – С. 132–145.
23. Venherskyi P. Investigation of the stability for established flows in open pseudoprismatic channels / P. Venherskyi, Y. Kokovska // Eureka: physics and engineering. Computer sciences and mathematics. – 2016. Vol. 5. – P. 9–15.
24. Senio P. Solving systems of special form nonlinear equations by of some modifications of Runge type interval iterative method / P. Senio, P. Vengersky // Interval Computations. – 1992. – Vol. 4(6). P. 59–65.
25. Венгерський П.С. Рівняння поверхневого потоку в наближенні кінематичної хвилі для русел з нерівномірним дном / П.С. Венгерський, В.М. Кирилич, Я.В. Коківська // Прикладні проблеми механіки і математики. – 2016. – Вип. 14. – С. 31–36.

26. Венгерський П.С. Комп'ютерний аналіз та моделювання потоків рідини в річках з використанням web-аплікацій з GIS-компонентою на основі ArcGIS Server`а / П.С. Венгерський, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб.наук.праць. – Київ, 2016, – №1–2(21). – С. 5–15.
27. Королюк Д.В. Динамічні моделі статистичних експериментів, їх аналіз і моделювання: автореф. дис. докт. фіз.-мат. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, 2016. 39 с.
28. D. Koroliuk. Stopping times for quantum Markov chains L. Accardi, D. Koroliuk // Journ. of Theor. Probab. – 1992. – Vol. 5. – Issue 3. – С. 521–535. DOI: 10.1007/BF01060433
29. Koroliouk D. DNA HLA-DRB1 analysis in children of positive mothers and estimated risk of vertical HIV transmission / Greggio N.A., Cameran M., Giaquinto C., Zacchello F., Koroliouk D., Colizzi V. // Disease Makers. – 1993. – №11. – С. 29–35.
30. Koroliuk D. The dynamics of recurrent statistical experiments with persistent non-linear regression and equilibrium // Journ. of Computat. and Applied Math. – 2013. – т. 113, №3. – С. 26–35.
31. Королюк Д.В. Двокомпонентні бінарні статистичні експерименти з наполегливою нелінійною регресією // Теорія ймовір. та матем. статист. – 2015. – Вип. 91. – С. 64 – 73.
32. Королюк Д.В. Мультиваріантні статистичні експерименти з наполегливою лінійною регресією і еквілібріумом // Теорія ймовір. та матем. статист. – 2015. – Вип. 92. – С. 71–78.
33. Королюк Д.В. Бінарні статистичні експерименти з наполегливою лінійною регресією у марківському випадковому середовищі // Доповіді НАНУ. – 2015. – №4. – С. 12–17.
34. Koroliouk D. Stationary statistical experiments and the optimal estimator for a predictable component // Укр.Мат.Вісник. – 2016. – т.214, №2. – С. 220–228.
35. Королюк Д.В. Классификация бинарных детерминированных статистических экспериментов с настоящей регрессией // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – т.51. – №4. – С. 163–168.
36. Королюк Д.В. Задача о выходе из интервала дискретной марковской диффузии // Кибернетика и системный анализ. – 2016. – т.52. – № 4. – С. 83–89.
37. Koroliouk D. Dynamics of ternary statistical experiments with equilibrium state / Bertotti M.L., Dovgyi S.O., Koroliouk D. // Journ.of Computat. and Applied Math. – 2015. – т. 119, №2. – С. 3–7.
38. Koroliouk D. Adapted statistical experiments // Укр.Мат.Вісник. – 2016. – т.13, № 1. – С. 106–117.
39. Koroliouk D. A statistical model of macromolecules dynamics for Fluores-cence Correlation Spectroscopy data analysis / Koroliouk D., Koroliuk V.S., Nicolai E., Bisegna P., Stella L., Rosato N. // Statistics, Optimization and Information Computing (SOIC). – Vol. 4. – September 2016. – С. 233–242.
40. Королюк Д.В. Статистические эксперименты в сбалансированной марковской случайной среде // Кибернетика и системный анализ. – 2015. – т.51. – № 5. – С. 111–116.
41. Савицький О.А. Динаміка фундаментів на складних основах: автореф. дис. докт. тех. наук. К.: М-во освіти та науки України, Київський національний ун-т будівництва і архітектури, 2016. 47 с.
42. Трофимчук А.Н. Динамика пористоупругих насыщенных жидкостью сред / А.Н. Трофимчук, А.М. Гомилко, О.А. Савицкий. – К. : Наук. думка, 2003. – 230 с.
43. Інформатизація аерокосмічного землезнавства / С.О. Довгий, В.І. Лялька, О.М. Трофимчук та ін. : За ред. С.О. Довгого і В.І. Лялька. – К. : Наук. думка, 2001. – 606 с.
44. Сеймов В.М. Колебания и волны в слоистых средах / В.М. Сеймов, А.Н. Трофимчук, О.А. Савицкий. – К. : Наук. думка, 1990. – 224 с.

45. Гомілко О.М. Динамічний тиск на контактi прямокутного штампа та пористопружного насиченого рідиною півпростору / О.М. Гомілко, О.М. Трофимчук, О.А. Савицький // Наукові Вісті НТТУ “КПІ”. – 2002. – 4. – С. 136–142.
46. Савицький О.А. Взаємодія в системі “прямокутний фундамент-шарувата основа” при динамічному впливі / О.А. Савицький // Основи і фундаменти. – 2002. – Вип. 27. – С. 104–112.
47. Сеймов В.М. Динамика водонасыщенного упругопластического слоя грунта при сейсмическом воздействии / В.М. Сеймов, А.Н. Трофимчук, О.А. Савицкий // Будівництво : Зб. наук. праць. – Вип. 8. – Дніпропетровськ, 2000. – С. 241–248.
48. Трофимчук А.Н. Горизонтально-вращательные колебания жесткого проницаемого штампа на двухфазном пористоупругом основании / А.Н. Трофимчук, А.М. Гомилко, О.А. Савицкий // Прикладна гідромеханіка. – 2000. – 2 (74), № 1. – С. 70–78.
49. Gomilko A.M. Asymptotic solution of a harmonic contact problem for a permeable stamp on and liquid saturated base / A.M. Gomilko, O.A. Savitsky, A.N. Trofymchuk // Нелінійні коливання. – 2002. – 5. – № 1. – С. 3–22.
50. Трофимчук А.Н. Численный анализ межфазного взаимодействия в пористоупругой насыщенной жидкостью среде / А.Н. Трофимчук, О.А. Савицкий // Обчислювальна та прикладна математика. – 1997. – № 2 (82). – С. 84–89.
51. Глебчук Г.С. Математичне моделювання зсувної небезпеки в умовах підтоплення та сейсмічних впливів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2010. 20 с.
52. Глебчук Г.С. З досвіду паспортизації і картування зсувних ділянок у межах населених пунктів / Г.С. Глебчук, Г.Г. Стрижельчик, О.М. Трофимчук [та ін.] // Екологія і ресурси. – 2003. – № 7. – С. 64–70.
53. Глебчук Г.С. Регіональне підтоплення земель в Україні як фактор зростаючого впливу на еколого-економічну безпеку держави / О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев, Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2004. – № 9. – С. 13–19.
54. Глебчук Г.С. Дослідження впливу щільності гідрографічної мережі та територіального підтоплення на динаміку розвитку зсувів у Харківській області / Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2005. – № 11. – С. 87–91.
55. Глебчук Г.С. Вплив крутизни схилів та щільності дорожніх шляхів на розвиток зсувів на прикладі Харківської області / Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2006. – № 14. – С. 122–125.
56. Глебчук Г.С. Сучасні фактори регіональної активізації зсувів у Харківській області / О.М. Трофимчук, Є.О. Яковлев, Г.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2006. – № 15. – С. 97–102.
57. Глебчук А.С. Математическое моделирование устойчивости оползневого склона при подъеме уровня грунтовых вод / А.Н. Трофимчук, Ю.И. Калюх, А.С. Глебчук // Екологія і ресурси. – 2008. – № 18. – С. 51–58.
58. Глебчук А.С. Об устойчивости склонов при изменении сейсмических условий / А.Н. Трофимчук, А.С. Глебчук, В.В. Полевский // Будів. конструкції. – 2008. – Вип. 69. – С. 304–311.
59. Глебчук А.С. Математическое моделирование изменения напряженно-деформированного состояния оползневого массива при наличии здания и обустройстве котлована в условиях подтопления / А.Н. Трофимчук, А.С. Глебчук, Ю.И. Калюх // Будів. конструкції. – 2008. – Кн. 1. – Вип. 71. – С. 95–104.
60. Головенко А.Д. Обчислювальні технології моделювання аеродинамічних процесів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2012. 20 с.
61. Головенко А.Д. Моделирование аэродинамических полей при прогнозировании нестационарных аэрационных процессов в массивах разновысотной застройки / Головенко А.Д., Довгий С.А., Клименкова И.А., Черний Д.И. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків. – 2010. – вип. 13. – № 890. – С. 37–46.

62. Головенко А.Д. Вычислительные особенности нестационарных гидродинамических задач / Головенко А.Д., Голубев С.А., Черний Д.И. // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2011. – вип. 1(104). – С. 24–39.
63. Головенко А.Д. О некоторых особенностях нестационарных течений / Головенко А.Д., Голубев С.А. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – Харків. – 2011. – вип. 16. – № 960. – С. 76–87.
64. Головенко А.Д. Обчислювальні технології та алгоритми для побудови автоматизованих моделюючих систем в будівельній аеродинаміці / Головенко А.Д. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, серія Фізико-математичні науки. – К.: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2011. – вип. 3. – С. 131–138.
65. Клименков О.А. Математичне моделювання та моніторинг зсувних масивів: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 20 с.
66. Клименков О.А. Экспериментальная диагностика и математическое моделирование железнодорожной подпорной стены / А.Н. Трофимчук, Я.А. Берчун, К.А. Хавкин // Вестник белорусско-российского университета. – 2016. – №1(50). – С. 140–148.
67. Зміцнення котловану в обмежених умовах міської забудови на прикладі будівництва торгово-офісного центру в м. Ялта / К.В. Сільченко, Ю.І. Калюх, О.А. Клименков та ін. // Світ геотехніки. – 2015. – №1(45). – С. 4–7.
68. Улаштування глибинного котловану 18-поверхової будівлі в щільних умовах міської забудови м. Ялта на зсувній території при сейсмічних навантаженнях 8 балів / К. Сільченко, Ю. Калюх, О. Клименков та ін. // Світ геотехніки. – 2015. – №3(47). – С. 13–16.
69. Трофимчук О.М. Математичне моделювання та моніторинг Лівадійської зсувної системи / О.М. Трофимчук, О.А. Клименко, Ю.І. Калюх // Екологічна безпека. – 2015. – №4(20). – С. 5–19.
70. Прикладна реалізація моделей ґрунтового середовища в геотехніці: від моделі Біо до моделі граничної рівноваги / Ю.І. Калюх, О.А. Клименков та ін. // Математичне моделювання в економіці. – 2016. – №4 (20). – С. 5–19.
71. Калюх Ю.І. Моніторинг Лівадійського палацу при змінах фізико-математичних характеристик ґрунтів Центральної Лівадійської зсувної системи / Ю.І. Калюх, О.А. Клименков, Я.О. Берчун // Екологічна безпека та природокористування. – 2016. – №1–2 (21). – С. 69–82.
72. Лебедь А.Г. Математичне моделювання обтікання ротора з вертикальною віссю та керованими лопатями: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2013. 21 с.
73. Лебедь А.Г. К вопросу о методике расчета безотрывного обтекания телесного профиля с эжекцией / А.Г. Лебедь // Бионика. – 1991. – № 24. – С. 34–37.
74. Лебедь А.Г. Исследование влияния активного управления прямыми лопастями на рабочие характеристики ветроротора Дарье / С.А. Довгий, В.П. Каян, В.А. Кочин, А.Г. Лебедь // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 12–23.
75. Лебедь А.Г. Оптимизация рабочих характеристик полномасштабного макета ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь // Прикладна гідромеханіка. – 2010. – Т. 12, № 4. – С. 26–35.
76. Лебедь А.Г. Оптимизация рабочих характеристик ветроротора Дарье с прямыми лопастями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь, В.В. Чмовж // Відновлювана енергетика. – 2011. – № 1. – С. 43–50.
77. Лебедь А.Г. Оптимизация работы модели водной турбины типа ротора Дарье с активным управлением лопатями / В.П. Каян, А.Г. Лебедь // Відновлювана енергетика, 2011. – № 4. – С. 42–48.

78. Лебедь А.Г. Ротор Дарье с управляемыми лопастями – перспективный преобразователь гидрокинетической энергии водных течений / П.Ф. Васько, В.П. Каян, А.Г. Лебедь // *Альтернативная энергетика и экология (РФ)*. – 2012. – № 7. – С. 119–125.
79. Lebid O.G. Studying the Performance of Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Models with Blade Control Mechanism / V.P. Kayan, V.A. Kochin, O.G. Lebid // *International Journal of Fluid Mechanic Research*. – Begell House, inc., USA, 2009. – vol. 36, № 2. – P. 154–165.
80. Ходневич Я.В. Математичне моделювання кінематики руслового потоку при обтіканні донних гряд: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2014. 22 с.
81. Стефанишин Д.В. Про один підхід до прогнозування місцевих розмивів русел та берегів на передгірних ділянках рік з використанням можливостей математичного моделювання / Д.В. Стефанишин, Я.В. Ходневич, О.Є. Щодро // *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. – Вип. 7. – С. 64–72.
82. Ходневич Я.В. Чисельне моделювання умов інтенсифікації місцевого розмиву русла ріки за донною перешкодою, що відхиляється від берега вниз за течією / Я.В. Ходневич, Д.В. Стефанишин // *Екологічна безпека та природокористування*. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, ІТГП НАНУ, 2014. – Вип. 16. – С. 111–122.
83. Khodnevich Y.V. Mathematical modelling the conditions of intensification of the riverbed local erosion behind of obstacle that deviates from the shore downstream / Y.V. Khodnevich, D.V. Stefanyshyn // *Zeszyty Naukowe Inżynieria Łądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*. Nr 10–11. – Kalisz, 2013. – S. 8–20.
84. Khodnevich Y. Water Flume Dynamics and Local Scores Modeling Near Obstacles With the Use of Poisson Equation/ Y. Khodnevich, O. E. Schodro // *Water management – state and prospects of development. Collected articles of young scientists. Part 1.* – Rivne: National University of Water Management and Nature Resources Use, 2010. – P. 55–57.
85. Шитікова І.Г. Математичне моделювання та оптимізація конструкції теплообмінника змієвикового типу: автореф. канд. тех. наук. К.: Національна академія наук України, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору, 2017. 20 с.
86. Шитікова И.Г. Динамические характеристики подогревательно-аккумуляторных установок / А.А. Олексюк, А.М. Трофимчук, И.Г. Шитікова // *Обчислювальна і прикладна математика*. – 2016. – № 1(121). – С. 78–88.
87. Shytikova I.G. The constructive calculation of heating-accumulating unit with the heat exchanger of a coiled type and the regulation conditions influence on the thermic and exergetic efficiency factors size / Shytikova I., Trofymchuk O., Oleksiuk A. // *Journal of Energy and Power Engineering* / by David Publishing Company located at 3592 Rosemead Blvd #220, Rosemead, CA 91770, USA. – 2016. – С. 288–291.
88. Шитікова І. Г. Дослідження теплообмінних процесів, які протікають в контурах систем опалення та гарячого водопостачання, в теплообмінному апараті змієвикового типу // *Вісник Приазовського державного технічного університету*. – 2016. – №32. – С. 80–85.
89. Шитікова И. Г. Экспериментальные исследования путей интенсификации теплообмена в трехконтурных теплообменниках змеевикового типа для независимых систем отопления и ГВС / И. Г. Шитікова, А.А. Олексюк // *Вісник ДонНАБА*. – 2015. – №5. – С. 98–104.
90. Trofymchuk O. On complexity of one variety of the packing problem / O. Trofymchuk, L. Ushakova, V. Vasyanin // *VI International Conference on Optimization Methods and Applications «Optimization and applications» (OPTIMA-2015) held in Petrovac, Montenegro, September 27 – October 3, 2015, Petrovac, Montenegro: Proceedings*. – Moscow, Russia: ESC Dorodnicyn Computing Centre of RAS, Russia, 2015. – P. 175–176.

91. Vengersky P.S. Application of interval analysis for nonlinear systems and some global optimization problems / P.S. Vengersky, P.S. Senyo // Abstract Inter. IMACS-GAMM-Symposium of numerical methods and error-bounds. – Oldenburg, 1996. P. 66–68.
92. Vengerskyi P. Investigation stability and convergence interval iteration methods in kinematic wave problem/ P. Venherskyi, M. Bartish // Abstr. XXIV Int. Conf. “Problems of decision making under uncertainties” (Czech Republic, Brno, August 30 – September 8, 2014). – Cesky Rudolec, 2014. – P. 14.
93. Vengerskyi, O. Trofymchuk, Y. Kokosova // Abstr. XXVI Int. conf./ “Problems of decision making under uncertainties” (Czech Republic, Brno, August 25-30, 2016). Brno, 2016. – P. 14.
94. Trofymchuk O. M. Dynamic contact problems for poroelastic liquid-saturated half-space / O. M. Trofymchuk, O. M. Gomilko, O. A. Savitsky // Proceedings of the second Biot conference on poromechanics, Grenoble, France, 26-28 aug., 2002. – Poromechanics II, Auriault et al (eds). – P. 833–838.
95. Trofymchuk O. Regional Features of the Carpathian region landslides in Ukraine / O. Trofymchuk, I. Kaliukh, O. Klimenkov // IPL Symposium, Kyoto, 8-11 March, 2016. – [s.l. : s.n.], 2016. – P. 30.
96. Lebid O.G. Performance Optimization of a Vertical Axis Wind Turbine with Mechanism of Blade Pitch Control / S.O. Dovgy, V. P. Kayan, O.G. Lebid // Proceeding of 14 AMME Conference 25-27 May 2010: Paper MP-3 on CD Proceeding of The 5<sup>th</sup> International Scientific Conference of The Military Technical College. – Cairo, Egypt: The Military Technical College, 2010. – P. 1–9.
97. Lebid O. Darrieus Water Turbine with Active Control of Blades – Prospective Renewable Power Generation Device for Slow Moving Water / V. Kayan, S. Dovgy, O. Lebid // Paper 2009.217 on CD Proceeding of 6<sup>th</sup> Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (September 25<sup>th</sup>-29<sup>th</sup> 2011), Dubrovnik, Croatia. – Zagreb, Croatia: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture. – 2011. – P. 1–11.
98. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Пакет програм для рішення задач оптимізації розподілу дискретних потоків у багатопродуктових мережах» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 23.07.2002 № 5978, Україна, Міністерство освіти і науки України, Державний департамент інтелектуальної власності; заявка від 06.06.2002 № 5772 про реєстрацію авторського права на твір.
99. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма оптимізації ієрархічної структури багатопродуктової комунікаційної мережі з дискретними потоками» / заявник і власник О.М. Трофимчук, В.О. Васянін, Л.П. Ушакова; А. с. від 20.07.2016 No 66791, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67221 про реєстрацію авторського права на твір.
100. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма оптимізації розподілу та маршрутизації дискретних потоків в багатопродуктової комунікаційної мережі» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 20.07.2016 No 66794, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67224 про реєстрацію авторського права на твір.
101. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма знаходження остовного лісу графа з мінімальною (максимальною) вагою» / заявник і власник О.М. Трофимчук, В.О. Васянін, Л.П. Ушакова; А. с. від 20.07.2016 No 66792, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67222 про реєстрацію авторського права на твір.
102. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір «Комп’ютерна програма побудови всіх найкоротших шляхів в мережі за двохкритеріальним лексикографічним упорядкуванням» / заявник і власник В.О. Васянін; А. с. від 20.07.2016 No 66793, Державна служба інтелектуальної власності України; заявка від 25.05.2016 No 67223 про реєстрацію авторського права на твір.

103. Комп'ютерна програма "Програма комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану схилів в умовах зміни інженерно-геологічних умов: підтоплення, землетрусів та інженерної підготовки територій (LANDSLIP07)" / Г.С. Глебчук, О. М. Трофимчук, Ю. І. Калюх // Свідоцтво про реєстрацію авт. права на твір № 26501. Дата реєстрації 18.11.2008. – К.: Держ. департ. інтелект. власності, 2008. офіц. бюл. // «Авторське право і суміжні права»: – 2008. – № 17. – С. 334–335.
104. Пат. 16097 Україна, МПК F 03 D 3/00, F 03 D 7/06. Вітросилова установка: / Бойко П.М., Довгий С.О., Каян В.П., Лебідь О.Г. // Промислова власність. – заявл. 22.02.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. №7. – С. 5.174.
105. Теплоізоляційна труба : пат. 71442, Україна, МПК F16L59/00 / Шитікова І. Г., Бачурін О.М., Олексюк А. О. (Україна); заявник і власник Шитікова І. Г. – NoU201200447; заявл. 16.01.2012 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. No 13. – 4 с.
106. Симетричний розбірний теплообмінник змієвикового типу для систем опалення та гарячого водопостачання : пат. 72193, Україна, МПК F24D11/00/ Шитікова І. Г., Горделюк А. А., Олексюк А. О. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201200987; заявл. 31.01.2012 ; опубл. 10.08.2012, Бюл. No 15. – 4 с.
107. Багатоконтурний теплообмінний апарат змієвикового типу для незалежних систем опалення та гарячого водопостачання: пат. 81831, Україна, МПК F24D11/00/. Шитікова І.Г., Олексюк А.О. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201301303; заявл. 04.02.2013 ; опубл. 10.07.2013, Бюл. No 13. – 4 с.
108. Каналізаційна склопластикова труба: пат. 50996, Україна, МПКЕ03F3/00/. Шитікова І.Г., Бачурін О.М., Найманов А.Я. (Україна); заявник і власник Шитікова І.Г. – NoU201000761; заявл. 26.01.2010 ; опубл. 25.06.2010, Бюл. No 12. – 4 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.03.2018.*