

## **ВІДГУК**

офіційного опонента – кандидата технічних наук, доцента  
Жуковського Віктора Володимировича  
на дисертаційну роботу

**ВЛАСОВА ВЛАДИСЛАВА СЕРГІЙОВИЧА**

на тему:

*«Математичні моделі для автоматизації процесу керування  
гідроекобезпекою при синхронізації вуглевидобутку та згорання гірничих  
робіт у Західному Донбасі»*, яка представлена на здобуття ступеня доктора  
філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Проаналізовано та вивчено: основний матеріал дисертаційного дослідження, копії документів, що засвідчують реалізацію результатів роботи, наукові публікації здобувача.

### **1 Актуальність теми дисертаційного дослідження**

Дослідження актуальності вугільної промисловості виходить з того, що згідно з розпорядженням уряду України, вугілля визначається як ключовий енергетичний ресурс, здатний задовольнити потреби національної економіки у великому обсязі. Вугілля становить значну частину світових запасів органічного палива, де його частка перевищує 70%, тоді як в Україні цей показник досягає 96%. Країна володіє приблизно 119 мільярдами тонн загальних запасів вугілля, з яких на діючих шахтах присутні до 6,6 мільярдів тонн промислових запасів, у тому числі майже 4 мільярди тонн енергетичного вугілля. Україна знаходиться серед десяти найбільших видобувачів вугілля у світі, однак за економічними показниками вугледобувної галузі поступається більшості лідерів.

Вугільна промисловість Західного Донбасу в останні роки демонструє найбільш комплексний набір викликів, пов'язаних із видобутком вугілля та одночасним припиненням гірничих робіт у складних геологічних та гідрогеологічних умовах. Площа шахтних територій у цьому регіоні перевищує 500 квадратних кілометрів. На цій величезній території відбуваються такі явища, як осідання земної поверхні, що становить до 90% від загальної міцності вугільних пластів, підтоплення заплавлів річок, відкачування десятків мільйонів кубометрів шахтних вод щорічно, висихання джерел питної води, а також втрата десятків тисяч тонн вугілля через дренаж та зсув гірських порід вугільного шару та інші негативні впливи.

Попри значні позитивні дії, при освоєнні родовищ корисних копалин підземним способом, існують негативні впливи. Одним з таких є пошкодження природних ресурсів, а саме земельних ділянок, які обмежені

гірничим відводом, порушенням гідродинаміки підземних вод, їх якості для забезпечення питною водою населення.

Підготовчі роботи для видобування мінералів, будівництво інфраструктури та промислових об'єктів часто ведуть до вирубування лісів, що негативно впливає на руйнування цінних природних екосистем, зменшення місць існування численних видів тварин та зниження біорізноманіття. Додатково, діяльність з видобутку мінералів може викликати ерозію ґрунтів і зниження якості їх верхнього шару. Ерозія, викликана водою та вітром, знижує родючість верхніх шарів ґрунту, що є важливим для сільськогосподарської діяльності. Видобуток мінералів також може призвести до просідання земної поверхні, особливо при видаленні вугільних пластів, та подальшому затопленні територій після закриття шахт. Важливим завданням для гірничодобувних підприємств є відновлення земель після завершення видобутку, що має критичне значення для збереження екологічного балансу. Тому розробка математичних моделей для автоматизації процесу управління гідроекобезпекою при синхронному згортанні вугледобувної діяльності та гірничих робіт у Західному Донбасі є актуальним науковим завданням.

## **2 Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами**

Дисертаційна робота виконана на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» згідно з Національним планом дій в галузі енергетики до 2030 р. за № 687, скоригованим і затвердженим Міністерством енергетики та вугільної промисловості України у 2018 р., відповідає «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №1071-р.) та «Загальнодержавній програмі розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року № 3268-VI) та ін.

## **3 Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність та наукова новизна**

Вважаю, що наукові положення, які виносяться на захист здобувачем, повною мірою відображають отримані наукові результати, що вказує на їх достатню обґрунтованість.

Наукові положення, що виносяться на захист, сформульовані автором наступним чином.

1. Параметрична логістика автоматизації процесу керування гідроекобезпекою ведення гірничих робіт і їх згортання складається з послідовності геофізичних вимірів деформацій у покрівлі рухомого очисного вибою, які відображають пружно-реологічну динаміку зрушень масиву до поверхні карбону з ядром повзучості Абеля та подальшим сполученням цього результату з геометричними розмірами зони фільтрації у вибої за вимірами на електрогідродинамічній моделі, що дозволяє аналітично узагальнити рівняння керованості технічних систем у вигляді синтезу чисельних моделей геофільтрації і геомеханіки на основі комп'ютерних програм.

2. Математичне моделювання динаміки опускання поверхні шахтного поля в Західному Донбасі реалізується побудовою поверхонь з регулярною інтерполяційною і поліноміальною мережами, причому просторова інтерполяція ґрунтується на аналітичному виборі моделі поверхні і подальшою її деталізацією локальною інтерполяцією за вимірами навколо кожної точки, а порівняння суми елементарних призм по кожному вузлу мережі з поверхнею ґрунтових вод і водоймищ дозволяє знайти контури площ підтоплення і затоплення у прибережних зонах з описом динаміки їхньої зміни у просторі і часі на скінченно-різницевих багат шарових моделях геофільтрації з відображенням нестационарного гідродинамічного балансу, показники якого є модельними параметрами гідро- та екопорушень масиву і його стабілізації за варіантним рядом керуючих інженерних рішень.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше доведено, що складання методики модельного відображення параметрів масиву шахтного поля з автоматизацією процесу керування гідроекобезпекою конкретизується фізичним моделюванням та емпіріоаналітичними обґрунтуваннями і математичним описом елементів побудови послідовності комп'ютерних моделей.

2. Вперше за геофізичними вимірами деформації надвугільної товщі у свердловинах над рухомим очисним вибоєм отримано графіки параметрів деформування гірських порід у часі, які інтерпретовані за класичним рівнянням з ядром Абеля з новим фізичним змістом, як параметри пружно-реологічної піддатливості масиву та разом з доказом гідростатичного розподілу напружень у підшві бучацького водоносного горизонту. Це дозволяє використати комп'ютерно-інтегровані технології для моделювання фільтраційних збурень, які спричиняють практично рівномірне переміщення центральних і периферійних точок з об'ємом мульди зсуву, рівним об'єму водовмісного піщаного матеріалу, та сформують нове фізичне уявлення водозахисних функцій масиву.

3. Вперше здійснено імітаційний пошук параметрів проникності зони підробки очисним вибоєм аналоговим моделюванням на резисторній електрогідродинамічній моделі та співставленням результатів з параметрами розтікання води в лаві, що дозволяє дійти висновку про паралельне застосування горизонтальних і зсувних деформацій при інтегруванні чисельних моделей. Математичною основою комп'ютерного моделювання процесу геофільтрації при експлуатації та затопленні шахт є чисельне розв'язання рівняння несталої планової фільтрації за явно-неявною схемою, коли є дотримання потокового балансу по всій області моделі.

4. Удосконалено обґрунтування гідробезпеки регіонального водоносного горизонту в Західному Донбасі і показано, що навколо розкритої тріщини у гірській породі утворюється захисна зона «зворотний фільтр», з якої вимиваються дрібні фракції піску, а крупні утворюють захисну зону за співвідношенням  $d_{50}/d_{10} > 2$ , де  $d_{50}$  та  $d_{10}$  є діаметрами фракцій з відповідним вмістом у водоносному горизонті 50% і 10%, що дозволяє підвищити якість геофільтраційної моделі при використанні комп'ютерно-інтегрованих технологій.

5. Розширено уявлення про фізичні параметри підробки водонасичених пісків, коли доступ до вимірів розкриття тріщин відсутній, знайдено емпіріоаналітичне тлумачення логарифмічної лінеаризації залежності між проникністю підробленої товщі порід і кратністю підробки, що з урахуванням отриманих ймовірнісних показників зернового складу бучацького піску дозволило гарантовано виявити існуючий резерв захисних властивостей аргілітів та алевролітів у Західному Донбасі, який дорівнює 3,0.

6. Удосконалено обґрунтування й апробовано методику моделювання опускання земної поверхні при її підробці очисними роботами в умовах шахт Західного Донбасу, при цьому запропоновано оптимальні моделі побудови поверхонь з регулярною мережею – інтерполяційна і поліноміальна, які дозволяють отримати адекватне уявлення про поверхні, а також вони є базисом для підрахунку об'ємів, наведених у вигляді суми елементарних призм по кожному вузлу мережі, що дозволяє приймати управлінські рішення щодо зменшення фінансового навантаження на вугледобувне підприємство під час його закриття.

Обґрунтування і достовірність одержаних результатів підтверджується коректною постановкою і вирішенням задач; використанням фундаментальних положень теорії автоматичного керування; перевіркою результатів імітаційного моделювання, використанням апробованих методів досліджень, таких як чисельне моделювання складних гідрогеомеханічних систем з ідентифікацією об'єктів і моделей, методів триангуляції, теорії ймовірностей і статистики, а також збіжністю результатів моделювання з інструментальними вимірами, практичною апробацією використовуваних методів, впровадженням результатів роботи.

#### **4 Оцінка змісту роботи та повнота викладу положень висновків і рекомендацій в опублікованих працях**

Дисертаційна робота, що подається до захисту складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 130 найменувань на 15 сторінках. Робота містить 247 сторінок основного тексту, 90 рисунків та 25 таблиць, загальний обсяг – 279 сторінок.

*У першому розділі* виконано аналіз основних чинників, які найбільш суттєво впливають на формування факторів гідроекобезпеки при веденні та згортанні гірничих робіт і можливу синхронізацію цих процесів. Визначено основні чинники для врахування певної послідовності створення логічно обумовленого модельного ряду відображення факторів гідробезпеки. Виконано аналіз інформаційних систем та програмного забезпечення, призначених для вирішення завдань керування гідродинамічними та геомеханічними процесами при веденні та згортанні гірничих робіт.

*Другий розділ* дисертації присвячений обґрунтуванню методики модельного відображення параметрів масиву шахтного поля для автоматизації процесів керування синхронізацією гірничих робіт та їх згортанням із мінімізацією негативних гідродинамічних явищ, а саме: проведено емпірично-аналітичне дослідження параметрів водопроникного розрідження гірських порід під час розробки вугільних пластів та здійснено аналітичний вибір методу оцінки параметрів керування геофільтрацією в порушеному гірничими роботами масиві шахтного поля. Ідентифіковано модельні рішення і реальні геофільтраційні об'єкти методом електрогідродинамічних аналогій за даними натурних вимірювань і моделювання на еквівалентних матеріалах. Наведено математичну основу математичного моделювання процесу фільтрації підземних вод під час експлуатації та затоплення шахт.

*У розділі три* виконано обґрунтування гідробезпеки підробки регіонального водоносного горизонту в Західному Донбасі. Для цього проведено оцінку проникаючої здатності бучацьких пісків, досліджено механізм формування прориву водопіщаної суміші в гірничі виробки та обґрунтовано механізм формування аномальних водоприпливів.

*У четвертому розділі* надано аналітичне обґрунтування і реалізація програмного забезпечення побудови тривимірної моделі обводненого шахтного поля, а саме: обґрунтовано методику прогнозування зрушень гірського масиву та земної поверхні у Західному Донбасі з використанням комп'ютерного моделювання; розроблено тривимірну модель підробленої земної

поверхні; програмне забезпечення для відображення наслідків вуглевидобутку і закриття шахт Західного Донбасу, що формують гідроризики на шахтному полі; архітектуру бази даних для програмного забезпечення. Наведено реалізацію розроблюваної програми як дослідницької апробації.

*П'ятий розділ* присвячений реалізації використання послідовності обґрунтованих моделей як інструмента автоматизації процесів керування гідроекобезпекою вуглевидобутку та згорання гірничих робіт, а саме: наведено геофільтраційну комп'ютерну модель Західного Донбасу, яка складає загальну основу локалізації та фрагментації будь-якої іншої модельної ділянки (наприклад, окремого шахтного поля або блока, виїмкової ділянки, технологічного елемента міграції шахтних вод, водозабору питної та технічної води, площі підтоплення та ін.); наведено фільтраційну комп'ютерну модель шахтних полів і модель суміжних шахт, що готуються до закриття в режимі синхронізації гірничих робіт та їх згорання з виконанням їх ідентифікації. Наведено результати комп'ютерного моделювання для різних варіантів синхронізації гірничих робіт і закриття суміжних шахт та надано рекомендації щодо мінімізації гідроекологічних наслідків для них. Виконано оцінку економічної ефективності впровадження рішень щодо прогнозування наслідків підтоплення площі гірничого відводу шахти. Запропоновано три варіанти розвитку подій відносно ділянок земель, які знаходяться в зоні ризику.

Інформація у додатку містить документ, що підтверджує впровадження результатів дисертаційної роботи.

Ознайомлення з дисертацією і копіями наукових праць дозволяє зробити висновок про дотримання здобувачем вимог щодо повноти публікування результатів дослідження у наукових виданнях. Особистий внесок здобувача підтверджується відображенням основних розділів дисертації в монографії, статтях і виступах, що містять 11 найменувань. У тому числі 1 монографія, 3 статті у наукових фахових виданнях (одна з яких індексована у наукометричній базі даних Scopus), 7 – у матеріалах міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференцій.

Кількість наукових праць відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження...».

## **5 Значення роботи для науки, практики та суспільства**

Вважаю, що результати дисертаційного дослідження мають важливе для гірництва наукове та практичне значення.

**Наукове значення роботи** полягає у створенні науково-методичного підходу до побудови логістичної послідовності фізичних і комп'ютерних моделей, які у сукупності дозволяють автоматизувати керування гідроекобезпекою шахтних полів.

**Практичне значення отриманих результатів:**

1. Створено та впроваджено послідовність чисельних комп'ютерних моделей і програмного забезпечення як інструмента автоматизації процесів керування гідроекобезпекою шахтних полів у Західному Донбасі.

2. Розроблено математичний і алгоритмічний апарат, який дозволив створити ефективні моделі земної поверхні і водоносного горизонту, а також визначити об'єм між початковою земною поверхнею, що осіла, а також між водоносним горизонтом і поверхнею, для визначення ділянок затоплення.

3. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати прогнозування гідроекологічних ризиків на площах, де формуються мульди осідання денної поверхні в прибережних зонах річок (Програмне забезпечення моделювання поверхонь виконано на мові Visual C++ під операційну систему Windows з використанням інструментальних засобів відкритої графічної бібліотеки OpenGL та MS Visual Studio IDE).

5. Розроблено постійнодіючу геофільтраційну комп'ютерну модель шахтних полів Західного Донбасу, яка відображає динаміку балансу підземних та поверхневих вод і є базовою для вирішення завдань керування гідроекобезпекою окремих шахт.

6. Виконано оцінку економічної ефективності використання оновленого програмного забезпечення для побудови тривимірної моделі обводненого шахтного поля.

Практичні результати роботи характеризуються достатньою економічною ефективністю. Результати роботи мають беззаперечну користь для суспільства, адже дозволяють управляти гідроекобезпекою при синхронізації вуглевидобутку та згортанні гірничих робіт у Західному Донбасі

Результати досліджень використано при виконанні науково-дослідної роботи 040844-21 «Гідрогеологічний прогноз наслідків ліквідації шахт «Ювілейна» та «Степова» ВСП «ШУ Першотравенське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» та у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при підготовці аспірантів спеціальності 184 «Гірництво» з дисципліни «Тенденції розвитку комп'ютерних методів оптимізації технологічних процесів у гірництві».

**6 Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

В процесі ознайомлення та вивчення дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не відзначено.

## 7 Дискусійні положення та зауваження

1. Автором зазначається про суміщення чисельних алгоритмів математичного моделювання методами скінченних різниць і методом скінченних алгоритмів, зокрема, знаходження чисельного розв'язку математичної моделі (2.24)-(2.25) пропонується за допомогою як методу скінченних різниць (FDM) так і методу скінченних елементів (FEM). Однак, в роботі не розкрито використання методу скінченних елементів. Варто було б надати пояснення в тексті роботи щодо застосування методу скінченних елементів до побудованої математичної моделі (2.24)-(2.25).
2. В дисертаційній роботі недостатньо висвітлено необхідність дослідження нелінійності фільтраційних геомеханічних змін у математичних моделях пружно-реологічної піддатливості масиву.
3. Здобувачем вказано у висновках розділу 4 та серед практичних результатів роботи, що графічний інтерфейс розробленого програмного забезпечення враховує аналіз поведінки цільового користувача, а також враховує останні тенденції в сфері User Experience. Однак як середовище розробки використовується Microsoft Visual Studio IDE 2015 року. Слід було б забезпечити більш детальне викладення щодо методів врахування поведінки користувачів (відгуки користувачів, аналіз використання програми, А/В тестування, відстеження шляхів користувачів всередині програми тощо), а також зазначити які саме останні тенденції в сфері UX (впровадження голосових інтерфейсів, використання штучного інтелекту, доступність для людей з обмеженими можливостями тощо) було використано.
4. Аналіз літературних джерел проведений недостатньо. Зокрема у ряді робіт вітчизняних вчених (І. В. Сергієнка, В. В. Скопечького, В. С. Дейнеки, О. М. Трофимчука, Ю. І. Калюха, А. П. Власюка, М. Т. Кузла, Н. А. Жуковської та інших) досліджено вплив гідрогеологічних умов на деформації ґрунтових середовищ та, зокрема, досліджено задачі НДС ґрунтових масивів при наявності переносу солей фільтраційними потоками в неізотермічних умовах з урахуванням РГВ. Крім того, варто вартує звернути увагу на програмний комплекс NADRA-3D, що розроблений в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України та здійснює моделювання процесів фільтрації і зміни НДС в багатокомпонентних трьохвимірних об'єктах.
5. Інформація про наукові положення, що виносяться на захист, наукову новизну отриманих результатів, наукове значення роботи та практичне значення отриманих результатів повторюються як у анотації роботи так і у вступі.

Вказані зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку наукової та практичної цінності роботи.

## 8. Загальний висновок по дисертаційній роботі.

Дисертація має логічну структуру, її мова відповідає рівню науково-технічних видань, термінологія використовується коректно, стиль викладу зручний для аналізу, ясний для розуміння.

Рукопис дисертації оформлено згідно встановлених вимог.

Слід зазначити, що більшість висновків за розділами сформульовано не як прості анотації результатів, що дозволяє оцінити особистий внесок автора, ступінь їх новизни та значущості.

Зазначені недоліки й зауваження щодо дисертаційної роботи не носять принципового характеру та не впливають на її позитивну оцінку.

Дисертаційна робота Власова Владислава Сергійовича виконана за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», її тема та зміст відповідають паспорту спеціальності.

Представлена дисертація є закінченим і самостійним науковим дослідженням, актуальність якого є беззаперечною. Робота виконана на достатньому фактологічному матеріалі з використанням сучасних методів досліджень, містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, оригінальні та значущі, раніше не захищені наукові положення. Наукові результати, одержані здобувачем, належним чином опубліковано.

Вважаю, що представлена дисертаційна робота Власова Владислава Сергійовича на тему *«Математичні моделі для автоматизації процесу керування гідроекобезпекою при синхронізації вуглевидобутку та згортання гірничих робіт у Західному Донбасі»*, відповідає всім вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.07.2017 р. №40 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії.....» (пункти 5,6,8).

За вирішення актуального науково-технічного завдання обґрунтування гідрогеомеханічних параметрів, які обумовлюють фізичне формування гідроризиків при синхронізації вуглевидобутку та згортання гірничих робіт на основі створення послідовності чисельних математичних моделей, що дозволяє використовувати їх як інструмент автоматизації процесів керування гідроекобезпекою в умовах шахт Західного Донбасу, **Власов Владислав Сергійович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування, за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».