

**ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Миколи Івановича Густі “*Математичні моделі процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування*”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи

**Актуальність теми дисертації.** Одним із методів прогнозування процесів накопичення/стоку парникових газів в атмосфері планети Земля є математичне моделювання. До основних парникових газів в атмосфері Землі відносяться пари води, вуглекислий газ, метан, озон, закис азоту. Особливістю вуглекислого газу стосовно парникових властивостей є його довгостроковий вплив на клімат. Після припинення емісії вуглекислого газу його вплив продовжується до тисячі років. При цьому, спалювання викопних корисних копалин, таких як вугілля, нафта і природний газ, є основною причиною емісії CO<sub>2</sub>. В той же час знеліснення – це друга за значимістю причина. Тому актуальність дисертаційного дослідження не викликає сумнівів. Математичні моделі та власне математичне моделювання дисертантом обрані не як самоціль, а як інструменти для підтримки прийняття обґрунтованих рішень із вирішення вказаних проблем та створення сценаріїв перебігу процесів в майбутньому.

За своїм науковим спрямуванням дисертаційна робота відповідає програмам і планам наукових досліджень Національного університету «Львівська політехніка». Більше того, тема дослідження стосується проблеми глобального планетарного масштабу. Тому природно, що результати дисертаційної роботи отримано в рамках ряду міжнародних проектів та грантових угод.

Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи та основні поставлені завдання досліджень для досягнення цієї мети. Дисертаційна робота стосується розробки та розвитку теорії математичного моделювання реальних явищ та процесів, які мають відповідні негативні наслідки – парниковий ефект для планети Земля. Враховано топологічну складність досліджуваної системи. Оскільки проблема є глобальною і потребує вирішення, то отримані результати знайдуть своє застосування в подальших теоретичних дослідженнях з даного напрямку, а також при прийнятті відповідних практично значущих рішень.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**  
Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульо-

ваних у дисертації, визначається відповідністю їх сучасним теоретичним уявленням про побудову математичних моделей процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування. Зокрема, автор використав методи математичної статистики для аналізу вхідних даних, побудови математичних моделей та оцінювання їх похибок, метод імітаційного моделювання для моделювання прийняття рішень, методи геоінформатики та сучасні підходи в програмуванні для програмної реалізації математичних моделей та представлення результатів.

Обґрунтованість наукових положень, результатів та висновків дисертації забезпечується також їх апробацією на наукових конференціях, симпозіумах і семінарах, опублікуванням 3-х монографій, 16 статей у наукових періодичних фахових виданнях, які входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

**Достовірність висновків і рекомендацій.** Достовірність отриманих автором результатів, висновків і рекомендацій забезпечується застосуванням сучасних методів математичного моделювання та математичної статистики, системним підходом, відповідністю використаних наукових методів завданням дослідження і логічністю послідовності його етапів, фізичною і математичною коректністю постановок відповідних задач, несуперечністю одержаних результатів відомим результатам, а також їх кількісною та якісною відповідністю даним деяких спостережень, що підтверджує адекватність запропонованих математичних моделей досліджуванім процесам. При порівнянні результатів моделювання G4M зі статистичними даними та результатами інших моделей показано, що у середньому за 1999-2015 рр. середньоквадратичне відхилення змодельованих значень заготівлі деревини склало 0.5% для ЄС. Для більшості країн відхилення становить біля 1%. В загальному, для ЄС середньоквадратичне відхилення модельованих значень емісій CO<sub>2</sub> з біомаси від лісокористування від значень РКЗК ООН становить 17%. Коректність отриманих числових результатів також підтверджено їх узгодженістю з результатами отриманими згідно інших відомих моделей.

Достовірність отриманих у роботі результатів підтверджена їх практичним впровадженням у Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (м. Лаксенбург, Австрія), в Національному університеті «Львівська політехніка» (як в навчальному процесі, так і в наукових програмах досліджень), у Державному НДІ інформаційної інфраструктури НАН України, у Природному заповіднику «Розточчя».

Автореферат адекватно відповідає змісту дисертації та оформлений згідно існуючих вимог. Результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 102 наукових працях, у тому числі і у відомих світових

журналах з математичного та комп'ютерного моделювання стосовно досліджуваної проблематики. Широка апробація наукових положень та результатів дисертаційної роботи зайвий раз підтверджує їх обґрунтованість та достовірність.

**Наукова новизна** одержаних в роботі результатів полягає в нижче вказаних здобутках автора.

### **1. Вперше:**

- розроблено метод моделювання вуглецевого балансу лісової екосистеми, який поєднує процеси кругообігу вуглецю та таксаційні параметри деревостану;
- розроблено математичну модель фенологічних процесів у букових та дубових лісах Карпатського регіону України, яка базується на даних спостережень, враховує часовий зсув цих процесів при зміні клімату;
- розроблено метод геопросторового моделювання процесів лісокористування та зміни типів землекористування на глобальному рівні, який, на відміну від відомих, враховує взаємний вплив цих процесів, а також процесів торгівлі та переміщення заготовленої деревини, процесів заліснення та знеліснення;
- розроблено метод моделювання процесу прийняття рішень щодо заготівлі заданої кількості деревини та зменшення емісій CO<sub>2</sub> від лісокористування при збереженні заготівлі заданої кількості деревини для геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування (моделі G4M).

### **2. Удосконалено:**

- метод геопросторового математичного моделювання процесів знеліснення у моделі G4M шляхом урахування просторового поширення знеліснення для глобальної геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування;
- структуру математичної моделі вуглецевого балансу лісової екосистеми з врахуванням наявних даних про лісові екосистеми та кліматичні умови в Україні шляхом введення додаткових резервуарів та потоків вуглецю, а також процесів накопичення та танення снігу;
- метод ідентифікації параметрів геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування.

До результатів докторської дисертації не включено наукові положення і дослідження за якими захищена кандидатська дисертація.

### **Зауваження** до дисертаційної роботи.

1. Математичне та комп'ютерне моделювання розглянутих в роботі процесів містить в собі елементи стохастики. Виникають природні питання: як ці

стохастичні величини впливають на адекватність нових/вдосконалених математичних моделей? на достовірність отриманих результатів? на їх точність та надійність? Ці стохастичні величини утворюють випадкові поля, залежно від параметрів яких будуть змінюватись прогнози розрахунки та сценарії розвитку. Чи проведено теоретичний факторний аналіз та визначено найбільш критичні параметри? На мою думку автором недостатньо уваги приділено саме цим питанням з теоретичної точки зору.

2. В роботі сказано про розроблені програмні засоби для проведення відповідних досліджень. Однак, у списку опублікованих праць, відсутні авторські права здобувача на розроблені програмні комплекси. Відсутність авторських прав не применшує наукової цінності дисертаційної роботи, але їх наявність ще раз підкреслила б її (роботи) практичну цінність та спрямованість.

3. На мою думку в дисертаційній роботі недостатньо повно враховані можливості супутникового моніторингу для оцінки знеліснення. На даний час наявні технічні можливості та розроблені програмні комплекси для динамічного відслідковування зміни площі лісів з використанням даних дистанційних знімків. Особливо це стосується наукових програм досліджень Європейського Союзу.

4. В побудованій математичній моделі не достатньо враховано розвиток альтернативних джерел енергії. Ці питання варто було б детальніше розглянути в дисертаційній роботі.

5. На мою думку недостатня увага в дисертаційній роботі приділена для питань алгоритмічної роботи з великими масивами даних, питань складності обчислень, необхідних технічних ресурсів тощо. Очевидно, що дисертант ці задачі був змушений вирішувати, адже програмні комплекси створені і обчислювальні експерименти проведені. Однак їх (питання) слід було б більш детально висвітлити в дисертації.

Вказані вище зауваження суттєво не знижують загальної *позитивної оцінки дисертації та її високої якості в цілому.*

### **Висновок про відповідність дисертації вимогам МОН України.**

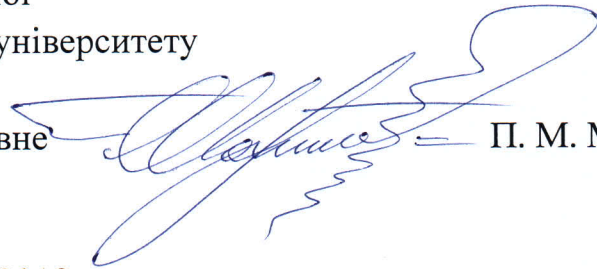
Подана до захисту дисертація є оригінальним і завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язана важлива науково-прикладна проблема математичного моделювання процесів емісії та стоку вуглекислого газу у

лісовому господарстві та при змінах землекористування, що дало можливість підвищити ефективність прийняття природоохоронних управлінських рішень щодо пом'якшення зміни клімату на глобальному, регіональному та національному рівнях.

Результати роботи є новими та достатньо апробованими. Аналіз публікацій дисертанта показує, що основні результати дисертації отримано автором самостійно. Автореферат адекватно відображає зміст роботи.

За актуальністю теми, рівнем та обсягом виконаних досліджень, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота “Математичні моделі процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування” повністю відповідає встановленим вимогам щодо докторських дисертацій, зокрема п.10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор *Густі Микола Іванович* заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри прикладної  
математики Національного університету  
водного господарства та  
природокористування, м. Рівне



П. М. Мартинюк

“ 27 ” листопада 2018

«Підпис П. М. Мартинюка засвідчує»  
Вчений секретар вченої ради НУВГН




В. І. Давидчук