

Відгук

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

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі зміни клімату, яка на сьогоднішній день є важливою соціально-економічною, екологічною та міжнародною проблемою. Починаючи з 1992, коли було прийнято Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату, Україна бере активну участь у міжнародних угодах щодо зменшення негативного впливу людей на кліматичну систему. Згідно Паризької угоди 2015 року до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату країни мають прикласти зусилля для запобігання зростання глобальної температури більше, ніж 2°C вище доіндустріального рівня до кінця 2100 року. Україна в рамках цієї угоди визначила ціль не перевищити 60% рівня емісій парникових газів 1990 року. Зважаючи на складність взаємодії людей з навколишнім середовищем і глобальність проблеми, математичне моделювання є важливим інструментом для отримання знань, а також підтримки прийняття рішень щодо зменшення впливу на кліматичну систему. Розвинені країни застосовують математичне моделювання для визначення можливості скорочення емісій парникових газів в різних секторах економіки і, відповідно, своїх позицій на міжнародних переговорах.

Не зважаючи на значну кількість існуючих математичних моделей емісій парникових газів, зокрема, в секторі землекористування, зміни землекористування та лісового господарства, не вся взаємодія між економічними,

біофізичними та кліматичними процесами врахована. Дисертант у своїй роботі зосередив увагу на взаємодії цих різних процесів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності прийняття природоохоронних управлінських рішень щодо пом'якшення зміни клімату на глобальному, регіональному та національному рівнях у секторі лісового господарства та при змінах землекористування шляхом розроблення методів моделювання та математичних моделей вуглецевого балансу лісових екосистем, методів моделювання процесів лісокористування та змін землекористування, методів моделювання прийняття рішень, методів детектування зміни рівня емісій парникових газів, методів аналізу різноманітних стратегій зменшення емісії вуглекислого газу в секторі лісового господарства та змін у землекористуванні, а також методів оцінювання емісій вуглекислого газу екосистемами.

Завдання, які розв'язано у дисертаційній роботі, дозволяють досягнути поставлену мету:

- проаналізовано відомі підходи до моделювання та математичних моделей вуглецевого балансу лісових екосистем, процесів лісокористування та змін землекористування, а також визначення похибок;
- розроблено нову математичну модель вуглецевого балансу лісової екосистеми з врахуванням наявних даних про лісові екосистеми та кліматичних умов в Україні;
- розроблено методи геопросторового моделювання процесів лісокористування та зміни типів землекористування на глобальному рівні із врахуванням взаємного впливу процесів лісокористування та зміни типів землекористування, а також процесів торгівлі та переміщення

заготовленої деревини та відповідних емісій вуглекислого газу, впливу заходів щодо зменшення емісій парникових газів на ці процеси;

- удосконалено метод ідентифікації параметрів геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування з врахуванням існуючих даних про заліснення, знеліснення та тренд зміни площі лісу на національному рівні;
- створено схеми обміну даними між геопросторовою моделлю процесів лісокористування та зміни землекористування та іншими моделями для комплексного оцінювання емісій вуглекислого газу та потенціалу зменшення емісій для сценаріїв соціально-економічного розвитку та зміни концентрацій парникових газів в атмосфері;
- розроблено методи обчислення емісій вуглекислого газу екосистем суходолу та невизначеності результатів обчислень у випадку недостатньої кількості вимірювань;
- проаналізовано невизначеності вхідних даних та результатів моделювання, а також оцінено вплив невизначеностей на прийняття природоохоронних рішень;
- проаналізовано процеси лісокористування та зміни землекористування, емісії вуглекислого газу та потенціал зменшення емісій з використанням розробленої геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у розробленні методу моделювання вуглецевого балансу лісової екосистеми, методів геопросторового моделювання процесів лісокористування та зміни землекористування на глобальному рівні, методів моделювання процесів прийняття рішень щодо заготівлі заданої кількості деревини та щодо зменшення емісій CO₂ при

лісокористуванні і зміні землекористування; розробленні математичної моделі фенологічних процесів у букових та дубових лісах Карпатського регіону України; удосконаленні методу геопросторового математичного моделювання процесів знеліснення у моделі G4M та методу ідентифікації параметрів геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування, що відображають процеси заліснення та знеліснення на локальному рівні; удосконаленні структури 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 процеси накопичення та танення снігу. У дисертаційній роботі розв'язано комплекс задач, які у сукупності вирішили науково-прикладну проблему математичного моделювання процесів емісії та стоку вуглекислого газу в 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 дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі в Національному університеті “Львівська політехніка” в лекційних курсах „Просторове моделювання екологічних процесів” та „Математичні моделі екологічних процесів” освітньо-кваліфікаційного рівня "магістр" (спеціальність 113 – „Прикладна математика”, спеціалізація 0102 – „Математичне та комп'ютерне моделювання”), що підтверджено відповідним актом впровадження.

Практична цінність результатів дослідження. Розроблений метод моделювання вуглецевого балансу лісових екосистем, який поєднує процеси кругообігу вуглецю та таксаційні параметри деревостану, застосовано при

створенні математичних моделей деревостанів, які використано для аналізу динаміки запасів вуглецю у компонентах лісової екосистеми при залісненні.

Розроблений метод геопросторового моделювання взаємопов'язаних процесів лісокористування та зміни типів землекористування з врахуванням торгівлі між країнами на глобальному рівні, метод моделювання просторового поширення знеліснення, метод ідентифікації параметрів моделі, метод моделювання процесу прийняття рішень щодо заготівлі заданої кількості деревини та скорочення емісій вуглекислого газу, та алгоритм моделювання процесу емісії CO₂ з біомаси, підстилки, ґрунту та боліт при зміні землекористування використано для вдосконалення глобальної геопросторової математичної моделі процесів лісокористування та зміни землекористування G4M. Модель G4M застосовується для аналізу стратегій зменшення емісій вуглекислого газу як на глобальному, так і на регіональному і національному рівнях. Зокрема, модель G4M використано для оцінювання ефективності політики зменшення емісій CO₂ лісами України при різних соціально-економічних сценаріях; при чисельному оцінюванні сценаріїв спільних соціально-економічних шляхів (SSP) разом із сценаріями репрезентативних концентрацій парникових газів (RCP); для аналізу потенціалу та коштів використання земельних та лісових ресурсів країнами Європейського Союзу; створення референтного сценарію емісій парникових газів у секторі землекористування, змін землекористування та лісового господарства до 2050 р. для країн Європейського Союзу; при підготовці Європейською Комісією оцінки впливу сталого використання біоенергії у країнах ЄС; для підтримки прийняття рішень Європейської Комісії щодо зменшення емісій парникових газів у секторі землекористування, зміни землекористування та лісового господарства; підготовлення референтних рівнів емісії вуглекислого газу від лісокористування для країн ЄС; підготовлення сценаріїв-посилених заходів зменшення емісій для

країн, які емітують більшу частину парникових газів; підготовленні інтегральної оцінки послаблення та адаптації до зміни клімату у країнах, що розвиваються, для секторів сільського та лісового господарства для Світового банку; аналізу синергії заходів щодо зменшення емісій CO₂ від знеліснення та зменшення ризику зникнення видів тварин у країнах, що розвиваються; аналізу переваг вдосконалення системи моніторингу емісій вуглекислого газу від знеліснення; аналізу впливу невизначеностей на прийняття рішень щодо зменшення емісій вуглекислого газу від лісокористування.

Розроблений метод обчислення критичної відносної похибки оцінки емісії парникових газів доцільно використовувати при розробці міжнародних договорів щодо зменшення емісій парникових газів. Крім того, зазначений метод використано для розроблення більш складних діагностичних методів та для оцінки вигоди вдосконалення системи моніторингу емісій вуглекислого газу від знеліснення.

Розроблений метод обчислення емісій вуглекислого газу з екосистем суходолу (на великих територіях, де недостатньо вимірювань) та оцінки похибок при неповних даних доцільно застосовувати для оцінки запасів та потоків вуглецю на національному та регіональному рівнях. Зокрема цей метод було використано для оцінки похибок вуглецевого балансу наземних екосистем північної Азії.

Практичне використання результатів дисертаційних досліджень підтверджено актами впровадження, наведеними у дисертаційній роботі. Згідно актів результати дисертаційної роботи використано:

в Національному університеті „Львівська політехніка”: геопросторова математична модель процесів лісокористування та зміни землекористування G4M (при виконанні держбюджетної теми “Геоінформаційні технології аналізу стоку та емісії парникових газів у лісовому господарстві для підтримки

прийняття рішень”, 2013-2014 рр.); методи обчислення емісій парникових газів у лісовому господарстві та їх невизначеностей, методи просторової інвентаризації парникових газів, методи детектування зміни емісій парникових газів на рівні країни з врахуванням невизначеності (при виконанні проекту “Геоінформаційні технології, просторово-часові підходи та оцінювання повного вуглецевого балансу для підвищення точності інвентаризацій парникових газів”, 2011-2014 рр., грант 7РП ЄС – Marie Curie Project n°247645 FP7-PEOPLE-2009-IRSES; держбюджетної НДР “Геоінформаційні технології побудови регіональних кадастрів емісії парникових газів для підтримки прийняття ефективних економіко-адміністративних рішень”, 2011-2012 рр.; українсько-австрійського проекту „Просторово-часове оцінювання невизначеності кадастрів емісії парникових газів: ретроспективний аналіз для Австрії та України та ефективне прогнозування”, 2015-2016 рр.; українсько-китайського проекту "Просторова інвентаризація парникових газів у житловому секторі китайських та українських регіонів для підтримки прийняття ефективних економіко-адміністративних рішень", 2013-2014 рр.; українсько-австрійського проекту "Регіональний просторовий кадастр емісій парникових газів з врахуванням невизначеностей вхідних даних", 2011-2012 рр.; українсько-австрійського проекту "Методи просторової інвентаризації емісій парникових газів Кіотського протоколу з врахуванням їх невизначеностей", 2009-2010 рр.);

в Міжнародному інституті прикладного системного аналізу, м.Лаксенбург, Австрія: метод обчислення потоків CO₂ екосистем суходолів та оцінки похибок при неповних даних (при виконанні проекту «Оцінка фактору невизначеності у повному обліку вуглецю методом “знизу-вгору” для Росії», Австрійський науковий фонд – FWF, Проект № P17569-N04, 2005-2007 рр.); розроблену геопросторову математичну модель процесів лісокористування та зміни землекористування G4M, розроблені методи зв’язку моделі G4M з іншими

моделями, розроблені криві граничних витрат на зменшення емісій CO₂, аналіз невизначеності вхідних даних та результатів моделювання, а також метод аналізу переваг вдосконалення системи моніторингу емісій CO₂ (при виконанні проектів «Застосування моделей для глобальних політик та дій ЄС-27 в умовах режиму після 2012р.», Post 2012 Project, Європейська комісія, 2008-2009 рр.; «Зміна клімату - Адаптація суходолу та пом'якшення наслідків в Європі», СС TAME, ЄС FP7, Грантова угода № 212535, 2008-2011 рр.; «Загальна вартість зміни клімату: ЗмінаКлімату», ЄС FP7, Грантова угода № 212774, 2008-2011 рр.; «Спостереження за Землею з метою моніторингу та оцінки впливу на навколишнє середовище внаслідок використання енергії: EnergGEO», ЄС FP7, Грантова угода № 226364, 2009-2013 рр.; «Управління парниковими газами в європейських системах землекористування - ПГ-Європа», ЄС FP7, Грантова угода № 244122, 2010-2014 рр.; «Аналіз потенціалу та витрат у землекористуванні, змінах в землекористуванні та лісовому господарстві в країнах-членах ЄС», ЄК, Генеральна дирекція з питань екології та Генеральна дирекція з питань зміни клімату, Угода № 07.0307/2009/541003/SER/C5, 2011 р.; «EUCLIMIT - Розробка та застосування можливостей моделювання пом'якшення зміни клімату економічними засобами у ЄС (Всі емісії та поглинання парникових газів)», Тендер ЄС, Генеральна дирекція з питань зміни клімату, 2011-2013 рр.; «Пом'якшення наслідків зміни клімату: Постійні можливості моделей підтримувати цілі міжнародної політики», Тендер ЄС, Генеральна дирекція з питань зміни клімату, 2011-2013 рр.; «Скорочення емісій внаслідок знеліснення та деградації лісу: Постійні можливості моделей підтримувати підготовку міжнародної політики ЄС», Тендер ЄС, Генеральна дирекція з питань зміни клімату, 2011-2013 рр.; «Розробка та застосування можливостей моделювання пом'якшення зміни клімату економічними засобами у глобальному масштабі для підготовки міжнародної політики ЄС», Тендер ЄС,

Генеральна дирекція з питань зміни клімату, 2012-2014 рр.; «Діюча глобальна система спостереження за вуглецем», GEOGarbon, ЄС FP7, Грантова угода № 283080, 2011-2014 рр.);

в Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури НАН України: програмні засоби моделювання процесів стоку вуглецю в лісах України та математичні моделі вуглецевого балансу лісових екосистем (при виконанні проекту Науково-технологічного центру України № 1700 «Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України», 2002-2004 рр.);

в Природному заповіднику «Розточчя»: методи та програмні засоби математичного моделювання фенологічних змін у букових та дубових лісах, а також удосконалені математичні моделі вуглецевого балансу лісових екосистем для аналізу основних потоків вуглецю в лісових екосистемах з врахуванням сезонних змін та оцінювання впливу кліматичних змін; зокрема при обґрунтуванні внесення ділянки квазі-пралісових букових лісів Розточчя до об'єкту природної спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси і давні букові ліси Карпат та інших регіонів Європи».

Достовірність та новизна висновків та рекомендацій.

Основні наукові результати, висунуті на захист:

Вперше

- розроблено метод моделювання вуглецевого балансу лісової екосистеми, який, на відміну від відомих, поєднує процеси кругообігу вуглецю та таксаційні параметри деревостану, що дає можливість відобразити вікову динаміку деревостану при моделюванні процесів кругообігу вуглецю;
- 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 та дає можливість точніше відтворити сезонну динаміку процесів кругообігу вуглецю;

- 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 переміщення заготовленої деревини, процесів заліснення та знеліснення, що дає можливість сумісно аналізувати і прогнозувати ці процеси у залежності від економічної ситуації та встановлених обмежень на емісію парникових газів;
- розроблено метод моделювання процесу прийняття рішень щодо заготівлі заданої кількості деревини та зменшення емісій CO₂ від лісокористування при збереженні заготівлі заданої кількості деревини на рівні країни чи регіону, для геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування (моделі G4M), який ґрунтується на принципі максимізації чистої приведеної вартості, поєднанні інформації про заготівлю деревини на різних геопросторових рівнях (регіони, країни та окремі клітинки растру) та дає можливість проводити імітаційне моделювання процесів лісозаготівлі та впровадження природоохоронних стратегій.

Удосконалено

- метод геопросторового математичного моделювання процесів знеліснення у моделі G4M, зокрема, просторового поширення знеліснення для глобальної геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування, шляхом врахування інтенсивності знеліснення на локальному рівні, а також транспортної мережі, що дає можливість точніше відтворити просторову структуру знеліснення;
- 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 процеси накопичення та танення снігу, що дало можливість враховувати таксаційні параметри деревостанів і залежності інтенсивності процесів кругообігу вуглецю від віку деревостану, а також точніше відтворити вікову та сезонну динаміку процесів кругообігу вуглецю;

- метод ідентифікації параметрів геопросторової моделі процесів лісокористування та зміни землекористування, що відображають процеси заліснення та знеліснення на локальному рівні, який, на відміну від відомих, враховує дані про заліснення, знеліснення та тренд зміни площі лісу (за даними ФАО та звітів країн до РКЗК ООН) на національному рівні, що дало можливість відтворити історичні емісії вуглекислого газу у країнах у секторі лісового господарства та зміни землекористування, а також прогнозувати емісії за різних сценаріїв соціально-економічного розвитку та ціни на емісії парникових газів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечена застосуванням методів математичної статистики для аналізу вхідних даних, методів побудови математичних моделей та оцінювання їх похибок; методів імітаційного моделювання для моделювання прийняття рішень; методів геоінформатики, процедурного та об'єктно-орієнтованого програмування для програмної реалізації математичних моделей та представлення результатів, а також проведенням аналізом результатів моделювання, порівнянням отриманих результатів із даними спостережень та результатами інших моделей, застосуванням розроблених математичних моделей і методів при виконанні великої кількості проектів, публікацією результатів роботи у рецензованих журналах, апробацією на конференціях, а також експертною оцінкою результатів роботи зацікавленими сторонами.

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 102 наукові праці, з яких: 3 монографії у співавторстві, 13 статей у наукових фахових виданнях України (1 стаття у виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus), 19 статей у наукових періодичних виданнях інших держав (з них 15 статей у виданнях, які входять до міжнародної наукометричної бази Scopus), 7 розділів у книгах та збірках наукових праць, виданих за кордоном (з них 2 включено в наукометричну базу Scopus), 4 статті в інших виданнях (з них 2 включено в наукометричну базу Scopus), 14 публікацій у виданнях інших держав та 42 публікації у матеріалах наукових конференцій (з них 4 індексовано у наукометричній базі Scopus). Основні результати дисертації повністю викладені у вищенаведених наукових виданнях.

У авторефераті дисертації висвітлено основні положення дисертації, зміст автореферату відповідає дисертації.

Зауваження щодо змісту дисертації.

1. З тексту роботи (розділ 2) не зрозуміло де використовується імітаційне моделювання та відсутня формалізація цієї імітаційної задачі.
2. В роботі відсутній опис особливостей програмної реалізації та технічного використання моделі G4M.
3. Висновки до розділів подекуди носять декларативний характер замість чіткого зазначення що зроблено і як. Це стосується першого пункту висновків до розділу 1, 11 пункту висновків до розділу 4 та першого пункту висновків до розділу 5.
4. В роботі зустрічається твердження, яке не підкріплено відповідними аргументами «ВВП, який апроксимує стан розвитку транспортної інфраструктури та технічних можливостей у клітинці растру».

5. В 3 розділі вік для позначення віку деревостану спочатку використано символ A , а згодом змінено на символ k , хоча символ k було вже використано для позначення коефіцієнта, який визначає форму кривої функції.
6. В роботі подекуди присутні незначні стилістичні помилки, зокрема по різному використовується позначення m^3 або CO_2 ; у розділі 1 присутні посилання на рисунок 5 розділу, у 2 розділі присутнє посилання на рисунок 4 розділу.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.

Не зважаючи на зауваження вважаю, що дисертаційна робота Густі М.І. на тему "Математичні моделі процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування"

- є завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано комплекс завдань, які у сукупності вирішили науково-прикладну проблему математичного моделювання процесів емісії та стоку вуглекислого газу в 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;
- за оформленням, обсягом, науковим рівнем та практичним значенням, оригінальністю тексту та результатів, достовірністю результатів відповідає вимогам до докторських кваліфікаційних робіт;
- відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Результати дисертаційної роботи повністю викладені у публікаціях здобувача, а також достатньо апробовані на міжнародних та національних конференціях.

Автореферат дисертації відповідає змісту дисертації та розкриває основні положення дисертації.

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації.

Дисертаційна робота Густі Миколи Івановича на тему "Математичні моделі процесів емісії та стоку вуглекислого газу в лісовому господарстві та при змінах землекористування" відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами та доповненнями), зокрема щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Проректор з наукової роботи
та міжнародних зв'язків,
ПВНЗ "Буковинський університет",
доктор технічних наук, професор



Я.І. Виклюк