

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію **ЗАДОРЖНЮКА Романа Михайловича**  
на тему: «**Інвентаризація соснових насаджень  
за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА**»,  
подану на здобуття ступеня доктора філософії  
з галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство»  
та спеціальності 205 «Лісове господарство»

**Актуальність теми дисертаційного дослідження.** Аерофотозйомка давно посіла свою нішу під час проведення лісогосподарських робіт. Зображення лісових масивів є важливою частиною допоміжної інформації для застосування класичних в Україні методів лісовпорядкування. Ведення лісового господарства потребує точних та актуальних даних. Для цього у світовій практиці постійно зростає використання набору різних високотехнологічних сенсорних інструментів та удосконалення аналітичних підходів. Удосконалення та впровадження сучасніших дистанційних методів оцінювання лісових ресурсів є перспективним та дає змогу більш якісно ухвалювати конкретні економічні, екологічні та господарські рішення.

Розвиток цифрової аерофотограмметрії та безпілотних технологій перетворює їх на одне із надійних джерел оперативного отримання актуальної інформації про ліси. Такі технології необхідні для автоматизації процесів моніторингу насаджень на важкодоступних територіях та безпечної роботи на ділянках із підвищеним ризиком для життя і здоров'я працівників. Також наявність досить широкого спектра безпілотних літальних апаратів і датчиків, що застосовуються для досліджень лісових насаджень створює потребу уніфікації підходів збору даних.

Для комплексного використання даних дистанційної зйомки в лісогосподарському секторі існує необхідність в апробації застосування методів дистанційної стереограмметричної зйомки для оцінювання таксаційних показників насаджень головних лісотвірних деревних видів, які ростуть на території України. Параметризація збору даних дистанційної зйомки необхідна для встановлення необхідних показників просторового розрізнення та перекриття зображень, які даватимуть змогу одержувати найбільш точне визначення таксаційних показників соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА, що є актуальним завданням.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Зміст дисертації відповідає її темі та завданням, повною мірою розкриває мету роботи, спрямовану на обґрунтування застосування безпілотних літальних апаратів для оцінювання таксаційних показників насаджень сосни звичайної. Доцільно зазначити, що автором логічно й послідовно описано основні положення результатів дослідження з їх статистичним аналізом та висновками. Аналіз дисертації Р. М. Задоржнюка

свідчить, що дисертант володіє здатністю проводити критичний аналіз, як вітчизняних, так і міжнародних наукових джерел, формулювати мету і основні завдання, визначати необхідні методи досліджень, організувати ці дослідження, об'єктивно оцінювати результати досліджень, оформляти їх у публікаціях. Висновки логічні та витікають із результатів особисто проведених дисертантом досліджень, достовірність яких підтверджується наведеним в дисертації табличним і графічним матеріалом та результатами статистичної обробки даних. Коректність отриманих експериментальних та чисельних результатів моделювання підтверджують обґрунтованість основних наукових положень дисертаційної роботи, наведених висновків та їх достовірність.

**Аналіз структури і змісту дисертації.** Структура дисертації є загальноприйнятною та відповідає чинним вимогам. Матеріали дисертації викладено на 194 сторінках. Робота складається з анотацій українською та англійською мовами, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків й рекомендацій виробництву. Робота містить 19 таблиць, 69 рисунків та 5 додатків. Список використаних джерел літератури налічує 184 найменування, 157 з яких латиницею.

**Вступ** присвячено обґрунтуванню вибору теми дослідження; зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначено мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження; розкрито наукову новизну, окреслено практичне значення одержаних результатів, наведено дані про їх апробацію, кількість публікацій дисертанта, у яких відображено основні положення дисертаційного дослідження.

У **першому розділі** розглянуто історичні передумови та приклади практичного застосування даних дистанційної зйомки для ведення лісового господарства. Дисертантом виконано огляд сучасних систем, які застосовуються для картування лісових насаджень, а також виконано їхнє порівняння.

Більший акцент приділено огляду найпоширеніших практик щодо застосування БПЛА для досліджень лісових насаджень. Виконано детальний огляд методів, що використовуються для дешифрування окремих дерев у насадженні та оцінювання їхніх таксаційних показників. Також проаналізовано підходи, які застосовуються для моделювання таксаційних показників за даними дистанційної зйомки.

У **другому розділі** дисертантом представлено характеристику насаджень сосни звичайної, які зростають на території України та займають суттєву частку лісового фонду, зокрема на території Полісся. Представлена інформація засвідчує необхідність апробації методів оцінювання таксаційних показників соснових насаджень за даними дистанційної стереограмметричної зйомки. Також у даному розділі дисертантом наводиться програма дослідження, представлено методику збору наземних дослідних даних, досить детально

описано процес виконання дистанційної стереограмметричної зйомки дослідних полігонів та технологію обробки даних аерофотозйомки.

Для виконання дослідження дисертантом закладено 58 пробних площ у насадженнях сосни звичайної та виконано їхню стереограмметричну зйомку з БПЛА. Для визначення таксаційних показників деревостанів використано загальноприйнятні у лісовій таксації підходи та довідкові матеріали, а запаси компонентів надземної фітомаси оцінені з допомогою регресійних рівнянь, які представлені вітчизняними науковцями. Виконаний аналіз свідчить, що пробні площі представлені досить контрастними за таксаційними показниками насаджень штучного і природного походження, а отриманий розподіл дає перспективи встановити можливості застосування технологій стереограмметричної зйомки з БПЛА для оцінювання їхніх показників.

Вихідні дані дистанційної зйомки автором представлені у вигляді рисунків, на яких наведено основні показники розподілу цифрових моделей намету (СНМ) у межах пробних площ та за походженням деревостанів.

Окремим елементом дослідження є параметризація збору даних дистанційної зйомки, для виконання якого було відібрано один полігон. Характеристика даних дистанційної зйомки для виконання даного дослідження представлена у вигляді витрат часу на збір даних та якісної характеристики отриманих серій зображень (просторового розрізнення та перекриття).

**Третій розділ** присвячено оцінюванню таксаційних показників деревостанів за різних параметрів збору даних дистанційної зйомки. У даному розділі проаналізовано можливості фотограмметричної обробки отриманих зображень та визначені витрати часу на виконання даного процесу. Наведено показники вихідних статистик СНМ та особливості їхнього розподілу в залежності від зміни просторового розрізнення зображень та від зміни ступеня фільтрації щільної хмари точок під час фотограмметричної обробки. Дисертант використав результати статистичних тестів для доведення відмінностей між СНМ растрами, сформованих за різних параметрів збору даних, а також представив велику кількість графічних матеріалів. Встановлено, що параметри збору даних впливають на можливості відображення тривимірної структури лісових насаджень. Найбільші відмінності виявлені для цифрових моделей намету, сформованих із даних з просторовим розрізненням 4,1 см.

У розділі встановлено, що збір даних для досліджень лісових насаджень за даними стереограмметричної зйомки необхідно виконувати з поздовжнім перекриттям зображень не менше 90 %. Зменшення перекриття зображень призводить до погіршення можливості класифікації земного рельєфу в лісових насадженнях. Зменшення просторового розрізнення вхідних зображень до 4,1 см також погіршує можливості створення цифрової моделі рельєфу. Між вхідними зображеннями з просторовим розрізненням 2,2 та 3,3 см із дотриманням ідентичного перекриття не виявлено відмінностей у частці класифікованого рельєфу.

Автором виконано дешифрування верхівок окремих дерев сосни звичайної, що займають панівне положення в деревостані та визначення їхніх таксаційних показників з використанням методів пошуку локальних максимумів СНМ растрів.

За результатами розділу встановлено, що дані дистанційної зйомки з вищим просторовим розрізненням за рядом критеріїв найсприятливіші для визначення таксаційних показників соснових деревостанів. За матеріалами зйомки з просторовим розрізненням 2,2 см отримано найменші похибки визначення висоти та дешифрування верхівок дерев. За даними зйомки з просторовим розрізненням 3,3 см результати були наближені до попередніх, а найбільші відхилення отримано з використанням вхідних зображень просторового розрізнення 4,1 см.

**Четвертий розділ** дисертації присвячено моделюванню таксаційних показників соснових деревостанів за даними вихідних статистик СНМ та дешифрування окремих дерев у насадженні.

Встановлено можливості оцінювання просторового розміщення та форм крон намету деревостану, наведено показники якості дешифрування окремих дерев у насадженні за походженням. Визначено, що деревостани природного походження мають вищі показники точності ідентифікації домінуючих дерев на відміну від природних. Це пояснюється морфологічними показниками дерев природного походження. Виявлено складнощі фотограмметричного відтворення малих дерев з висотою до 5 м.

Дисертантом встановлено, що таксаційні показники деревостанів можна встановлювати за двома підходами: за результатами дешифрування окремих дерев і за вихідними статистичними характеристиками СНМ растрів. Наведено результати оцінювання залежності таксаційних показників соснових деревостанів від даних розподілу СНМ та вказано на можливість їхнього моделювання за даними дистанційної стереограмметричної зйомки. Встановлено, що за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА можна оцінювати низку таксаційних показників насаджень: середній діаметр, зімкнутість, суму площ поперечних перерізів, відносну повноту, стовбуровий запас та компоненти фітомаси соснових деревостанів.

Виконано порівняння отриманих результатів моделювання таксаційних показників деревостанів за вихідними статистиками СНМ растрів та даними дешифрування окремих дерев. Точність оцінювання таксаційних показників за двома підходами для деревостанів із відносною повнотою 0,4 і вище не відрізняється. Для обох підходів отримано більші похибки на ділянках із відносною повнотою, меншою за 0,4. Встановлено, що для зменшення відхилень у таких деревостанах необхідно застосовувати розрахований показник зімкнутості деревостанів або коефіцієнт варіації СНМ.

**Значення одержаних результатів для науки й практики та рекомендацій щодо їх можливого використання** полягає в тому, що у дисертації обґрунтовано та практично реалізовано застосування безпілотних літальних технологій, оптичної зйомки та стереограмметричних методів для інвентаризації соснових насаджень на території України. У роботі обґрунтовано параметри дистанційної зйомки, що дадуть змогу виконувати найбільш точне оцінювання таксаційних показників соснових насаджень сучасними методами. Результати роботи можна використовувати для проведення лісотаксаційних робіт на важкодоступних територіях та ділянках з підвищеною небезпекою для персоналу.

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.** Наукові положення та результати дослідження викладено у 13 наукових працях здобувача, з яких 7 тез доповідей, 2 статті у міжнародних наукових виданнях, що індексуються в базі даних Scopus, 2 статті у наукових фахових виданнях України. Отримано 2 патенти на корисну модель.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** Дисертація є самостійно написаною кваліфікаційною науковою працею із науково-обґрунтованими висновками та рекомендаціями, які виставлені автором для публічного захисту. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела. У роботі відсутнє привласнення чужих ідей, результатів або слів без оформлення належного цитування. Таким чином, у дисертації Р. М. Задорожнюка відсутні порушення академічної доброчесності.

**Питання для дискусійного обговорення та недоліки дисертації щодо її змісту та оформлення.** Водночас з позитивною оцінкою роботи вважаю доцільним виділити окремі дискусійні питання, зауваження та побажання:

1. У дисертації наведено мету й головні завдання дослідження, проте бажано було б більш чіткіше сформулювати наукове завдання. Це, певною мірою, ускладнює опис наукових результатів, які були отримані автором для досягнення поставленої мети.

2. В роботі при проведенні експериментальних досліджень інвентаризації соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА не показано яким чином враховувалися хмарні перешкоди та погодні умови.

3. Перший розділ дисертації є перевищеним рекомендованого 20 % від загального обсягу дисертації.

4. На рис. 2.3 з фото з БПЛА дещо важко виділяються складові фіксування центру кругової пробної площі для встановлення маркера. Варто було б розділити елементи рисунку за допомогою рамки та підписати їх.

5. Для полегшення сприйняття відмінностей розподілів цифрових моделей намету на рис. 3.4 доцільно було б згрупувати не за їхнім типом, а за пробними площами.

6. Дискусійним є питання відмінності розподілів растрів цифрової моделі намету, які представлені у підрозділі 3.2, так як з деяких рисунків можна зробити висновок про відсутність таких відмінностей.

7. У таблицях 3.1 і 3.2 вказано, що вдалося вирівняти частину зображень для дослідного полігону. Доцільно було б проаналізувати точність встановлення таксаційних показників для ділянок, на яких вдалося вирівняти зображення.

8. У висновках до четвертого розділу дублюється думка щодо складнощів фотограмметричного відтворення малих дерев.

**Загальний висновок.** Дисертація Задорожнюка Романа Михайловича на тему: «Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА» є завершеним науковим дослідженням, виконаним самостійно. Наукові положення, висновки та рекомендації характеризуються новизною, теоретичним і практичним значенням, а також достатньо обґрунтовані. Зміст дисертації повністю розкриває тему, за якою виконувалася робота, відповідає меті й поставленим завданням.

За змістом і оформленням дисертація відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а Задорожнюк Роман Михайлович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» та спеціальності 205 «Лісове господарство».

#### **РЕЦЕНЗЕНТ**

**Професор кафедри автоматичних та робототехнічних систем імені академіка І. І. Мартиненка Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор технічних наук, професор**

**Сергій ШВОРОВ**

