

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Задорожнюка Романа Михайловича на тему: «**Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА**»,

що подана на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 205 «Лісове господарство»
(галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»)

Актуальність теми. Для ефективного планування та ведення лісового господарства необхідно мати точні та актуальні дані про стан насаджень. Під час виконання впорядкування лісів традиційними методами, зазвичай, використовують дані дистанційного зондування Землі як джерело допоміжної інформації. Дистанційна зйомка лісових насаджень з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відкриває нові можливості для отримання оперативної інформації про ліси з високим просторовим розрізненням. Тема дисертації є актуальною, оскільки існує необхідність апробації застосування БПЛА для оцінювання насаджень на території України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, що містять 19 таблиць, 69 рисунків, висновків, рекомендацій виробництву та п'яти додатків. Список використаних джерел налічує 184 найменувань. Робота викладена на 194 сторінках комп'ютерного тексту.

У дисертації Р. М. Задорожнюка було коректно використані методи досліджень, які відповідають поставленій темі, меті та завданням дослідження. **Обґрунтованість сформульованих у дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій** підтверджується використаним емпіричним матеріалом, який являє собою 58 кругових пробних площ закладених у насадженнях сосни звичайної та виконаною їхньою дистанційною фотограмметричною зйомкою. Основні результати дослідження, сформульовані висновки та рекомендації ґрунтуються на використаних фактичних даних отриманих з пробних площ, а також на отриманих під час дослідження показниках статистичного аналізу. Для узагальнення результатів дослідження дисертантом використано методи синтезу та порівняння.

Новизна роботи полягає у точності визначення висоти і дешифрування дерев сосни звичайної в умовах Українського Полісся, а також доведено вплив просторового розрізнення та відсоток перекриття зображень, використано нові алгоритми обробки даних за допомогою програмного забезпечення щодо обробки даних отриманих із використанням безпілотних літальних апаратів. Збір та опрацювання даних отриманих з безпілотних літальних апаратів є цінним елементом дослідження, оскільки прискорює та доповнює інформацію наземним дослідження, що скорочує витрати часу та коштів і дозволяє виконувати

ефективне планування. Виконанні дослідження слугували оцінці дешифрування окремих дерев та розробленню підходів визначення таксаційних показників соснових насаджень і компонентів їхньої надземної фітомаси.

Практична цінність дисертації. Результати роботи дають можливість ефективніше застосовувати БПЛА під час встановлення таксаційних показників соснових насаджень, планувати підбір параметрів збору даних дистанційного знімання для найбільш точного визначення показників дерев та деревостанів. Отримані результати у вигляді моделей можна ефективно застосовувати для встановлення наступних показників у насадженнях сосни звичайної: середньої висоти, середнього діаметра, суми площ поперечних перерізів, відносної повноти, стовбурового запасу та компонентів надземної фітомаси.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 11 наукових праць, із них 7 тез доповідей, 2 статті у міжнародних наукових виданнях, що індексуються в базі даних Scopus, 2 статті у наукових фахових виданнях України. Також за результатами роботи отримано 2 патенти на корисну модель.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У дисертації Р. М. Задорожнюка відсутні порушення академічної доброчесності. У дослідженні повною мірою дотримуються вимоги щодо посилань на літературні джерела та інші джерела. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів містить посилання на відповідне джерело інформації.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем самостійно отримано основні результати досліджень, сформульовано мету, завдання та висновки дослідження, виконано експериментальне обґрунтування, лісівничо-таксаційні польові та камеральні дослідження виконувались особисто автором.

Загальна характеристика роботи. У Вступі сформульовано актуальність теми, мету і завдання досліджень, перелічені застосовані методи досліджень, висвітлено наукову новизну одержаних результатів та їхнє практичне значення, вказано особистий внесок здобувача, наведено відомості щодо апробації та публікації результатів, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі «**Аерофотозйомка лісових насаджень**» автором подано аналітичний огляд літератури, зокрема, висвітленню питання застосування карт у лісовому секторі, описано перші дослідження з повітря та космосу та зародження ДЗЗ для потреб ведення лісового господарства. Подано приклади використання аерофотознімків для дешифрування об'єктів, а також визначення низки таксаційних показників насаджень й оцінювання якісних і кількісних характеристик деревостану. На основі знімків, при інвентаризаційних роботах, вирішувалися такі питання, як стратифікація лісових насаджень, їх поділ на однотипні ділянки відповідно до страти,

що суттєво зменшує витрати часу на польові роботи в процесі інвентаризації й при цьому не втрачається якість отриманих даних та точності результатів.

Детально описано досвід застосування БПЛА для дистанційного зондування лісових ділянок, розглянуто найпоширеніші методи дешифрування окремих дерев та встановлення їхніх таксаційних показників. Безпілотні літальні апарати є відносно новою платформою для збору даних дистанційної зйомки. За результатами досліджень встановлено, що технологія оптичної зйомки та підхід «структури від руху» є досить перспективними для виконання досліджень окремих дерев та лісових насаджень.

У другому розділі «**Методи та матеріали дослідження**» описано методику проведення досліджень, подано характеристику поширення соснових насаджень на території України й їх відсоткове співвідношення у кожній області. Наведено методи вимірювально-перелікової таксації та роботи із збору дистанційного знімання. Також вказано і роз'яснено мету використання програмного забезпечення, його переваги та розрахунки. Наведено дослідну ділянку зі схемою руху БПЛА та центри точок пробних площ, що зафіксовані за допомогою GPS – навігатора. Даний підхід забезпечує точність отримання даних та розміщення дерев, що дозволяє з достовірною значимістю провести дешифрування об'єктів місцевості на отриманому знімку. Детально описано польові та камеральні роботи, їх методика проведення, де вказана технологія обробки даних цифрового аерофотознімання. Крім цього подано візуалізацію результатів (замірів) залежностей між середніми діаметрами та висотами деревостану, відносною повнотою та походженням насадження, розраховано описові статистики розподілу основних таксаційних показників деревостанів на пробних площах, проведено оцінку даним процесам та закономірностям. Наведена та охарактеризована технологія дешифрування дерев у насажденні за даними дистанційного знімання, вказано алгоритми мови програмування R й використання векторного аналізу програмного середовища QGIS. Оцінку якості визначення таксаційних показників дистанційними методами (результати моделювання) здійснено на підставі стандартних статистичних показників, а також вказано достовірність відхилень.

Емпіричний матеріал налічує 58 пробних площ представлених насадженнями штучного і природного походження. Отриманий розподіл пробних площ дозволяє оцінити можливості застосування технологій стереограмметричної зйомки з БПЛА для деревостанів із контрастними таксаційними показниками. Встановлено, що дослідні ділянки штучного походження представлені високоповнотними деревостанами, що пояснюється відсутністю впливу господарських заходів на ріст і розвиток таких насаджень.

Третій розділ роботи **«Точність дешифрування таксаційних показників за зміни параметрів зйомки з БПЛА»** подано результати дослідження дешифрування таксаційних показників. Проведено оцінку залежності загальної похибки вирівнювання від комбінації вибору висоти знімання та проценту поздовжнього перекриття. Доведено точність розрахунку висотної моделі крони – намету (СНМ) від рівня просторового розрізнення, а також проведена перевірка відмінностей між цифровими моделями намету із застосуванням двовибіркового тесту Колмогорова-Смірнова у розрізі просторового розрізнення та параметрами фільтрації фотограмметричної обробки. У процесі дослідження встановлено залежність радіуса крони дерев від його висоти і описано логарифмічною функцією, а також подано оцінку якості дешифрування залежно від локальних максимумів методом візуального аналізу. Якість дешифрування верхівок дерев встановлювався на підставі значення F-міри, а середня висота насадження розрахована дистанційним способом у порівнянні із фактичним заміряними на пробних площах оцінювалась відповідно до значення показника «Bias».

Автором встановлено, що ступінь перекриття зображень впливає на можливість фотограмметричної обробки даних. Зменшення перекриття зображень призводить до неможливості вирівнювання зображень, а також до зменшення кількості точок на одиницю площі щільної хмари. Результати дослідження вказують, що використання зображень дистанційного знімання з просторовим розрізненням 4,1 см та менше найменш сприятливі для оцінювання таксаційних показників насаджень сосни звичайної.

Четвертий розділ **«Моделювання таксаційних показників деревостанів»** присвячено моделюванню таксаційних показників насадження від статистичних показників висотної моделі крони – намету (СНМ). Тут приведені два підходи, а саме за результатами дешифрування окремих дерев і за вихідними статистичними характеристиками висотної моделі крони-намету (СНМ), де використано метод «Random Forest». Автором використано метод і проведено оцінювання залежності таксаційних показників соснових деревостанів від вихідних статистик СНМ растрів. Результати моделювання таксаційних показників за даними стереофотограмметричного знімання вказують, що для визначення деяких показників деревостанів можна застосовувати дані розподілу СНМ. Розроблено регресійні рівняння для оцінювання наступних показників: запасу стовбурів насаджень, їхнього середнього діаметра, суми площ поперечних перерізів та компонентів фітомаси соснових насаджень.

Висновки і рекомендації відповідають меті та завданням, змісту виконаних досліджень, сформовані у 11 пунктах, які узагальнюють результати

дисертаційних досліджень, відзначаються послідовністю, містять наукову новизну.

У додатках приведено таблиці та графічні матеріали, які додатково обґрунтовують отримані висновки та рекомендації.

Дискусійні положення та зауваження до роботи.

Зауваження до розділу 1:

1. Цифровізація зазначених процесів – що це означає, зміст визначення.

2. На рис 1.1. Сучасні системи для збору даних дистанційними методами та їх переваги й недоліки, до недоліків занесено, що супутникові знімки мають «низьку роздільну здатність», що не відповідає дійсності; а також вирази «дешевизна», «високе покриття», «низьке покриття».

3. На с. 29 написано «космічні місії», це не вдале визначення, оскільки йде мова про супутники та їх апаратуру (радіометри, сенсори).

4. На с. 34 написано «які мають обмеження в проникаючій здатності», залишається незрозумілим поданий вираз.

Зауваження до розділу 2:

5. Немає потреби подавати загальну площу України та розподіл лісового покриву, оскільки це відомо із інших джерел.

6. Залишається не зрозумілим, на якій основі якого аналізу чи параметру встановлювалася кількість пробних площ у полігоні.

7. Не вказано метод встановлення типу горизонтальної структури штучних та природніх деревостанів.

8. Не вказано, за яким основним показником деревостану розрахована величина проби, варіабельність якого показника взято за основу і на якому рівні значимості.

9. На с. 67 залишається не зрозумілим вираз «з низькими середніми показниками за діаметром та висотою могли бути дуже пошкоджені й мати значний відпад», що мається на увазі, клас бонітету, тип лісу, тощо.

10. С. 69 необхідно вказати функцію залежності середньої висоти від середнього діаметра, та її точність й статистичні ознаки.

11. С. 71 вираз «Насадження штучного походження високоповнотні, тоді як природного мають більшу дисперсію розподілу» потребує уточнення, що означає дисперсія розподілу.

12. С. 76 – немає потреби вказувати повну характеристику персонального комп'ютера при обробці даних.

13. Чому площу крони визначали, як площу круга, чим це передбачено?

14. С. 82 висновок 2 не є завданням дослідження, а саме зміни лісової площі та її кількісної оцінки.

15. С. 82 висновок 3 у розділі не має потреби вказувати, оскільки це не є прямим завданням проведення дослідження, а виконання вимог законодавчого рівня, які є опубліковані та розписані щодо застосування БПЛА.

Зауваження до розділу 3:

16. Невідомо, на якій основі встановлено тісноту зв'язку діаметра крони та висота дерева і який зміст рівняння 3.2 та 3.3, коли відсутній статистичний аналіз і що вказує рис. 3.14, його статистичний зміст.

17. Чи є достатня кількість дешифрованих дерев у кількості 50 % від загальної кількості для отримання достовірних моделей.

18. Чим спричинений коефіцієнт похибок верхівок пропущених та хибних і який вплив на якість дешифрування та оцінки висоти дерева у насадженні.

19. На рис 3.20, де представлено залежність між висотами фактичними (замірні) та модельними, які встановлені дистанційним способом відсутнє рівняння залежності (рівняння прямої).

20. Який зміст візуалізації, що представлені на рис. 3.21 та 3.22 і як ці закономірності враховані при дешифруванні, як враховані у моделі встановлення висоти дерева дистанційним методом.

21. Поряд із скороченням у тексті писати визначення українською мовою, або пояснення, а саме висотна модель крони (СНМ) та інші англійські скорочення подати у дужках, оскільки із тексту не зрозуміло, про що йдеться.

22. Висновок 4 є незрозумілим і на якому статистичному аналізі він базується, що таке «нижній рівень варіації радіусів крони»?

Зауваження до розділу 4:

23. На рис. 4.2 подано залежність протяжність крони від висоти дерева, але не зрозуміло, яким це способом отримано, емпіричним чи дистанційним, а підпис вказаний «Відношення протяжності крони дерев до їхньої висоти», що не відповідає дійсності, оскільки на двох осях абсолютні величини.

24. Який застосовано метод об'єднання висоти дерев (у групі) залежно від протяжності крони рис. 4.3.

25. У дослідженнях використано показник важливості, але він не вказаний у методиці, алгоритм його розрахунку, що це за показник.

26. На рис. 4.6 вказана закономірність відносної повноти та коефіцієнта варіації. Коефіцієнт варіації якого показника тут вказано, і за якими таблицями встановлено відносну повноту, оскільки багато значень становить більше 1.0.

27. У роботі наведено моделі залежності основних таксаційних показників, але не вказана їхня точність та перевірка достовірності.

Однак, наведені зауваження не зменшують наукової і практичної цінності дисертації. Вона в цілому є закінченою науковою працею, що відзначається науковою новизною і безперечно має практичне значення.

Загальний висновок. Дисертація **Задорожняка Романа Михайловича** на тему: «Інвентаризація соснових насаджень за даними стереограмметричної зйомки з БПЛА» за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, новизною, дотриманням академічної доброчесності, достовірністю результатів, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам передбаченим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» і 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 її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 205 «Лісове господарство» (галузь знань 20 «Аграрні науки та продовольство»).

ОПОНЕНТ

Доцент кафедри лісової таксації та
лісовпорядкування Національного
лісотехнічного університету України
Міністерства освіти і науки України,
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент

Микола КОРОЛЬ

