

ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕРИТОРІЇ ЗЕМЕЛЬ ЛІСОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Мета роботи – дослідження особливостей організації території земель лісогосподарського призначення Східницької селищної ради Львівської області, здійснення їх лісовпорядкування із розробленням системи заходів, спрямованих на забезпечення науково обґрунтованого багатофункціонального ведення лісового господарства, їх охорони, захисту та раціонального невиснажливого використання. Можливість виконання кадастрових робіт для організації території лісових ділянок із рекреаційною функцією за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) важлива для науки і практики. У роботі розглянуто основний напрям збалансованого розвитку земель лісогосподарського призначення, націлений на посилення екологічних, соціальних та економічних функцій, охорону і захист цих лісів, їх раціональне використання та відтворення через систему ефективної організації території із застосуванням сучасних технологій. Основним напрямом організації та розвитку території об'єкта нашого дослідження є екологічно обґрунтоване ведення лісового господарства, з урахуванням стану та перспектив економічного і соціального розвитку регіону, розроблене відповідно до чинних нормативно-правових актів, які регулюють процедуру організації об'єкта лісовпорядкування. Із урахуванням наведеного поділу лісів на категорії, їх функціонального значення, встановленого в них режиму ведення лісового господарства і лісокористування на наступний ревізійний період утворено такі господарські частини: рекреаційно-оздоровчі ліси з особливим режимом користування в горах. Подано розподіл загальної площі рекреаційно-оздоровчих лісів за функціональними зонами, за типами ландшафту, за класами естетичної оцінки, пішохідної доступності, рекреаційної оцінки, стійкості до рекреаційних навантажень, стадіями рекреаційної дигресії, додаткової оцінки. Встановлено, що територія рекреаційно-оздоровчих лісів характеризується високими рекреаційними показниками. Порівнюючи точність отриманих результатів (із застосуванням БПЛА) під час виконання зовнішнього орієнтування та попереднього оцінювання точності, обґрунтовано, що похибки зовнішнього орієнтування не перевищують похибки апріорної оцінки точності. Доведено, що виконані роботи з організації території земель лісогосподарського призначення забезпечать розумне використання лісових ресурсів, зростання продуктивності та високоякісного складу лісів, підвищення захисних їх функцій тощо. Встановлено, що лісовпорядкування та лісоінвентаризацію, проектування лісогосподарських заходів необхідно здійснювати на ґрунтово-типологічній основі із використанням таблиць діагностичних ознак типів лісу. Отримані результати доводять практичну значущість застосування БПЛА для виконання робіт із організації території цієї категорії земель, а отримані картографічні матеріали повною мірою забезпечують інструктивну точність. Одержані результати відповідають основним принципам сталого ведення лісового господарства, що передбачає поєднання економічних, екологічних та соціальних аспектів лісогосподарської діяльності.

Ключові слова: землі лісогосподарського призначення; лісовпорядкування; лісорослинне районування території; стратегія сталого розвитку; БПЛА.

Вступ

Важливу соціально-економічну, екологічну та біосферну роль відіграють землі лісогосподарського призначення, як найскладніше та найпотужніше рослинне угруповання, що найпозитивніше впливає на довкілля. Запровадження комплексу заходів, що спрямовані на охорону, відтворення, раціональне і збалансоване природокористування та використання корисних властивостей лісу є необхідною умовою ефективної системи управління лісовим сектором економіки.

Виснажлива та неконтрольована антропогенна експлуатація лісових земель призвела до зменшення лісоресурсного потенціалу, надмірного порушення та погіршення їх вікової структури, породного складу, посилення ерозійних процесів та інших негативних явищ. Вирішення зазначених проблем за допомогою науково обґрунтованих рішень – важливе практичне завдання сьогодення для реалізації державної політики щодо сталого розвитку та реформування лісової галузі.

Розроблений Держлісагентством проєкт Стратегії сталого розвитку та інституційного

реформування лісового господарства України на період до 2022 р. визначає мету, принципи, пріоритетні завдання та основні напрями діяльності з метою забезпечення сталого ведення та управління лісовим та мисливським господарством [Інструкція з облаштування лісового фонду України, 2006].

У XXI ст. технології дуже стрімко розвиваються. На зміну застарілому устаткуванню приходять цифрове і лазерне. Використання різних новітніх технологій замінюють традиційні способи виконання аерофотознімання (АФЗ).

Разом зі звичними методами АФЗ все необхіднішим стає знімання за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Особливо це спостерігаємо в останні роки – на фоні експоненціального зростання популярності надлегких БПЛА літакового (загальноприйнята назва цих БПЛА за кордоном – дрони) і вертолітного типів.

На нашу думку, доцільно застосовувати БПЛА для виконання кадастрових робіт на ділянках площею більше ніж 20 га. Перспективи застосування безпілотників у лісовому секторі для моніторингу лісогощарських земель із метою їх раціонального використання та уточнення актуальності меж великі.

Аналіз останніх наукових досліджень проблематики збалансованого розвитку та реформування лісового господарства, організації їх територій, застосування ГІС технологій висвітлений у наукових працях відомих вітчизняних і зарубіжних учених, серед яких відзначимо роботи [Barba, et al., 2019; Chen, et al., 2014; Cryderman, et al., 2014; Shershun, 2013; Lendel and Zhulkanych, 2018; Mazurenok, 2014; Kozka, 2020a,b; Silva A. M. & Silva, D. C., 2015; UVS, 2021]. Незважаючи на велику кількість наукових публікацій, сьогодні недостатньо вивченими залишаються питання застосування БПЛА для організації території земель лісогощарського призначення.

Мета

Ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку передбачає поєднання економічних, екологічних та соціальних аспектів лісогощарської діяльності з метою збереження, невиснажливого використання лісів та підтри-

мування їхніх багатогранних функцій на довгострокову перспективу. Визначення основних напрямів збалансованого розвитку лісового господарства Львівської області, націлених на посилення екологічних, соціальних та економічних функцій, охорону і захист лісів, їх раціональне використання та відтворення, передбачено обласною цільовою Програмою розвитку лісового господарства Львівської області на 2017–2021 роки [Регіональна цільова Програма..., 2017; Стратегія сталого розвитку..., 2017].

Для досягнення поставленої мети публікації необхідно охарактеризувати територію та лісорослинні умови об'єкта дослідження; навести основні положення організації ведення лісового господарства; дослідити можливість застосування безпілотних літальних апаратів для організації території лісогощарського призначення, що відповідатиме вимогам раціонального природо-користування.

У статтях [Matiichik, 2013; Глогов В., Гуніна А., 2014] розглянуто причини появи та напрями розвитку БПЛА та проаналізовано сучасний стан ринку безпілотної авіації. Останніми роками системи БПЛА набули актуальності для різних комерційних, промислових, громадських, наукових та військових операцій. Вони виконують такі завдання: знімання, обслуговування інфраструктури, огляд затоплених територій, пожежогасіння, моніторинг місцевості, патрулювання лісових масивів з метою раннього виявлення пожеж, пошкодження ліній електропередач і трубопроводів, проведення аерознімальних робіт у сільськогосподарському виробництві на полях і в садах тощо. Аналізуючи розвиток використовуваних сьогодні у світі безпілотних систем, простежуємо стійку тенденцію до збільшення їхніх розмірів і маси, а також висоти й тривалості польоту.

Застосування БПЛА дасть можливість оперативніше виконувати аерознімання спроектованої місцевості та отримати об'єктивні дані про наявність будов на території, оскільки зображення є і залишається реальним документом, завдяки якому завжди можна впевнитися у положенні та конфігурації границь ділянки.

У публікації [Zhang Y. et al., 2015; Гурман S., 2019] автори зробили аргументовані висновки. Ми повністю згодні з цими дослідниками і вва-

жаємо, що для оцінювання нерухомості із використанням БПЛА необхідно дотримуватись таких рекомендацій:

- забезпечити максимальну стабільність польоту за допомогою відповідного гіростабілізаційного обладнання;
- встановити на борту геодезичний GPS-приймач, за допомогою якого у кінематичному режимі з достатньою точністю (10–20 см) визначатимуться лінійні елементи зовнішнього орієнтування знімків;
- важливо встановити навігаційне обладнання, за допомогою якого можна реалізовувати ручне, напівавтоматичне та автоматичне керування апаратом;
- потрібен аеропристрій, обладнаний мініатюрними інкрементальними роторно-оптичними давачами, за допомогою яких можна визначати кутові елементи зовнішнього орієнтування із точністю до декількох секунд;
- важливими є засоби безпеки стосовно самого БПЛА та бортового обладнання (парашутна система, радіомаяк тощо);
- повинна бути наявна достатньо потужна цифрова камера із телеоб'єктивом, з погляду розрізняювальної здатності (не менше за 20–60 МП);
- необхідне обов'язкове метрологічне дослідження цифрових камер на предмет визначення дисторсії та елементів внутрішнього орієнтування;
- важливо забезпечити визначення у польоті кута зносу та його автоматичне встановлення за допомогою аеропристрою;
- потрібно забезпечити тривалість польоту БПЛА не менше від однієї години;
- важлива можливість транспортування БПЛА без спеціальних засобів;
- обмеження злітно-посадкової смуги.

Методика

Об'єктом нашого дослідження є землі лісогосподарського призначення Східницької селищної ради, що розташовані у південно-західній частині Львівської області на території Дрогобицького адміністративного району і підпорядковані Бориславській міській раді, загальною площею 100,5 га.

Згідно із лісорослинним районуванням територія об'єкта належить до центральної широколистяної зони, центральноєвропейської провінції Східно-Карпатської підпровінції буково-ялицевих лісів.

Клімат району розташування об'єкта перехідний від помірно-теплого західноєвропейського до континентально-східноєвропейського. Із кліматичних факторів, що негативно впливають на ріст і розвиток лісових насаджень, мають значення: пізні весняні й ранні осінні заморозки; різкі та часті зміни температурного режиму в зимовий період; сильні вітри, що спричиняють буреломи і вітровали. Загалом клімат району розташування об'єкта сприятливий для росту таких деревних і чагарникових порід: ялиці, ялини, модрина, дуба, бука, явора, ясена, ліщини, бузини тощо.

Територія району за характером рельєфу представлена геоморфологічним районом – низькогірський район крайових хребтів. В рельєфі простежуються два великі хребти. На гірському хребті, витягнутому з північного заходу на південний захід, з переважанням висот 700–800 м над рівнем моря, розташовані основні лісові масиви. Найпоширеніші дерново-підзолисті ґрунти 100 % належать до вологих. Територія об'єкта розташована в басейні р. Стрий. У смт. Східниця протікає р. Східничанка, що є лівою притокою р. Стрий (басейн Дністра).

Лісистість адміністративного району, на території якого розташований об'єкт дослідження, становить 35,1 %, лісистість м. Борислава – 8,5 %. Ліси на цій території розташовані окремими урочищами.

Район розташування об'єкта характеризується добре розвинутою мережею шляхів транспорту загального користування. Загальна довжина – 52,5 км, протяжність лісогосподарських доріг на території об'єкта становить 0,3 км.

Це лісовпорядкування було первинним і здійснено за другим розрядом, відповідно до вимог чинної нормативно-правової документації. Основні показники здійсненого лісовпорядкування подано у табл. 1.

Лісовпорядкування здійснено із використанням методу класу віку, що ґрунтується на утворенні господарських частин, господарських секцій, які складаються із сукупності однорідних за складом і продуктивністю деревостанів, об'єд-

наних одним віком і способом рубки лісу. Первинною обліковою одиницею є таксаційний виділ, а первинною розрахунковою одиницею –

господарська секція. Усі розрахунки виконано на основі підсумків розподілу площ і запасів насаджень господарських секцій за класами віку.

Таблиця 1

Основні показники здійсненого лісовпорядкування

Показники	Одиниця вимірювання	Обсяги
1. Загальна площа лісовпорядкування	га	100,5
зокрема із застосуванням ортофотопланів, аерофотознімків, космічних знімків тощо	га	100,5
2. Кількість кварталів	шт.	1
3. Середня площа кварталу	га	100,5
4. Кількість таксаційних виділів	шт.	84
5. Сер. площа таксаційного виділу	га	1,2
6. Сформовано майданчиків вибіркових методів таксації	шт.	8
7. Сформовано майданчиків для визначення сум площ поперечних перерізів деревостанів	шт.	10
8. Закладено пробних площ – разом:	шт.	–
зокрема на рубки нагляду	шт.	–
9. Кількість планшетів	шт.	1

Під час виконання лісовпорядних робіт керувалися [Верховна Рада України, 1991;1994] та іншими законодавчими актами України. Здійснення базового лісовпорядкування зумовлене необхідністю виготовлення лісовпорядних матеріалів (згідно зі ст. 47 та 48 [Верховна Рада України, 1998]. Ці матеріали обов'язкові для ведення лісового господарства, планування та прогнозування використання лісових ресурсів). Підготовчі роботи виконано під час здійснення польових лісовпорядних робіт. Для створення геодезичної основи з метою складання планово-картографічних матеріалів використано державні акти на відповідні земельні ділянки; ортофотоплани знімання 2007–2009 рр.; космічні знімки; топографічні карти М 1:10000, які надали для користування територіальні органи Держгеокадастру. Кінцеву площу лісів Східницької селищної ради прийнято за результатами польових робіт і також погоджено з територіальними органами Держгеокадастру. Враховуючи наявність ортофотопланів, достатню кількість видимих ходових ліній (дороги, лінії електромереж тощо), таксаційні візирі не прорубували.

Лісовпорядні роботи виконували, враховуючи поділ лісів на категорії за [Верховна Рада України, 2007], що відповідає господарському

призначенню, природним та економічним умовам району розташування самого об'єкта. Відповідно до поділу лісів на категорії на території Східницької селищної ради виділено ліси рекреаційно-оздоровчого призначення площею 100,5 га.

Зважаючи на це, відповідно до Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок поділу лісів об'єкта на категорії, їх функціонального значення, встановленого в них режиму ведення лісового господарства і лісокористування на наступний ревізійний період, утворено такі господарські частини: рекреаційно-оздоровчі ліси, а саме – рекреаційно-оздоровчі ліси з особливим режимом користування у горах.

До рекреаційно-оздоровчих лісів з особливим режимом користування зараховано ліси в межах міст, селищ та інших населених пунктів. Організуючи господарства і господарські секції, лісовпорядкування урахувало породний склад насаджень, їх продуктивність та інші особливості, що зумовлюють застосування різних нормативів і систем господарських заходів, а також цілі ведення лісового господарства, визначені Основними положеннями організації та розвитку лісового господарства області.

Розглянемо стан і динаміку земель лісогосподарського призначення на території об'єкта дослідження. Лісові ділянки в практичній діяльності використовуються ефективно. Низькобонітетні (п'ятого і нижче класу бонітету) насадження відсутні. Насадження з повнотою 0,3–0,4 займають площу 2,6 га, або 2,9 % вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. Їх наявність зумовлена зростанням на схилах ярів і річкових долин. Діагностичну характеристику типів лісу викладено в Основних положеннях організації та розвитку лісового господарства Львівської області. Насадження із панівними породами, що не відповідають типам лісу, займають площу 17,0 га, або 18,8 % вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. У гірських лісах найбільша частина схилів припадає на пологі схили – 68,2 га, відповідно 75,3 %. Прийнятний розподіл деревних порід за групами віку відрізняється від оптимального і зумовлений віковою структурою деревостанів. У табл. 2 наведено розподіл площі земель лісогосподарського призначення за категоріями.

У лісах об'єкта дослідження здійснено ландшафтну таксацію. Із урахуванням природних особливостей місцевості та цільового призначення лісів виконано функціональне зонування території. Встановлено, що за розподілу загальної площі 100,5 га рекреаційно-оздоров-

чих лісів об'єкта дослідження виділено у зону масового відпочинку.

У рекреаційних лісах (табл. 3) домінує закритий тип ландшафту. Питома вага закритих, напіввідкритих і відкритих ландшафтів становить 87,0 %, 6,8 %, 6,2 %. За оптимальними нормами співвідношення типів ландшафтів повинно бути відповідно 70–80 %, 15–20 %, 5–10 %. Як видно, фактична ландшафтна структура близька до оптимальної. Насадження рекреаційно-оздоровчих лісів характеризуються достатньо високими рекреаційними показниками (табл. 3).

Територія об'єкта дослідження радіаційного забруднення не зазнала. Стан і динаміка лісового фонду дають можливість загалом оцінити екологічний стан лісів на рік лісовпорядкування. Охорону і захист лісових насаджень забезпечено на належному рівні, негативного впливу на навколишнє середовище господарська діяльність не спричинила, оскільки щодо цього об'єкта лісогосподарська діяльність не велася і джерел шкідливого впливу на землі лісогосподарського призначення не виявлено.

Загалом територія рекреаційно-оздоровчих лісів характеризується високими рекреаційними показниками, що враховували під час проектування заходів із благоустрою цієї території (табл. 4).

Таблиця 2

Розподіл площі земель лісогосподарського призначення за категоріями

Категорії земель	Площа за станом на 01.01.2019 р.	
	га	%
1. Загальна площа земель лісогосподарського призначення	100,5	100
2. Лісові ділянки – разом	96,3	95,8
зокрема:		
2.1. Вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки – разом	90,6	90,1
зокрема: лісові культури	4,7	4,7
2.2. Не вкриті лісовою рослинністю лісові ділянки – разом	5,7	5,7
зокрема:		
– галявини, пустирі	5,0	5,0
– біогалявини	0,2	0,2
– лісові шляхи, просіки, протипожежні розриви, лісові осушувальні канали	0,5	0,5
3. Нелісові землі – разом	4,2	4,2
зокрема:		
– води	0,1	0,1
– траси	3,4	3,4
– інші нелісові ділянки	0,7	0,7

Таблиця 3

Розподіл площі лісів рекреаційного-оздоровчого призначення за класами естетичної оцінки, пішохідної доступності, рекреаційної оцінки, стійкості до рекреаційних навантажень, стадіями рекреаційної дигресії, додаткової оцінки, га

Класи	Естетична оцінка	Пішохідна доступність	Рекреаційна оцінка	Стійкість до рекреаційних навантажень	Стадія рекреаційної дигресії	Додаткова оцінка
Зона масового відпочинку						
1,0	1,8	–	2,0	–	90,6	–
2,0	1,2	–	35,7	15,7	–	4,4
3,0	50,0	90,6	52,9	47,8	–	–
4,0	16,1	–	–	20,0	–	–
5,0	27,4	–	–	7,1	–	86,2
Разом	96,5	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6
Середній клас	3,7	3,0	2,6	3,2	1,0	4,9

Таблиця 4

Спроектвані обсяги заходів з благоустрою лісів рекреаційно-оздоровчого призначення за функціональними зонами

Проектвані заходи	Одиниця вимірювання	Обсяги заходів	Термін виконання
Зона масового відпочинку			
1. Встановлення аншлагів	шт.	10	ревізійний період
2. Виготовлення і встановлення малих архітектурних споруд (лісові меблі)	шт.	30	ревізійний період
3. Виготовлення малих архітектурних форм (навіси, альтанки)	шт.	30	ревізійний період
4. Влаштування мальовничих панно	шт.	5	ревізійний період
5. Обладнання місць для куріння	шт.	2	ревізійний період
6. Встановлення схем-дороговказів	шт.	5	ревізійний період
7. Будівництво теренкурів	шт.	9	ревізійний період
8. Будівництво підвісних містків	шт.	8	ревізійний період
9. Обладнання джерел	шт.	7	ревізійний період

Стрімкий розвиток БПЛА як елемента отримання даних дистанційного зондування Землі спричинений недоліками двох традиційних методів ДЗЗ [Гурман, 2019]:

- за допомогою штучних супутників Землі;
- за допомогою великих пілотованих літаків.

Аерознімання за допомогою БПЛА має такі переваги: велике просторове розширення знімків; висока періодичність знімання та оперативність; низька собівартість; економічна доцільність на великих та невеликих площах; висока

швидкість отримання готових результатів (ортофотоплан, ЦММ); знімання у складних умовах без ризику для життя (гірська місцевість, болота тощо). Результати абсолютної орієнтації аерознімків наведено у табл. 5.

Надалі здійснено зовнішнє орієнтування аерознімків за двома поодинокими знімками. Зовнішнє орієнтування виконують для прив'язки створеної моделі до системи координат місцевості. Прив'язати до системи місцевості можна, використовуючи координати точок місцевості.

Таблиця 5

Результати абсолютної орієнтації двох знімків

ID	X, m	Y, m	Z, m			DX, m	DY, m	Stat
1	5455766,532	670899,537	579,420			0,077	-0,212	On
2	5455641,653	670978,313	582,273			0,448	-0,141	On
3	5455819,723	670984,031	575,947			-0,459	0,002	On
4	5455661,188	671053,100	577,120			0,396	0,218	On
5	5455745,956	670983,399	575,964			0,235	0,294	Off
6	5455794,027	670926,668	578,929			-0,035	0,276	On
7	5455702,989	670933,050	580,743			0,092	-0,196	On
8	5455683,095	670995,199	581,556			-0,131	0,077	On
9	5455760,788	671010,822	576,338			0,398	0,622	On
10	5455727,438	670932,075	580,014			-0,261	-0,446	On
11	5455674,649	670954,561	581,333			-0,206	-0,277	On
12	5455715,757	670964,372	580,768			-0,166	0,104	On
Середньоквадратичне						0,286	0,287	
Середнє відхилення						0,014	0,002	

Елементи орієнтації X0, m: 5455735,0 Y0, m: 670951,082 Z0, m: 682,521

Alpha, deg: 0,937433 Omega, deg: -3,525309 Кappa, deg: 25,691158

ID	X, m	Y, m	Z, m	DX, m	DY, m	Stat
1	5455766,532	670899,537	579,420	-0,177	-0,184	On
2	5455641,653	670978,313	582,273	0,594	-0,181	On
3	5455819,723	670984,031	575,947	-0,199	0,078	On
4	5455661,188	671053,100	577,120	0,291	0,244	On
5	5455745,956	670983,399	575,964	0,297	0,035	Off
6	5455794,027	670926,668	578,929	-0,150	0,366	On
7	5455702,989	670933,050	580,743	0,148	-0,281	On
8	5455683,095	670995,199	581,556	-0,195	0,145	On
9	5455760,788	671010,822	576,338	0,508	0,587	On
10	5455727,438	670932,075	580,014	-0,332	-0,463	On
11	5455674,649	670954,561	581,333	-0,069	-0,378	On
12	5455715,757	670964,372	580,768	-0,200	0,042	On
Середньоквадратичне				0,302	0,312	
Середнє відхилення				0,020	-0,002	

Елементи орієнтації

X0, m: 5455739,6 Y0, m: 670982,839 Z0, m: 682,901

Alpha, deg: 1,187686 Omega, deg: -4,492080 Кappa, deg: 26,691406

Stereo model

ID	X, m	Y, m	Z, m	DX, m	DY, m	DZ, m	Stat
1	5455766,532	670899,537	579,420	0,106	-0,260	-0,095	On
2	5455641,653	670978,313	582,273	0,565	-0,175	0,127	On
3	5455819,723	670984,031	575,947	-0,256	0,081	-0,256	On
4	5455661,188	671053,100	577,120	0,335	0,302	-0,087	On
5	5455745,956	670983,399	575,964	0,145	0,030	0,862	Off
6	5455794,027	670926,668	578,929	0,135	0,207	-0,298	On
7	5455702,989	670933,050	580,743	0,177	-0,148	0,272	On
8	5455683,095	670995,199	581,556	-0,243	0,172	-0,217	On
9	5455760,788	671010,822	576,338	0,369	0,555	0,119	On
10	5455727,438	670932,075	580,014	-0,257	-0,436	0,055	On
11	5455674,649	670954,561	581,333	-0,014	-0,288	0,322	On
12	5455715,757	670964,372	580,768	-0,129	0,078	0,197	On
Середньоквадратичне				0,276	0,282	0,206	
Середнє відхилення				0,072	0,008	0,013	
Відносна похибка висоти становить 1/3312							

Розподіл зовнішнього орієнтування призначений для обчислення елементів зовнішнього орієнтування цифрової моделі. Для розрахунків програма використовує координати опорних точок, внесених у файл цифрової моделі, та виміряні на растровому зображенні координати цих точок. Для опрацювання наземних, аеро- або космічних знімків використовують також дані описання камери.

Результати зовнішнього орієнтування записують у файл цифрової моделі. Після орієнтування знімків координати об'єктів під час опрацювання цифрової моделі формують у системі координат опорних точок, тому здійснено перехід до потрібної нам системи координат.

Порівнюючи точність отриманих результатів під час виконання зовнішнього орієнтування та попередньої оцінки точності, можемо зробити висновок, що орієнтування виконано добре, тому що похибки зовнішнього орієнтування не перевищують похибки апріорної оцінки точності. Створено проект планово-висотної прив'язки за допомогою двочастотного GPS-приймача в RTK режимі. Наведемо результати розрахунку попередньої (апріорної) оцінки точності визначення координат та виконання зовнішнього орієнтування.

Результати апріорної оцінки точності:

$$\begin{cases} m_{x\phi} = 0,28 \text{ м}, \\ m_{y\phi} = 0,31 \text{ м}, \\ m_{z\phi} = 0,38 \text{ м}. \end{cases}$$

Результати зовнішнього орієнтування:

$$\begin{cases} m_{x\phi} = 0,27 \text{ м}, \\ m_{y\phi} = 0,28 \text{ м}, \\ m_{z\phi} = 0,21 \text{ м}. \end{cases}$$

Отримані результати доводять доцільність застосування БПЛА для виконання робіт із організації території земель лісогосподарського призначення і кінцеві картографічні матеріали повністю відповідають інструктивній точності.

Результати

На рис. 1 подано схему спроектованих маршрутів. Оскільки ділянка місцевості знімання не прямокутної форми, а розрахунки виконано для прямокутної ділянки, розрахована кількість маршрутів відрізняється від реальної на два маршрути.

На рис. 2 наведено технологічну схему розрахунку розташування планово-висотних опознаків [GNSS receiver South S82. User manual, 2020].

Якщо БПЛА оснащено геодезичним GPS-приймачем, можна визначити координати опорних точок у розрідженому вигляді (до п'яти точок на блок), розташованих за схемою (рис. 3).

Якщо немає геодезичного GPS-приймача, необхідно розрахувати кількість опознаків, як у плановому аспекті, так і у висотному.

Кількість планових опознаків:

$$n = 11,0 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{M}{m}\right)^2} = 5, \quad (1)$$

де M – знаменник масштабу створеної карти;
 m – знаменник масштабу аерознімання.

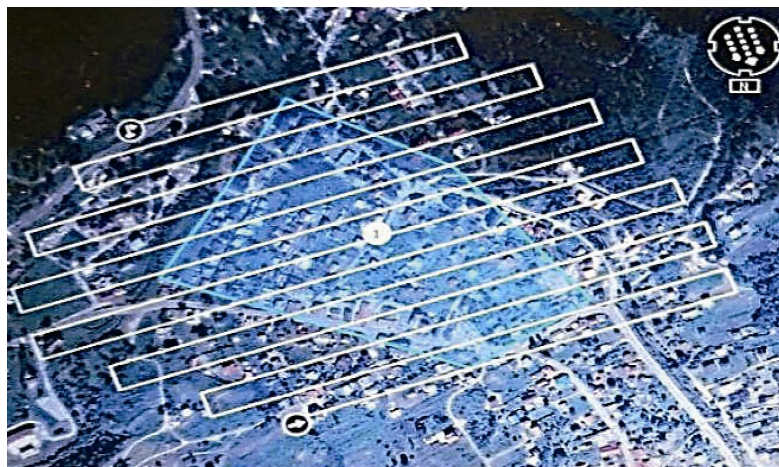


Рис. 1. Схема спроектованих маршрутів

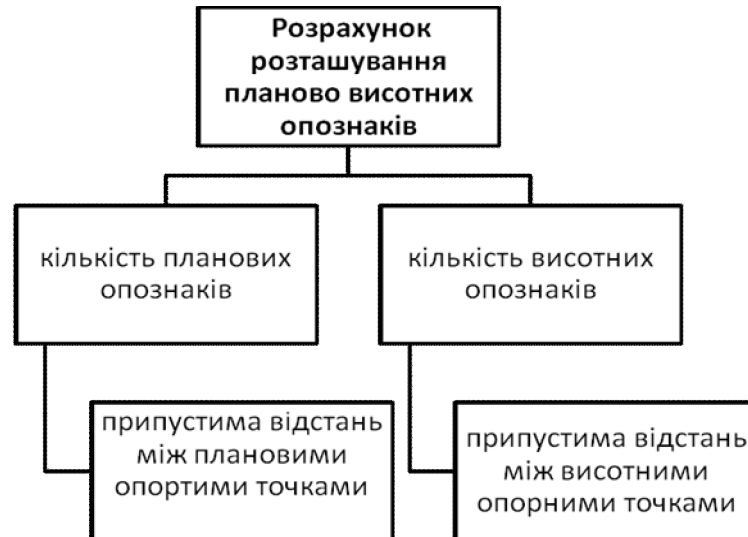


Рис. 2. Технологічна схема розрахунку розташування планово-висотних опознаків

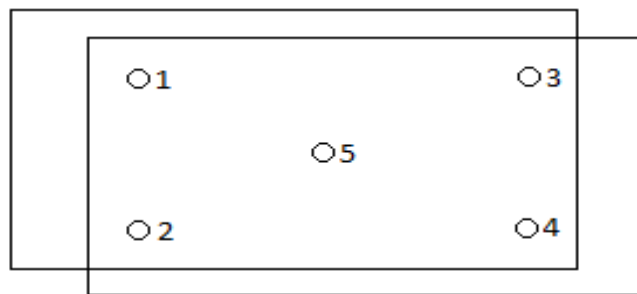


Рис. 3. Схема розташування опорних точок

Кількість висотних опознаків:

$$n' = 2,08 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{b_x \cdot m_{zc}}{f \cdot m \cdot m_q}\right)^2} = 1, \quad (2)$$

де m_{zc} – середньоквадратична похибка (СКП) визначення висоти; m_q – СКП визначення поперечних паралаксів; f – фокусна віддаль.

Допустима відстань між плановими опорними точками:

$$L = n \cdot B_x = 145 \text{ м}, \quad (3)$$

де B – базис знімання на місцевості.

Допустима відстань між висотними опорними точками:

$$L' = n' \cdot B_x = 30 \text{ м}. \quad (4)$$

Відтак розрахуємо попередню оцінку точності визначення просторових координат точок

об'єкта. Для розрахунку апіорної оцінки точності використаємо наведені нижче формули [Геосистема, 2005; Pix4Dmapper Getting Started 2020]:

$$\begin{cases} X_\phi = \frac{B}{p} \cdot x_n, \\ Y_\phi = \frac{B}{p} \cdot y_n, \\ Z_\phi = \frac{B}{p} \cdot z_n. \end{cases} \quad (5)$$

Оскільки всі аргументи в формулі (5) мають похибки, то необхідно взяти повний диференціал від X_ϕ, Y_ϕ, Z_ϕ . Відразу виконаємо заміну:

$$p = \frac{B \cdot f}{H}. \quad (6)$$

У результаті отримаємо формули (7):

$$\begin{cases} dX_{\phi} = \frac{H}{f} \cdot \frac{x_l}{B} dB + \frac{H}{f} \cdot dx_l + \frac{H^2 \cdot x_l}{B \cdot f^2} \cdot dp \\ dY_{\phi} = \frac{H}{f} \cdot \frac{y_l}{B} dB + \frac{H}{f} \cdot dy_l + \frac{H^2 \cdot y_l}{B \cdot f^2} \cdot dp \\ dZ_{\phi} = -\frac{H}{B} dB - \frac{H}{f} \cdot df + \frac{H^2}{B \cdot f} dp \end{cases} \quad (7)$$

Тоді СКП дорівнюватимуть:

$$\begin{cases} m_{Xf} = \sqrt{\left(\frac{H}{f} \cdot \frac{x_l}{B}\right)^2 \cdot m_B^2 + \left(\frac{H}{f}\right)^2 \cdot m_{x_l}^2 + \left(\frac{H^2 \cdot x_l}{B \cdot f^2}\right)^2 \cdot m_p^2} \\ m_{Yf} = \sqrt{\left(\frac{H}{f} \cdot \frac{y_l}{B}\right)^2 \cdot m_B^2 + \left(\frac{H}{f}\right)^2 \cdot m_{y_l}^2 + \left(\frac{H^2 \cdot y_l}{B \cdot f^2}\right)^2 \cdot m_p^2} \\ m_{Zf} = \sqrt{\left(\frac{H}{B}\right)^2 \cdot m_B^2 + \left(\frac{H}{f}\right)^2 \cdot m_f^2 + \left(\frac{H^2}{B \cdot f}\right)^2 \cdot m_p^2} \end{cases} \quad (8)$$

Для обчислень використано такі значення параметрів: $H = 200$ м; $x_l = 12$ мм; $y_l = 18$ мм; $f = 35$ мм; $B = 28,68$ м; $m_B = 0,1$ м; $m_x = 0,05$ мм; $m_p = 0,005$ мм.

У результаті отримаємо такі значення СКП:

$$\begin{cases} m_{X\phi} = 0,28 \text{ м,} \\ m_{Y\phi} = 0,31 \text{ м,} \\ m_{Z\phi} = 0,38 \text{ м.} \end{cases}$$

Одержані результати доводять високу ефективність застосування БПЛА під час виконання кадастрових робіт для організації території земель лісгосподарського призначення.

Доведено, що безпілотні літальні апарати є недорогою альтернативою традиційному зніманню із літаків, гелікоптерів, мотодельтапланів та супутників. Крім високої економічної ефек-

тивності (здешевлення у десятки разів), БПЛА мають додаткові переваги порівняно з традиційним зніманням, а саме: можливість досягнення надвисокого розрізнення (одиниці й десятки сантиметра) на місцевості; можливість детального знімання невеликих об'єктів і малих ділянок там, де це цілком нерентабельно або технічно неможливо зробити іншими способами, наприклад, в умовах міської забудови; мобільність; висока оперативність; екологічна чистота польотів.

Практична реалізація викладених теоретичних розробок передбачає використання рекомендацій та висновків у практичній діяльності оцінювачів, а також обґрунтування вимог до опрацювання цифрових зображень, отриманих із БПЛА, для оцінювання нерухомості та досягнення необхідної точності та якості цифрових знімальних систем.

Наукова новизна і практична значущість

Доведено, що виконані роботи з організації території земель лісгосподарського призначення забезпечать розумне використання лісових ресурсів, зростання продуктивності та високоякісного складу лісів, підвищення їхніх захисних функцій тощо. Встановлено, що лісовпорядкування та лісоінвентаризацію, проектування лісгосподарських заходів необхідно здійснювати на ґрунтово-типологічній основі із використанням таблиць діагностичних ознак типів лісу.

Інженерно-геодезичні та землевпорядні вивчення, здійснювані тільки наземними методами знімання, займають значно більше часу, ніж відповідні роботи, виконані за допомогою БПЛА. Якщо правильно побудувати виконання робіт із координування меж функціональних зон земель лісгосподарського призначення, аерофотознімання з використанням БПЛА матиме ще більше переваг, не тільки стосовно швидкості виконання. Істотно поліпшиться якість, підвищаться точність і змістовність топографічних та кадастрових планів. Запропонована методика суттєво знизить відсоток неякісного виконання кадастрових робіт, усуне недоліки, допущені під час виконання наземних польових досліджень, а отже, уможливить економію матеріальних ресурсів і часу для виконавців робіт. Все це дасть змогу досягти високого науково-технічного рівня кадастрових робіт.

Висновки

Організація території земель лісогосподарського призначення Східницької селищної ради розроблена на засадах сталого розвитку лісового господарства, як передбачено чинним Лісовим кодексом України [Частини 2, 34, 48, 55, 56, Верховна Рада України, 1994].

Розроблені положення цього дослідження відповідають основним принципам сталого ведення лісового господарства, що передбачає поєднання економічних, екологічних та соціальних аспектів лісогосподарської діяльності із метою збереження, невиснажливого використання лісів та підтримування їх багатогранних функцій на довгострокову перспективу.

Перспективою подальших досліджень, на нашу думку, є практична реалізація викладених теоретичних розробок, використання рекомендацій та висновків у практичній діяльності землевпорядників, геодезистів та оцінювачів, а також обґрунтування вимог до опрацювання цифрових зображень, отриманих із БПЛА, для завдань лісового господарства та дослідження необхідної точності та якості цифрових знімальних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Верховна Рада України. (1991). Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-ХІІ. База даних “Законодавство України”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12>
- Верховна Рада України. (1994). Лісовий кодекс України. Кодекс від 21 січня 1994 року № 3852-ХІІ. База даних “Законодавство України”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/3852-12>
- Верховна Рада України (1998). Про затвердження Інструкції з топографічної зйомки в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 та 1: 500 (ДСТУ 2.04-02-98). Укргеодезкартографія; Розпорядження 9 квітня № 56.
- Верховна Рада України. (2007). Про затвердження Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок: Постанова Кабінету Міністрів України від 16 травня 2007 р. № 733. База даних “Законодавство України”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/733-2007-%D0%BF>
- Геосистема (2005). Цифрова фотограмметрична станція Дельта. Програмне забезпечення для для орієнтування растрових карт і знімків. Модель для Windows, версія 5.0. Керівництво оператора, частина 1 [Digital Photogrammetric Station “Delta”]. Software for orientation of raster maps and images. Models for Windows, version 5.0. Operator's manual, part. 1]. URL: http://kyrator.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=910:programma-models%20&catid%20=%2023%20&Itemid=130
- Глотов В., Гуніна А. Можливості застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. II (28). С. 65–70. URL: <http://zgt.com.ua/%d0%b2%d0%b8%d0%bf%d1%83%d1%81%d0%ba-%d1%96i-28-2014/>
- Гурман С. (2019). Фотограмметричне опрацювання матеріалів аерознімання із БПЛА. Практичні аспекти [Photogrammetric processing of aerial survey materials from UAVs. Practical aspects]. URL: <http://surl.li/adjgy>
- Інструкція з облаштування лісового фонду України. (2006). Частина перша. Укрдержліспроєкт.
- Регіональна цільова Програма розвитку лісового господарства Львівської області за 2017–2021. (2017). Рішення Львівської обласної ради (VI сесія VII скликання) від 14.02.2017 № 363. URL: https://lvivlis.gov.ua/cil_ovi_programy
- Стратегія сталого розвитку та інституційного реформування лісового господарства України на період до 2022 року (2017). Розпорядження КМУ від 15.11.2017 р. URL: <http://surl.li/adjjj>
- Barba, S., Barbarella, M., Di Benedetto, A., Fiani, M., Gujski, L., & Limongiello, M. (2019). Accuracy Assessment of 3D Photogrammetric Models from an Unmanned Aerial Vehicle. *Drones*, 3(4), 79. URL: <https://doi.org/10.3390/drones3040079>
- Chen, Z., Zhang, B., Han, Y., Zuo, Z., & Zhang, X. (2014). Modeling accumulated volume of landslides using remote sensing and DTM data. *Remote Sensing*, 6(2), 1514–1537. URL: <https://doi.org/10.3390/rs6021514>
- Cryderman, C., Mah, S. B., & Shufletoski, A. (2014). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for mapping and earthworks computations. *Geomatica*, 68(4), 309–317. URL: <https://doi.org/10.5623/cig2014-405>
- GNSS receiver South S82. User manual (2020). Available at: https://gd-geo.ru/pdf/south/south_s82-manual.pdf.
- Kozka, O. V. (2020a). Forest management. As it is conducted in Ukraine and in Poland. Retrieved from: <https://www.lisproekt.gov.ua/post/5627>.
- Kozka, O. V. (2020b). Geographic information systems in the forest industry. Retrieved from: <https://ekoinform.com.ua/?p=5664>.
- Lendel, M. A., Zhulkanych, V. O. (2018). Peculiarities of sustainable management of the development of the forestry complex of the Transcarpathian region.

- Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series "Economics"*, 1(9), 105–110. URL: [https://doi.org/10.31339/2313-8114-2018-1\(9\)-105-110](https://doi.org/10.31339/2313-8114-2018-1(9)-105-110)
- Matiichik, M. P., & Kachalo, I. A. (2013). Trends in the use of unmanned aerial vehicles in civil aviation. In XI International scientific and technical conference "AVIA 2013".
- Mazurenok, O. R. (2014). Economic value forests of Ukraine and strategy their effective development. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series "Economic Sciences"*, 1(5), 209–212.
- Pix4Dmapper Getting Started (2020). Available at: <https://s3.amazonaws.com/mics.pix4d.com/KB/Getting+Started+PDFs/EN/Pix4Dmapper+-+Getting+Started+-+Master+-+4.0+-+EN.pdf>
- Silva, A. M. & Silva, D. C. (2015). Resseção espacial em fotogrametria com quatérnios (The photogrammetric spatial resection using quaternion). *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4), 750–764. (in Spanish). <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000400044>
- Shershun, M. H. (2013). Directions of reforming the organizational and economic structure of forestry management. *Balanced nature using*, 1, 5–12.
- Trimble UX5 HP. (2020). Available at: <http://www.kmcgeo.com/Datasheets/UX5HP.pdf>
- UVS (2021). UVS International (in liquidation). Retrieved from: <https://uvs-international.org>.
- Zhang, Y., Li, J. Z., Jiang, P. P., Du, Y. L., & Gong, S. F. (2015). Using image registration method to register UAV. In *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 716, 1675–1679. Trans Tech Publications URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.716-717.1675>

Yulia KHAVAR¹, Yurii HUBAR², Vira SAI³, Oleksandra HULKO⁴, Liliya VYNARCHYK⁵

¹⁻⁵ Lviv Polytechnic National University, Institute of Geodesy, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, yuliia.s.khavar@lpnu.ua, yurii.p.hubar@lpnu.ua, vira.m.sai@lpnu.ua, oleksandra.r.hulko@lpnu.ua, liliia.v.vynarchyk@lpnu.ua,

¹<http://orcid.org/0000-0002-2407-2258>, ²<http://orcid.org/0000-0003-2538-0727>, ³<http://orcid.org/0000-0003-4246-2548>,

⁴<http://orcid.org/0000-0003-1476-6149>, ⁵<http://orcid.org/0000-0001-5013-5120>

USE USING UAVS FOR THE ORGANIZATION OF FORESTRY LANDS

The aims of our paper are to study the territory organization of the forest fund lands of the Skhidnytsya village council (Lviv region), performing their forest management with the development of a system of activities aimed at ensuring scientifically based multifunctional forestry management, protection and rational sustainable use. The possibility of performing cadastral works for the territorial organization of forestry lands using unmanned aerial vehicles (UAVs) is important for science and practice. The paper considers the main direction of sustainable development of forest areas with a recreational function, aimed at strengthening ecological, social and economic functions and protection of these forests, their rational use. Based on the division of forests into categories, their functional significance, the regime of forestry and forest use for the next revision period, the following economic units were formed: health and recreational forests with a special regime of use in the mountains. The distribution of the total area of health and recreational forests by functional zones, types of landscape, classes of aesthetic assessment, pedestrian accessibility, recreational assessment, resistance to recreational loads, stages of recreational digression, additional assessment is presented. The results obtained prove the practical significance of the use of UAVs for performing work on the organization of the territory (certain category of land), and the resulting cartographic materials fully comply with the instructive accuracy. The developed provisions of this study correspond to the basic principles of sustainable forest management, provide for a combination of economic, environmental and social aspects of forestry activities.

Key words: forest fund land; forest management; forestry zoning of the territory; sustainable development strategy; UAV.

Надійшла 28.03.2022 р.