

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису УДК: 528.4+528.7+528.8

СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСЦЕВОСТІ
У МАСШТАБІ 1:2000 ЗА МАТЕРІАЛАМИ БЕЗПІЛОТНОГО ЗНІМАННЯ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 4 курсу
освітнього рівня бакалавр
Швалюк Діани Михайлівни

Науковий керівник:
Курач Тамара Миколаївна
кандидат географічних наук, доцент

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри No ___ від «___» _____ 20__ року

Завідувач кафедри

проф. Даценко Л.М.

КИЇВ – 2024

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ МІСЦЕВОСТІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ БЕЗПЛОТНОГО ЗНІМАННЯ	5
1.1. Нормативно-правове регулювання аерознімання в Україні	5
1.2. Історія застосування БПЛА	6
1.3. Переваги використання БПЛА для аерофотознімання	11
1.4. Види управління БПЛА	14
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗНІМАННЯ З БПЛА	16
2.1. Підготовка до планування польотної місії	16
2.2. Планування та проведення польотної місії	18
2.3. Огляд програмного забезпечення для обробки матеріалів безпілотного знімання	
РОЗДІЛ 3. СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСЦЕВОСТІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЗНІМАНЬ З БПЛА	34
3.1. Характеристика району робіт	34
3.2. Побудова ортофотоплану місцевості	34
3.3. Створення топографічного плану місцевості в масштабі 1:2000	39
3.4. Аналіз перспектив великомасштабного картографування	41
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	49

ВСТУП

За останні роки, з урахуванням багатьох реформ у земельному законодавстві, все більшу увагу приділяють актуалізації поточних картографічних матеріалів. Саме великомасштабні топографічні плани є найбільшою потребою для органів влади, від тих, які забезпечують діяльність на місцевому рівні, до тих, які забезпечують обороноздатність та цілісність держави. Попит на такий вид продукції зумовлений необхідністю високоточних матеріалів для проектування та планування генеральних планів міст та населених пунктів, просторового планування розвитку територій, для будівництва, для спрощення діяльності у галузі землеустрою та землевпорядкування, а також, в умовах реалій, для розвідки та переваги у стратегічному плануванні у період воєнного стану.

Швидке отримання подібного типу даних в умовах постійного розвитку та розбудови зон міста, або навпаки в умовах його руйнування є можливим завдяки даним дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і, зокрема, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що дали поштовх до спрощення та здешевлення такого виду робіт, як створення топографічних планів місцевості.

Варто враховувати, що нова техніка і технології породжують нові методи і дають більше можливостей, унікальну специфіку, яка відрізняється від раніше використовуваних космічних знімків, чи знімків, що були отримані з пілотованих літаків.

Об'єктом дослідження є територія села Волиця Яворівського району Львівської області.

Предметом дослідження є комплекс методів і прийомів для створення топографічного плану за матеріалами безпілотного знімання.

Метою роботи є створення топографічного плану місцевості у масштабі 1:2000 на прикладі села Волиця за матеріалами безпілотного знімання.

У бакалаврській роботі поставлено наступні **завдання**:

- 1) дослідити нормативно-правові акти, що регулюють аерознімання;
- 2) проаналізувати технологію знімання з БПЛА та її особливості;

- 3) описати методику створення ортофотоплану та топографічного плану місцевості;
- 4) створити топографічний план місцевості у масштабі 1:2000;
- 5) зазначити перспективи великомасштабного картографування.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ МІСЦЕВОСТІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ БЕЗПІЛОТНОГО ЗНІМАННЯ

1.1. Нормативно-правове регулювання аерознімання

Однією з найбільших проблем у нормативно-правовому регулюванні топографо-геодезичної діяльності є потреба оновлення Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [1], які, варто сказати, достатньо застаріли, адже в ХХІ столітті в геодезичній діяльності використовується набагато більше методик та приладової бази і, відповідно, законодавство повинно бути гнучким та змінюватись.

Варто також позначити необхідність у нормуванні технології безпілотних знімань, оскільки вони є високоефективними та активно застосовуються для виконання прикладних задач у геодезії, картографії та землеустрої.

Стосовно інших нормативних документів та положень у сфері створення топографічної продукції варто відзначити ті, котрі допомагають забезпечити її високу якість. Це зокрема:

- 1) Закон України “Про землеустрій” [2];
- 2) Закон України “Про Державний земельний кадастр” [3];
- 3) Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” [4];
- 4) Постанова КМУ “Деякі питання застосування геодезичної системи координат” від 22.09.2004 № 1259 [5];
- 5) Постанова КМУ “Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування” від 04.09.2013 № 661 [6];
- 6) Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України “Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою” від 02.12.2016 № 509 [7];
- 7) Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, затвердженої при КМУ від 09.04.1998 №56 [1];

8) Наказ Мінекоресурсів України №295 від 03.08.01 р. “Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500” [8];

9) Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 24.01.94 №3 “Основні положення створення топографічних планів масштабів 1: 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500” [9].

Класифікатор топографічної інформації є складовою Єдиної системи класифікації і кодування картографічної інформації, призначеної для формалізованого представлення сукупності даних (документальних і фактографічних), які використовуються в автоматизованих засобах обробки картографічної інформації [10].

1.2. Історія застосування БПЛА

У 1903 р., коли брати Райт здійснили перший політ, розвиток авіації прискорився, і незабаром було створено перший безпілотний літальний апарат. Це був час літаючих бомб, тобто пілотованих чи безпілотних літальних апаратів або літальних апаратів із великою фугасною боєголовкою, попередників сучасних крилатих ракет. На відміну від літака-бомбардувальника, який призначений для скидання бомб і подальшого повернення на базу для повторного використання, бомба, що літає, попадає в ціль і, отже, сама знищується при атаці. Під час Першої світової війни було дуже важко замінити втрачені літаки та пілотів, що траплялося досить часто через масове впровадження бойових літаків. Щоб вирішити цю проблему, воєначальники почали замислюватись про використання безпілотних літальних апаратів у певних місцях. Згідно з теорією Дуге, опір нації може бути зламаний, а країна може бути переможена терористичними бомбардуваннями. Використання літаючих бомб здавалося гарною підмогою для цього завдання.

Перший прототип такої машини пов'язаний з американцем Елмером Сперрі, який створив літальний апарат, керований автопілотом. Військові спеціалісти побачили у БПЛА великий потенціал та надали сім Curtis N-9 для оснащення

системою автопілота. Перші випробувальні польоти були здійснені у 1917 р. з пілотом у кабіні. Цей пілот відповідав за злети та посадки. На інших етапах польоту керував автопілот. Пролетівши 48 км, бомби було скинуто, але ближче за 3 км до мети потрапити не вдалося [11].

Ще одну літаючу бомбу, Кеттерінг Баг, було створено у листопаді 1917 р. Вона була замовлена американськими військовими та побудована Чарльзом Кеттерінгом. Фюзеляж був створений Орвіллом Райтом, система управління і навігації була розроблена фахівцем Елмером Сперрі. Після зльоту малогабаритний біплан автоматично наводився у бік мети, де після закінчення заданого часу двигун зупинявся, крила опускалися. Торпедоподібний корпус, начинений 80-кілограмовою вибухівкою, влучав у ціль і вибухав [12]. Чотирипоршневий двигун Ford потужністю 40 к.с. міг розігнати літак до 100 км/год. Хоча будівництво було успішним, у війні він не брав участі, тому що на той час, коли американські військові прийняли його на озброєння, війна вже закінчилася.

Після Першої світової війни винищувальна авіація стала швидшою, сильнішою і маневренішою. Ця зміна торкнулася методики навчання льотчиків та особового складу ППО. Щоб змодельовати дії проти цих повітряних цілей, було розроблено безпілотні літаки-мішені або РТАЗ. Програма, спрямована на розробку такого літака, завершилася створенням у Великій Британії Queen Bee [13]. Цей новий тип БПЛА означав прорив та був справжньою інновацією. Це була перша система, яка могла повернутися після виконання своєї місії, якщо вона не була вражена. Система дистанційного керування була встановлена на De Havilland DH 82 Tiger Mouth з висотою 5200 м та максимальною швидкістю 180 км/год. Крім того, Queen Bee був першим літаком, який отримав назву Drone [12]. Після початку Другої світової війни потреба збройних сил у безпілотних транспортних засобах-мішенях почала швидко зростати. Ось чому Радіоплан під кодовою назвою OQ-2 був створений у США Реджинальдом Денні. Це був дерев'яний моноплан, що рухається екіпажем. БПЛА міг би приземлитися за допомогою парашута, якби з якоїсь причини було втрачено канал передачі даних,

функція, яка доводить, що це відносно розвинена модель. Крім того, він міг злітати з шасі на звичайній злітно-посадковій смугі. На відміну від ранніх БПЛА, завдяки цим особливостям можна було уникнути пошкоджень.

Після цього кілька ОQ-моделей було виготовлено фірмою Реджинальда Денні, найбільш розвинутою з цієї серії став ОQ-14, що залишався на озброєнні навіть після Другої світової війни. Під час війни дедалі більше літаків-бомбардувальників були знищені від роботи ППО під час терористичних бомбардувань. Бойові частини почали шукати альтернативних рішень для заміни звичайних бомбардувальників. Вони повернулися до ідеї використання літаючих бомб. Німці розпочали розробку повітряної торпеди Фау-1 наприкінці 1930-х рр. з метою бомбардування Лондона. Технічною основою послужив винахід у 1941 р. імпульсно-реактивного двигуна. Система тривалий час не могла стати боєздатною, незважаючи на кілька років досліджень та експериментів. У ході випробувальних польотів з'ясувалося, що з його стабільністю були серйозні проблеми. Фау-1 вперше була використана на театрі бойових дій у 1944 р. проти Лондона як помста за день «Д». Потужності двигуна вистачило, щоб забрати бойову частину, начинену вибуховою речовиною масою 850 кг, на відстань 320 км. Для управління польотом німецькі інженери використовували звичайну систему автопілота, що складається з гіроскопа, барометричного висотоміра та далекоміра. Під час Другої світової війни було випущено близько 3200 Фау-1, що забрало близько 1000 життів. Це число показує, що хоча німці називали її «магічною зброєю», вона мало вплинула на кінець війни [14].

У наш час малопомітність винищувача є основною вимогою, а також інтеграція бортової системи в один комплексний блок. Ця ідея підводить ближче до теми інформаційної війни, метою якої є досягнення інформаційної переваги над супротивником. В інформаційній війні і солдати, і командний пункт відчують величезну потребу в постійній безперебійній інформації. Для задоволення цього попиту масово використовуються БПЛА і вони незамінні в потоці інформації. Завдяки їх ефективності, їх кількість продовжує зростати. Хоча

основною метою БПЛА був збір інформації, сьогодні вони можуть виконувати завдання повітряного придушення [15].

Можливості повітряного удару найкраще представлені БПЛА MQ-9 Reaper США. Reaper — старший брат Predator, який уперше піднявся у повітря 2001 р. Це перший БПЛА типу "мисливець-вбивця", призначений для тривалого спостереження на великій висоті. Однак основним його завданням є ураження наземних цілей. Для цього на нього можна встановити кілька підвісних пристроїв, таких як ракета класу "повітря-земля" AGM-114 Hellfire, лазер GBU-12 або бомба з супутниковим наведенням GBU-38 JDAM. Крім авіаударів, він також може здійснювати стратегічне повітряне спостереження завдяки своїй автономності від 14 до 42 годин. Його перший бойовий виліт був в Афганістані у 2007 р., але з того часу він також використовувався у конфліктах Лівії та Малі. Літаки Predator та Reaper мають найвищий рівень оперативної готовності серед усіх літаків в арсеналі Міністерства оборони США, що часто перевищує 99% коефіцієнт готовності до виконання місії.

У сьогоденній асиметричній війні маленькі, дешеві БПЛА ручного запуску стали надзвичайно важливими, особливо в армії та морській піхоті. Їх можна використовувати і в міських умовах, оскільки вони живляться від електрики, що робить їх безшумними, портативними, і ними можна керувати ноутбуком або планшетом. Ці безпілотники зазвичай оснащені EO або інфрачервоними камерами, і їх зображення передаються в режимі реального часу оператору. Однак ми повинні враховувати, що на їхній оперативній висоті можливість візуальної координації погіршується через обставини бойових дій, таких як дим, пил або вогонь [16].

Black Hornet Nano - найкращий приклад дронів такого типу. Це військовий мікро-безпілотний літальний апарат, розроблений норвезькою компанією Prox Dynamics AS і використовуваний норвезькою та британською армією, а також Корпусом морської піхоти США. Пристрій має розміри близько 10×2,5 см та забезпечує наземним військам місцеву ситуаційну поінформованість. Вони досить малі, щоб поміститися в одній руці і важать трохи більше 16 г, включаючи

батареї. Оператор може бути навчений управлінню Black Hornet лише за 20 хвилин. БПЛА оснащений камерою, яка видає оператору повномасштабне відео та нерухомі зображення.

Сімейство Meteor РТА провадиться для Сил оборони Угорщини з 1999 р. компанією Aero-Target Vt. Ці БПЛА використовуються в основному для навчання особового складу підрозділів ППО на навчальних ракетних стрільбах. Першим виробом у серії став "Метеор-1". 2005 р. компанія виграла конкурс на модернізацію існуючих ПТС. Метеор-3 дозволив надати користувачам дешевий та повністю угорський цільовий матеріал. Цей БПЛА може автоматично слідувати за маршрутом. Незважаючи на те, що його максимальна швидкість становить 140 км/год, його тривалість становить 40 хвилин, а дальність польоту — 60 км. Метеор-3 має корисне навантаження 4 кг, включаючи паливо, і стелю 3000 м. Він може нести до 4 піротехнічних патронів, але також може бути оснащений радіотелеметрією. Крім того, він може перевозити лінзу Люнеберга діаметром 180 мм збільшення ефективної площі покриття радара [12]. Розмах крила 2,7 м, довжина 1,8 м і маса корпусу 11 кг приводиться в рух поршнеvim двигуном об'ємом 30 см³. На жаль, його повільна швидкість знижує довіру до нього, тому виробник почав розробляти швидший РТА. Ймовірно, найбільш важливим розвідувальним БПЛА угорських сил оборони є Skylark I LE, який був закуплений в Ізраїлі в 2009 р. У цьому ж році може бути розпочато підготовку особового складу як в Угорщині, так і в Ізраїлі. Після навчання система була розгорнута на зміну PRT4 в Афганістані. У міру зростання кількості польотів зростала потреба в повітряному спостереженні в режимі реального часу. Живі зображення транслювалися в операційний центр, надаючи велику допомогу особам, які приймають рішення. Він використовувався в місіях FOB5 та для забезпечення безпеки проєктів CIMIC6. БПЛА також був корисним для виявлення можливої атаки СВУ7. Крім того, його основними завданнями стали спостереження за маршрутом перед своїми силами та супровід конвоїв.

1.3. Переваги використання БПЛА для аерофотознімання

Зйомка з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в останні роки набула значного попиту через свою ефективність та універсальність у різних галузях, включаючи виробництво, аграрний сектор, військовий сектор, картографію, геодезію, містобудування та багато інших. Технологія зйомки з БПЛА має свої особливості та переваги:

- *Гнучкість:* БПЛА можуть здійснювати зйомку з різних кутів та висот, що недосяжно для більш традиційного методу зйомки з літака чи інших видів ДЗЗ-зйомок.
- *Висока якість зображення:* Багато БПЛА оснащені високоякісними камерами, які забезпечують чітке та деталізоване зображення.
- *Ефективність та економія часу:* Зйомка з БПЛА може значно зменшити час, потрібний для підготовки та проведення зйомок, порівняно з традиційними методами.
- *Доступ до важкодоступних місць:* БПЛА можуть дозволити отримати доступ до місць, у які складно чи небезпечно дістатися для людини, наприклад, високі будівлі, скелясті урочища чи об'єкти на воді, місця радіологічного чи хімічного забруднень.

Проте є кілька важливих аспектів, які потрібно враховувати при зйомці з БПЛА:

Ліцензії та регулювання: в багатьох країнах потрібно мати спеціальні дозволи та ліцензії для здійснення комерційної зйомки з використанням БПЛА.

У цьому аспекті розглянемо приклад правил та регулювання використання БПЛА у Сполучених Штатах Америки (США), оскільки тут існують досить розвинуті та деталізовані правові норми у цій сфері [17].

1. Реєстрація БПЛА. У США Федеральна авіаційна адміністрація (Federal Aviation Administration - FAA) вимагає реєстрації всіх БПЛА, які важать більше 0,55 фунта (приблизно 250 грамів). Реєстрація здійснюється онлайн (рис.1), і оператор отримує унікальний ідентифікаційний номер, який потрібно проставити на БПЛА.

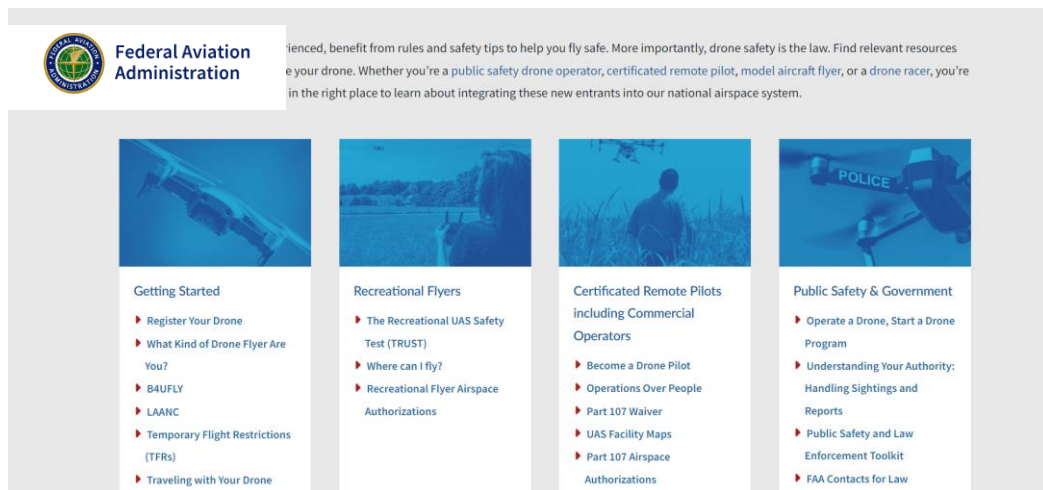


Рис.1. Сайт FAA

2. Ліцензування та сертифікація. Оператори БПЛА, які використовують їх у комерційних цілях, повинні отримати сертифікат оператора БПЛА (Part 107 Remote Pilot Certificate) від FAA. Для цього вони повинні скласти тест на знання правил та принципів безпечного польоту, а також пройти перевірку здатності використовувати БПЛА. Також існують додаткові вимоги для отримання спеціальних дозволів для польотів у обмежених зонах.

3. Обмеження щодо польоту. FAA встановлює обмеження щодо висоти, швидкості та місця польоту БПЛА. Наприклад, БПЛА не можуть підніматися вище 400 футів (приблизно 122 метри), польоти над аеропортами та іншими обмеженими зонами заборонені без спеціального дозволу.

4. Дозвільна процедура для спеціальних випадків. Іноді для польотів в специфічних умовах (наприклад, вночі або над людними місцями) потрібно отримати спеціальний дозвіл від FAA. Ці дозволи надаються на індивідуальній основі та можуть вимагати додаткових заходів безпеки.

5. Відповідальність та страхування. Оператори БПЛА повинні нести відповідальність за будь-які збитки або пошкодження, спричинені їхнім БПЛА. Багато операторів також вибирають страхування для захисту від можливих ризиків.

Варто сказати, що наразі в умовах воєнного стану в Україні, для операторів БПЛА також були висунуті обмеження щодо польотів, через що можливість цивільних знімачів, що могли проводитись на індивідуальне замовлення фізичних

осіб та товариств з обмеженою відповідальністю, значно ускладнилась через необхідність отримання дозволів від спеціальних військових структур країни, хоча раніше й була можливість отримати дозвіл на використання безпілотним повітряним судном повітряного простору через Державну авіаційну службу України [18].

Правила взаємодії з іншими користувачами простору: Важливо уникати завад для інших користувачів повітряного простору, таких як пілоти літаків або гелікоптерів.

Технічна підготовка та обслуговування: БПЛА потребують регулярного технічного обслуговування та перевірок для забезпечення їх безпеки та ефективності.

Цитуючи інженера-геодезиста Сергія Гурмана, хотілось би підкреслити думку, що коротко характеризує причину зростання популярності методу знімання з БПЛА: «Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів як елемент отримання даних дистанційного зондування Землі спричинений недоліками 2-х традиційних методів ДЗЗ: недостатня точність, великі фінансові затрати» [19]. Під двома традиційними методами можна розуміти класичні способи отримання даних ДЗЗ, а саме дані, отримані з пілотованих літаків чи гвинтокрилів та дані з комічних супутників.

Аерознімання, що виконують за допомогою гвинтокрилів (найчастіше Мі-8, Ка-26) чи літаків (Ан-2, Ту-34), є досить затратним, починаючи з обслуговування, закінчуючи витратами на заправку, що робить кінцеву продукцію більш коштовною.

Дані отримані з космічних супутників дискретні розмірності більшої, ніж 0,5 м, що є поганою для великомасштабного картографування. До того ж, при виборі необхідних знімків з архіву, складністю є вибір даних, де територія не буде покрита хмарами, чи іншими перешкодами, такими, наприклад, як пил, пісок, димова завіса (наприклад, поблизу активних вулканів).

Звідси можемо виділити основний недолік 2-х традиційних систем – нерентабельність. Ці методи є економічно не вигідними для виконання знімків

невеликих за площею територій, які потребують частого постійного моніторингу (наприклад, для знімань магістралей, периферійних територій великих міст).

Варто зазначити, що розвиток БПЛА і зйомок з їх допомогою міг би набути ще більшої популярності, якби в Україні змінилось декілька факторів, що стримують розвиток ринку БПЛА.

Першочергово, це пов'язано з тим, що в Україні поки що немає правового регулювання інтеграції БПЛА в єдиний повітряний простір. На поточному етапі запуск БПЛА в комерційних цілях вважається абсолютно легальним на підставі відпрацьованої технології отримання дозволу для оператора БПЛА.

По-друге, наразі виконувати знімання на території України є досить небезпечним через високу можливість втратити зв'язок з БПЛА, особливо в районі прикордонних областей, де легко можна потрапити в зону роботи засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ).

По-третє, невирішені питання сертифікації, страхування та реєстрації безпілотних суден перешкоджають більш швидкому розвитку.

1.4. Види управління БПЛА

Класифікація за керованістю є важливою для визначення ролі та функцій оператора в системі управління БПЛА, а також для розуміння рівня автономності та здатностей самого апарата. Це впливає на потреби в навчанні та сертифікації операторів, а також на розробку програмного забезпечення та алгоритмів для автоматизованого управління БПЛА.

Ось декілька основних класифікаційних категорій [20]:

1. Керовані БПЛА (Remotely Piloted Aircraft Systems - RPAS)

- Повністю керовані (Fully Piloted). У цьому випадку оператор активно керує всіма аспектами польоту, включаючи напрямок руху, висоту, швидкість та кут нахилу камери. Цей тип БПЛА найбільш поширений і використовується в багатьох галузях, включаючи розвідку, зйомку з повітря, пошук і рятування та багато інших.

- Частково керовані (Partially Piloted). У цьому випадку БПЛА може мати певні автономні функції, але оператор все ще може втручатися у польот, коли це необхідно. Наприклад, оператор може виконувати автоматичний старт і посадку, але вручну керувати БПЛА під час польоту для виконання специфічних завдань.
- Максимально автономні (Highly Autonomous). У цьому випадку БПЛА має велику автономність та здатність виконувати польоти та завдання без значного втручання оператора. Оператор може встановлювати загальні параметри місії, але конкретні дії виконуються апаратом на основі програмованих алгоритмів.

2. Автономні БПЛА (*Autonomous Aircraft*)

- Повністю автономні (Fully Autonomous). У цьому випадку БПЛА має повну здатність до самостійного польоту та виконання завдань без участі оператора. Він самостійно приймає рішення та вибирає оптимальні маршрути з урахуванням вхідних даних та завдань.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНУ МІСЦЕВОСТІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОЗНІМАННЯ

2.1. Підготовка до планування польотної місії

Аерофотознімання для викреслювання топографічного плану населеного пункту Волиця виконано за допомогою БпАК FLIRT Cetus (рис.2).



Рис.2. БпАК FLIRT Cetus

Flirt Cetus — це високоспеціалізований літальний апарат, призначений для високоточного аерофотознімання великих територій.

Технічні характеристики:

- загальна вага 9 кг;
- до 120 хв у польоті;
- дальність польоту до 120 км;
- приземлення з парашутом + система захисту airbag;
- GSD від 1 см;
- до 15 кв.км. з 5 см GSD (60% перекриття);
- вітростійкість до 37,2 км/год.

Основні технологічні параметри робіт:

- продуктивність зйомки площинних об'єктів становить до 100 км² на день одним екіпажем;
- деталізація ортофотоплану від 2 см/піксель;

- точність отримання координат по ортофотоплану від 5 см [21].

Загалом, є багато варіантів комплектації БпАК FLIRT Cetus. Для виконання аерофотознімання села Волиця використано БПЛА Flirt Cetus, оснащений камерою Sony Alpha ILCE7RM4 з роздільною здатністю матриці 61 МП (рис.3) та об'єктивом Zeiss Ventum з фокусною віддаллю 21 мм (рис.4).



Рис.3. Камера Sony Alpha ILCE7RM4



Рис.4. Об'єктив Zeiss Ventum

На борту встановлений двочастотний GNSS-приймач (рис.5.а), який в поєднанні з наземною базовою станцією (рис.5.б) дозволяє отримувати координати центрів знімків з точністю до 10 см.



а



б

Рис.5. Приймачі: а – ровер на борту БПЛА, б – базова станція на землі

Перед безпосереднім плануванням польотної місії в ПЗ, варто спиратись на рекомендації щодо попереднього планування аерофотознімання.

За можливості рекомендовано попередньо створити полігони знімання чи вісі польотів (для лінійних об'єктів) та приблизно визначити місце, з якого будуть здійснюватися запуски та посадки БПЛА. Це дасть змогу оцінити кількість польотів та оптимізувати процес знімання, що зробить набагато оперативнішим виконання завдання.

При виборі місця для зльоту/посадки слід надавати перевагу полям, що обробляються. Підійде і луг, але там може траплятися чагарникова рослинність, яка при посадці здатна пошкодити літак чи парашут. При можливості краще обрати великий масив полів, щоб можна було запланувати простір для аварійної посадки чи зльоту в разі зміни напрямку вітру. Також одиночне поле може бути зоране або засіяне певною культурою, наприклад, соняшником чи кукурудзою, що в певні періоди унеможлиблює здійснення роботи на цих полях. Варто також проаналізувати наявність поблизу ЛЕП, вітряків, веж мобільного зв'язку, які потенційно становлять небезпеку для БПЛА.

Місце проведення запусків повинне бути якомога ближче до об'єкту знімання. По-перше, зменшується шлях, який літаку потрібно пролетіти від оператора до об'єкту і, відповідно, зменшується розхід заряду батареї літака. Це дасть змогу зняти більшу територію за один запуск. По-друге, це дасть змогу швидко повернути БПЛА в разі виникнення аварійнонебезпечної ситуації (наприклад, аварійна робота якоїсь з систем літака, просідання батареї через сильний вітер, погіршення метеорологічних умов) чи необхідності посадити літак за вимогою спецслужб.

При попередньому виборі місця для запусків обов'язково потрібно проаналізувати рельєф місцевості. Місцевість має бути рівнинною, без різких перепадів, канав чи валів. Не рекомендуються обирати місця в улоговинах, біля підніжжя схилів, так як рельєф може перекрити пряму видимість з бортом, що призведе до втрати радіозв'язку.

2.2. Планування та проведення польотної місії

Для планування площинної польотної місії села Волиця використано ПЗ Flight Planner. Покроково розглянемо процес планування.

1. Якщо місія планується безпосередньо в полі, то спочатку визначаємо своє місцеположення. Зробити це можна візуально, наприклад, визначивши своє

положення за допомогою смартфона і Google-карт та відшукавши це місце на супутниковій карті в Flight Planner.

Можна також за допомогою смартфона визначити координати свого положення та ввести їх в програму. Для цього на панелі інструментів вибираємо кнопку **Go to my location**. У вікні, що з'явиться, вводимо координати нашого місцеположення. Після того, як натиснемо «ОК», на карті відобразиться точка «О» з введеними координатами (рис. 6).

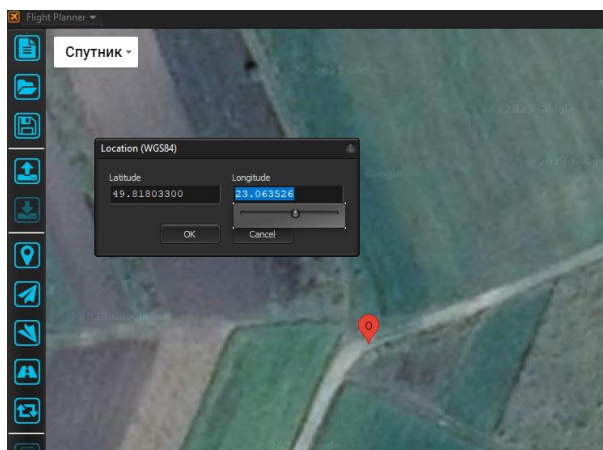


Рис.6. Визначення місцеположення за допомогою команди **Go to my location**

2. Встановлюємо точки зльоту Takeoff (T) та посадки Landing (L). Для цього використовуємо кнопки SetTakeoff Point та SetLanding Point на панелі інструментів (рис.7).

При встановленні точки посадки беремо до уваги фактичний напрям та силу вітру. Зважаємо, що після відкриття парашуту вітер віднесе літак на деяку відстань. Тому потрібно враховувати, щоб після ймовірного знесення літак не сів на дерева, будівлі, ЛЕП тощо.

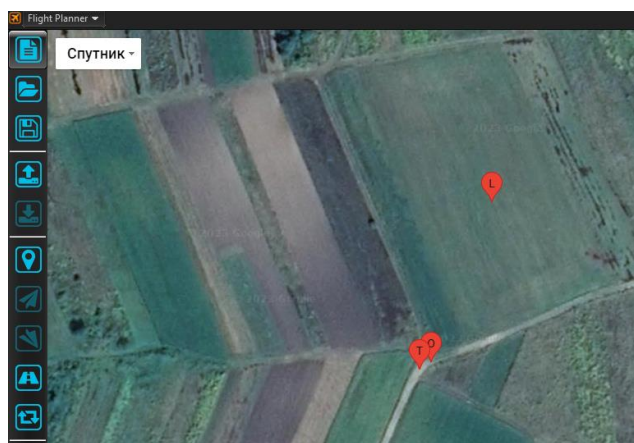


Рис.7. Встановлення точок зльоту та посадки

3. Якщо є попередньо створена межа знімання в форматі *.kmz, можемо завантажити її в програму (рис.8.). Для цього застосуємо кнопку **Add/KML/KMZ file to the map**. Якщо межі немає, переходимо до наступного кроку.

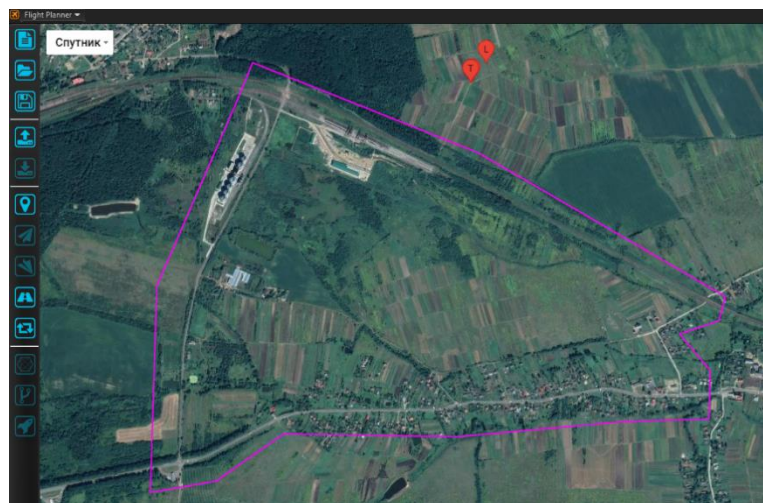


Рис.8. Завантаження попередньо створеної межі знімання

4. Задаємо область площинного знімання. Для цього активуємо кнопку **Set Flight Mission Zone** і обводимо зону, яка нас цікавить (рис. 9).



Рис.9. Задання області знімання

5. У вікні параметрів місії **Mission Parameters** встановлюємо потрібні налаштування виходячи з цілей проведення знімання (рис.10):

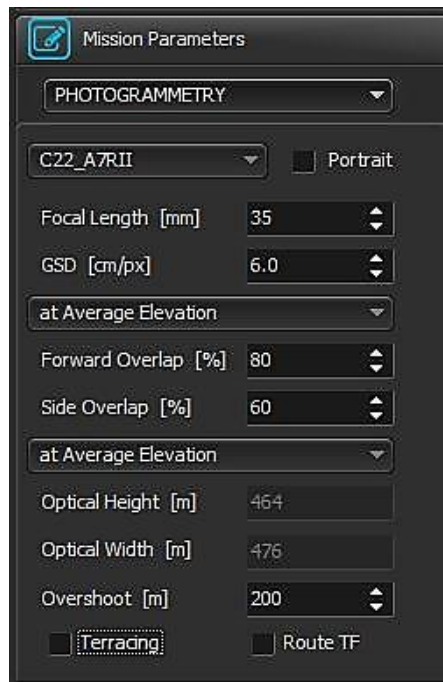


Рис.10. Вікно параметрів місії **Mission Parameters**

- встановлюємо шаблон налаштувань - **PHOTOGRAMMETRY**;
- вибираємо модель встановленої на борту камери;
- пункт **Portrait** передбачений для того випадку, якщо камера встановлена довшою стороною в напрямку польоту. В лінійці літаків FLIRT таке рішення не застосовується, тому слідкуємо, щоб цей пункт не був відмічений галочкою;
- вводимо фокусну відстань об'єктиву (поле **Focal Length**);
- вводимо значення роздільної здатності знімання (поле **GSD**);
- в пункті вибору висоти поверхні для рівнинних територій рекомендуємо вибрати значення **at Average Elevation**. В такому випадку задане перекриття знімків забезпечуватиметься над усередненою висотою місцевості. Для гірської місцевості при великих перепадах висот місцевості в місії обираємо значення **at Highest Elevation**. В цьому випадку задане перекриття отримаємо над найвищою точкою місцевості;
- - задаємо відсоток повздовжнього перекриття **Forward Overlap** (для створення якісного ортофотоплану бажано задавати не менше 75-80%);

- задаємо відсоток поперечного перекриття **Side Overlap**. Якщо знімання виконується для картографування місцевості, рекомендуємо задавати поперечне перекриття не менше 60% для незабудованих територій та до 80% для територій з висотною забудовою; якщо знімається для розвідки чи моніторингу ситуації – достатньо 20-40%;
 - задаємо значення **Overshoot** – відстань, на яку літак вилітатиме за межі заданої області знімання для розвороту на наступний маршрут. Рекомендуємо встановлювати значення Overshoot 150-200 метрів, у вітряну погоду – 250 метрів. При меншому значенні літак може не встигнути закінчити розворот і вирівнятись перед наступним маршрутом та зайде на маршрут знімаючи з великим креном;
 - функція **Terracing** застосовується в гірській місцевості. Для її використання потрібно зорієнтувати маршрути в місії вздовж схилу. Програма розрахує висоти маршрутів «сходінками» відносно висоти місцевості.
6. Після введення параметрів знімання будуємо безпосередньо польотну місію. Для цього застосовуємо кнопку **Build optimized flight path** (рис. 11).

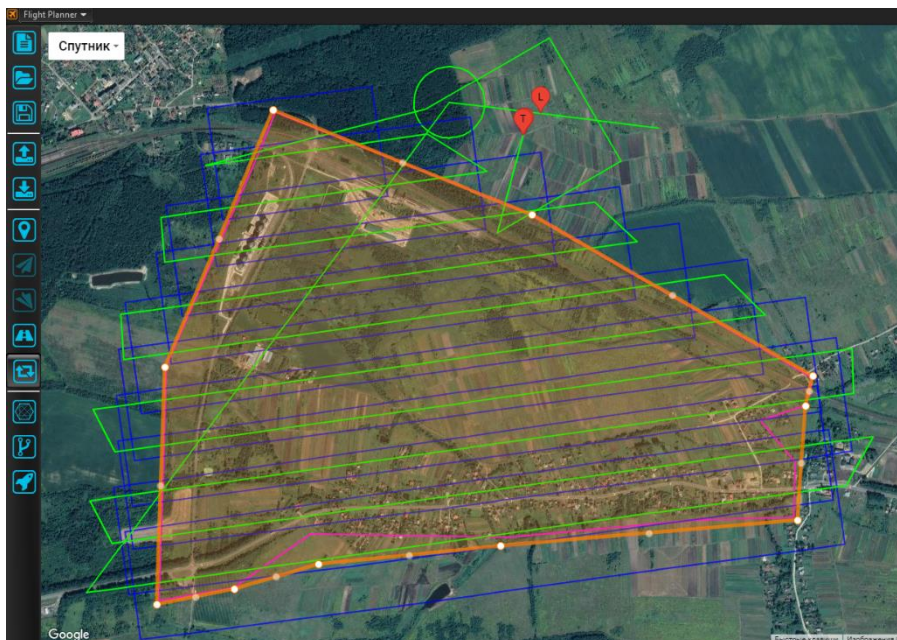


Рис.11. Побудова польотної місії

7. Перевіряємо та за потреби оптимізуємо місію (рис.12).

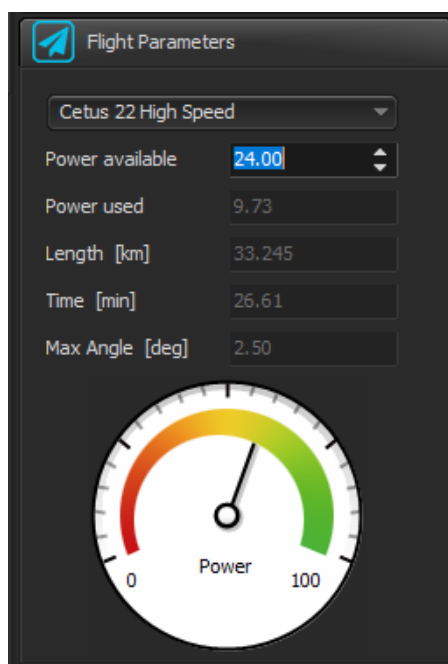


Рис. 12. Вікно параметрів польоту **Flight Parameters**

Перевіряємо, щоб у вікні **Flight Parameters** був встановлений потрібний профіль налаштувань літака, а в полі **Power available** задана ємність батареї, яка встановлена на борту. Після цього оцінюємо загальний кілометраж місії (поле **Length**) та розхід батареї (поле **Power used**). Розхід батареї буде залежати не тільки від протяжності місії, а й від швидкості вітру в даний момент.

Варто залишати 20-30% ємності батареї на випадок аварійних ситуацій чи різкої зміни погоди.

Якщо протяжність місії виявляється зовеликою, то розбиваємо площу знімання на кілька коротших місій.

При необхідності змінюємо орієнтацію маршрутів. В деяких випадках це дозволяє зменшити загальну протяжність місії, а при сильному вітру можна підібрати курс таким чином, щоб літати з боковим вітром.

Для зміни орієнтації маршрутів (рис. 13) на нижній панелі є можливість ввімкнути вкладку **Mission**, виділяємо рядок місії **Area** і у вікні **Zone** в полі **Scan Angle** змінюємо значення азимуту маршрутів.



Рис. 13. Зміна орієнтації маршрутів в місії

Після внесення будь-яких змін обов'язково перебудовуємо місію кнопкою **Refresh flight without optimization.**

Варто будувати місію таким чином, щоб розвороти між маршрутами здійснювались проти вітру. Для цього в полі **Zone Scanning** обираємо значення **To Wind**. Крім цього, в програмі є можливість примусово почати місію з ближчої точки (**Nearest**) та з дальньої (**Ferhrest**) незалежно від напрямку вітру. Іноді це дозволяє зменшити кількість маршрутів і зменшити протяжність місії.

8. Перевіряємо параметри посадки.

Перевіряємо тип посадки в полі **Landing Mode** (рис.14).

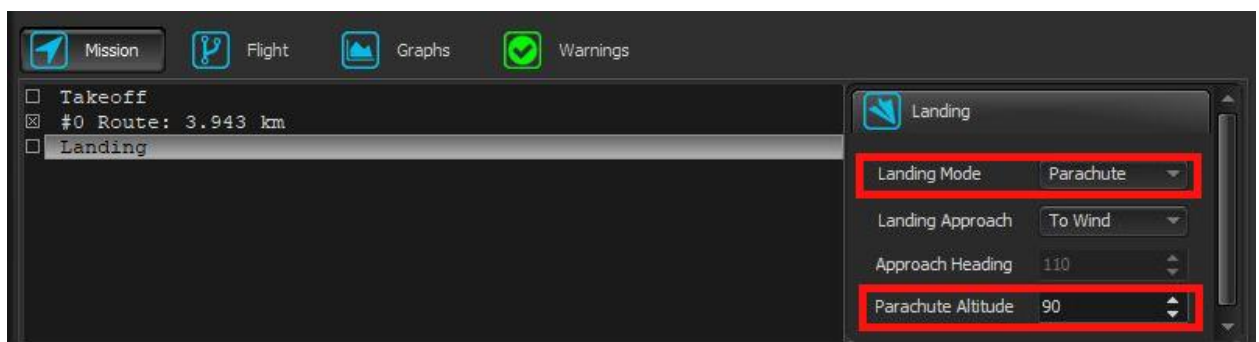


Рис. 14. Зміна параметрів посадки

Якщо планується автоматична посадка на парашуті, то перевіряємо висоту відкриття парашуту в полі **Parachute Altitude**. Оптимальна висота 80-90 метрів.

Якщо з якихось причин не спрацює система посадки на парашуті, то літак, плавно опускаючись, сяде на фюзеляж в розрахованій точці автопосадки. Необхідно завжди пам'ятати про можливість такої ситуації і передбачати відкритий простір для автопосадки (Рис.15), оскільки це може врятувати літак.

По замовчуванню літак заходить на посадку строго проти напрямку вітру, який вказаний у вкладці метеоданих **Wind and Weather**. Але бувають випадки, коли в напрямку посадки знаходиться якась природна або штучна перешкода.

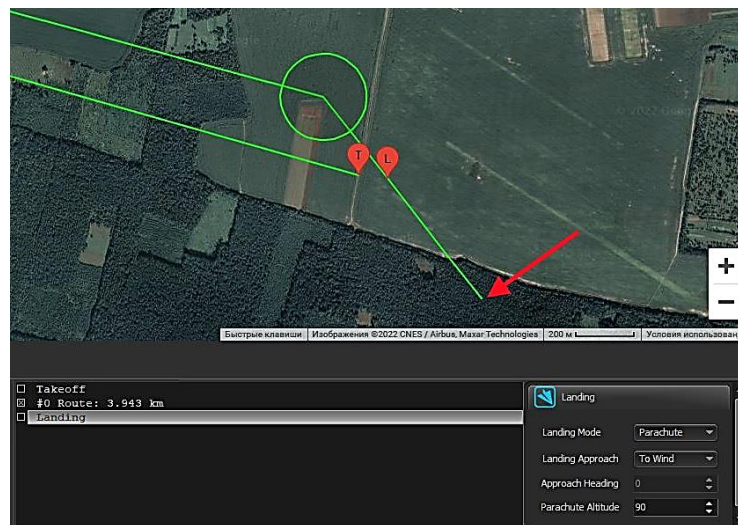


Рис.15. Планування автоматичної посадки

На рис. 15 бачимо, що на даний момент напрям вітру такий, що точка автопосадки буде знаходитися в лісі. В такому випадку потрібно підкоректувати напрям заходу на посадку так, щоб точка автопосадки змістилась у відкрите поле. Для цього потрібно у вікні **Landing** в пункті **Landing Approach** (пункт вибору напрямку заходу на посадку) вибрати значення **Heading**. Після цього в полі **Approach Heading** задаємо потрібний азимут заходу на посадку, при якому точка автопосадки зміститься в поле (рис. 16).

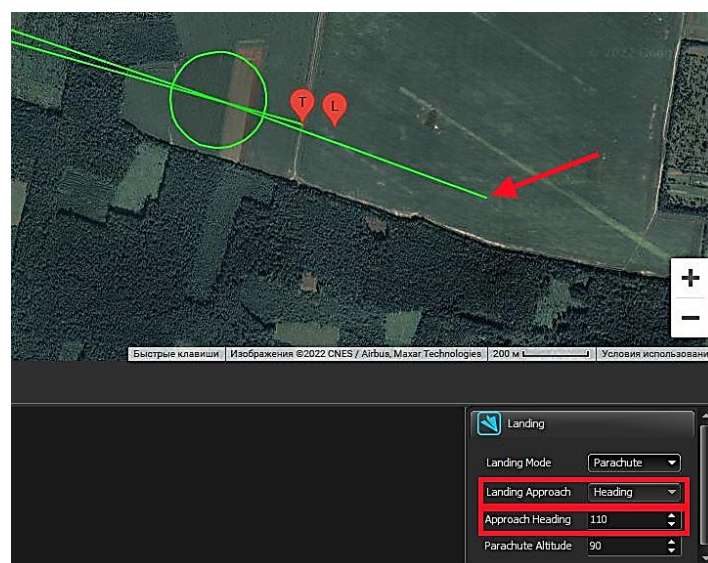


Рис. 16. Планування автоматичної посадки

9. Експорт місії

Після перевірки місії екпортуємо її в форматі *.waypoints для подальшого завантаження в Mission Planner. Для цього натискаємо кнопку **Export to waypoints file** (рис.17).

У вікні, що з'явиться, ще раз передивляємось протяжність місії, розхід батареї, графік висот та натискаємо команду **Generate Waypoints...** Задаємо назву місії та шлях збереження.

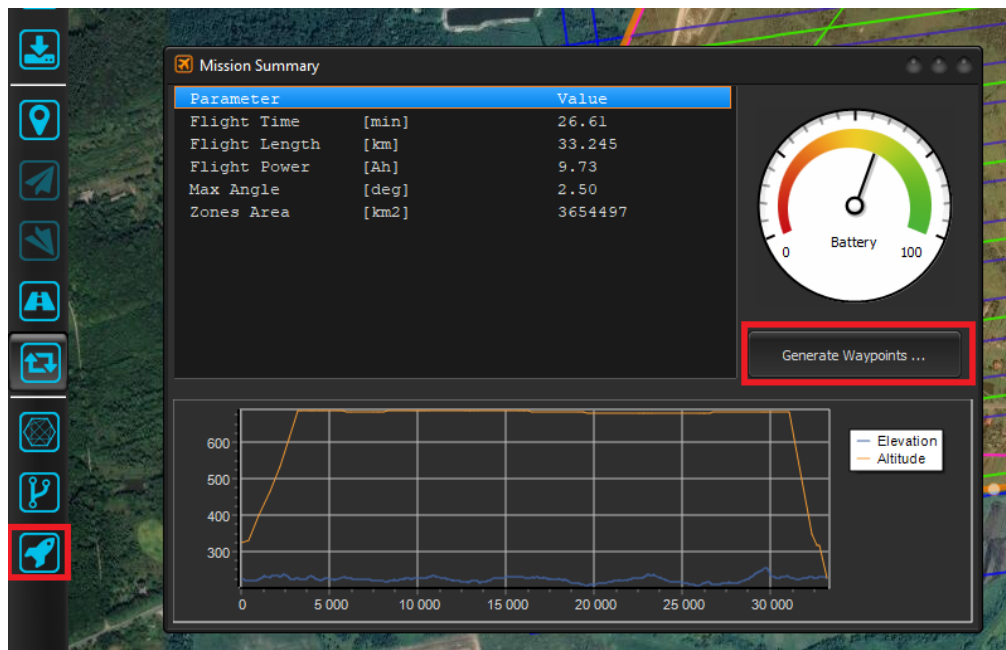


Рис.17. Експорт місії в форматі *.waypoints

За потреби можна зберегти місію в форматі Flight Planner (кнопка **Save mission under different name**), а також експортувати місію в форматі *.kml для перегляду в сторонніх програмах (кнопка **Export to KML file**).

Підготовка літака та керування польотом здійснюється за допомогою програми Mission Planner.

Mission Planer – це повнофункціональне програмне забезпечення з відкритим кодом, яке використовується в наземних станціях управління для автопілотів Pixhawk.

За допомогою програми можна:

- завантажити прошивку (програмне забезпечення) в плату автопілоту, яка буде керувати БПЛА;

- налаштувати БПЛА для оптимальної роботи;
- планувати, зберігати і завантажувати автономні місії в автопілот;
- завантажувати та аналізувати журнал місій, створений автопілотом;
- -відстежувати стан свого БПЛА під час роботи.

З інтерфейсом програмного забезпечення Mission Planner можна ознайомитись на рис. 18.

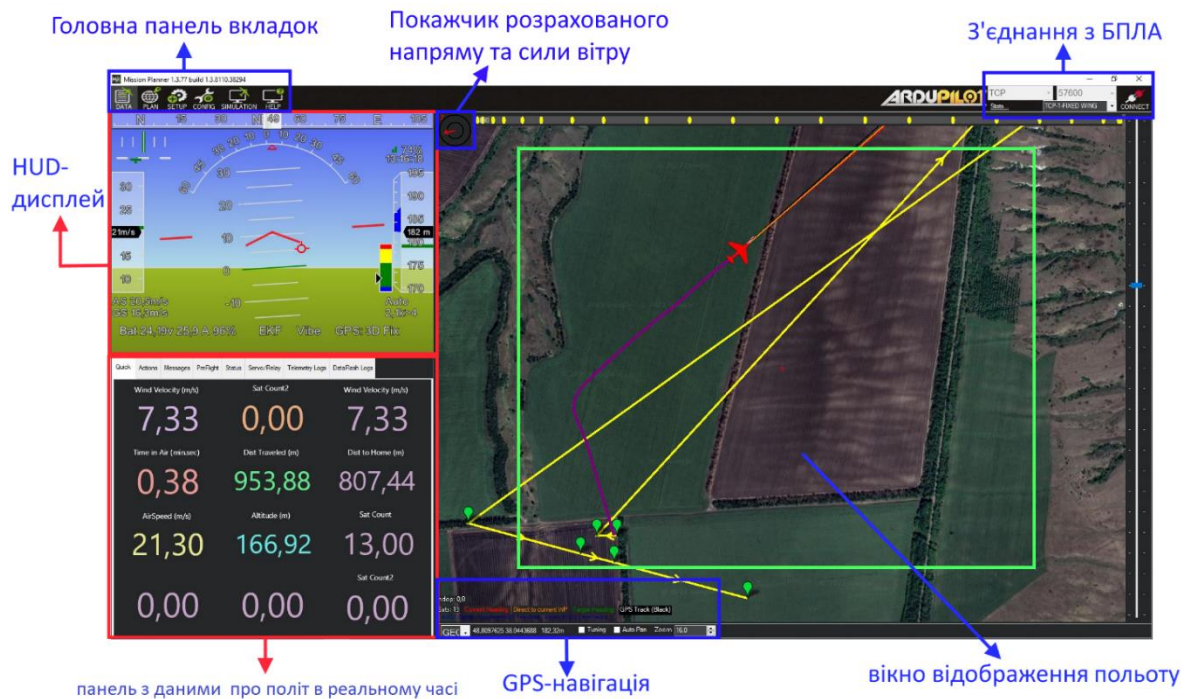


Рис.18. Інтерфейс Mission Planner

2.3. Огляд програмного забезпечення для обробки матеріалів безпілотного знімання

Станом на сьогоднішній день, на ринку є чимало програмного забезпечення (далі - ПЗ), що автоматизує та спрощує камеральний етап обробки матеріалів безпілотного знімання. Розглянемо деякі з них, зазначивши переваги та недоліки кожного.

1. *Pix4Dmapper Pro* – є одним з найпопулярніших програмних засобів для обробки даних, отриманих з БПЛА. Він забезпечує можливість створювати ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу (ЦМР), хмари точок та 3D-моделі з фото,

отриманих з БПЛА. Pix4Dmapper також має вбудовані функції для роботи з GCP, високоточним позиціонуванням, вимірюваннями та аналізом даних (рис.19).

Оцінимо переваги та недоліки цього ПЗ. Перевагами є:

- 1) висока точність - Pix4Dmapper Pro використовує ряд фотограмметричних алгоритмів, що забезпечують високу точність результуючих геоінформаційних продуктів;
- 2) широкий вибір сенсорів та підтримка різних БПЛА - Pix4Dmapper Pro підтримує різні типи безпілотних літальних апаратів та сенсорів, включаючи RGB, гіперспектральні та теплові камери, що дозволяє використовувати програму з різними моделями БПЛА в залежності від потреб та вимог проекту;
- 3) можливість повної автоматизації процесу обробки без втручання користувача;
- 4) легкість освоєння.

Недоліками є:

- 1) погано реалізована робота з опорними точками (маркерами);
- 2) обмеженість впливу користувача на процес обробки;
- 3) висока вартість;
- 4) високі системні вимоги до ПК [22,23].

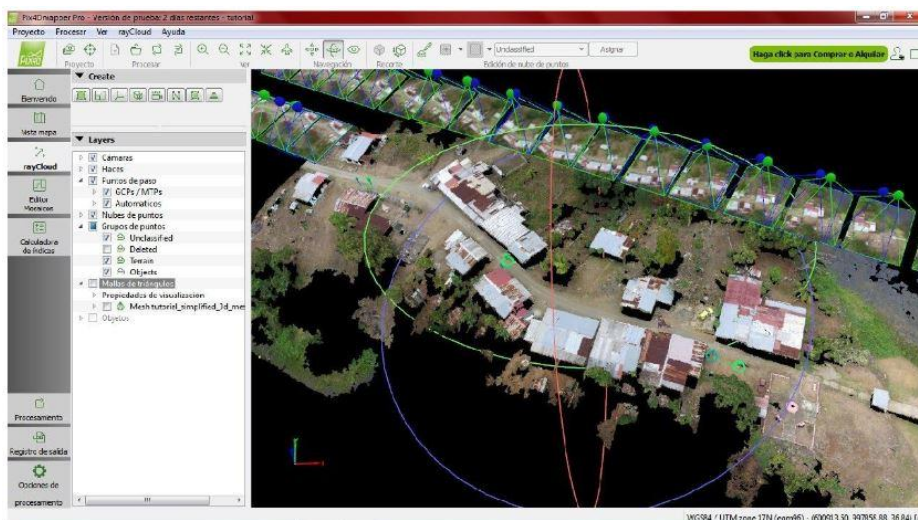


Рис.19. Інтерфейс програми Pix4Dmapper Pro

2. *Drone2Map for ArcGIS* - це програмне забезпечення, розроблене компанією ESRI, яке дозволяє обробляти дані, зібрані за допомогою БПЛА, та

створювати ортофотоплани, 3D-моделі та інші геоінформаційні продукти безпосередньо в середовищі ArcGIS (рис.20).

Переваги Drone2Map for ArcGIS включають легку інтеграцію з екосистемою ArcGIS, що дозволяє ефективно використовувати геодані в комплексі з іншими геоінформаційними продуктами ESRI, можливість роботи з великими обсягами даних, високу точність та розширені можливості в аналізі та візуалізації даних, а також простий інтерфейс користувача, що дозволяє легко обробляти дані з БПЛА навіть користувачам без досвіду в фотограмметрії та геоінформатиці.

Проте, недоліки Drone2Map for ArcGIS включають високу вартість програми, високі вимоги до ресурсів ПК (особливо до оперативної пам'яті) та обмежені можливості порівняно з деякими іншими спеціалізованими програмами для обробки даних з БПЛА, відсутність деяких функцій, таких як автоматичне геокодування та покращені можливості в роботі з опорними точками на зображеннях.

Враховуючи всі ці аспекти, вибір Drone2Map for ArcGIS може бути доцільним, якщо ви вже використовуєте продукти ArcGIS та маєте потребу в інтеграції даних з БПЛА в вашу геоінформаційну систему (ГІС) на основі ArcGIS. Однак, якщо вам потрібні більш розширені функції для обробки даних з дронів, можуть бути доступні інші альтернативи, особливо якщо ви не використовуєте ArcGIS як основну ГІС-платформу [22,24].

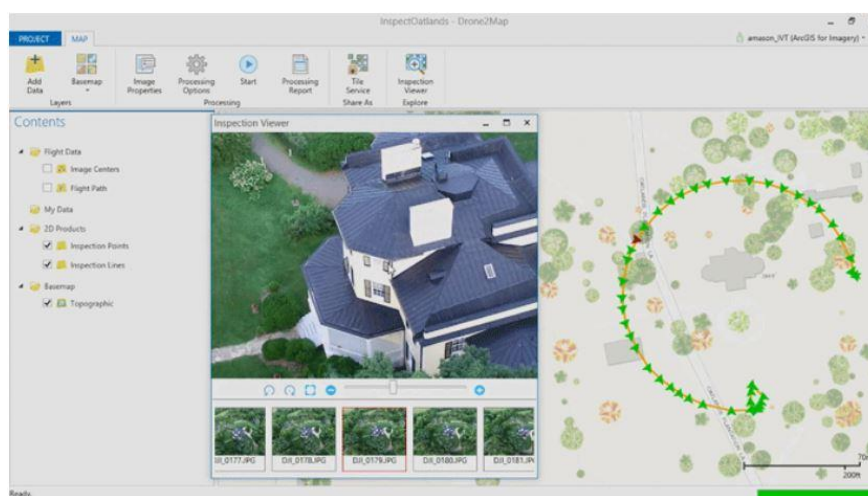


Рис.20. Інтерфейс програми Drone2Map for ArcGIS

3. *Agisoft PhotoScan* - це ПЗ для обробки фотографій, зібраних за допомогою БПЛА або інших джерел, з метою створення ортофотопланів, ЦМР та 3D-моделей (рис.21).

Переваги *Agisoft PhotoScan* включають високу точність та якість результатів, можливість роботи з різними типами даних, такими як фотографії, контрольні та GPS-дані, розширені можливості відновлення 3D-моделей та текстурування, можливість працювати з великими обсягами даних, гнучкість та нелінійний процес розробки (безліч параметрів налаштовуються, є можливість для втручання користувача, завдяки чому можна досягти прийнятних результатів навіть за умови неякісних вхідних даних) та підтримку різних форматів експорту. Значною перевагою є підтримка Python скриптів, що дає можливість розширювати програмні можливості для потреб певного проекту.

Недоліки *Agisoft PhotoScan* включають високий рівень складності для освоєння, високі вимоги до технічної потужності ПК, обмежені можливості в аналізі та візуалізації даних, високу вартість програми та додаткових модулів, таких як модуль для роботи з контрольними точками. Також у цьому ПЗ немає готових сценаріїв обробки, їх доведеться створювати самостійно.

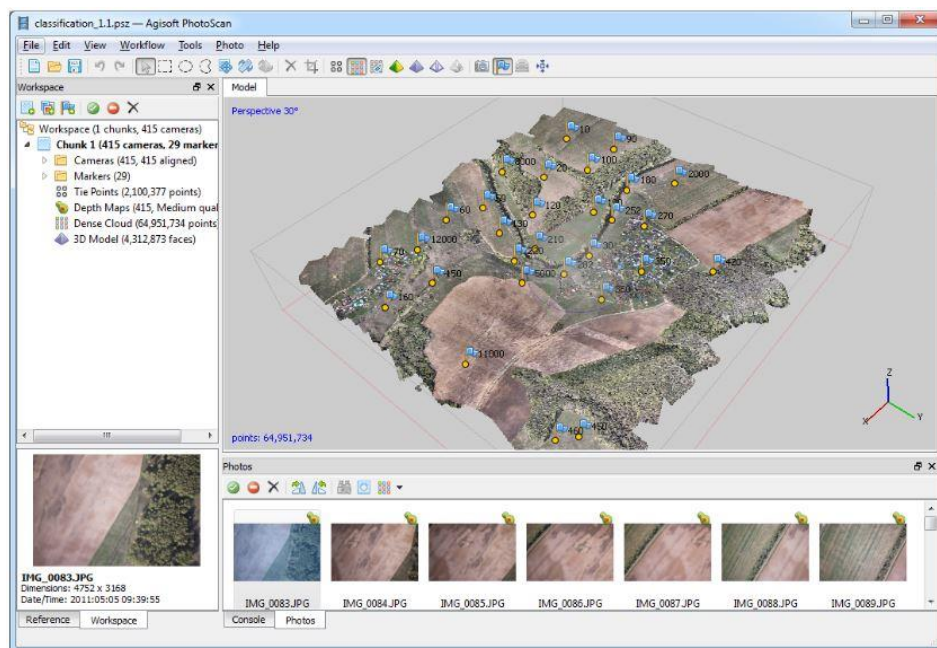


Рис.21. Інтерфейс програми *Agisoft PhotoScan*

Загалом, Agisoft PhotoScan є потужним інструментом для обробки даних з БПЛА, з високою точністю та якістю результатів, може видати прийнятний результат навіть для погано виконаної зйомки. Програма може бути особливо корисною для фахівців у сфері фотограмметрії, геоінформатики та виробництва 3D-моделей [22, 25].

4. Correlator 3D

Correlator 3D - це одне з провідних рішень в обробці даних з БПЛА.

Переваги Correlator 3D включають високу швидкість та ефективність обробки даних, наявність можливості повністю автоматизованої обробки, точність та надійність результатів, високу роздільну здатність даних, можливість роботи з великими обсягами даних, широкий спектр функцій для візуалізації та аналізу даних, включаючи підтримку різних координатних систем та всіх типів камер.

Проте, деякі недоліки Correlator 3D включають високу вартість програми та вартість додаткових модулів для розширення функціональності, високий рівень складності в роботі з програмою, відсутність можливості завантажити знімки, якщо відсутні будь-які дані в параметрах камери, складнощі в роботі з GCP, відсутність форумів (доведеться користуватись лише мануалом) [22, 26].

Інтерфейс програми можна побачити на рис.22.

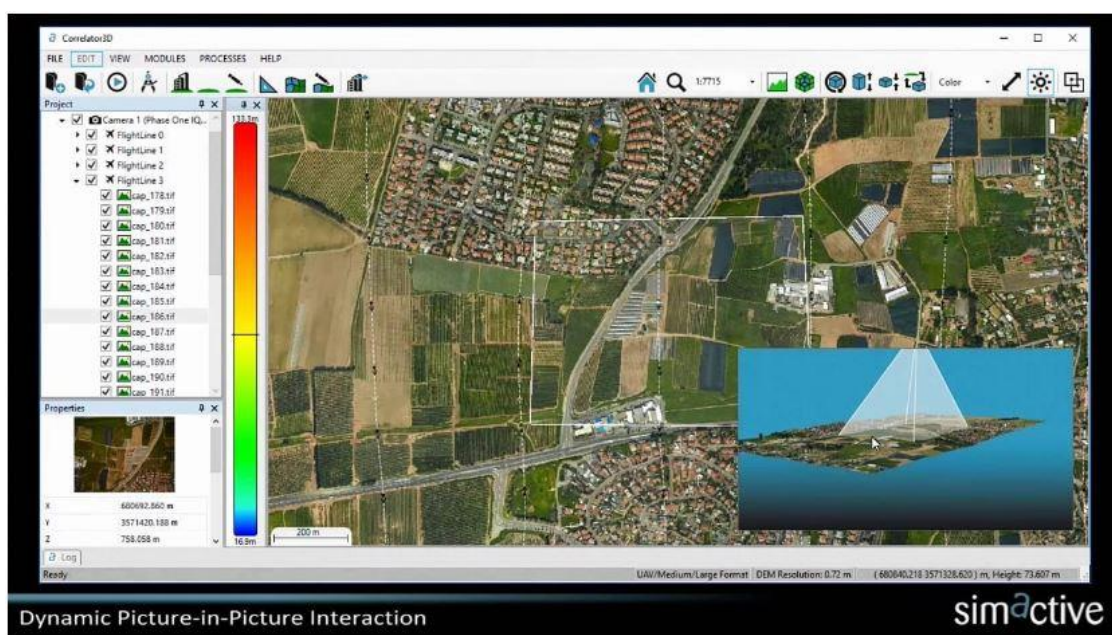


Рис.22. Інтерфейс програми Correlator 3D

5. WebODM

WebODM - це відкрите програмне забезпечення для обробки фотоматеріалів, знятих з БПЛА з метою створення ортофотопланів, 3D-моделей та ЦМР.

Переваги WebODM включають безкоштовну та відкриту ліцензію, що дозволяє використовувати програму безкоштовно, можливість встановлення програми на власний сервер, що забезпечує контроль над даними, високий рівень автоматизації процесу обробки даних, можливість роботи з різноманітними форматами вхідних даних, включаючи фотографії та метадані з БПЛА, а також широкий спектр функцій для візуалізації та аналізу результатів.

Недоліки WebODM включають потребу в технічних знаннях та навичках встановлення та налаштування програми на власному сервері, відносну складність в роботі з програмою порівняно з комерційними аналогами, відсутність офіційної технічної підтримки та оновлень, досить довгу обробку даних, відсутність можливості втручання в процес обробки, а також можливість виникнення проблем з безпекою даних при використанні власного сервера.

Загалом, WebODM є потужним інструментом для обробки фото, знятих з БПЛА, з високим рівнем автоматизації та можливістю встановлення на власний сервер. Програма може бути особливо цінною для тих, хто має технічні навички та бажає використовувати відкрите ПЗ [22, 27]. Ознайомитись з інтерфейсом ПЗ можна переглянувши рис.23.

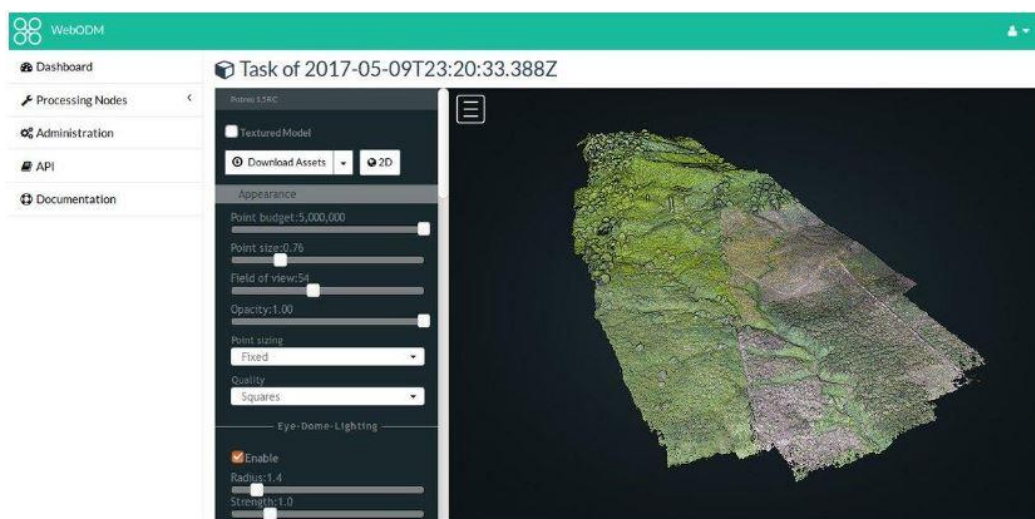


Рис.23. Інтерфейс програми WebODM

6. *Adobe Illustrator*

Adobe Illustrator - це професійна векторна графічна програма, яка може використовуватися для створення ортофотопланів з отриманих зображень з БПЛА.

Переваги Adobe Illustrator включають точність і керованість при роботі з векторними об'єктами, можливість створення деталізованих карт, додавання анотацій, міток та інших елементів на ортокарт, можливість редагування та збереження результатів в різних форматах, включаючи векторні формати, що забезпечують високу якість друку та масштабованість, а також інтеграцію з іншими продуктами Adobe, такими як Photoshop та InDesign.

Недоліки Adobe Illustrator включають високий рівень складності в оволодінні програмою, відносно високу вартість ліцензії, яка може бути обмежена для деяких користувачів, відсутність певних функцій, що можуть бути потрібні для конкретних вимог обробки матеріалів з БПЛА, таких як відеоредакція або обробка 3D-моделей.

Загалом, Adobe Illustrator є потужним графічним редактором, який може бути використаний для створення ортофотопланів з отриманих зображень з БПЛА з високою точністю та керованістю. Проте, він також вимагає від користувача високого рівня навичок та може бути вартим врахування витрат на програмне забезпечення [22,28].

РОЗДІЛ 3 ВИКРЕСЛЮВАННЯ ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ МІСЦЕВОСТІ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ЗНІМАНЬ З БПЛА

3.1. Характеристика району робіт

Районом робіт є село Волиця (рис. 24) Яворівського району Львівської області. Село знаходиться за 10 кілометрів від державного кордону, неподалік села Шегині - пункту пропуску на кордоні з Польщею.

Через район робіт проходить автошлях М-11 Львів-Шегині (на м.Краків) та Львівська залізниця (вектор руху Львів- Перемишль). У селищі розташована залізнична станція Тщенець.

Територія розташована на Подільській височині, перепад рельєфу у районі знімання становить 207-245 м. Через село протікає річка Шум.

Із картографічного забезпечення для цієї території наявна топографічна карта масштабу 1:10000 видання 1981 року.

Загалом площа аерознімання становить 346 га.

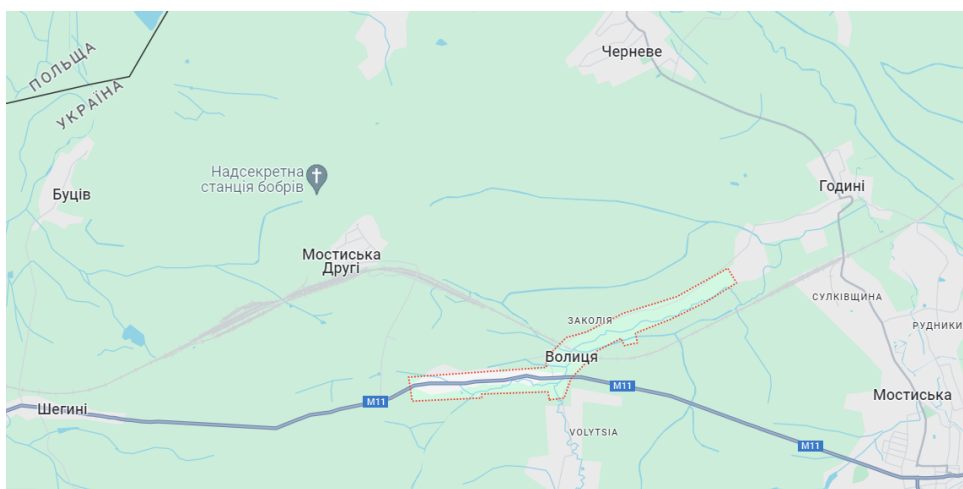


Рис. 24. Село Волиця на Google Maps

3.2. Побудова ортофотоплану місцевості

Після здійснення польових робіт відбувається камеральна обробка даних аерознімання. Для виконання завдання було обрано фрагмент села Волиця, зокрема підвантажено 91 знімок для побудови ортофотоплану.

Початковий етап - обчислення координат центрів проєкцій знімків - виконувалось в ПЗ Emlid Studio (рис.25).

Для цього використовувались GNSS-дані з бортового приймача та базової станції. В результаті отримуємо каталог координат центрів проєкцій знімків.

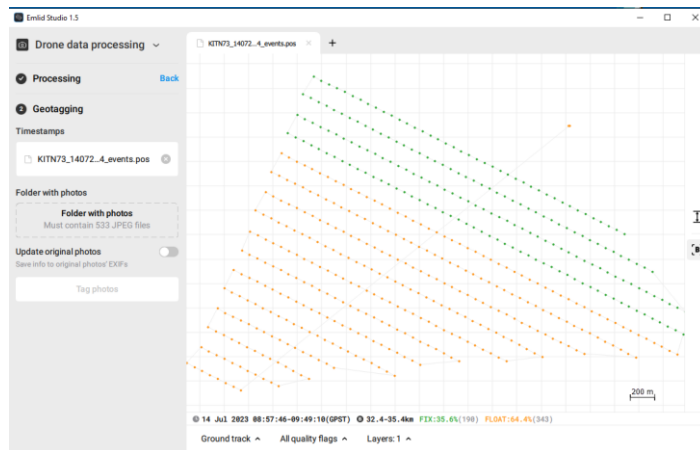


Рис.25. Координати центрів проєкцій знімків, отримані в ПЗ Emlid Studio

Отримавши координати центрів проєкцій, було виконано наступний етап – побудова ортофотоплану місцевості у ПЗ Agisoft Metashape.

Ортофотопланом називається ортогональне фотографічне відображення земної поверхні та об'єктів на ній з точною прив'язкою до заданої системи координат. Ортофотоплан будується з масиву ортотрансформованих знімків в процесі ортотрансформування.

Ортофототрансформування – це процес перетворення знімків з центральної проєкції в ортогональну та усунення спотворень, які викликані перепадами рельєфу місцевості та дисторсією об'єктиву. Тобто, зображення приводиться до планової проєкції, в якій кожна точка місцевості спостерігається строго вертикально, в надир.

Обробку знімків виконуємо за допомогою програми Agisoft MetaShape в наступному порядку:

1. Завантажуємо знімки, каталог координат центрів проєкцій знімків та задаємо систему координат, в якій працюватиме програма. Після цього запускаємо процес так званого вирівнювання знімків (рис.26) - пошук спільних (зв'язкових) точок з метою наближеного визначення елементів внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімків. Для пошуку загальних точок Metashape використовує алгоритм, який спочатку знаходить характерні точки на окремих

фотографіях. Потім з урахуванням унікальних ідентифікаторів – дескрипторів – точки ототожнюються. Якщо точку розпізнано на двох і більше кадрах, вона стає відповідністю.

Після цього слідує вирівнювання кадрів. Цей процес реалізований за допомогою алгоритму Bundle Block Adjustment, в основі якого лежить метод найменших квадратів. Bundle Block Adjustment – це інтерпретація способу зв'язок, найбільш строгого методу фототріангуляції.

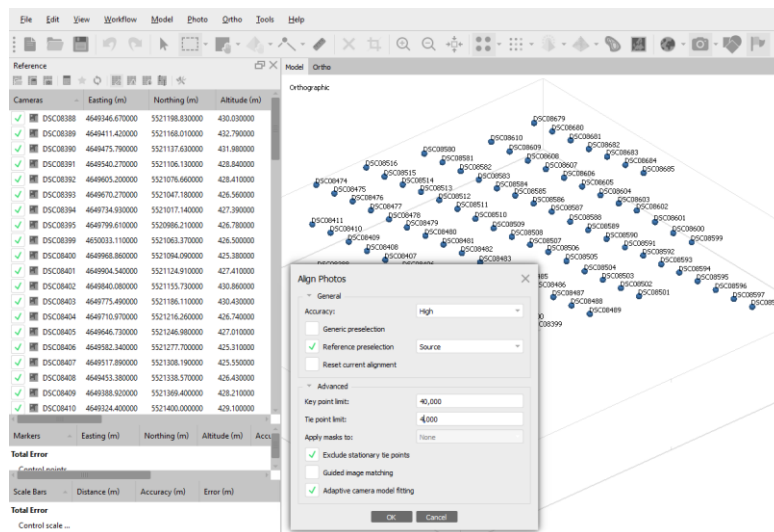


Рис.26. Вирівнювання знімків в Agisoft MetaShape

В результаті вирівнювання отримуємо масив спільних точок (так звана розріджена хмара точок) і наближені значення елементів внутрішнього орієнтування – фокусна відстань, координати головної точки знімків та параметри дисторсії,

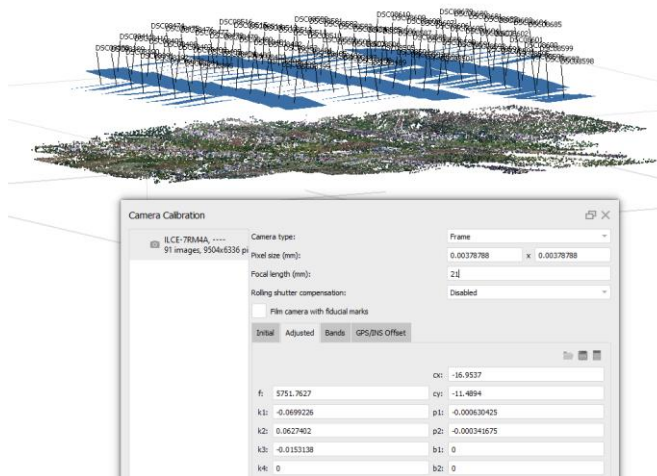
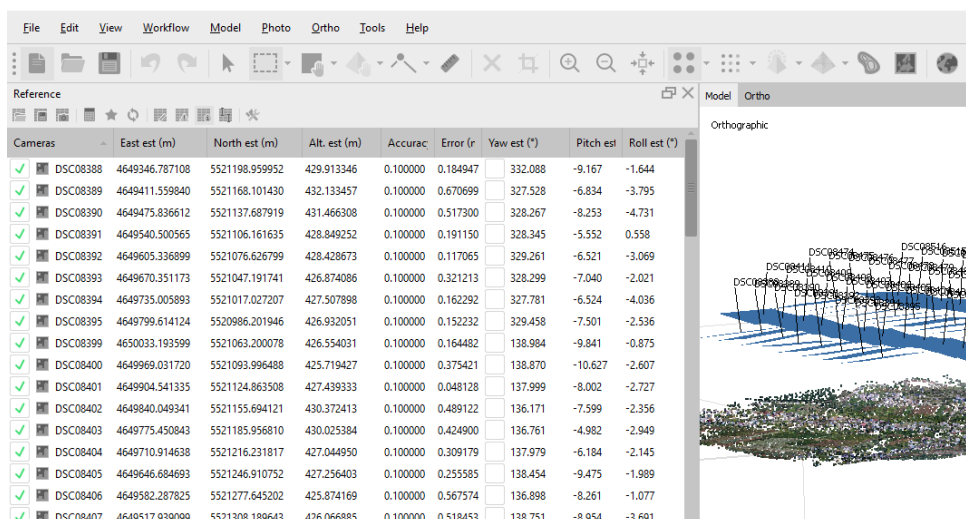


Рис. 27. Визначення елементів внутрішнього орієнтування камери

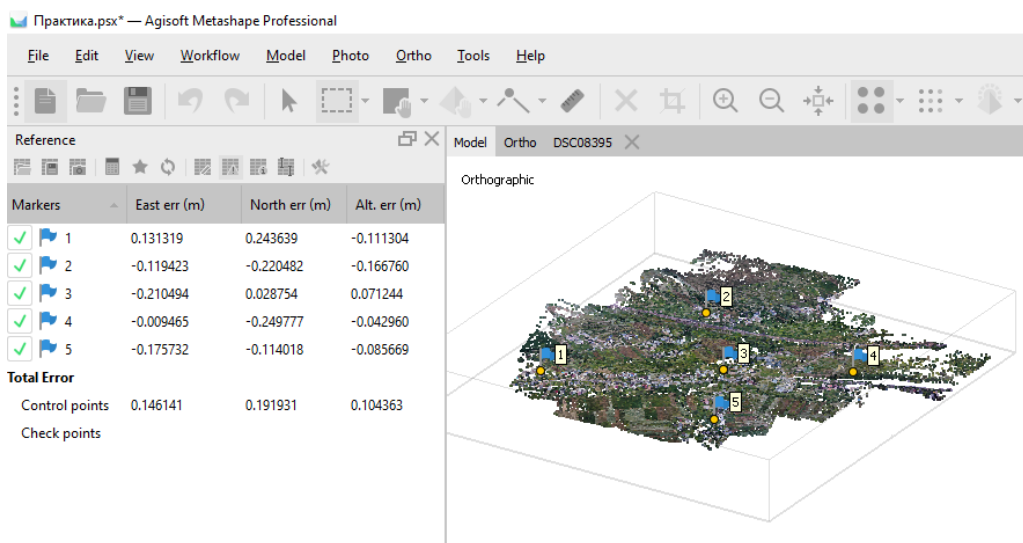
а також значення елементів зовнішнього орієнтування (рис.28) – уточнені центри проєкцій знімків та кути нахилу і розвороту знімків в момент фотографування:



Cameras	East est (m)	North est (m)	Alt. est (m)	Accurac	Error (r)	Yaw est (°)	Pitch est	Roll est (°)
✓ DSC08388	4649346.787108	5521198.959952	429.913346	0.100000	0.184947	332.088	-9.167	-1.644
✓ DSC08389	4649411.559840	5521168.101430	432.133457	0.100000	0.670699	327.528	-6.834	-3.795
✓ DSC08390	4649475.836612	5521137.687919	431.466308	0.100000	0.517300	328.267	-8.253	-4.731
✓ DSC08391	4649540.500565	5521106.161635	428.849252	0.100000	0.191150	328.345	-5.552	0.558
✓ DSC08392	4649605.336899	5521076.626799	428.428673	0.100000	0.117065	329.261	-6.521	-3.069
✓ DSC08393	4649670.351173	5521047.191741	426.874086	0.100000	0.321213	328.299	-7.040	-2.021
✓ DSC08394	4649735.005893	5521017.027207	427.507898	0.100000	0.162292	327.781	-6.524	-4.036
✓ DSC08395	4649799.614124	5520986.201946	426.932051	0.100000	0.152232	329.458	-7.501	-2.536
✓ DSC08399	4650033.193599	5521063.200078	426.554031	0.100000	0.164482	138.984	-9.841	-0.875
✓ DSC08400	4649969.031720	5521093.996488	425.719427	0.100000	0.375421	138.870	-10.627	-2.607
✓ DSC08401	4649904.541335	5521124.863508	427.439333	0.100000	0.048128	137.999	-8.002	-2.727
✓ DSC08402	4649840.049341	5521155.694121	430.372413	0.100000	0.489122	136.171	-7.599	-2.356
✓ DSC08403	4649775.450843	5521185.956810	430.025384	0.100000	0.424900	136.761	-4.982	-2.949
✓ DSC08404	4649710.914638	5521216.231817	427.044950	0.100000	0.309179	137.979	-6.184	-2.145
✓ DSC08405	4649646.684693	5521246.910752	427.256403	0.100000	0.255585	138.454	-9.475	-1.989
✓ DSC08406	4649582.287825	5521277.645202	425.874169	0.100000	0.567574	136.898	-8.261	-1.077
✓ DSC08407	4649517.939099	5521308.189643	426.066885	0.100000	0.518453	138.751	-8.954	-3.691

Рис.28 Визначення елементів зовнішнього орієнтування

2. Після цього розставляємо контрольні точки оцінюємо точність отриманої фотограмметричної моделі (рис.29).



Markers	East err (m)	North err (m)	Alt. err (m)
✓ 1	0.131319	0.243639	-0.111304
✓ 2	-0.119423	-0.220482	-0.166760
✓ 3	-0.210494	0.028754	0.071244
✓ 4	-0.009465	-0.249777	-0.042960
✓ 5	-0.175732	-0.114018	-0.085669
Total Error			
Control points	0.146141	0.191931	0.104363
Check points			

Рис.29. Оцінка точності фотограмметричної моделі

Похибки на контрольних точках відображають точність отриманої моделі.

3. Наступним кроком є побудова хмари точок (рис.30) – масиву вершин у тривимірній системі координат для відображення земної поверхні. В подальшому отримана хмара точок буде використана для побудови полігональної моделі, на яку трансформуватимуться зображення.

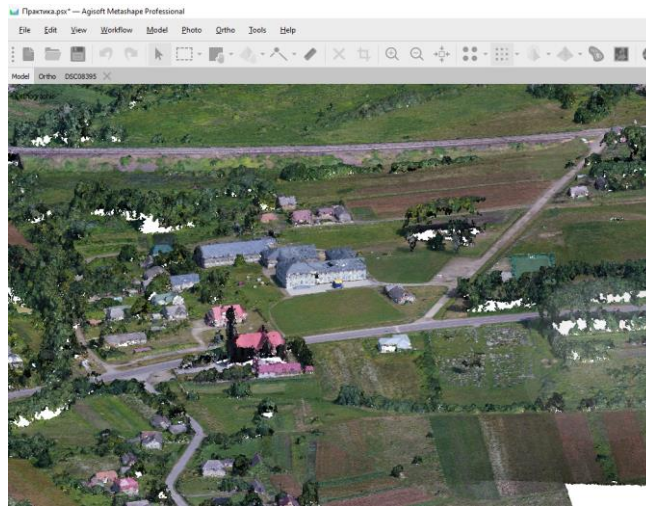


Рис.30. Хмара точок

4. Після цього будується цифрова модель місцевості (рис.31).

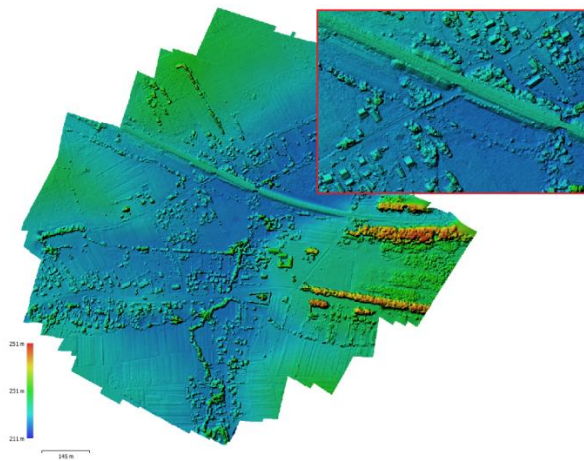


Рис.31. Цифрова модель місцевості

5. Заключним етапом є ортотрасформування знімків та отримання ортофотоплану (рис.32).



Рис.32. Ортофотоплан місцевості

Програма дозволяє отримати дані про рельєф та побудувати горизонталі. Для цього класифікуємо хмару точок для виокремлення точок «землі». Після автоматичної класифікації в «ручному» режимі редагуємо помилково відкласифіковані точки та будуємо карту висот (DEM) тільки по точках класу «Земля». Після цього по отриманій карті висот автоматично будуємо горизонталі (рис. 33) та ставимо висотні позначки.

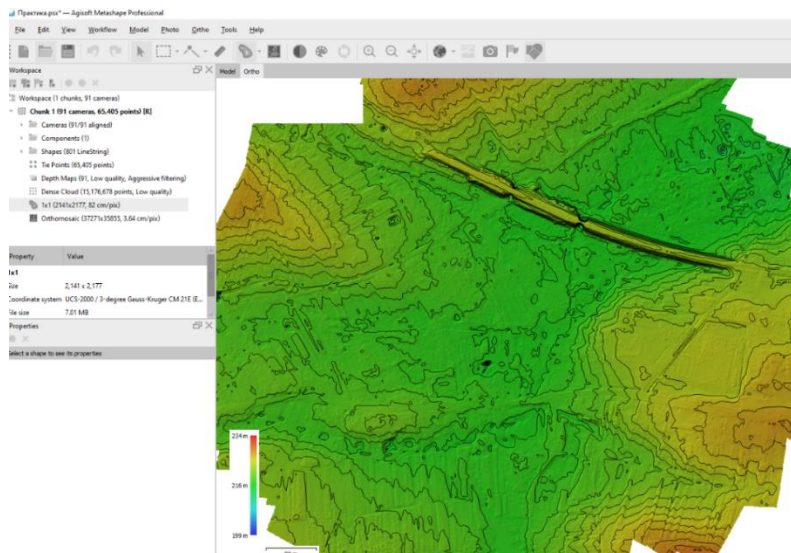


Рис.33. Побудова горизонталей у ПЗ Agisoft Metashape

На наступних етапах виконані роботи зі згладження та генералізації горизонталей з метою кращої читабельності топографічного плану.

3.3. Викреслювання топографічного плану місцевості в масштабі 1:2000

Топографічний план викреслюється шляхом векторизації отриманого ортофотоплану (оцифрування).

Алгоритм оцифрування наступний:

1) Збір водних об'єктів (додаток А): потрібно обмалювати береги відповідною лінією береговою (постійна, по болотам очерету, пересихаюча), заповнити відповідною водною поверхнею. Важливо: вся вода обов'язково повинна мати лінію берегову. Промалювати струмки – також відповідно вказуючи вид струмка.

2) Зібрані водні об'єкти варто додатково зберегти в окремий файл.

3) Далі проводиться збір доріг (додаток Б). Важливо: для початку проводимо вісь вулиці (проходить по центру дороги), далі важливо оцифрувати саму дорогу, після чого створити межу (без бортового каменю чи з бортовим каменем,)

4) Дороги поділили, по суті, населений пункт на квартали. Тому приступаємо до почергового збору кожного кварталу.

5) Збір будівель (КЖ, за ними КН, далі Н) (додаток В).

6) Завантажуємо публічну кадастрову карту – схематично наносимо контур земельних ділянок.

7) Обмальовуємо огорожі. Як правило більшість огорож дерев'яні. Кам'яні, бетонні тощо визначаються вже після дешифрування.

8) Малюємо межі присадибних ділянок.

9) Збираємо шар кварталів.

10) Малюємо лінією-контур межі садків, заліснень тощо. Заповнюємо промальовані контури.

11) Збираємо ЛЕП на новому окремому файлі із межею населеного пункту та ортофотопланом. Доречно проводити на цьому етапі збір ЛЕП, адже ЛЕП не будуть заважати при заповненні контурів.

12) Зібравши ЛЕП – проводимо перевірку. ЛЕП низької напруги не повинні «висіти» (окрім випадку підземного переходу ЛЕП). Повинна бути присутня зв'язка високовольтна лінія-трансформатор-низьковольтна лінія.

13) Всі ЛЕП закінчуються шаром: напрямок ЛЕП відповідної напруги. Дозволяється не виставляти напрямок у випадку близькості стовпа до трансформатора.

14) Перенесення ЛЕП на загальну карту (додаток Г).

15) Стовпи додаються після дешифрування.

16) Виділяємо потовщені горизонталі (кратні 5-ти метрам) і підписуємо їхні висоти кожних 200 м (10 см масштабу плану). На дорогах орієнтуємо підписи позначок висот паралельно напрямку дороги (додаток Д).

Після оцифрування ортофотоплану обов'язковим є виїзд на об'єкт з метою польового дешифрування та перевірки коректності нанесення ситуації (наприклад, поверховість будинків, матеріалу покриття доріг тощо).

Результатом виконання практичного завдання є викреслений топографічний план місцевості (додаток Ж) масштабу 1:2000 населеного пункту Волиця.

3.4. Аналіз перспектив великомасштабного картографування

Великомасштабні топографічні плани є найбільшою потребою для органів влади, від тих, які забезпечують діяльність на місцевому рівні, до тих, які забезпечують обороноздатність та цілісність держави. Попит на такий вид продукції зумовлений необхідністю високоточних матеріалів для проектування та планування генеральних планів міст та населених пунктів, просторового планування розвитку територій, для будівництва, для спрощення діяльності у галузі землеустрою та землевпорядкування, а також, в умовах реалій, для розвідки та переваги у стратегічному плануванні у період воєнного стану.

В будь-який момент часу, кожен із державних кадастрів має потребу у високоточних та актуальних топографічних планах чи картах.

Нагадаємо, що в Україні ведуться наступні кадастри: водний, земельний, тваринного світу, родовищ і проявів корисних копалин, лісовий, містобудівний, сховищ радіоактивних відходів, природних територій курортів та ще багато інших [29]. Усі вони потребують точних даних, оскільки це допомагає точно встановити такі як положення об'єкта, спосіб використання та інших.

З прийняттям у 2014 році Концепції реформи місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні (01.04.2014) [30], законів України «Про співробітництво територіальних громад» (17.06.2014) [31], «Про добровільне об'єднання територіальних громад» (05.02.2015) [32] та змін до Бюджетного і Податкового кодексів в Україні розпочато процес децентралізації [33].

Саме з того моменту постала потреба кожної ТГ у актуалізації наявної картографічної інформації, адже на деяких територіях України останнє оновлення

картографічної інформації відбувалось у 1980-х роках (наприклад, для досліджуваного села Волиця із картографічного забезпечення була наявне лише топографічна карта масштабу 1:10000 видання 1981 року). Зйомки з БПЛА допомогли та досі допомагають швидше та якісніше створити високоточну топографічну продукцію.

Спеціалісти НДІГК в 2020 році на основі аналізу даних по тендерних закупівлях окреслили особливості потреб замовників для створення топографічної продукції. За цими даними найбільш популярним запитом були карти масштабу 1:2000, в той час як карти масштабу 1:5000 були найменш популярним запитом. Дана статистика за кількістю замовлень щодо актуалізації топографічних планів населених пунктів є підтвердженням актуальності саме картографування у великих масштабах.

Високий попит саме на плани масштабу 1:2000 може бути пояснений тим, що може бути застосований для багатьох потреб таких як розвідування запасів корисних копалин, для розробки генпланів та планів розбудови території на перспективу, для технічних потреб (складання технічних проектів підприємств), а також для ведення кадастру.

З розвитком діджиталізованого суспільства, за останнє десятиліття попри велику вагу та пріоритетність даних на паперових носіях, зростає попит на топографічні плани у цифровому форматі, їх іще називають цифровими топографічними планами (ЦТП).

Згідно з Інструкцією з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [1], цифровий топографічний план - це цифрова модель місцевості, що сформована з урахуванням законів картографічної генералізації у прийнятих для планів проекціях, розграфлення, системі координат та висот і записана на магнітних (оптичних) носіях.

Саме так від визначення топографічних даних ми переходимо до геопросторових даних, що є доволі перспективним видом даних, позаяк орієнтуючись на геоінформаційний підхід, ми можемо говорити про використання

типу геопросторових даних у Національній інфраструктурі геопросторових даних (НІГД).

НІГД— це система, що об'єднує на картографічній основі дані різного типу: про землю, воду, ліси, природні ресурси, інфраструктуру, комунікації тощо [35]. Саме НІГД – це перспектива великомасштабного знімання, бо в сучасному світі надзвичайно важливо мати вільний доступ до даних, на які держава витрачає чималі кошти. Базуючись на принципі інтероперабельності, НІГД – можливість об'єднати всі актуальні топографічні плани, карти та інші дані, якими може скористатись як кожен громадянин держави в особистих цілях, так і спеціаліст у галузі будівництва, архітектури, кадастру, геології, гідрології та інших напрямків.

ВИСНОВКИ

Підсумуємо результати досліджень, виконаних у дипломній роботі.

1. Українське законодавство потребує оновлення у сфері регулювання питань аерознімання, зокрема є необхідність розробки вимог для безпілотного знімання аби не прирівнювати безпілотну зйомку до звичайної зйомки з літака, як це відбувається на даному етапі. Є необхідність у нормуванні повного циклу аерознімання з БПЛА як виду геодезичних та землепорядних робіт.
2. Під час виконання практичного завдання для дипломної роботи, виконано повний цикл робіт по створенню великомасштабного топографічного плану місцевості (підготовка до планування, планування, польові та камеральні роботи).
3. У роботі описано методику створення та проаналізовано програмне забезпечення для створення ортофотоплану місцевості.
4. На основі вихідних даних, отриманих під час знімання населеного пункту Волиця, створено топографічний план місцевості в масштабі 1:2000.
5. На основі проаналізованих досліджень, зроблено висновки про попит держави на топографічні плани місцевості великого масштабу та запропоновано шляхи використання отриманих матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>
2. Закон України “Про землеустрій” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
3. Закон України “Про Державний земельний кадастр” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
4. Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
5. Постанова КМУ “Деякі питання застосування геодезичної системи координат” від 22.09.2004 № 1259 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF#Text>
6. Постанова КМУ “Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування” від 04.09.2013 № 661 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF#Text>
7. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України “Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою” від 02.12.2016 № 509 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text>
8. Наказ Мінекоресурсів України №295 від 03.08.01 р. “Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5371018/>
9. Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 24.01.94 №3 “Основні положення створення

топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500” [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3101>

10. Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 09.03.2000 №25 “Класифікатор топографічної інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3301>

11. Бетчелор, Джон-Лоу, Малкольм Ст: Повторна енциклопедія 1945-2005 рр. Будапешт, ДАБВ Конівкіадо, 2016 р.

12. Карні, Дуейн Т.: Роль безпілотних літальних апаратів у сетецентричній війні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.handle.dtic.mil/100.2/ADA482197

13. Аналіз експериментальних робіт із створення великомасштабних планів сільських населених пунктів. Сучасні досягнення геодезичної науки та випуск II(28), 2014 застосування БПЛА / Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. [та інші] // Геодезія, картографія та аерофотознімання. -2019. - № 76. - С.85-93.

14. Маколей, Гораций Р. (Червоний) Наземний радар перехоплення в операції NEPTUNE/OVERLORD [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rquirk.com/cdnradar/cor/chapter11.pdf> 2015.10.10

15. Галушко С. Безпілотні літальні апарати кардинально змінять вигляд авіації майбутнього /Галушко С.// Авіапанорама - 2015.

16. Глотов В.М. Застосування стереофотограмметричного методу створення картматеріалів при проектуванні генеральних планів сільських населених пунктів / Глотов В.М., Кордуба Ю.Г. // Геодезія, картографія та аерофотознімання. - 2018. - № 74. - С. 97-101.

17. Федеральна авіаційна адміністрація [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.faa.gov/uas>

18. Державна авіаційна служба України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua/>

19. Гунько Л. Майбутнє аерофотогеодезії: проблеми застосування безпілотників та лазерного сканування (Київ, 8 квітня 2019 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nubip.edu.ua/node/59233>
20. Теорія і практика застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/03/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F_%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%91%D0%9F%D0%9B%D0%90__ua_dynamics_brochure_.pdf
21. Abris DG. Flirt UAV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://abris.aero/category/produkts-en/#FLIRT%20Cetus>
22. Легка Ю., Бородулін О. Програми для обробки знімків з БПЛА. Огляд. 50 North | GIS blog from Ukraine [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.50northspatial.org/ua/uav-image-processing-software-photogrammetry/>
23. PIX4Dmapper: Professional photogrammetry software for drone mapping. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>
24. What is ArcGIS Drone2Map?. *ArcGIS*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doc.arcgis.com/en/drone2map/latest/get-started/what-is-drone2map.htm>
25. Agisoft Metashape [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.agisoft.com/>
26. Correlator3D Mapping Software | SimActive [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.simactive.com/correlator3d-mapping-software-features>
27. Drone & UAV Mapping Software | WebODM [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webodm.net/>
28. Adobe Illustrator [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.adobe.com/ua/products/illustrator.html>

29. Кадастр. Типи кадастрів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80>

30. Розпорядження Кабінету міністрів України “Про схвалення Концепції реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні” від 01.04.2014 №333-р [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2014-%D1%80#Text>

31. Закон України “Про співробітництво територіальних громад” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1508-18#Text>

32. Закон України “Про добровільне об’єднання територіальних громад” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-19#Text>

33. Реформа децентралізації. Кабінет міністрів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/reformi/efektivne-vryaduvannya/reforma-decentralizaciyi>

34. Науково-дослідний інститут геодезії і картографії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gki.com.ua/home>

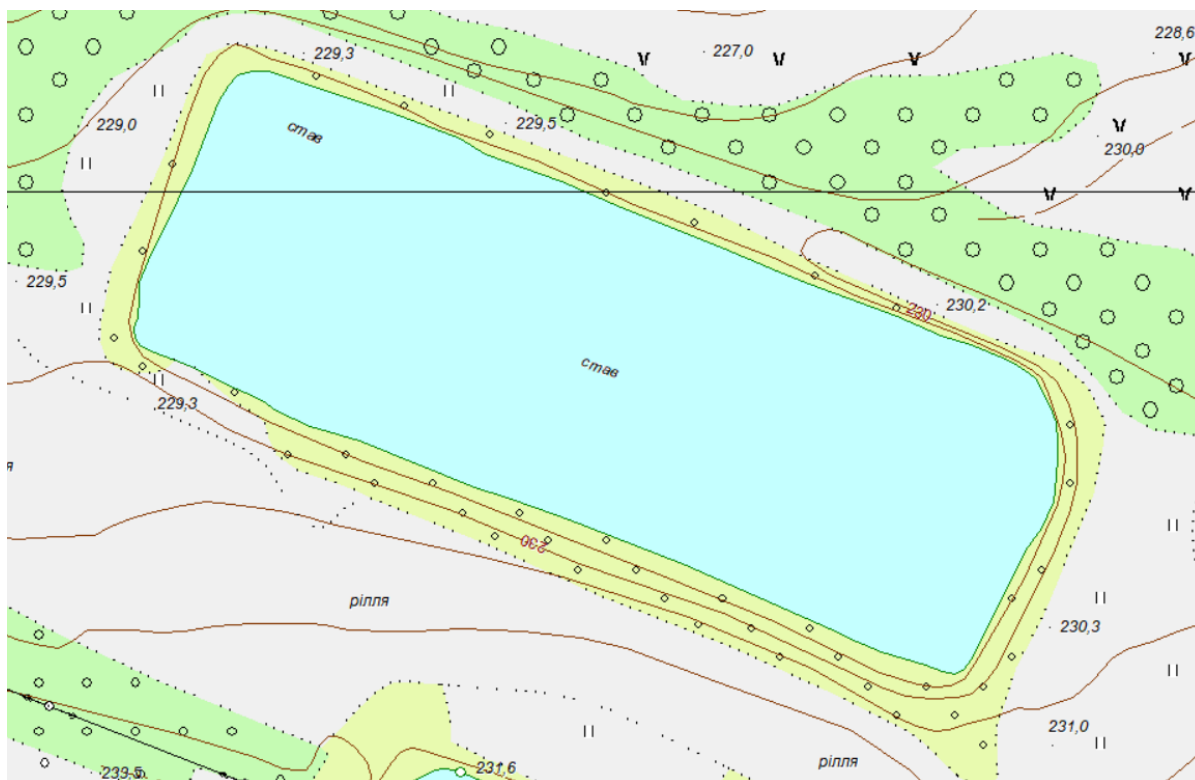
35. Прес-офіс Міністерства цифрової трансформації. Українці отримують доступ до даних у земельній сфері [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://thedigital.gov.ua/news/ukraintsi-otrimayut-dostup-do-danikh-u-zemelniy-sferi?fbclid=IwAR2eHdx0Y1d04Pqu1PyFiIWFIZnAfr0YCu6kVt8Ih2FO4-sT5Tk6hqbjiDw>

ДОДАТКИ

Додаток А

Збір водних об'єктів

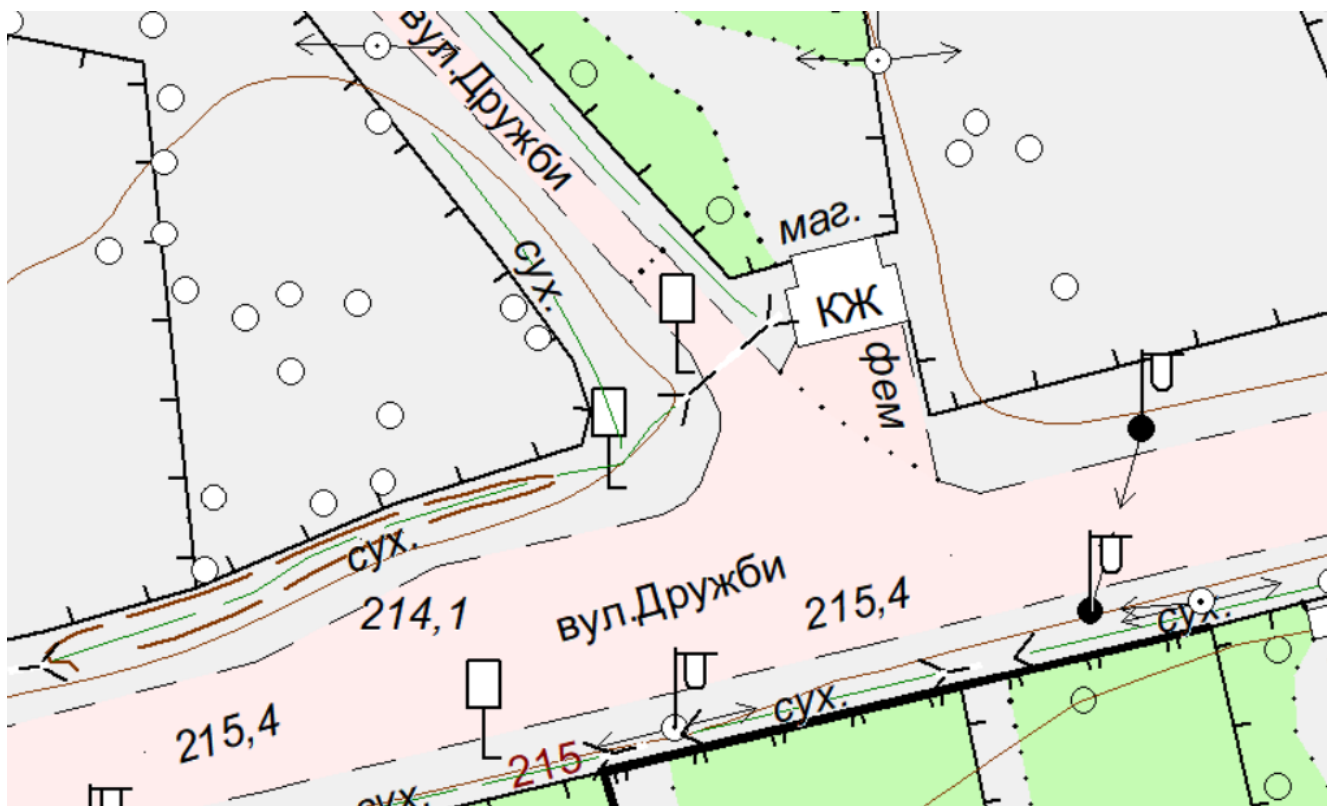
Збір ставків



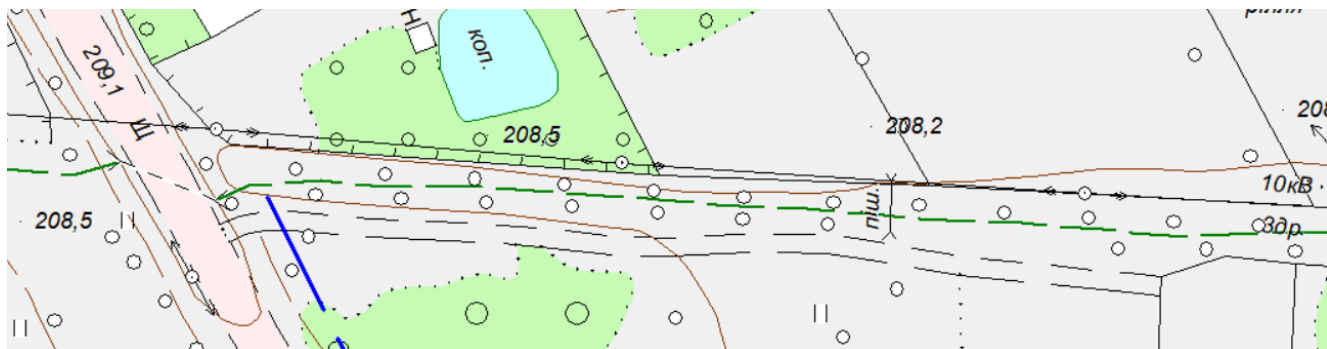
Збір річок та копанок



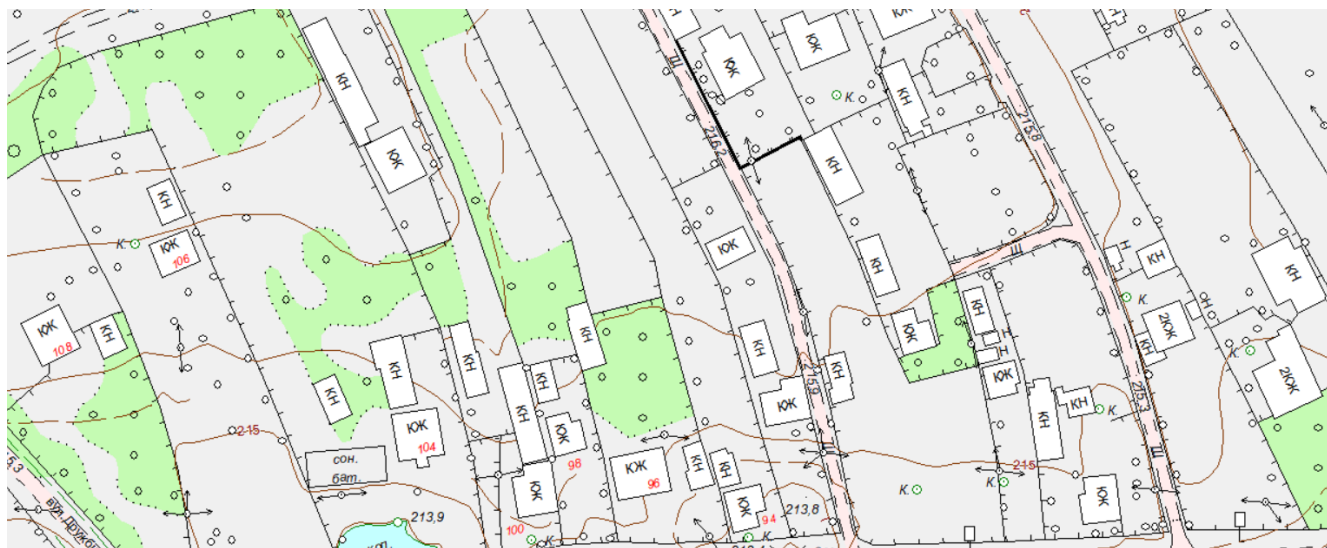
Збір дорожнього покриття (фрагмент вулиці Дружби)



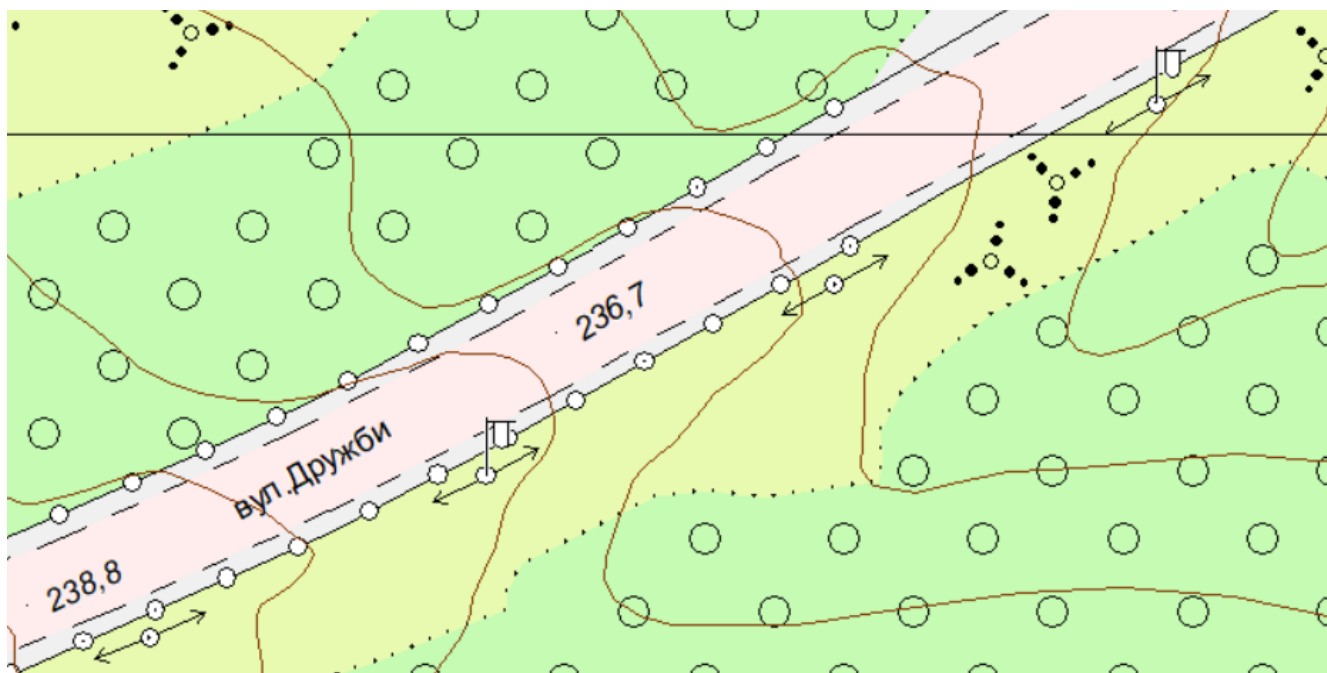
Збір дорожнього покриття (фрагмент польової дороги)



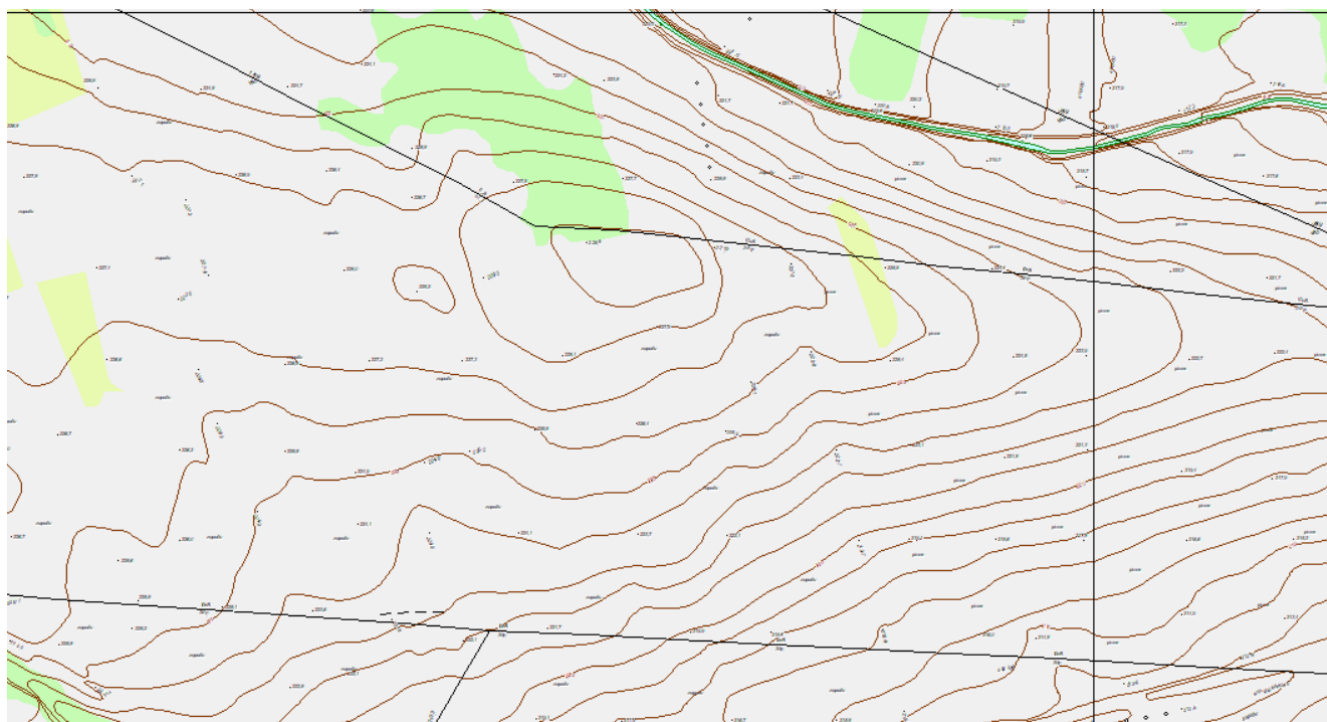
Збір будівель



Збір ліній електропередач (фрагмент викреслених повітряних ЛЕП вздовж дороги по вулиці Дружби)



Збір горизонталей



Топографічний план місцевості населеного пункту Волиця

