УДК 528.71, 528.42,528.93

В. А. ЛОЗИНСЬКИЙ[1*], В. І. НІКУЛІШИН[2], Т. Я. ІЛЬКІВ[3]

[1*,2] Кафедра картографії та геопросторового моделювання, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013, тел. 098-71-31-398, ел. пошта viktor.lozynskyi@gmail.com

[3] Кафедра фотограмметрії та геоінформатики, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ВЕЛИКОМАСШТАБНОГО ТОПОГРАФІЧНОГО ПЛАНУ ЛЬВІВСЬКОГО МІСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ

Мета. Під час функціонування полігону ТПВ важливим факторам, який впливає на його роботу, є дотримання вимог щодо експлуатації. З початку роботи Львівського міського полігону ТПВ, а саме з 1959 р. і до 2016 р., як свідчать різні постанови, приписи та наукові публікації, він експлуатувався з порушеннями та не відповідав екологічним та санітарно-гігієнічним нормам. Внаслідок пожежі та результатів її гасіння 30 травня 2016 р. стався зсув сміття. Для оновлення топографічної інформації про ситуацію на полігоні ТПВ, та для внесення коректив у проект рекультивації, слід виконати такі завдання: створити топографічний план у масштабі 1:500 з перерізом рельєфу через 0,5 м, а також визначити технологічні особливості комбінованого методу з використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 та електронного тахеометра Leica TCR 405, виділити та врахувати особливості досліджуваного об'єкта. **Методика та результати роботи**. Під час створення великомасштабних топографічних планів різних об'єктів слід зазначити, що кожен має свої особливості, які слід врахувати під час розроблення планів. Під час виконання рекогностування місцевості вибрано межі ділянки знімання та можливості застосування аерознімання з використанням БПЛА та дистанційного методу тахеометричного знімання. Відповідно до поставленої мети створено великомасштабний топографічний план Львівського міського полігону ТПВ у масштабі 1:500 з січенням рельєфу 0,5 м у системі координат СК-63 та Балтійській системі висот комбінованим методом, виконано контроль побудованої ЦМР, обчислені СКП ЦМР до та після застосування технологічних операцій та статистичних методів. Отримані результати відповідають вимогам, зазначеним в інструкції з топографічного знімання відповідного масштабу. **Наукова новизна та практична значущість**. Розроблена та апробована методика складання великомасштабних планів для полігону ТПВ дає змогу для проектних організацій виконати низку таких завдань, а саме: проектування нових карт для складування ТПВ, виконання розрахунку об'єму земляних робіт, складання робочих креслень для укріплення та побудови нової дамби, розроблення плану розташування дренажної системи фільтрату.

Ключові слова: великомасштабний топографічний план, Львівський міський полігон твердих побутових відходів, безпілотний літальний апарат, комбіноване знімання.

Вступ

Зсуви сміття на полігонах ТПВ є загальногеоекологічними проблемами, які потенційно можуть призвести до загибелі людей, знищення майна, а також нанести шкоди навколишньому природному середовищу та інфраструктурі в навколишньому регіоні [Blight and Fourie, 2005, Dai, 2016].

Оскільки інженерні властивості полігону є складними і в процесі своєї експлуатації він може стати нестійким під впливом зовнішніх чинників, то при виборі місця складування ТПВ найперше слід врахувати ряд гідрогеологічних та інженерно-геологічних властивостей ділянки, на якій буде розміщений полігон [Yılmaz, 2006], також не менш важливими залишаються такі фактори, як морфометричний склад відходів, фізико-географічне знаходження ділянки складування відходів, сейсмічна активність території, на якій знаходиться полігон, кількість опадів, структурні особливості тіла полігону та інженерна діяльність людини і т.д. [Huang, 2016, Merry et al,2005;].

Дослідження, що стосуються питань зсуву сміття на полігонах ТПВ, можна знайти в ряді наукових публікацій. У період з 1993 р. по 2015 р. зсуви сміття призвели до загибелі більше як 600 осіб та значної втрати майна [Kocasoy, 1995, Eid et al, 2000; Merry et al, 2005; Blight, 2008, Gandolla et al, 1979, Hendron et al, 1999, Brink et al, 1999, Xu et al, 2016], а причини таких явищ були обумовлені різними факторами.

Ситуація, яка склалася на Львівському міському полігоні ТПВ, для України є новою. Відомо мало інформації про деформації та процеси, які відбуваються на полігонах ТПВ. Особливо важко вивчати полігони через їх неоднорідність, сезонні зміни складу відходів, морфометричний склад, що практично унеможливлює їх інженерну стійкість. Властивості полігону та процеси, які будуть в ньому відбуватися, безпосередньо будуть залежати від терміну експлуатації полігону та процесу розкладання ТПВ [Blight, 2005].

В процесі експлуатації полігону ТПВ стабільність тіла полігону буде найбільш значущою інженерною проблемою, яка буде залежати також від такого чинника, як дотримання вимог щодо експлуатації полігону. Що стосується Львівського полігону ТПВ, то у 2013 році Головним управлінням державної санітарної епідеміологічної служби у Львівській області зазначається, що з моменту експлуатації минуло 3 експлуатаційні періоди, сміттєзвалище продовжує експлуатуватись з порушенням вимог санітарного законодавства у сфері поводження з відходами, в т. ч перешаровуються лише 40-50 % денного накопичення відходів [Павлів, Про надання інформації щодо звалища ТПВ в с. В. Грибовичі Жовківського району, 2013], а також в 2003 році головним державним санітарним лікарем Львівської області була винесена постанова від 25.11.2003 року № 119/01 «Про припинення експлуатації сміттєзвалища для м. Львова комунального міського підприємства «Збиранка» управління житлово-комунального господарства Львівської міської адміністрації».

Також у ряді наукових джерел акцентується увага на вкрай незадовільний екологічний стан Львівського полігону ТПВ [Мальований, 2011, Гайдін, 2013, Голець, 2013]. У звіті ВАТ «Геотехнічний інститут», автори зазначають, що термін експлуатації полігону перевищив у два рази проектні показники [Волошин, 2005]. Але, незважаючи на наукові публікації, постанови різного роду, приписи, Львівський полігон ТПВ продовжував своє функціонування.

В результаті більш як п’ятдесятирічної експлуатації полігону близько 23.00 години 28 травня 2016 року на Львівському міському полігоні твердих побутових відходів, що знаходиться у с.Великі Грибовичі Львівської області, виникла пожежа (рис.1). А вже 30 травня стався зсув сміття, в результаті чого загинули троє працівників служби з надзвичайних ситуацій та зниклим залишається один працівник Львівського комунального підприємства «Збиранка».

Рис. 1. Пожежа на території Львівського полігону ТПВ у червні 2016 року

З метою забезпечення поетапного закриття та рекультивації міського полігону ВАТ «ГІРХІМПРОМ» розроблено комплексний проект з рекультивації полігону у с. Грибовичі Жовківського району, який повинен виконуватися впродовж 2014-2023 рр., а його вартість становить 213155,172 тис. грн. [Ухвала Львівської міської ради № 4132, 2014].

В результаті виникла потреба оновлення картографічних даних про полігон, а саме створення топографічного плану масштабу 1:500 з перерізом рельєфу через 0,5 м. Оскільки розроблення проекту рекультивації є досить затратним з фінансової точки зору та складним бюрократичним процесом у проходженні всіх процедур і погоджень, виникла необхідність уточнення ситуації, яка склалася після зсуву сміття.

Отримання даних для визначення геометричних параметрів полігонів ТПВ можливе за допомогою дистанційних та контактних методів [Лозинський, 2015]. Слід зазначити, що серед дистанційних методів все більшого застосування набувають безпілотні літальні апарати (БПЛА), які застосовуються для будівельних задач [Siebert, 2014], аерознімання вулканів [Nakano, 2014], моніторингу парків [Dustin, 2015], виявлення незаконних зливань каналізації та інших відходів в інфрачервоному діапазоні [Lega, 2012], моделювання археологічних пам'яток [Haala, 2014] і.т.д.

Провівши аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються створення топографічних планів полігонів ТПВ, слід зазначити, що вони несуть більш рекламний характер, зокрема в [Nienow, 2014] сказано, що автори виконували геодезичні роботи на 21 полігоні в семи штатах Америки. При виконані аерознімання з БПЛА вони використовували цифрову 80 Мп мультиспектральну камеру Leica RCD30, а результати представлені горизонталями, проведеними через 0,5 м. В публікації [http://www.uavmap.com.au/measuring-landfill-volumes, 2014] авторами згенеровано ортофотоплан з 350 фотографій, побудовано цифрову модель рельєфу. А в 2015 році ними здійснено повторне знімання цього ж полігону ТПВ і в результаті знайдено різниці площі. Варто зауважити, що досліджуваний полігон має невелику площу та характеризується нескладною конфігурацією, де практично відсутня рослинність та інші об'єкти, які не відносяться до класу рельєф. Перший досвід використання БПЛА в штаті Мен для полігону ТПВ бачимо в [http://www.smemaine.com/documents/Website-SMEReceivesFAAApprovaltoOperateUAV_007.pdf], в результаті дослідження отримано топографічний план та 3D модель полігону.

Аерознімання для вирішення задач моніторингу та маркшейдерії відкритих гірничих робіт висвітлено в [Макаров, 2014], в результаті створено топографічний план в масштабі 1:2000, побудовано профілі, виконано оцінку точності контрольних точок.

Однак варто зауважити, що в певних випадках виникає необхідність знімання територій, на якій знаходяться такі об'єкти як ліс, чагарники, і не завжди можливо використати дані космічного та традиційного аерознімання. Вирішенням цього є комбіноване знімання, яке включає застосування технології аерознімання з використанням БПЛА та тахеометричного знімання.

Мета

Основною метою роботи є визначення технологічних особливостей комбінованого методу створення топографічного плану Львівського полігону ТПВ та прилеглих територій із використанням БПЛА TRIMBLE UX-5 та Leica TCR 405. Створення топографічного плану в масштабі 1:500 з перерізом рельєфу через 0,5 м з урахуванням особливостей досліджуваного об'єкту дасть можливість оперативно та з відповідною точністю виконати поставлену мету.

Методика та результати роботи

Методика створення цифрової моделі з використанням комбінованого знімання та різних програмних пакетів

Укладання топографічного плану складається з двох концептуально різних методик, що стосується рельєфу та місцевості. Рельєф на топографічному плані відображається за допомогою горизонталей.

Горизонталі можна отримати двома шляхами:

- автовтоматизована побудова горизонталей за цифровою моделлю рельєфу;
- ручна векторизація горизонталей за стереомоделлю.

Що стосується першого, то він передбачає використання сучасних програмних продуктів (ПП), які мають досить велику кількість методів та функцій. Зокрема цьому присвячені ряд публікацій: у [Бурштинська, 2003] автори виконують моделювання рельєфу, з використанням ПП Surfer та ArcGIS, та роблять висновок, що метод Крайгінга за оптимального вибору вихідних параметрів дозволяє здійснити високоточне моделювання, натомість мультиквадрики та мультилогарифмічна функція дають гірші результати в 1,3-1,4 рази в порівнянні з ним. Можливість моделювання горизонталей за TIN-моделлю в програмному середовищі Digitals розглянуто в

[Бурштинська, 2007]. В дослідженні автори, виконавши аерофотознімання та комплекс гідрографічних робіт, запропонували технологію побудови цифрової моделі рельєфу для створення плану дна ріки. Комбінований метод створення великомасштабних планів гідротехнічних споруд представлено в [Глотов, 2009], автори виконали наземне цифрове стереофотограмметричне знімання, в процесі опрацювання створено план території Дніпровської ГЕС в масштабі 1:500. Розроблення технологічної схеми для отримання цифрових векторних карт з використанням аерофотознімання минулих років та цифрового наземного фототеодолітного знімання для горбистої та гірської місцевості запропоновано в [Глотов, 2007]. В праці розраховані апріорна та апостеріорна оцінки точності, які є одного порядку, що свідчить про можливість використання методу для складання великомасштабних планів.

Що стосується другого, то застосування такого методу розглянуто для побудови ЦМР поверхні льодовика у [Третяк, 2013], у [Cahyono, 2009], автори виконують моделювання рельєфу з використанням аналогічного методу.

З огляду поданих вище джерел, варто зауважити, що кожен об'єкт має свої особливості для створення топографічних планів, тому слід відзначити ті особливості, що стосуються лише Львівського міського полігону ТПВ, а саме:

- Вибір методу та межі знімання в залежності від особливостей конфігурації полігону та прилеглих територій;
- Поодинокі загоряння сміття (рис.1.), що могли суттєво вплинути на отримані результати при побудові ортофотоплану та ЦМР;
- Небезпека повторного зсуву сміття, яка обумовлює застосування такого методу як знімання з використанням БПЛА.

Технологічна схема створення великомасштабного топографічного плану Львівського полігону ТПВ комбінованим методом

Підготовчі роботи

Виконано рекогностування місцевості, що включало в себе визначення меж ділянки знімання та можливостей застосування контактних та дистанційних методів (рис.2.). Після цього відбувалося складання проекту робіт в камеральних умовах, що дало можливість змінювати як якісні, так і кількісні характеристики очікуваних результатів в залежності від особливостей ділянки знімання. Конфігурація Львівського міського полігону ТПВ має складну структуру рельєфу, що виражена трьома терасами з перепадами висот більш як 80 м та ухилами від 0 до 80 градусів.

Рис. 2. Ділянки меж використання дистанційних та контактних методів знімання на знімку Google Earth

Для розрахунку середньоквадратичних похибок (СКП) для трьох проектів, які були виконані на різних висотах, використані формули [Лобанов, 1984]:

$$m_x = mx_1\left[\left(\frac{m_{x1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{\frac{f}{H}B}\right)^2 + \left(\frac{x_1^2}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\alpha}\right)^2 + \left(\frac{x_1 y_1}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\omega}\right)^2 + \left(\frac{y_1}{\frac{f}{H}B}m_{\Delta x}\right)^2 m_\omega^2 + \left(\frac{x_1}{f}m_{v'}\right)^2\right]^{1/2}$$

$$m_y = my_1\left[\left(\frac{m_{y1}}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{m_p}{\frac{f}{H}B}\right)^2 + \left(\frac{x_1^2}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\alpha}\right)^2 + \left(\frac{x_1 y_1}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\omega}\right)^2 + \left(\frac{y_1}{\frac{f}{H}B}m_{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{f}m_{v'}\right)^2\right]^{1/2} \quad (1)$$

$$m_z = mz_1\left[\left(\frac{m_p}{\frac{f}{H}B}\right)^2 + \left(\frac{x_1^2}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\alpha}\right)^2 + \left(\frac{x_1 y_1}{f\left(\frac{f}{H}B\right)}m_{\Delta\omega}\right)^2 + \left(\frac{y_1}{\frac{f}{H}B}m_{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{x_1}{f}m_{v'}\right)^2\right]^{1/2}$$

де m – знаменник масштабу знімання, B – базис знімання, f – фокусна відстань цифрової наземної знімальної камери (ЦНЗК) ($f = 15мм$), x_1, y_1 – абсциса та ордината відповідно кадрової рамки ПЗЗ-матриці ЦНЗК ($x_1 = 11мм,\ y_1 = 7{,}5мм$), $\frac{f}{H}$ - масштаб знімання, $m_x, m_y, m_z = 0.005$ СКП визначення координат X, Y, Z відповідно, $m_p = 0{,}003мм$ – СКП вимірювання координат точок знімку згідно технічних характеристик знімальної камери, $m_\alpha = m_\omega = m_k = m_{v'} = m_{\Delta\alpha} = m_{\Delta\omega} = m_{\Delta k} = 3''$ – допустима СКП визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування (після проведення зовнішнього орієнтування зображень).

В результаті були отримані дані СКП для висот фотографування 110 м, 130 м та 150 м, які подано у таблиці 1.

Таблиця 1

Апріорне значення СКП

№ проекту	Висота знімання (м)	В (м)	$m_{зн}$	m_x (м)	m_y (м)	m_z (м)
1	110	110	1:500	0,05	0,06	0,07
2	130	130	1:500	0,06	0,08	0,09
3	150	150	1:500	0,07	0,09	0,11

Аерофотознімання Львівського полігону ТПВ (червень 2016 р.)

Враховуючи дані підготовчих робіт для проектування аерознімання, складено три проекти для виконання знімання досліджуваного об'єкту на різних висотах (150, 130, та 110 метрів), а також розраховані параметри знімання Львівського полігону ТПВ для БПЛА TRIMBLE UX-5 (табл. 2), що в подальшому дасть змогу отримати ортофотоплан з точністю масштабу 1:500.

Проект планово-висотної прив'язки

Для отримання достовірних даних аерознімання невід'ємною складовою є виконання планово-висотної прив'язки матеріалів, отриманих з БПЛА. Тому для координування опорних точок використано GPS-приймач Trimble R7. Усі виміри проводились у режимі RTK від мережі базових станцій GEOTERRACE, що належить Національному університету «Львівська політехніка». Всього було закоординовано 33 опорних точки, а також зроблено фотоабрис для опізнання їх в процесі камеральних робіт. Точність отримання координат опорних точок для прив'язки склала: в плані 3-5 см, а висотна складова – 10 см.

Таблиця 2

Параметри аерофотознімання БПЛА

№ проекту	Повздовжнє та поперечне перекриття,%	Висота знімання, м	Розмір піксела, см	Час знімання, хв
Проект 1	*70*	*150*	*4,80*	*8*
Проект 2	*70*	*130*	*4,20*	*9*
Проект 3	*70*	*110*	*3,70*	*8*

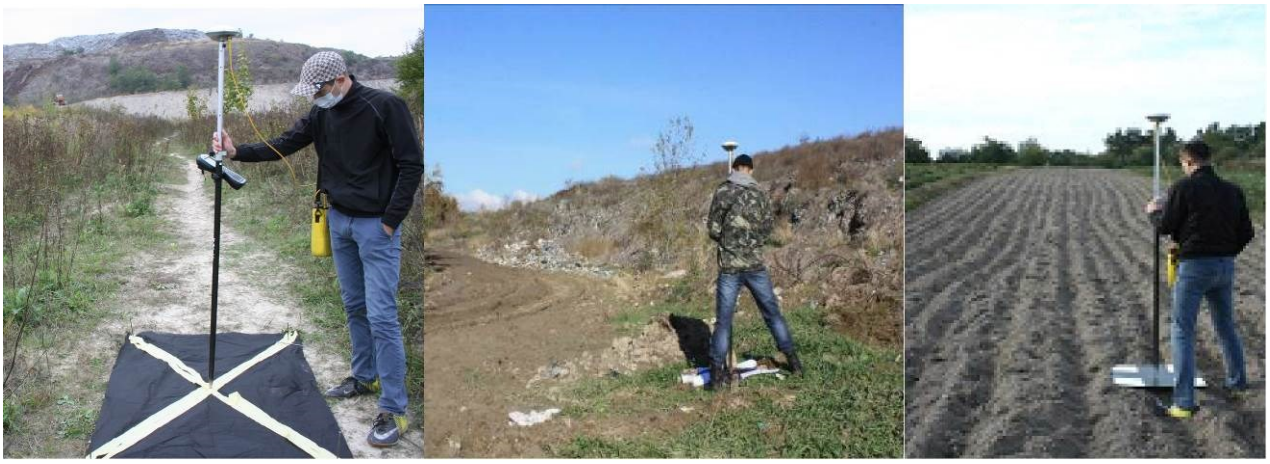

Рис. 3. Процес координування опорних точок в режимі RTK

Опрацювання результатів аерофотознімання

Усі дані, отримані в результаті аерознімання, були опрацьовані у програмі PIX4D. Для отримання ортофотоплану та цифрової моделі рельєфу виконано наступні етапи:

- ✓ завантаження знімків;
- ✓ внутрішнє та зовнішнє орієнтування моделі за допомогою опорних точок;
- ✓ створення хмари точок та її редагування.

Процес побудови ортофотоплану ґрунтується на автоматичному генеруванні пікселів об’єктів зображення на суміжних знімках, в результаті чого отримано ортофотоплан (рис.4), хмара точок (рис.5) та TIN модель для побудови цифрової моделі рельєфу заданої ділянки.

Рис. 4. Ортофотоплан на територію Львівського міського полігону ТПВ (червень 2016)

Рис. 5. Хмара точок з накладанням ортофотоплану Львівського міського полігону ТПВ (червень 2016)

Тахеометричне знімання

Оскільки частина ділянки, на якій необхідно виконати знімання, вкрита густим лісом (рис.2), то отримана цифрова модель місцевості з БПЛА не може бути використана. Тому для отримання більш достовірних даних про ділянку, вкриту лісом, виконано тахеометричне знімання. Дані роботи виконувались електронним тахеометром Leica TCR 405 згідно особливостей закладання рельєфу на визначеній ділянці. В результаті виконання тахеометричного знімання було отримано 120 пікетів, які в подальшому було використано для побудови ЦМР та горизонталей (рис.6).

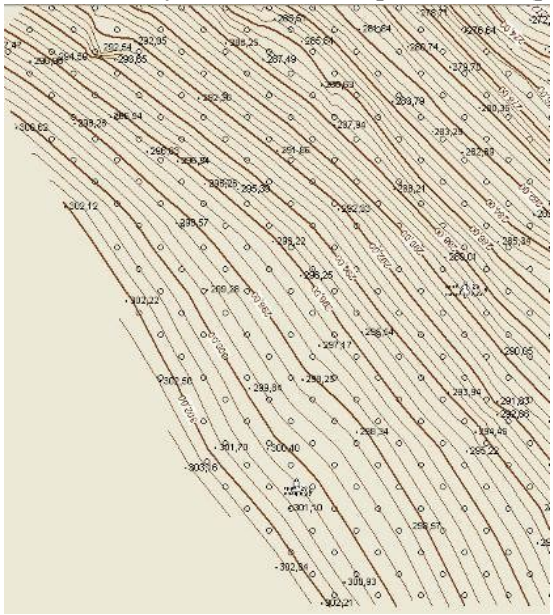

Рис. 6. Цифрова модель рельєфу у вигляді горизонталей за результати тахеометричного знімання

Створення топографічного плану

Отримана з БПЛА хмара точок безпосередньо не може бути використана при побудові горизонталей для топографічного плану масштабу 1:500, оскільки в такому випадку утворюється велика кількість дрібних об’єктів, а основні горизонталі не є згладженими (рис 7). Для усунення цих некоректностей застосовано низку технологічних операцій та статистичних методів (фільтрація та фокальна статистика), що дали змогу усунути високочастотний шум для цифрової моделі рельєфу. Також для згладження горизонталей застосовані як автоматизовані, так і ручні методи редагування.

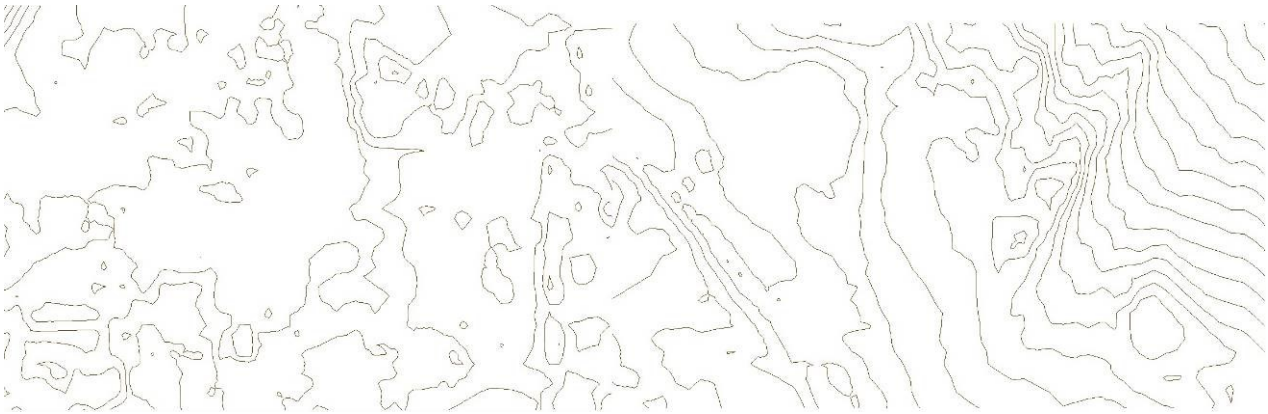

Рис. 7. Горизонталі згенеровані в автоматиному режимі з матриці висот

Невід'ємною частиною даного процесу є польове дешифрування, яке включає в себе виїзд на досліджувану ділянку та опізнання усіх існуючих на даний час об'єктів, визначення їх кількісних характеристик. Результатом даної роботи є великомасштабний топографічний план у масштабі 1:500 з січенням рельєфу 0,5 м у системі координат СК-63 та Балтійській системі висот (рис. 8).

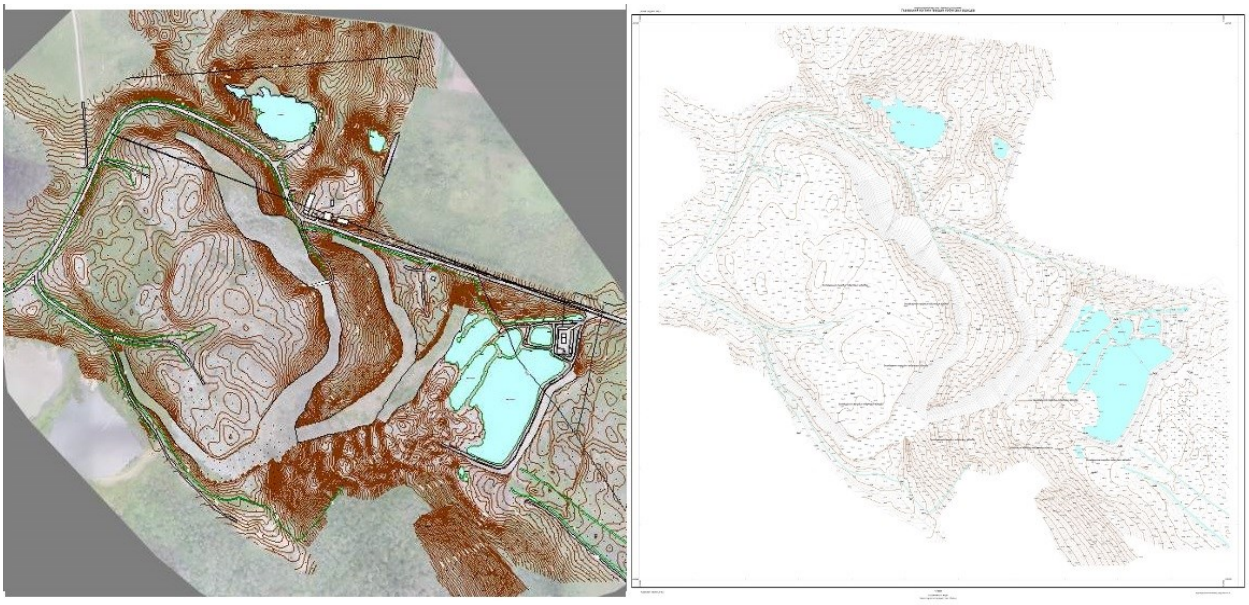

Рис. 8. Топографічний план на територію Львівського міського полігону ТПВ станом на червень 2016 р.

Для контролю побудованої ЦМР до і після застосування технологічних операцій та статистичних методів за допомогою GPS приймача визначено висоти в 55 точках. За формулою (2) обчислені середньоквадратичні похибки ЦМР, результати яких представлені в табл.3

$$m_{ЦМР} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(H_i - h_i\right)^2}{n-1}} \qquad (2)$$

де n – кількість контрольних точок; H_i – висота в контрольній точці на ЦМР; h_i – висота цієї контрольної точки, визначена з використанням GPS приймача.

Таблиця 3

Значення середньоквадратичної похибки до та після застосування технологічних операцій та статистичних методів

Кількість контрольних точок, (шт.)	Середньоквадратична похибка до застосування технологічних операцій та статистичних методів м.	Середньоквадратична похибка після застосування технологічних операцій та статистичних методів м.
55	0,063	0,095

На підставі отриманих результатів СКП варто зазначити, що якість побудови горизонталей в повній мірі відповідає вимогам, які зазначені в [Інструкція,1998].

Технологічна схема створення великомасштабних топографічних планів в масштабі 1:500 представлена на рис. 9.

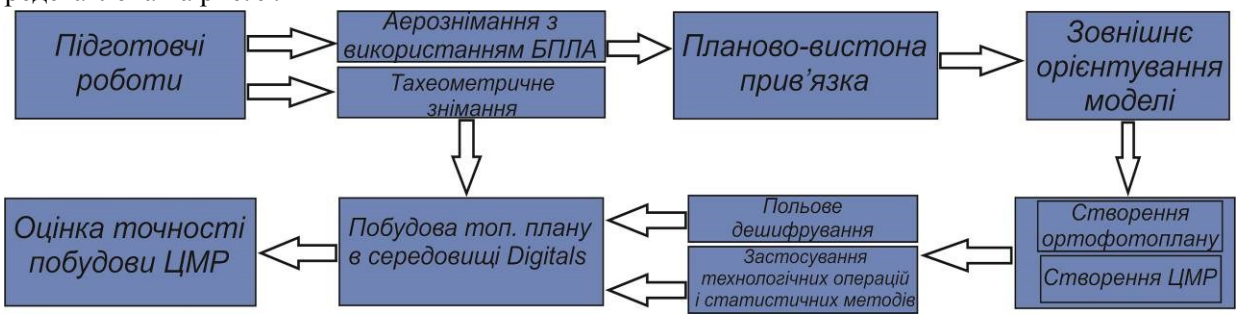

Рис. 9. Технологічна схема створення великомасштабного топографічного плану на територію Львівського міського полігону ТПВ

Наукова новизна і практична значущість

Внаслідок необхідності поновлення інформації про ситуацію, яка склалася на Львівському міському полігоні ТПВ, виникла необхідність у створенні топографічного плану, який буде використаний при уточненні проекту рекультивації даного об'єкту.

Розроблена та апробована методика складання великомасштабних планів для полігону ТПВ дає змогу для проектних організацій виконати ряд наступних завдань, а саме: проектування нових карт для складування ТПВ, виконання розрахунку об'єму земляних робіт, складання робочих креслень для укріплення та побудови нової дамби, розроблення плану розташування дренажної системи фільтрату.

Висновки

На основі теоретичних напрацювань, експериментальних досліджень та отриманих результатів Львівського міського полігону ТПВ сформульовані такі висновки та результати:

1. Проаналізовано можливість застосування сучасних БПЛА для створення та побудови топографічних планів полігонів ТПВ.
2. На основі аналізу наукових джерел встановлено, що при створенні топографічних планів слід враховувати особливості для різних типів об'єктів.
3. Запропоновано технологічну схему створення великомасштабних топографічних планів комбінованим методом з використанням БПЛА та електронного тахеометра на територію Львівського міського полігону ТПВ.
4. Розраховано апріорну оцінку точності, яка відповідає вимогам до складання великомасштабних топографічних планів.
5. Створено топографічний план в масштабі 1:500 з січенням рельєфу 0,5 метра у системі координат СК-63 та Балтійській системі висот.

6. Обчислено апостеріорну оцінку точності побудованої цифрової моделі рельєфу ($m_{цмр}$=0,095 м), яка відповідає вимогам масштабу 1:500, що підтверджує ефективність запропонованої методики.
7. Отримані ортофотоплан та ЦМР полігону дасть можливість в перспективі подальших досліджень оцінити наслідки техногенного впливу Львівського міського полігону ТПВ та визначити площу і об'єм сміття, що обвалився.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Бурштинська Х. Цифрове моделювання рельєфу з використанням ПЗ Surfer та ГІС ArcGis / Х. В. Бурштинська, О. Л. Дорожинський, П. М. Зазуляк, О. С. Заяць // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2003. – № 63. – С. 196-200.

Бурштинська Х. Технологія побудови цифрової мод елі рельєфу для створення плану дна ріки / Х. В. Бурштинська, І. Василиха, П. Коваль // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – С. 135-144.

Волошин П. К. Про дослідження з оцінки екологічного та санітарно-гігієнічного стану територій, прилеглих до Львівського полігону твердих побутових відходів / П. К. Волошин, Р. О. Цегелик, С. В.Бірук // Звіт ВАТ "Геотехнічний інститут". – Львів. –2005.

Гайдін М. Хімічний склад фільтрату Львівського полігону твердих побутових відходів / М. Гайдін, В.О. Дяків, В. Д. Погребенник, А. В. Пашук // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : зб. наук. пр. / Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки ; [редкол.: Ф. В. Зузук та ін.]. – Луцьк, 2013. – № 10. – С. 43-50.

Глотов В. Спосіб складання великомасштабних планів за матеріалами аеро-та наземного знімання / В. М. Глотов, В. І. Нікулішин, В.В.Чижевський // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – № 69. – С. 144-149.

Глотов В. Технологічні особливості наземного цифрового знімання гідротехнічних споруд / В. М. Глотов, Ю. І. Голубінка, Т. Я. Ільків // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2009. – № 71. – С. 251-258.

Голець Н. Ю. Розрахунок класу небезпеки фільтрату Грибовицького полігону твердих побутових відходів / Н. Ю. Голець, М. С. Мальований, Ю. О. Малик // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. - 2013. - № 7. - С. 219-224.

Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). – К., 1998. – 252 с.

Лобанов А.Н. Фотограмметрия: учебник для вузов/А.Н.Лобанов// –2-е изд., перераб. и доп. –М.,1984.– с.552.

Лозинський В.А. Аналіз сучасних методів отримання даних для визначення об'ємів відходів та донних відкладів../ В. А. Лозинський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2015. Випуск II(30) – С.87–97.

Мальований М. С. Тверді побутові відходи м. Львова та їх вплив на довкілля / М. С. Мальований, О. Я. Голодовська, М. І. Пастернак // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів, 2011. – № 700: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 250-252.

Макаров В. А. Беспилотные летательные аппараты для решения задач маркшейдерии и мониторинга открытых горных работ / В. А. Макаров, Д. А. Бондаренко, И. В. Макаров, К. А. Шрайнер, А. А. Перунов, Е. В. Труханов // "Золото и технологии". –2014. – № 3 (25): Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 44-49.

Павлів А. Про надання інформації щодо звалища ТПВ в с. В.Грибовичі Жовківського району, 2013.

Третяк К.Р. Аналіз результатів моніторингу острівних льодовиків антарктичного узбережжя цифровим стереофотограмметричним методом / К. Р. Третяк, В. М. Глотов, Ю. І. Голубінка // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. – 2013. Випуск II(26) – С.264–268.

Ухвала Львівської міської ради № 4132, від 18.12.2014

Blight G., Fourie A. B. *Catastrophe revisited–disastrous flow failures of mine and municipal solid waste. Geotechnical and Geological Engineering*, 2005, Vol. 23, Issue 3, pp. 219–248.

Blight G. *Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review*. Waste Management and research, 2008, no.26(5), pp. 44–8463.

Brink D., P. W. Day, L. du Preez *Failure and remediation of Bulbul Drive landfill: Kwazulu-Natal, South Africa.* Proc. Sardinia '99, Cagliari, Italy. 1999, pp. 555–562.

Cahyono B. K., Matori A. N. *Landslide detection on slope area by usingclose-range photogrammetric data.* https://www.researchgate.net/profile/Abd_Matori/publication/266064995_LANDSLIDE_DETECTION_ON_SLOPE_AREA_BY_USING_CLOSERANGE_PHOTOGRAMMETRIC_DATA/links/54c6cf8d0cf22d626a35a01b.pdf

Dai Z., Huang Y., Jiang F. *Modeling the flow behavior of a simulated municipal solid waste*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment.* 2016, Vol. 75, Issue 1, pp. 275–291.

Dustin M. *Monitoring parks with inexpensive UAVs: cost benefits analysisfor monitoring and maintaing parks facilities.* A Thesis Presented to the FACULTY OF THE USC GRADUATE SCHOOL UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree MASTER OF SCIENCE (GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY), pp. 1–113.

Eid H., Stark T. D., Evans W. D, Sherry P. E. *Municipal solid waste slope failure. I: Waste and foundation soil properties. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2000, Vol. 126 (5), pp. 397–407.

Gandolla M., Gabner E., Leoni R. *Stabilitätsprobleme bei nicht verdichteten Deponien: am Beispiel Sarajevo (Stability Problems with Compacted Landfills: the Example of Sarajevo)*. ISWA Journal, 1979, pp. 75–80

Haala N., Cramer M., Weimer F., Trittler M. *Performance test on uav-based photogrammetric data collection.* International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22, 2011, pp. 1–6.

Hendron D., Fernandez G., Prommer P. J., Giroud J. P., Orozco L. F. *Investigation of the cause of the 27 September 1997 slope failure at the Dona Juana landfill*. Proc. Sardinia '99, Cagliari, Italy. 1999, pp. 545–554.

Kocasoy G., Curi K. *The Ümraniye-Hekimbaşi open dump accident.* Waste Management and Researsh. 1995, Vol. 13, pp. 305–314.

Lega M., Ferrara C., Kosmatka J., Persechino G., Napoli R.M.A. *Thermal Pattern and Thermal Tracking: fingerprints of an environmental illicit*. 11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography. 2012. Available at: http://www.ndt. net/article/qirt2012/papers/QIRT-2012-326.pdf.

Merry S. M., Kavazanjian Jr. E., Fritz W. U. *Reconnaissance of the July 10, 2000, Payatas Landfill Failure. Journal of performance of constructed facilities*. 2005, Vol. 19, pp. 100–107.

Nakano T., Kamiya I. Tobita M., Iwahashi J., Nakajima H. *Landform monitoring in active volcano by UAV and sfm-mvs technique*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XL-8, 2014, pp. 71–75.

Nienow Z. *Monitoring Landfills from Above*. Available at: http://www.ayresgeospatial.com/ 2014/10/22/monitoring-landfills-from-above/

Siebert S., Teizer J. *Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system.* Automation in Construction. 2014, 41, pp. 1–14.

Xu Q., Peng D., Li1 W., Dong X., Hu W., Tang M., Liu F. *The catastrophic landfill flowslide at Hongao dumpsite on December 20, 2015 in Shenzhen, China.* Natural Hazards Earth System Sciences. 2016, pp. 1–19.

Yılmaz A., *Atmaca E. Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: a case study in Sivas, Turkey. Environmental Geology*. 2006, Vol. 50, Issue 5, pp. 677–689.

Yu Huang., Fan G. *Engineering geological analysis of municipal solid waste landfill stability*. Natural Hazards. 2016, Vol. 84, Issue 1, pp. 93–107.

Надійшла 08.10.2016 р.