УДК 528.46

Х. Бурштинська, І. Василиха, П. Коваль
Національний університет “Львівська політехніка”

ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПЛАНУ ДНА РІКИ

© Бурштинська Х., Василиха І., Коваль П.,2007

Наведено методику побудови цифрових моделей рельєфу дна ріки. Вимірювали двочастотним ехолотом, оброблення даних здійснювали з використанням ЦФС “Дельта”. Точність ЦМР відповідає масштабу топографічного плану 1:5000.

It is represented method of construction of Digital Elevation Models of river bottom. Measurement were executed double-frequency echo sounder data processing was conducted with the use of DPS “Delta”. Accurasy of DEM corresponds to the scale of topographic plane 1:5000.

Постановка проблеми та її зв’язок з важливими науковими та практичними завданнями. Для підвищення ефективності і оперативності управління різними галузями економіки здійснюється масштабна комп’ютеризація, створюються геоінформаційні системи. Перетворення картографічної, топографо-геодезичної, аерокосмічної інформації в якісно новий вид, що сприяє ефективному її використанню, забезпечує розв’язання на сучасному технічному рівні важливих завдань економіки, серед яких особливе місце займають проведення земельної реформи, управління землекористуванням і моніторинг земель, прогнозування та запобігання екологічним порушенням, управління ресурсами у разі виникнення надзвичайних ситуацій, управління державними силовими структурами тощо.

Особливе місце серед цифрового моделювання займають задачі гідрологічного характеру, пов’язані з дослідженням деформації русел рік, складання планів дна [4,6].

Дані для створення ЦМР отримують з фотограмметричних вимірювань, з наземного (геодезичного) знімання, скануванням горизонталей на картах з фіксацією результатів у цифровій формі, за матеріалами дистанційного зондування або з використанням лазерних та інших систем, які дають просторові координати точок місцевості, а для визначення відміток дна рік, озер із сканування за допомогою спеціальної скандувальної апаратури.

До окремої групи робіт, пов’язаних з рельєфом, належить визначення площ затоплених та підтоплюваних земель, що є також сферою гідрологічних досліджень. Ця проблема стала актуальною для нашої держави з різних причин, зокрема через екологічні та кліматичні катаклізми, а також у зв’язку із приватизацію землі в Україні, проведенням кадастру земель, організацією та дією страхувально-економічних компаній та фірм.

З 1997 р. в Україні почала діяти Програма створення автоматизованої системи ведення земельного кадастру. Створення Програми заплановано завершити у 2007 р. У ній вказано, що створення державного земельного кадастру забезпечується проведенням топографо-геодезичних, картографічних, грунтових та інших обстежень та розвідувань. Оскільки рельєф впливає на грунтове покриття, то його враховують під час проведення земельного кадастру. Постановами Кабінету Міністрів України було затверджено Програми топографо-геодезичного та картографічного забезпечення України на 1998–2008 рр., спрямовані на покращання забезпечення потреб суспільства у сучасній топографо-геодезичній та картографічній продукції. Принципова

зміна технологій отримання картографічної продукції пов’язана з цифровими методами створення та видання карт, оновлення їх на основі аерокосмічного знімання.

Виклад основного матеріалу досліджень.

1. Технологічна схема робіт для проведення гідрологічних досліджень. Для дослідження динаміки процесів, які впливають на зміни гідрологічних характеристик, побудову ЦМР дна ріки необхідно виконувати періодично, тому найвигіднішою технологією в сенсі автоматизації отримання вихідної інформації є матеріали аерофотознімання. За ЦМР можна визначити довжини водних потоків, виділяти басейни водозборів, встановлювати зони забруднення води, її запасів, нахили схилів тощо. Важливим завданням є дослідження деформацій русел рік. Залежно від масштабу аерознімання і завдання досліджень виконують маршрутне або площинне аерознімання. Складання плану ріки звичайно виконують в масштабах 1:2000 – 1:5000.

Враховуючи високу точність визначення координат точок ЦМР, необхідно розглянути питання вибору параметрів знімання та кількості точок опори. Розроблена технологічна схема ґрунтується на реалізації трьох основних етапів робіт: аерофотознімання, польових геодезичних робіт і камеральних фотограмметричних робіт. Детально технологічну схему показано на рис. 1. Реалізацію такої схеми будемо вважати першим циклом робіт.

Гідрологічне моделювання на основі цифрової моделі рельєфу дозволяє розраховувати напрямок стоку, знаходити і заповнювати стоки, виділяти водозбори і дренажні мережі, виділяти порядки водостоків. Можливе вирішення гідрологічних завдань фільтрації, що дає можливість прогнозувати поширення хімічних забруднень у грунтових водах [1,5].

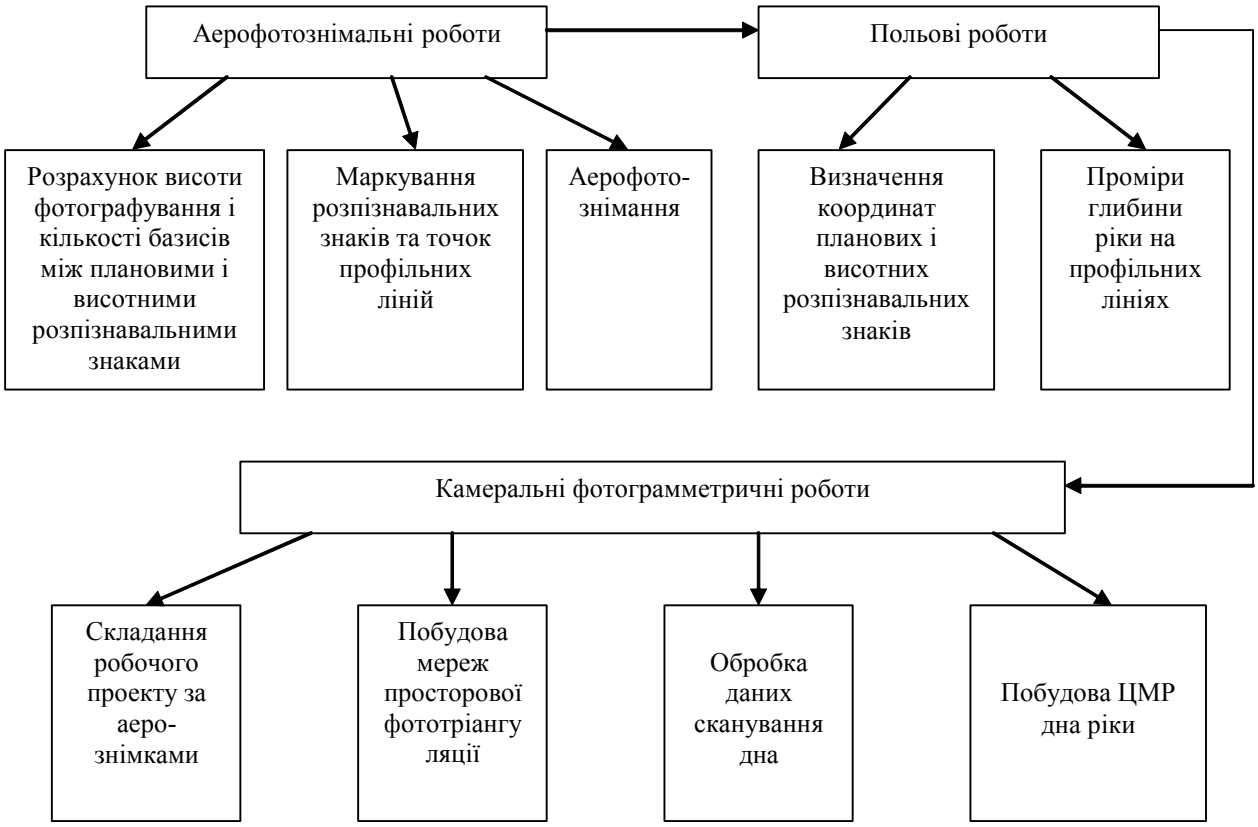


Рис. 1. Технологічна схема гідрологічних вишукувань рік

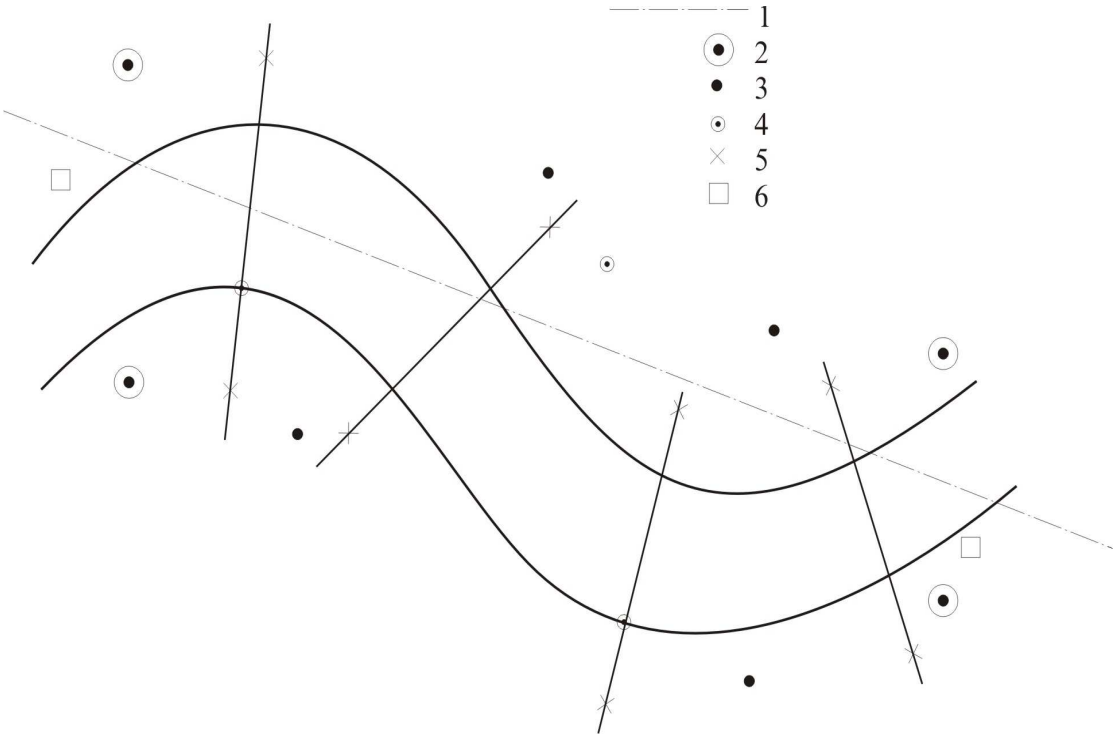


Рис. 2. Маршрутне аерофотознімання вздовж русла ріки:
1 – лінія польоту; 2 – точки опори; 3 – точки аерофототріангуляції;
4 – контрольні точки; 5 – точки профільних ліній; 6 – маркувальні знаки

У разі повторного аерофотознімання, тобто на другому і наступних циклах, схему повністю не повторюють, а виконують лише такі процеси: маркування розпізнавальних знаків і точок профільних ліній, аерофотознімання, промірні роботи, складання робочого проекту (розпізнавання точок опори і точок просторової тріангуляції на аерофотознімках нового зальоту) і камеральні роботи: вимірювання аерофотознімків, обробку даних сканування, побудову ЦМР дна ріки.

Розглянемо основні етапи запропонованої технологічної схеми.

Найчастіше достатньо вздовж русла ріки виконати маршрутне аерофотознімання (рис. 2.), маркуючи вхідними і вихідними знаками початок і кінець аерофотознімання.

Для отримання аерофотознімків, придатних для подальшої фотограмметричної обробки, необхідно розглянути питання вибору типу аерознімального літака, висоти фотографування та відстані між плановими і висотними розпізнавальними знаками.

Враховуючи точність побудови ЦМР та економічні міркування, необхідно розрахувати оптимальну висоту фотографування і відстань між плановими і висотними розпізнавальними знаками. Для цього використаємо відомі в фотограмметрії формули [3].

Розрахунок висоти фотографування і відстані між висотними вихідними точками здійснюють за формулою

$$m_Z = 0{,}089\frac{H}{b}m_q\sqrt{n^3+154n+56}, \qquad (1)$$

де m_Z – середня квадратична помилка визначення відміток точок із просторової маршрутної фототріангуляції; b – значення базиса на аерофотознімку; m_q – середня квадратична помилка вимірювання поперечних паралаксів; n – кількість базисів між висотними точками опори.

Кількість базисів між плановими розпізнавальними знаками розраховують за формулою

$$m_{x,y} = \frac{0{,}35}{\sqrt{2}}\frac{m}{V}m_q\sqrt{n^3+11n+35}, \qquad (2)$$

де $m_{x,y}$ – середня квадратична помилка визначення планових координат точок із побудови просторових маршрутних мереж фототріангуляції; m – знаменник масштабу аерофотознімання; V – збільшення (для аналітичного методу обробки $V = 3 - 4$); n – кількість базисів між плановими розпізнавальними знаками.

Основні етапи технологічної схеми реалізовано на р.Дністер в районі міста Старий Самбір [1].

2. Вимірювання глибин дна рік. Заслуговує уваги технологія промірів глибин рік, розроблена в Державному підприємстві “Укрінжгеодезія”, що є одним з найважливіших етапів побудови ЦМР. Комплекс робіт з вимірювань глибин р.Дністер проведено з травня по вересень 2006 р. Довжина смуги проведення робіт становить 100 погонних кілометрів. Розглянемо особливості цієї технології.

Згідно з [2] знімальні галси, в напрямку яких рухається катер, запроектовано перпендикулярно до берегової лінії. Координати берегової лінії отримано векторизацією карт масштабу 1:10000 в ПЗ Digitals та сконвертовано в програмне забезпечення HYDROpro Navigation (Trimble). Відстань між галсами становить 50–65м. Загальна кількість запроектованих знімальних галсів – 1735. Контрольні галси проектуються перпендикулярно до основних (вздовж річки) та перетинають основні не рідше ніж у трьох місцях (рис.3.). Сканування дна ріки здійснювали із знімальних галсів за допомогою ехолота.

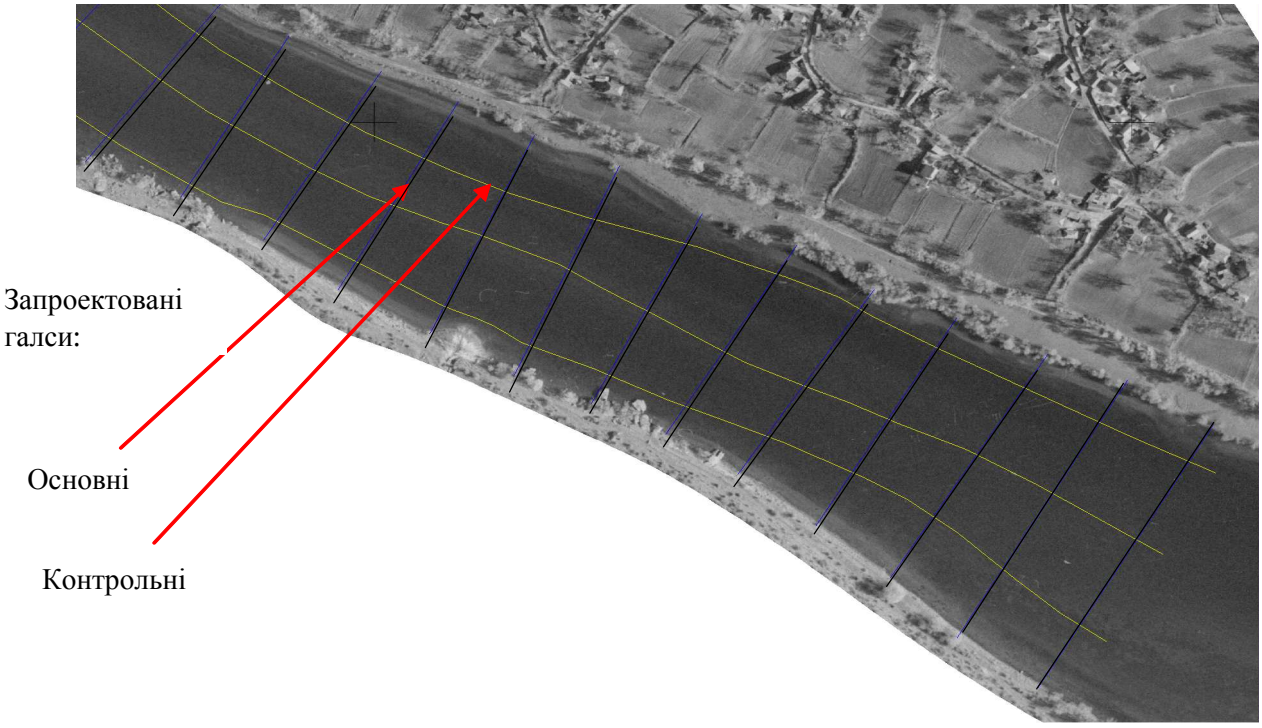


Рис.3. Загальний вигляд ліній запроектованих галсів

Для виконання промірних робіт використано існуючу планово-висотну геодезичну мережу. Щільність пунктів мережі та їх розташування є достатніми для проведення робіт з застосуванням технології визначення координат "кінематика в реальному часі". Використання цієї технології виключає організацію рівневих постів у районі робіт.

Під час проведення польових робіт для вимірювання глибин акваторії р. Дністер було використано такі технічні засоби: двочастотний ехолот, GPS, мобільний комп’ютер. Знімали з

катера “Обь-М”. На борту катера в вертикальному положенні було закріплено металеву трубу, на яку в нижньому кінці закріплена антена ехолота, а на верхньому – антена Zephyr GPS приймача.

До комп’ютера було підключено ехолот та GPS приймач, налаштовано на видачу даних у спеціальних форматах. Програмним забезпеченням (ПЗ) HYDROpro Navigation фірми Trimble виконувалось суміщення цих даних за часом та занесення їх до бази даних. У районі робіт на пункті планово-висотної геодезичної знімальної мережі встановлювалась базова станція з радіомодемом та радіоантеною.

Перед початком проміру було виконано калібрування ехолота. За даними про температуру води було визначено швидкість поширення звуку у водному середовищі. Після вводу цих даних в ехолот точність визначення глибини перевірялась за допомогою віхи. Температура води вимірювалась перед кожним виходом на промірні роботи та під час робіт.

Зчитування та нагромадження даних з приладів (ехолот, приймач) здійснювалось за допомогою ПЗ HYDROpro Navigation через 0.3 с.

Навігацію по запроектованих галсах виконували за допомогою монітора комп’ютера. Стерновий катера на моніторі спостерігав лінію галса, розташування судна відносно нього, фактичну траєкторію руху, азимут, швидкість руху, координати, глибину, профіль дна, відхилення напряму від галса. Проміри по галсах проводили в межах поширення радіохвиль з базової станції.

Результатом проміру були файли даних по кожному галсу, які містили координати антени ехолота, глибини, номери галсів, час отримання даних тощо.

Для забезпечення контролю якості знімальних робіт було проведено проміри на запроектованих контрольних галсах, що перетинали знімальні галси. Внаслідок виконаних промірних робіт проведено 1009072 вимірювання.

3. Обробка результатів промірів глибин. Обробку даних промірів глибини ріки, створення плану дна з уточненням ізоліній виконано на підставі промірних робіт і ортофотопланів, створених за результатами аерофотознімання масштабу 1:8000, проведених ДП “Укрінжгеодезія” у 2005р.

Для обробки даних використано програмне середовище HYDROpro NavEdit фірми Trimble, вона полягає у виявленні та відбракуванні неправильних вимірювань, фільтруванні даних для отримання щільності розташування точок через 5–15 м. Після коригування даних вимірювання глибин ехолотом виконується визначення позначок дна в заданій системі висот (рис.4.).

Оскільки GPS антена була розташована над антеною ехолота, то координати X та Y отриманої глибини залишилися незмінними.

Остаточним результатом обробки даних у програмі HYDROpro NavEdit був каталог координат позначок в текстовому форматі [N X Y Z] в СК-42 та Балтійській системі висот 1977 р.

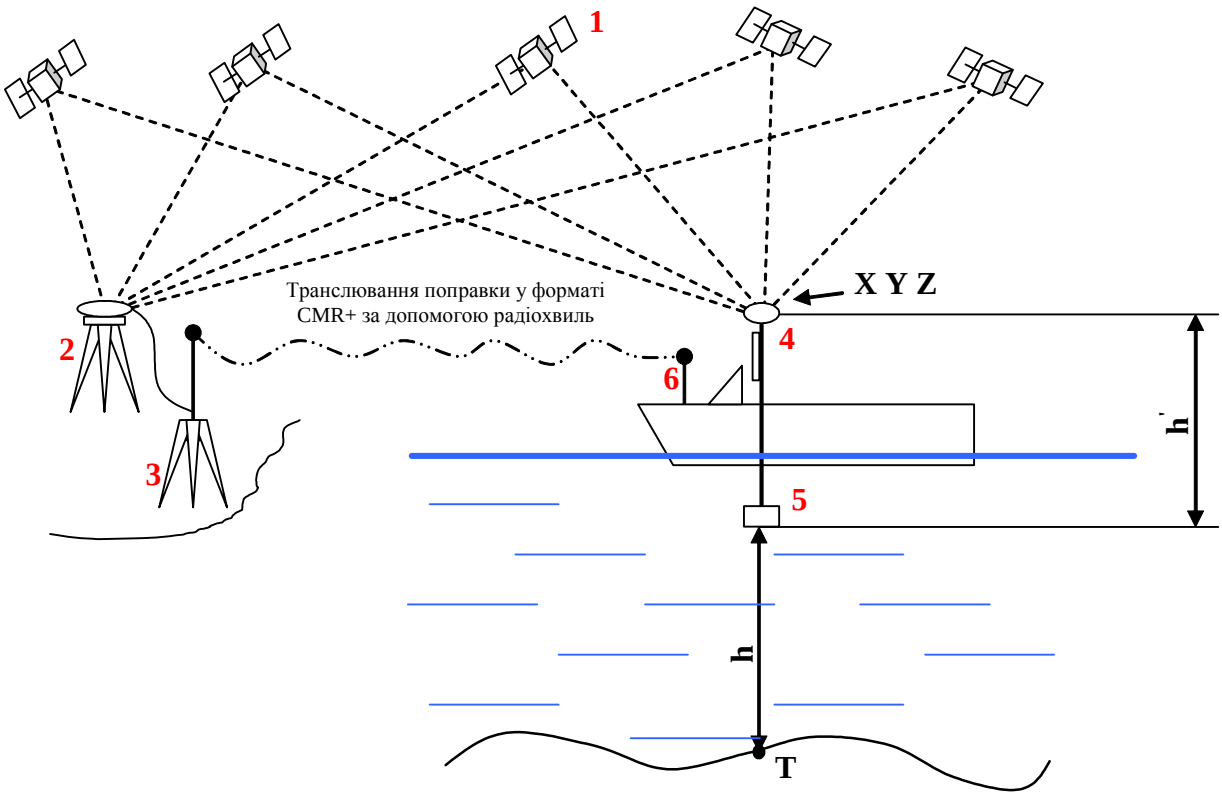


Рис. 4. Схема організації вимірювань глибин:
T – позначка дна в заданій системі координат; h' – відстань від GPS-антени до антени ехолота;
h – глибина, отримана з ехолота; X Y Z – координати в реальному часі; 1– сузір'я супутників GPS;
2 – базова GPS станція; 3 – радіомодем з радіоантеною; 4 – GPS антена; 5 – антена ехолота;
6 – GPS приймач з вбудованою радіоантеною

Обчислення позначок полягає в переході від отриманої позначки GPS антени до абсолютної позначки дна (H_t) за формулою

$$H_t = Z_{(GPS\ldots ант)} - h' - h \qquad (3)$$

Точність знімання підводного рельєфу оцінювалась за двома критеріями:

– середній квадратичній похибці позначок дна (m);

– залишковій систематичній похибці вимірювань глибин.

Середня квадратична похибка визначення позначок точок становить m =0.05м і обчислювалась за різницями вимірювань на контрольних і основних галсах за формулою (4)

$$m = \sqrt{\frac{[\upsilon^2]}{2n}}, \qquad (4)$$

де υ – різниця між значеннями промірів основних і контрольних галсів; n=5381 – кількість різниць.

Допустима середня квадратична похибка обчислена згідно з (5):

$$m_0 = m_0(\%) \times Z, \qquad (5)$$

де $m_0(\%)$ =2,7% – допустима середня квадратична похибка в відсотках для другої категорії складності рельєфу дна, прийнятої проектом на цей вид робіт [2].

Z =2,5м – середня глибина річки в районі робіт.

Отже, m_0 =0,07м.

Допустима розбіжність позначок між контрольними і основними галсами, при тому m_p = 0,13 м. Кількість різниць, що перевищують це значення 365 (7%); а граничних значень, що перевищують $2m_p$ – 47 (1%).

На основі співвідношення різниць похибок було підтверджено критерій допуску залишкової систематичної похибки (6):

$$| [\upsilon] | \leq [|\upsilon|] \qquad (6)$$

Отже, за результатами обчислень можна зробити висновок про відповідність матеріалів знімання Інструкції [2] на виконання цих робіт.

4. Створення плану дна русла ріки. Побудова ЦМР виконується в програмному середовищі Digitals на ЦФС “Дельта”. Після обробки інформації галсів в ПЗ HYDROpro на них залишається багато надлишкових точок. Серед цих точок є такі, які потрапили на різні перешкоди, каміння, водорості, що спотворить цифрову модель. Необхідно провести оптимізацію даних, а також відбракувати помилкові точки.

В ПЗ Digitals помилкові точки можна побачити за допомогою побудови профільних зображень по кожному галсу. Оскільки план рельєфу дна створюється за основними галсами, а контрольні галси використовуються тільки для контролю якості знімальних робіт, то профільні зображення будуються лише по кожному основному галсу.

Обробка галса полягає в видаленні помилкових точок, виборі характерних точок і точок, які задають лінію профілю. Характерні точки вибираються в місцях зміни кута нахилу рельєфу. Для побудови ЦМР залишають точки через кожні 10–15м. Потрібно розрізняти помилкові точки (риба тощо), які треба видаляти з галса, і точки, які потрапили на каміння, низькі водорості тощо.

Характерні точки та точки після розрідження використовуються як точки цифрової моделі, яка створюється у вигляді TIN-моделі. Ці точки є вхідними даними для побудови горизонталей.

Побудована TIN-модель має вигляд, що показаний на рис.5.

За допомогою створеної TIN-моделі можна побудувати горизонталі з заданим перерізом рельєфу.

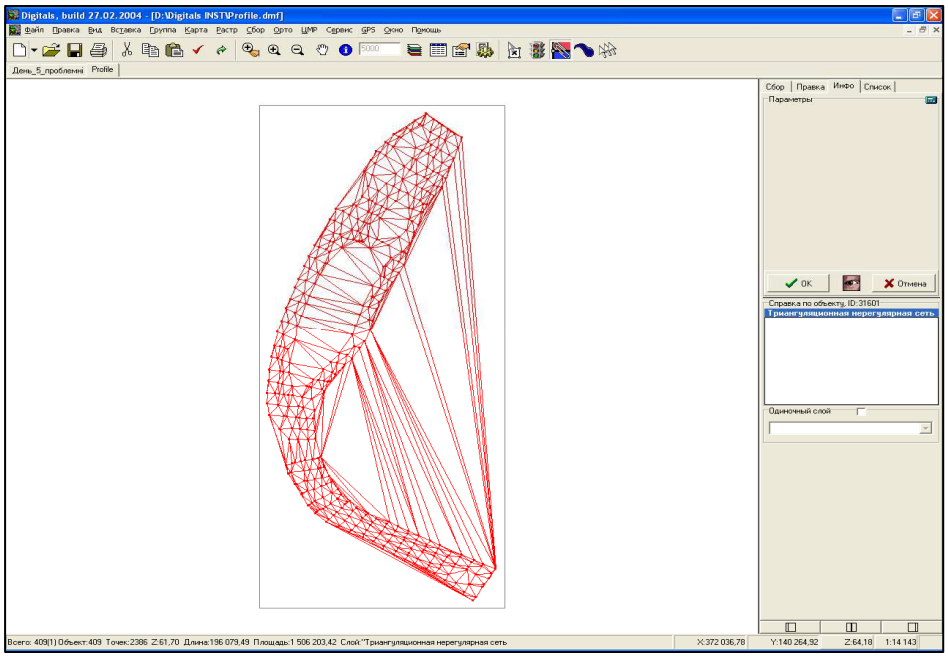
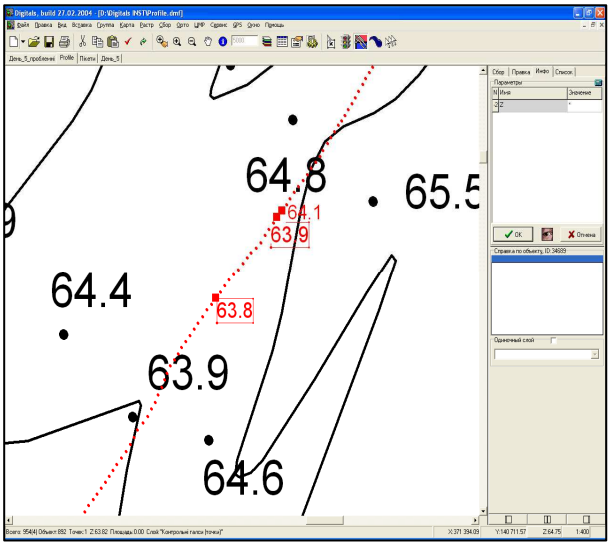


Рис.5. Побудована TIN-модель

Перевірка горизонталей, а саме їх коригування здійснюється за даними перетину основних та контрольних галсів. Для редагування використовують шари з горизонталями, точки контрольних галсів, характерні точки та точки розрідження (рис. 6). Горизонталі виправляються з коригуванням їх планового положення. Виправлені горизонталі мають вигляд (рис. 7).



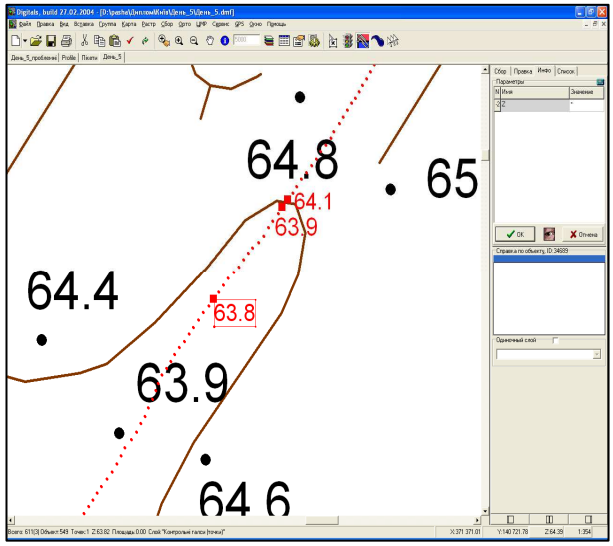


Рис. 6. Горизонталі, які потребують виправлення *Рис. 7. Виправлені горизонталі*

Наступний етап виправлення горизонталей полягає в тому, щоб перевірити їх планове положення із врахуванням щільності зображення ортофотоплану, створеного на цей об’єкт знімання. Виправлення здійснюють у складних місцях русел: за наявності приток, островів, різких поворотів. Таку ділянку показано на рис.8.

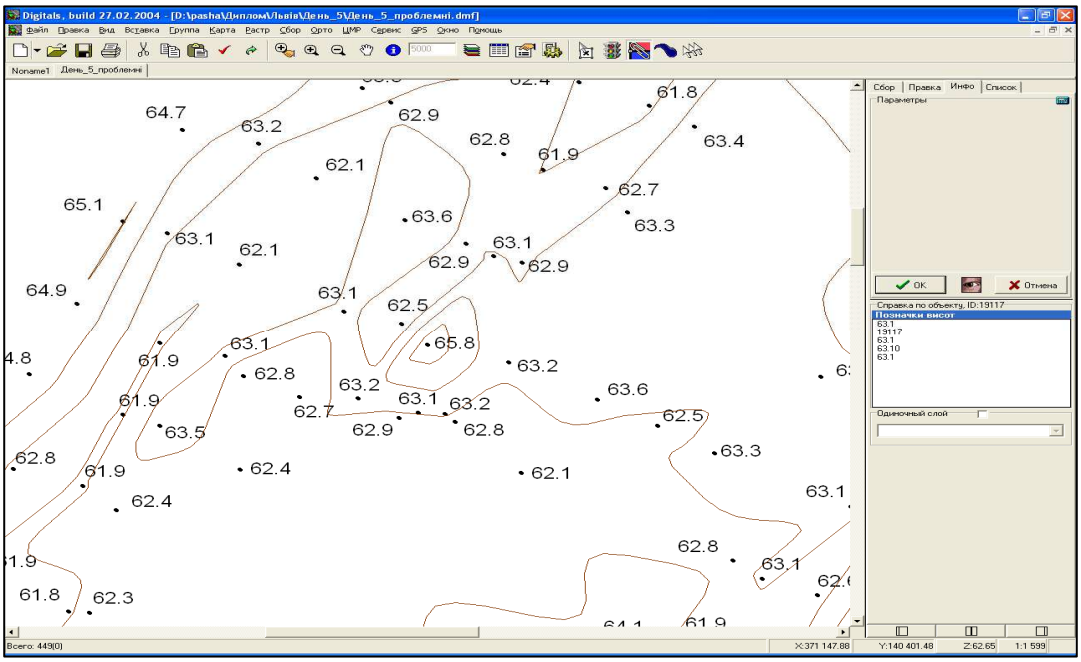


Рис. 8. Ділянка, яка потребує виправлення

Коригування горизонталей здійснено за ортофотопланом (рис. 9).

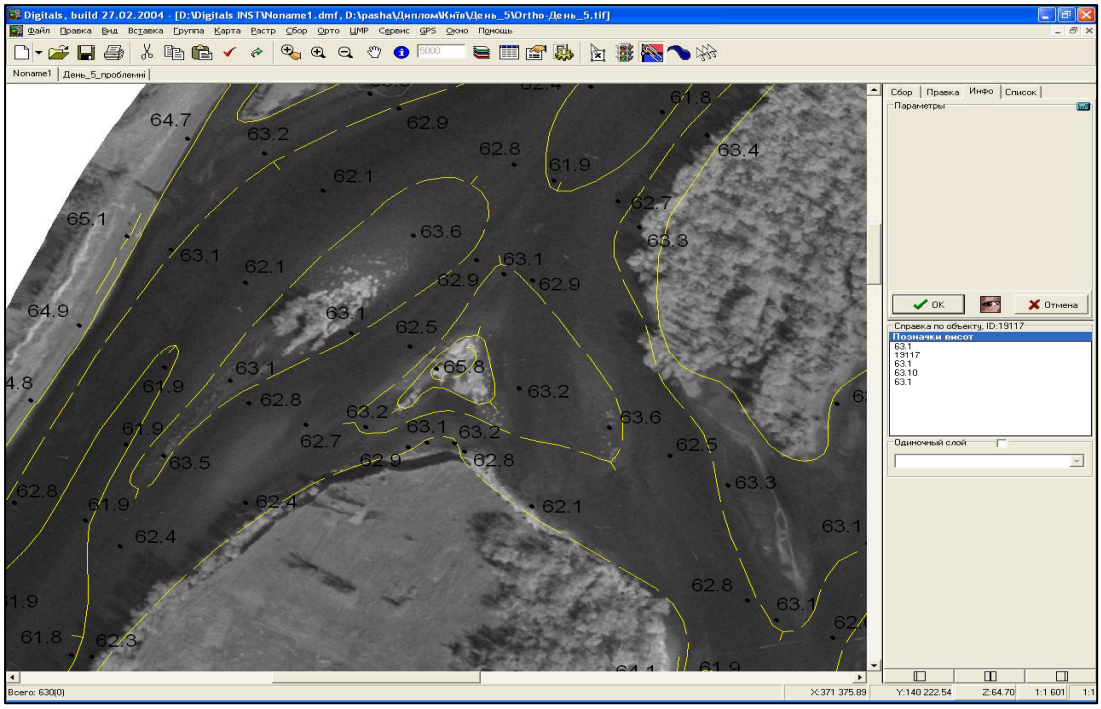


Рис. 9. Виправлені горизонталі з урахуванням зображення ортофотоплану

Висновки

1. Реалізовано технологічну схему побудови високоточної ЦМР для проведення гідрологічних вишукувань, яка передбачає комплекс аерознімальних робіт, промірів глибин та визначення точок ЦМР. ЦМР створено на основі оброблення даних промірів глибин з коригуванням їх відміток на підставі ортофотопланів.

2. Середня квадратична похибка визначення точок ЦМР за результатами порівняння позначок основних і контрольних галсів, на яких здійснювали проміри глибин, становить 0,05м, що свідчить про високу точність проведених робіт.

1. Бурштинська Х.В. Застосування ГІС-технологій для визначення динаміки гідрологічних змін рік // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів. Ліга Прес, 2003. – С.205–210. 2. Инструкцияя по созданию топографических карт шельфа и внутренних водоемов. Утверж. ГУГК 04.12.1985г. – М.: ЦНИИГАИК, 1986. 3. Лобанов А.Н. Фотограмметрия. – М.: Недра, 1984. – 552 с. 4. Лысенко Б.П., Галант М.А. ERSI+DHI Водные объекты и ПК// ArcReview – 1999. – № 3. – с.7. 5. Burshtynska Kh., Tumska O. Computer technology of determination of area of Digital Elevation Model. -19th ISPRS Congress, Vol. XXXIII Work, Gr.IV, Amsterdam, 2000. 6. Bauer P.,Kinzelbach W., Babusi T., Talukdar K., Baltsavias E. Modelling concepts and remote sensing methods for sustainable water management of the Okavango Delta, Botswana // The Int. Arch. of the Photogramm.,Remote Sens. and Spatial Inform. Sciences, Vol. XXXIV, Parth 6/W6. – 2003. – S.136–143.