

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

Корлятович Тетяна Юріївна



УДК 528.3+556.3+556.5

**ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНІВ ВОДИ НА  
ТЕРИТОРІЇ ШАЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ**

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор  
**Мороз Олександр Іванович**,  
директор Інституту сталого розвитку ім. В. Чорновола  
Національного університету «Львівська політехніка»,  
м. Львів;

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор  
**Сидоренко Віктор Дмитрович**,  
завідувач кафедри геодезії  
Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг;

кандидат технічних наук, доцент  
**Кравців Степан Степанович**,  
доцент кафедри конструктивної географії і картографії  
Львівського національного університету ім. Івана Франка,  
м. Львів.

Захист відбудеться «15» березня 2019 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, ауд. 502 II навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «12» лютого 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., доцент



Паляниця Б.Б.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Шацькі озера – найбільша озерна група Волинського Полісся та основний компонент Шацького ландшафту, що сформувався в межиріччі Західного Бугу і Прип'яті. Шацький національний природний парк (ШНПП) є унікальним куточком української природи із значними запасами чистої води, а також з різноманітною флорою і фауною. На його території є 23 озера, загальна площа яких становить 6 тис.га. Найбільшими озерами є Світязь (2750 га), Пулемецьке (1640 га) і Луки (450 га), а найменшими – Навраття і Линовець, які займають по 2 га. Найбільша глибина становить 58,4 м в озері Світязь, а найменша – 1,0 м в озері Зведенка. На цій відносно невеликій території поєднуються унікальні лісові, водно-болотні, лучні й озерні природні комплекси.

Різке зростання інженерно-господарського освоєння Хотиславського піщано-крейдового родовища, а також наявність активних глибинних тектонічних розломів можуть стати причиною екологічної катастрофи на території ШНПП, зокрема, можливе зниження рівнів води в Шацькому поозер'ї та суміжних територіях. На території парку виконують спостереження за коливаннями рівня озера Світязь та відносними коливаннями рівнів ґрунтових і напірних вод в свердловинах за наявними створами і «кущами». Однак жодна зі свердловин ШНПП, у якій вимірюють рівень води, не має прив'язки до Державної геодезичної мережі. Озера ШНПП, окрім озера Світязь, не мають постійних водомірних постів. Тому їх облаштування є першочерговим завданням для вивчення коливання рівнів води озер ШНПП. Значною проблемою на території ШНПП є відсутність розвинутої мережі висотних геодезичних пунктів для прив'язки свердловин, водомірних постів до Державної системи висот. Тому важливим питанням є відновлення та створення висотної геодезичної мережі на території ШНПП для приведення рівнів поверхневих, напірних та ґрунтових вод до Державної системи висот (Балтійська 77) та дослідження динаміки їх змін.

Для моніторингу рівня води озер ШНПП доцільно створювати полігони геометричним нівелюванням за програмою III класу, що задовольняє вимоги точності вимірювання рівня води на водомірних постах, котрі становлять 1 см.

Особливістю території ШНПП є заболоченість, лісистість та значна кількість озер. Це створює труднощі під час прокладання нівелірних ходів, а саме: обхід озер та заболочених ділянок. Виконання вимог Інструкції з нівелювання для III класу (нерівність плеч, видимість між нівеліром та рейкою, та ще й заборона вирубування просік через заповідну територію) в залісненій місцевості змушує збільшувати кількість станцій в нівелірному ході. Це, своєю чергою, призводить до збільшення впливу систематичних похибок нівелювання. Одним із найкращих варіантів розв'язання цього питання є комбінування різних методів нівелювання залежно від умов місцевості (рельєфу, лісистості й заболоченості території). Але для оптимального застосування різних методів нівелювання необхідно провести дослідження з врахуванням впливу атмосфери на геодезичні вимірювання.

Комплексному дослідженню озер поліської зони присвятили свої роботи В. Тимченко, Н. Карпенко, Г. Проць, Л. Ільїн, С. Кутовий, Н. Хомік, St. Lenciewicz, В. Krygowski, J. Kondracki та інші.

Проблемами оптимізації геодезичних мереж та підвищенням точності геодезичних вимірів з врахуванням атмосфери займалися багато вітчизняних та закордонних вчених: К. Третяк, З. Тамутис, А. Островський, Б. Джуман, Д. Масліч, Л. Хижак, Б. Тлустяк, Ф. Заблоцький, І. Тревого, О. Мороз, С. Перій, С. Савчук, О. Кучер, О. Марченко, Т. Ayan, F. Bruner, B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger та інші.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконана робота відповідає науковому напряму кафедри геодезії «Дослідження сучасних методів, геодезичних вимірювань та умов їх виконання і опрацювання» і науковій тематиці робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) та навчально-наукової лабораторії «Опрацювання супутникових вимірювань» Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

**Мета і задача досліджень.** Метою дисертаційної роботи є дослідження динаміки зміни рівнів води на основі зібраних даних геодезичного моніторингу.

У рамках дисертаційної роботи поставлено такі основні завдання:

1. Створити на території ШНПП науково-експериментальний полігон для моніторингу рівнів води та інших наукових досліджень.
2. Дослідити методи нівелювання та запропонувати методику оптимізації висотної геодезичної мережі для моніторингу рівнів вод на території ШНПП.
3. Визначити і закласти в надійних місцях водомірні пости для проведення моніторингу рівнів води озер ШНПП.
4. Дослідити залежність багатолітньої зміни рівня води озера Світязь від сонячної активності, температури повітря та опадів за 30 останніх років.
5. Дослідити залежність сезонної зміни рівня води озера Світязь від температури, вологості повітря та кількості опадів з 2006 до 2017 року.
6. Розробити і впровадити конструкцію мобільного водомірного посту.
7. Запропонувати математичну модель для прогнозування зміни рівня води озера Світязь.

**Об'єкт дослідження** – територія Шацького національного природного парку.

**Предмет дослідження** – методи геодезичного моніторингу та рівні поверхневих, ґрунтових та напірних вод.

**Методи досліджень.** У дисертаційній роботі використано методи математичного опрацювання геодезичних спостережень та порівняльного аналізу отриманих результатів, методи математичної статистики, зокрема: метод кореляційного аналізу – для аналізу взаємозв'язку між рівнями води та метеофакторами; метод найменших квадратів – для визначення коефіцієнтів прогнозуючої аналітичної моделі, створеної за результатами середньорічних даних рівня води на озері Світязь та методи апроксимації функцій. Інформаційною базою досліджень послужили статистичні дані, фондові матеріали, польові дослідження автора. Експериментальна частина досліджень включає польові спостереження різних методів нівелювання.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У роботі отримані такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано методику оптимізації висотної геодезичної мережі для моніторингу рівнів вод та дослідження стійкості водомірних постів (залежно від рельєфу та особливостей місцевості) на території ШНПП.

2. Вперше отримано формулу визначення степеня флуктуацій зенітних відстаней із двосторонніх тригонометричних спостережень, яка потрібна для проектування мереж над водними поверхнями.
3. Удосконалено та апробовано конструкцію мобільного водомірного посту, а також запропоновано методику вимірювання рівня води за допомогою неї.
4. Удосконалено математичну модель і побудовано прогнозування зміни рівня води в озері Світязь на основі даних за період 1985-2017 роки.
5. Встановлено взаємозв'язок зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод ШНПП, які приведено до Державної системи висот.
6. Виявлено залежність багаторічної зміни рівня води озера Світязь від сонячної активності, температури повітря та опадів за період з 1985-2017 років.
7. Встановлено залежність сезонної зміни рівня води оз. Світязь від метеорологічних факторів за період з 2006 до 2017 року.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

1. Методика оптимізації висотної геодезичної мережі на території ШНПП дозволить скоротити час виконання робіт, не погіршуючи точності нівелювання III класу, а також здешевити вартість робіт.
2. Виготовлена конструкція мобільного водомірного посту та запропонована методика вимірювання рівня води дозволяє підвищити точність вимірювання рівня води до 1 мм.
3. Побудована прогноуюча математична модель дає можливість дослідити зміну рівня води оз. Світязь внаслідок впливу діяльності Хотиславського піщано-крейдового родовища.
4. Створені полігони та отримані моніторингові дані про зміну рівня поверхневих вод за 2016-2017 роки можуть використовувати екологи, гідрологи та інші науковці для оцінки й прогнозування екологічних і техногенних змін на території ШНПП.
5. Результати досліджень динаміки зміни поверхневих вод можуть доповнювати геоінформаційну систему ШНПП.
6. Результати досліджень можуть бути впроваджені в навчальний процес для студентів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» в дисциплінах «Геодезія. Частина 1,2», «Геодезія. Частина 3», «Інженерна геодезія».

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковано у співавторстві у працях [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 10; 14; 15; 16; 17; 18; 19] та одноосібно у [8; 11; 12; 13]. В опублікованій праці [3] автору належить збір та аналіз інформації про Хотиславське піщано-крейдове родовище, ШНПП та рекомендації щодо дослідження екологічного стану заповідної території геодезичними методами; в працях [6; 11; 12] – рекогностування геодезичних пунктів та реперів, створення та розвиток висотної основи на території ШНПП; в працях [7; 9; 10; 15; 16; 17; 18; 19] – моніторинг поверхневих вод Шацького поозер'я, опрацювання та аналіз результатів моніторингу рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод на території ШНПП. У роботах [1; 4; 5; 13; 14] – опрацювання результатів експериментальних досліджень методів нівелювання: геометричного способом «вперед-назад», тригонометричного нівелювання над водною поверхнею способами: «через точку», «зі середини», рефракційного базиса та неоднчасного

двостороннього тригонометричного нівелювання, та їх аналіз. У роботі [2] – дослідження рефракційного поля над озером Пісочне й Бережанським ставом та дослідження значення степеня флуктуацій zenітних відстаней для всіх ліній над досліджуваними водоймами. У роботі [8] – дослідження конструкції мобільного водомірного посту та аналіз результатів.

**Апробація результатів роботи.** Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на:

1. XX Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України «GEOFORUM'2015», 22-24 квітня 2015 р., Львів-Брюховичі-Яворів, Україна;
2. XXI Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України «GEOFORUM'2016», Львів-Брюховичі-Яворів, 13-15 квітня 2016 року;
3. XV Міжнародному науковому семінарі «Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи», Світязь, 4-8 липня 2016 року;
4. VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Нові технології в геодезії, землекористуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні», Ужгород-Синевірська поляна, 6-8 жовтня 2016 року;
5. Міжнародній практичній конференції, присвяченій 70-річчю кафедри геодезії та геоінформатики Львівського національного аграрного університету «Актуальні завдання топографо-геодезичного забезпечення в землеустрої та земельному кадастрі», Дубляни, 25 листопада 2016 року;
6. Міжнародній науково-технічній конференції «Geoterrace-2016», Львів, 15-17 грудня 2016 року;
7. Міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації», Івано-Франківськ, 22-25 березня 2017 року;
8. XXII Міжнародній науково-технічній конференції «GEOFORUM'2017», Львів-Брюховичі-Яворів, 24-27 квітня 2017 року;
9. XVI Міжнародному науковому семінарі «Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи», Світязь, 3-7 липня 2017 року;
10. Науковій конференції «Стан і біорізноманіття екосистеми Шацького національного природного парку та інших природоохоронних територій», с.м.т. Шацьк, 7-10 вересня 2017 року;
11. VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку», Львів-Східниця, 14-16 вересня 2017 р;
12. V Міжнародній науково-практичній конференції «Шацький національний природний парк в структурі екомережі Західного Полісся», Світязь, 6-8 жовтня 2017 рік;
13. Міжнародній науково-технічній конференції «Geoterrace-2017», Львів, 14-16 грудня 2017 року;
14. Міжнародному науковому симпозіуму SDEV-2018 «Сталий розвиток – стан та перспективи», Львів-Славськ, 28 лютого-3 березня 2018 року;

15. XXIII Міжнародній науково-технічній конференції «GEOFORUM'2018», Львів-Брюховичі-Яворів, 18-20 квітня 2018 року.

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 19 наукових праць. Шість статей у наукових фахових виданнях України, дві входять до наукометричної бази даних Index Copernicus. Одинадцять у збірниках тез наукових конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (155 найменувань) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок, ілюстрації складають: 98 рисунків, 51 таблицю, додатки А-Г.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, сформульовано основні положення, які виносяться на захист, викладено відомості про апробацію роботи, повноту результатів публікацій та їх впровадження.

У першому розділі дисертаційної роботи «**Загальні відомості про ШНПП, методи нівелювання та методи визначення рівня води**» висвітлено гідрологічну ситуацію на території ШНПП, пов'язану з початковим етапом II-ої черги експлуатації Хотиславського піщано-крейдового родовища.

На Хотиславському родовищі видобуток крейди планується здійснювати трьома уступами до глибини 45 метрів, із фронтом експлуатації до 100 метрів, з водопритоком 27,5 тис.м<sup>3</sup>/добу. Прогнозне моделювання умов експлуатації родовища показало, що здійснення водопониження на кінцевий період експлуатації кар'єру до глибини 45 метрів спричинить формування депресійних ліжок у верхньокрейдovому і четвертинному водоносних горизонтах розміром 10,5 км в субмеридіональному і 15 км у субширотному спрямуваннях. Висока водонаповненість четвертинних відкладів і значна величина кар'єрного водопониження призведе до формування водопритоку у відкритий кар'єрний простір через інтенсивні витрати ємкісних запасів ґрунтових вод.

Обґрунтовано необхідність комплексного моніторингу: геодезичного та гідрологічного в зоні можливого впливу кар'єру «Хотиславський». Для цього проаналізовано сучасний стан геодезичних пунктів на території ШНПП. Виявлено, що на території парку наявних пунктів державної геодезичної мережі недостатньо для забезпечення моніторингу рівнів вод.

Розглянуто сучасні методи визначення рівня води. Виявлено, що точність усіх методів визначення рівня води є не точніше 1см. Показано необхідність модернізації відомих методів і технічних засобів одержання гідрологічної інформації.

Розглянуто основні групи чинників, які впливають на зміну рівня води: кліматичні, геологічні, гідрологічні, біолого-ґрунтові та штучно створені.

У другому розділі дисертаційної роботи «**Експериментальні дослідження методів нівелювання та оптимізація висотної геодезичної мережі ШНПП**» виконано експериментальні дослідження методів нівелювання та запропоновано методикку оптимізації висотної геодезичної мережі ШНПП.

Для моніторингу рівнів поверхневих, напірних та ґрунтових вод ШНПП і зв'язок їх в Державну систему висот (Балтійська 77), для виявлення та запобігання негативних процесів спричинених експлуатацією Хотиславського родовища,

створено наукову експериментальну висотну геодезичну мережу на території ШНПП, яка складається з 3 полігонів (23 пункти) загальною довжиною 59,4 км. Схему полігонів представлено на рис. 1.



Рис.1. Схема висотних полігонів на території ШНПП

Створення полігонів для моніторингу рівня води цієї групи озер доцільно виконувати за програмою нівелювання III класу, оскільки вимоги щодо точності вимірювання рівня води становлять 1 см. Середньоквадратична похибка (СКП) нівелювання висотної геодезичної мережі на станції та на 1 км ходу за нев'язками в полігонах (за 2017 рік) становить  $m_{ст}=0,29$  мм, а  $m_{км}=0,84$  мм.

Територія ШНПП не є однотипною, оскільки уміщує багато озер різної площі, заболочених ділянок, великі території, вкриті лісами. Тому доцільно використовувати не якийсь один вид нівелювання для всієї території ШНПП, а комбінацію методів. Для того, щоб визначити, який вид нівелювання найбільше підходить для різних територій ШНПП, необхідно виконати дослідження найновіших методів і методик нівелювання, які були переважно розроблені в Інституті геодезії Національного університету «Львівська політехніка», щоб оптимізувати їх застосування для території ШНПП.

#### *Дослідження двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад»*

Для дослідження двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад» вибрано ділянку створеного полігону ст. рп. «Пошта» - ст. рп. № 630. Експериментально доведено, що спосіб геометричного нівелювання «вперед-назад» прискорює процес нівелювання на 15% через зменшення витрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч і висоти візирного променя.

#### *Дослідження методики неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання*

Для дослідження неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання було вибрано 2 ходи висотного полігона, між пунктами ст.рп. «Пошта» - п. «Свердловина» та закл. точка «ЛЕП» - ст. рп. «Пілон». Під час нівелювання застосовували трьохштативну систему, яка передбачає послідовне встановлення приладу на наступну станцію із установленням на його місце відбивача. В обох ходах на початковому та кінцевому пунктах вимірювали висоту приладу й відбивачів, а на проміжних пунктах такі вимірювання не виконувалися. Таким чином, похибки за вимірювання висот установлення приладу та візирних цілей повністю виключені. Результати порівняльного аналізу двостороннього неодночасного



тригонометричного нівелювання із геометричним нівелюванням III класу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Порівняння результатів геометричного III класу та неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання**

Назви початкових реперів	Назви кінцевих реперів	Геометричне нівелювання		Тригонометричне нівелювання				
		h геометр (м)	К-ть станцій, n	К-ть станцій, n	h Двост. нівел. (м)	$\Delta h_1$ (мм)	h Двост. нівел. з флюктуаціями зенітних відстаней (м)	$\Delta h_2$ (мм)
ЛЕП	Пілон	1,080	56	10	1,084	4	1,079	1
Пошта	Свердловина	-8,410	49	12	-8,414	4	-8,412	2

Доведено, що методика прокладання висотних ходів із застосуванням неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання без вимірювання висот приладу та відбивачів на станціях (вимірюється лише на початковій або кінцевій точках) усуває похибки їх вимірювань та може застосовуватися для створення нівелірної мережі замість геометричного нівелювання. Показано, що ця методика має ряд переваг над геометричним нівелюванням: кількість станцій у ході довжиною 3,5 кілометра зменшується приблизно в 5 разів, що, своєю чергою, скорочує час виконання робіт на 30%. А також зменшується кількість членів бригади з 7 до 5 осіб.

*Дослідження тригонометричного нівелювання над водною поверхнею*

Для дослідження двох методів нівелювання: геометричного та неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання було вибрано ділянку висотного полігона, де прокладали нівелірний хід III класу через ліс із обходом озера Пісочне. Довжина нівелірного ходу ПП2-ПП10 становить 1,5 км.

Для експерименту, на березі озера закладено 4 пункти  $T_1, T_2, T_3, T_4$  таким чином, щоб утворилися 2 трикутники ( $\Delta T_1 T_2 T_3, \Delta T_1 T_2 T_4$ ) із взаємною видимістю між точками (рис. 2). На цій мережі виконано дослідження точності різних методів тригонометричного нівелювання: двостороннього неодноразового, «зі середини», «через точку» та «рефракційного базиса». Зведені результати порівнянь між геометричним та тригонометричним нівелюванням показані в таблиці 2.

Таблиця 2

**Зведені результати порівнянь між геометричним та тригонометричним нівелюванням**

Метод «із середини»		Метод «через точку»		Метод рефракційного базису		Двостороннє неодноразове тригоном. нівелювання	Зрівноваження методом найменших квадратів по вагах	
$\Delta 123$	$\Delta 124$	$\Delta 123$	$\Delta 124$	Короткі лінії	Довгі лінії		$\Delta 123$	$\Delta 124$
-0,005	-0,008	0,010	0,017	-0,032	0,017	0,0035	0,002	0,003

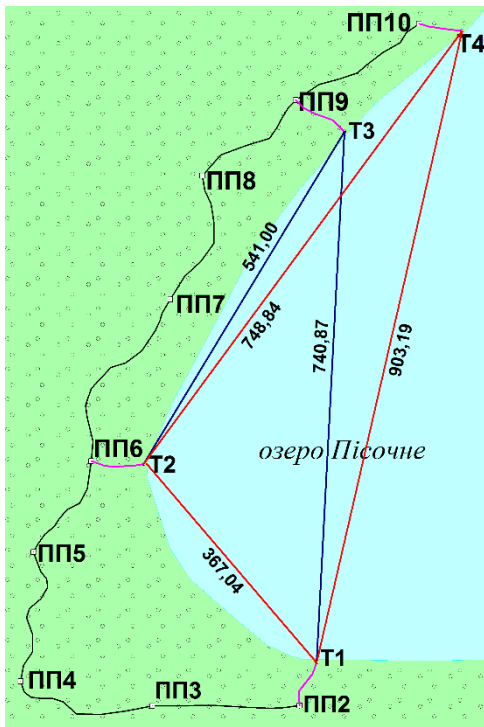


Рис. 2 Схема спостережної мережі на оз. Пісочне

Аналіз опрацьованих вимірів над озером Пісочне показав, що найкращі результати з порівняння геометричного та тригонометричного нівелювання отримано за зрівноваженням аналітичних мереж методом найменших квадратів із застосуванням ваг. Якісні результати визначення перевищення отримано із двостороннього неодночасного нівелювання та тригонометричного нівелювання методом «зі середини». У два рази гірші за попередні результати отримано за тими ж самими даними із тригонометричного нівелювання методом «через точку». Це перш за все пояснюється тим, що спостереження цим методом виконувалися неодноразово.

Визначення перевищень із застосуванням методу рефракційного базису показало значно гірші результати.

#### Дослідження рефракційного поля

Для підвищення точності тригонометричного нівелювання над водними поверхнями запропоновано формулу обчислення степеня флуктуацій зенітних відстаней під час двосторонніх спостережень. Степень  $b$  визначено із формули обчислення перевищення двостороннього тригонометричного нівелювання із використанням флуктуацій зенітних відстаней, заміною значення перевищення двостороннього тригонометричного нівелювання  $h_{AB}^{дв.мп.}$  на перевищення із високоточного геометричного нівелювання  $h^{геом.}$ . Для спрощення виразів зроблено заміну частини формули на коефіцієнт  $A$ . Тоді остаточна формула визначення степеня флуктуацій зенітних відстаней набула вигляду (2):

$$A = \frac{\left[ \left( \frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2} \right) - h^{геом.} \right]}{\left( \frac{h_{AB}^1 + h_{BA}^1}{2} \right)}, \quad (1) \quad b = \frac{\ln\left(\frac{1+A}{1-A}\right)}{\ln\left(\frac{m_{Z_{AB}}}{m_{Z_{BA}}}\right)}, \quad (2)$$

де  $h^{геом.}$  – перевищення, отримане із геометричного нівелювання;  $h_{AB}^1$ ,  $h_{BA}^1$  – взаємо-зворотні перевищення без врахування вертикальної рефракції;  $m_{Z_{AB}}$  і  $m_{Z_{BA}}$  – флуктуації зенітних напрямків, визначені за період спостережень із 10-ох прийомів.

Дослідження рефракційного поля виконувалося над озером Пісочне та Бережанським ставом. Схема експерименту над озером Пісочне зображена на рис. 2, а над Бережанським ставом на рис. 3.

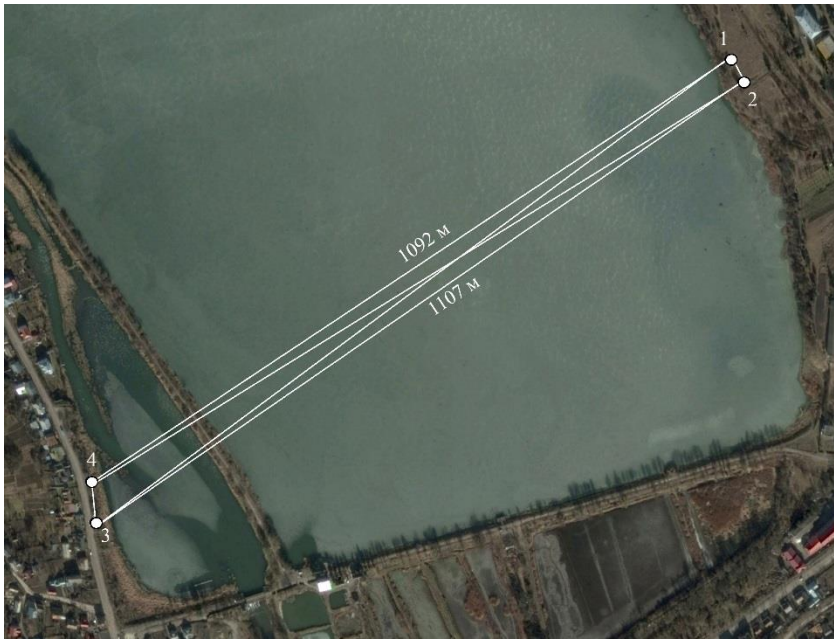


Рис. 3 Схема експерименту над Бережанським ставом

Для експерименту над Бережанським ставом вибрані 4 пункти, по 2 на правому та лівому берегах (рис. 3). Попередньо перевищення між цими пунктами визначено цифровим нівеліром Dini 03 із використанням інварних рейок за програмою геометричного нівелювання II класу. Дослідження рефракційного поля виконувалося над водною поверхнею таким чином, що промінь проходив на висоті приблизно 10 метрів.

За отриманими результатами двосторонніх спостережень обчислено інтегральні аномальні коефіцієнти вертикальної рефракції для кожної лінії на 2 водоймах. Проаналізувавши знак та величину інтегральних аномальних коефіцієнтів вертикальної рефракції, бачимо нестійку стратифікацію атмосфери над озером Пісочне та стійку стратифікацію атмосфери над Бережанським ставом у період спостережень.

Було виконано дослідження значення степеня флуктуацій зенітних відстаней для ліній на озері Пісочне. Для цього було обчислено перевищення за формулою визначення перевищення двостороннього тригонометричного нівелювання із використанням флуктуацій зенітних відстаней для різних значень степенів:  $1/2, 1/3, -1/6, -1/3, -1/2, -2/3$ . Ці перевищення порівняли із перевищеннями, отриманими за результатами багаторазового геометричного нівелювання III класу.

Для ліній над Бережанським ставом було обчислено перевищення за цією ж формулою із різними значеннями степенів:  $-1, -2/3, -1/3, 0, 1/3, 1$ . Крім цього, обчислено перевищення із врахуванням еквівалентних висот, замість флуктуацій зенітних відстаней. Еквівалентні висоти променів визначено по лініях 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 і становлять 10 м, а по лініях 3-1, 3-2, 4-1, 4-2 становить 5 м. Ці перевищення порівняли із результатами перевищень, одержаних із геометричного нівелювання II класу. Було обчислено реальні значення степенів флуктуацій зенітних відстаней для кожної лінії 2 водойм за виведеною формулою (2). Визначено середнє значення степеню для озера Пісочне та Бережанського ставу.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що флуктуації зенітних відстаней для визначення перевищень для стійкої стратифікації атмосфери більше пов'язані з динамічною турбулентністю і тому степені при них мають від'ємні значення під час визначення часткових величин вертикальної рефракції в межах від  $-1$  до  $-0,3$ . Встановлено, що для стійкої стратифікації за умов динамічної турбулентності для визначення часткових величин вертикальної рефракції краще

застосовувати еквівалентні висоти. А під час нестійкої стратифікації для двостороннього тригонометричного нівелювання рекомендується застосовувати степені при флуктуаціях zenітних відстаней в межах від +1 до +0,3. Результати дослідження можна використовувати для підвищення точності тригонометричного нівелювання над водними поверхнями ШНПП.

#### *Дослідження визначення перевищень методом GNSS*

Дослідження точності визначення перевищень методом GNSS було виконане у 2017 році на 2 ділянках висотного полігона: п.тр. «Острів'я» - п.тр. «Городище» та п.тр. «Плотиччя» - п.тр. «Люцимер». Довжина першого ходу становить 3,9 км, а другого – 4,2 км. Визначивши висоту квазігеоїда з моделі EGM 2008 та ввівши її у перевищення, точність зросла до рівня III класу нівелювання. Отже, GNSS-спостереження можна використовувати для контролю стабільності пунктів висотної геодезичної мережі ШНПП.

#### *Оцінка точності методів нівелювання*

Виконано оцінку точності кожного досліджуваного методу для відстані 1000 метрів і встановлено, що за точністю класичному геометричному нівелюванню поступається одностороннє тригонометричне нівелювання, тригонометричне нівелювання методом «через точку» та методом рефракційного базису, всі інші методи можуть використовуватися для заміни геометричного нівелювання на території ШНПП.

Виконано порівняння СКП визначення висотного положення реперів висотної геодезичної мережі на території ШНПП класичним методом та комбінуванням різних методів нівелювання. Встановлено, що СКП визначення висотного положення реперів в обох випадках не перевищує 5 мм і є в межах точності вимірювань.

#### *Оптимізація висотної геодезичної мережі*

Запропоновано методику оптимізації висотної геодезичної мережі. Критеріями оптимізації висотної геодезичної мережі є точність та час виконання польових робіт. Пошук оптимального значення функції повинен задовольняти такі умови: час виконання робіт повинен бути мінімальний, а точність не перевищувати 1/3 величини багаторічної швидкості зміни рівня води озера Світязь.

Цю задачу розв'язано методом лінійного програмування в програмному середовищі Mathcad. Математична модель цієї задачі набула вигляду (3):

$$F(x) = x_1 + \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{s} \right) \times C_t + \left( \frac{\sum_{j=1}^m x_j \times 2}{d} \right) \times C_g \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $x_1$  – час виконання GNSS-вимірів;  $x_i$  – довжина ходу тригонометричного нівелювання;  $s$  – довжина сторони тригонометричного нівелювання;  $C_t$  – час виконання тригонометричного нівелювання на 1 станції;  $x_j$  – довжина ходу геометричного нівелювання;  $d$  – довжина сторони геометричного нівелювання;  $C_g$  – час виконання геометричного нівелювання на 1 станції.

Пошук мінімального значення функції  $f(x)$  повинен задовольняти такі умови:

$$\begin{aligned} t_1 &\leq x_1 \leq t_2 \\ x_i &\geq 0, \quad x_j \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$x_i + x_j = D_n \quad (5)$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{nT}^2 + m_{nH}^2} \leq \frac{V}{3}, \quad (6)$$

де  $D$  – довжина ходу від GNSS пункту до пункту водомірного посту;  $m_{GNSS}$  – СКП визначення перевищення GNSS вимірами;  $m_{nT}$  – СКП визначення перевищення ходу тригонометричним нівелюванням;  $m_{nH}$  – СКП визначення перевищення ходу геометричним нівелюванням;  $V$  – швидкість зміни рівня води оз. Світязь за період 1985-2017 рр., що дорівнює 7 см/рік.

Запропоновано створити GNSS-мережу з 4 пунктів висотної мережі і перманентної станції SHAZ. Пункти було вибрано через близьке розташування до водомірних постів та відкритий горизонт біля них. Від пунктів GNSS-мережі прокладено 8 нівелірних ходів для дослідження контролю стабільності реперів водомірних постів (рис. 4). Порівняння результатів моделювання оптимальних мереж за розробленою методикою було виконано для 4 категорій складності території (табл. 3). Результати моделювання оптимальних мереж наведено у таблицях 4,5.

Таблиця 3

### Характеристики категорій складності територій

Величини	Категорії складності територій			
	I	II	III	IV
Довжина сторін тригонометричного нівелювання, (м)	600	400	200	100
Довжина сторін геометричного нівелювання, (м)	150	130	110	100
Мінімальна висота супутників над горизонтом, °	10°	15°	20°	25°



Рис. 4 Схема нівелірних ходів для дослідження контролю стабільності реперів водомірних постів

Таблиця 4

### Результати моделювання оптимальних мереж для I та II категорій складності території ШНІІІ

I категорія складності						II категорія складності							
GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання			Геометричне нівелювання	GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання			Геометричне нівелювання		
Час (год)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)	Час (год)	Час (год)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)	Час (год)
22,2	5,8	15,8	1	1975	5,8	-	5	10,0	23,6	1	1975	4,6	-
			2	7616	11					2	7616	9,0	
			3	3104	7,3					3	3104	5,7	
			4	2676	6,8					4	2676	5,3	
			5	3810	8,1					5	3810	6,4	
			6	4292	8,6					6	4292	6,7	
			7	11009	14					7	11009	11,0	
			8	3360	7,6					8	3360	6,0	
38 години		Загальний час виконання польових робіт				28 годин		Загальний час виконання польових робіт					



## Результати моделювання оптимальних мереж для III та IV категорії складності території ШНПП

III категорія складності							IV категорія складності									
GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання			Геометричне нівелювання	GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання			Геометричне нівелювання					
Час (год)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)	Час (год)	Час (год)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)
3,2	13,0	47,3	1	1975	3,3	-	16,2	9,5	46,7	1	-	-	25	1	1975	10,0
			2	7616	6,5					2	5381	4,7		2	2235	11,0
			3	3104	4,2					3	466	1,4		3	2638	12,0
			4	2676	3,9					4	-	-		4	2676	12,0
			5	3810	4,6					5	1235	2,3		5	2575	11,0
			6	4292	4,9					6	1760	2,7		6	2532	11,0
			7	11009	7,9					7	9076	6,1		7	1933	10,0
			8	3360	4,3					8	745	1,8		8	2615	11,0
50,5 години		Загальний час виконання польових робіт					93,5 години		Загальний час виконання польових робіт							

Із отриманих результатів можна зробити висновки:

- на відкритій місцевості й хорошій видимості найкраще застосовувати тригонометричне нівелювання.
- для 4 категорії складності найкраще виконувати геометричне нівелювання, у ходах, довжина яких не перевищує 3 км. А для ділянок довжиною понад 3 км рекомендовано виконувати комбінування геометричного й тригонометричного нівелювання.

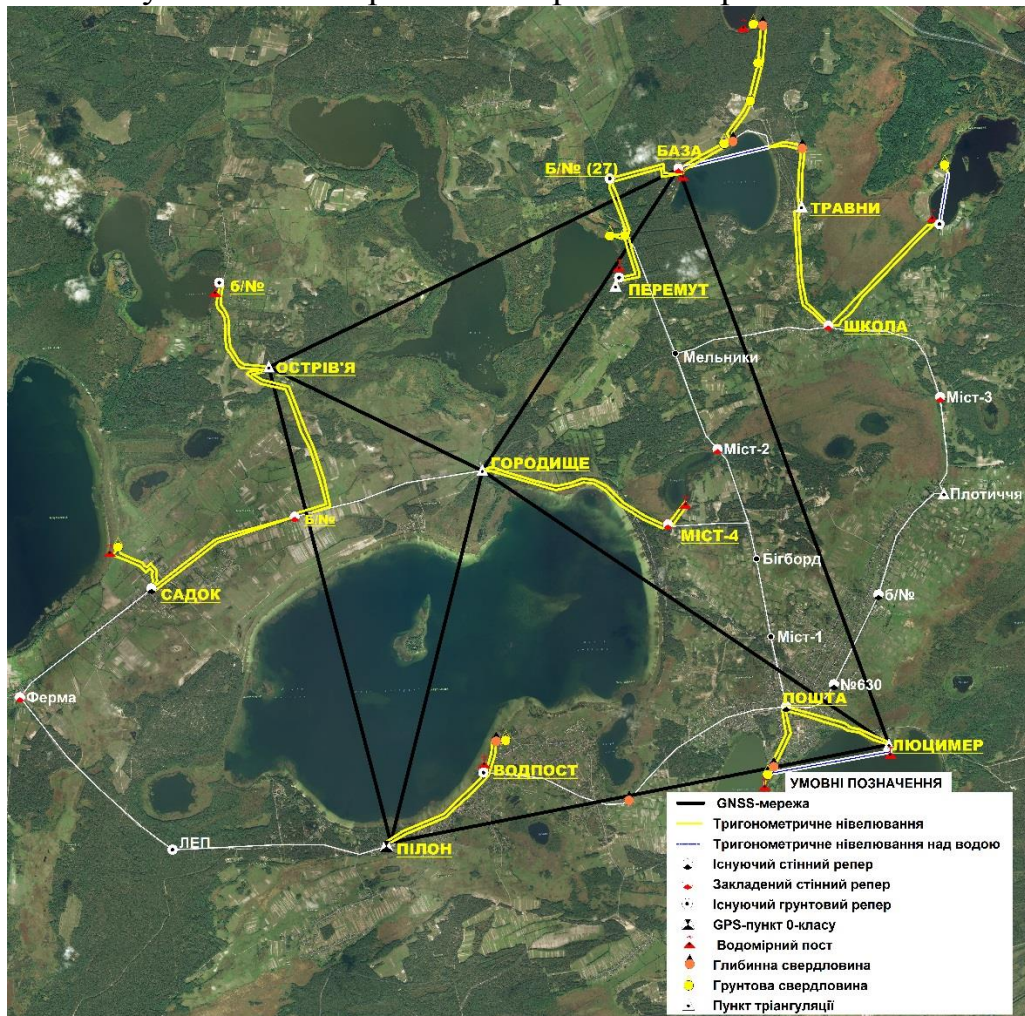


Рис. 5 Схема оптимізації висотної геодезичної мережі

Встановлено, що територія ШНПП в загальному відповідає 3 категорії складності. На основі цього складено схему-рекомендацію виконання повторного нівелювання різними методами (рис. 5).

Прив'язки водомірних постів та свердловин на озерах Світязь, Пулемецьке, Острів'янське, Перемут, Соменець, Мошне запропоновано виконувати тригонометричним нівелюванням, а на озерах Чорне Велике, Кримне, Пісочне – комбінацією тригонометричного нівелювання над різними підстиляючими поверхнями.

У третьому розділі дисертаційної роботи «**Геодезичний моніторинг та прогнозування зміни рівнів води на території ШНПП**» показано результати виконаного моніторингу зміни рівнів поверхневих вод Шацького поозер'я протягом 2016-2017 років на додатково закладених водомірних постах на 9 озерах: Пісочне, Кримне, Мошне, Перемут, Люцимер, Соменець, Острів'янське, Чорне Велике, Пулемецьке.

Виконано оцінку стійкості реперів водомірних постів. Встановлено, що величина осідання реперів за 2 роки є в межах допуску, тобто пункти є стабільними.

#### *Мобільний водомірний пост*

Сконструйовано мобільний водомірний пост і запропоновано методику вимірювання рівня води за допомогою нього та лазерної рулетки Leica Disto A3.

Пост являє собою 80-сантиметрову трубу діаметром 50 мм, з отворами у нижній частині для надходження води у середину труби. Зверху труби є накладна підставка з отвором для вимірювання рівня води через нього лазерною рулеткою та з гвинтами для встановлення підставки у горизонтальне положення. Підставка може бути оснащена сферичним рівнем. Схема мобільного водомірного посту зображена на рисунку 6.

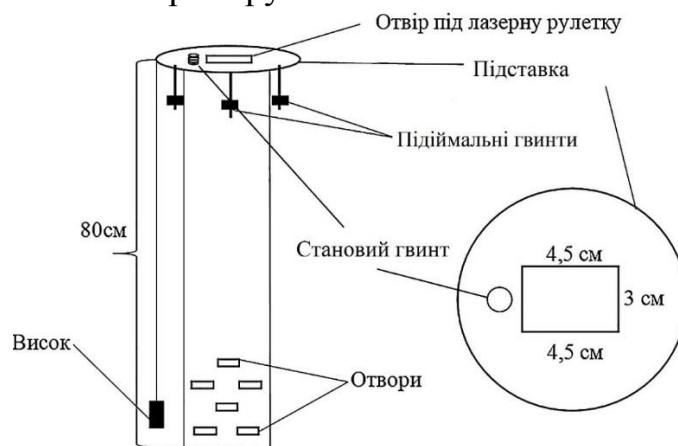


Рис. 6 Схема запропонованого мобільного водомірного посту

Оскільки берегова лінія озер ШНПП не завжди відкрита (багато озер знаходяться в лісі), тому неможливо використовувати для вимірювання перевищення між основним репером та мобільним водомірним постом якийсь один вид нівелювання. Для застосування різних видів нівелювання мобільний водомірний пост оснащений становим гвинтом, щоб встановлювати на нього прилад або відбивач. Конструкція мобільного водомірного посту є універсальною для вимірювання перевищень між основним репером та мобільним водомірним постом різними методами нівелювання: тригонометричним, геометричним та застосування GNSS вимірів (рис. 7).



а) б) в) г) д)

Рис. 7 Можливості застосування конструкції мобільного посту  
 а), г) конструкція з відбивачами б) конструкція з GNSS-приймачем  
 в) конструкція з GNSS-приймачем та відбивачем д) конструкція з рейкою

#### Дослідження рівнів води ШНПП

Для дослідження взаємозв'язку між рівнями поверхневих, ґрунтових та напірних вод їх приведено до Державної системи висот (Балтійська 77). Проаналізовано зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод в Державній системі висот на території ШНПП за 2016-2017 роки. Результати досліджень показано в таблиці 6. Встановлено, що зміна рівня напірних вод відбуваються швидше на 3 місяці відносно поверхневих вод оз. Світязь, Чорне Велике та Люцимер.

Таблиця 6

#### Коефіцієнти кореляції зміни рівнів поверхневих, напірних та ґрунтових вод

№ п/п	Назва озера	Назва свердловини	Коефіцієнт кореляції	№ п/п	Назва озера	Назва свердловини	Коефіцієнт кореляції
1	Перемут	26	0,75	12	Світязь	12	0,08
2		27	0,71	13		13	0,47
3	Пісочне	Червонець	0,68	14		7у	0,84
4		6у	0,72	15		2н	-0,06
5	Мошне	4н	0,91	16		2у	0,71
6		4у	0,82	17		Чорне Велике	2н
7		5у	0,81	18	2у		0,91
8		6у	0,73	19	Люцимер	2н	-0,1
9		Червонець	0,73	20		2у	0,85
10	Кримне	3	0,85				
11		Червонець	0,61				

#### Дослідження багаторічного та сезонного коливання рівня води озера Світязь

Для того, щоб з'ясувати чи впливає розробка Хотиславського піщано-крейдового родовища на зміну рівня води в озерах і свердловинах, виконано дослідження впливу температури повітря, вологості, кількості опадів, сонячної активності на багаторічні та сезонні коливання рівня води оз. Світязь.

Досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та температурою повітря (рис.8). Встановлено, що середнє значення коефіцієнта кореляції між температурою та рівнем води становить 0,41 за період з 1985-2017 рр.

Під час дослідження взаємозв'язку сезонного (річного) коливання рівня води та температури повітря за період 2006-2017 рр. було встановлено середній період



зміщення між ними і він становить в середньому 2 місяці. За досліджуваний період, залежно від року, коефіцієнт кореляції коливався в межах від -0,17 до 0,8. На (рис. 9) зображено взаємозв'язок сезонного коливання (річного) рівня води та температури повітря на прикладі 2016 року коефіцієнт кореляції становить 0,55, а при врахуванні зміщення – 0,96.

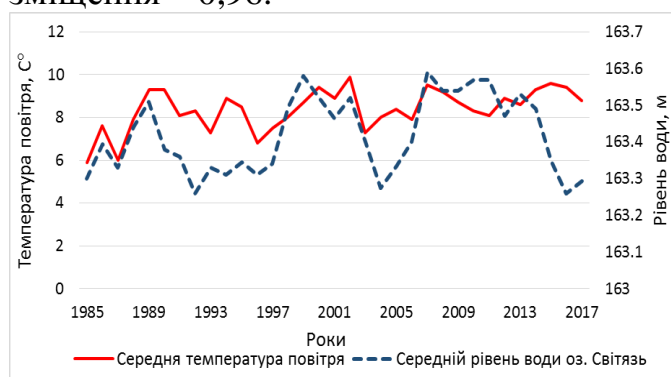


Рис. 8 Багаторічна залежність між рівнем води оз. Світязь та температурою повітря

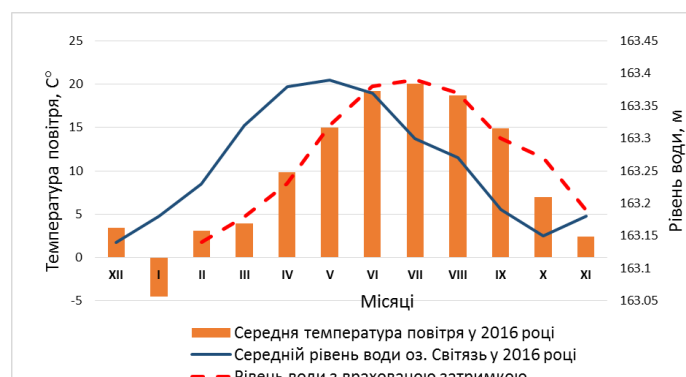


Рис. 9 Сезонна (річна) взаємозалежність між температурою повітря та рівнем води оз. Світязь у 2016 р.

Також виконано дослідження взаємозв'язку між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води оз. Світязь та опадами (рис.10). Середнє значення коефіцієнта кореляції між опадами та рівнем води за період з 1985-2017 рр. становить 0,40. З'ясовано, що з врахуванням затримки в 1 рік коефіцієнт кореляції між опадами та рівнем води за досліджуваний період збільшиться до значення 0,70. Коефіцієнт множинної кореляції між рівнем води, опадами та температурою повітря за період 1985-2017 роки становить 0,56.

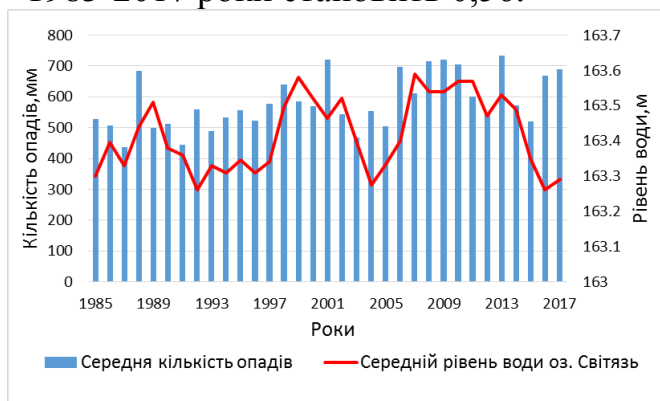


Рис.10 Багаторічна залежність між кількістю опадів та зміною рівня води оз. Світязь

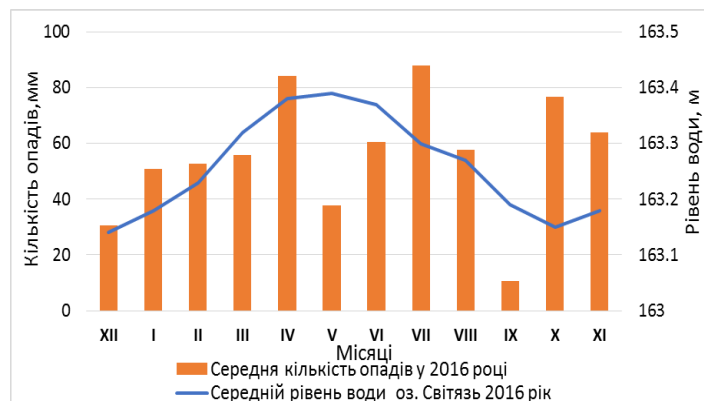


Рис.11 Сезонна (річна) взаємозалежність між кількістю опадів та зміною рівня води оз. Світязь у 2016 р.

Під час дослідження взаємозалежності між сезонним (річним) коливанням рівня води та кількістю опадів за період 2006-2017 рік було встановлено, що коефіцієнт кореляції між ними залежно від року коливався в межах від -0,31 до 0,43. На (рис.11) зображено графік взаємозалежності між сезонним коливанням рівня води та кількістю опадів на прикладі 2016 року.

Для дослідження сезонної (річної) взаємозалежності між рівнем води та кліматичними чинниками (температурою, вологістю, опадами) були пораховані парні

та множинні коефіцієнти кореляції з 2006 по 2017 роки. Середні значення парного та множинного коефіцієнтів за цей період становлять:

- коефіцієнт кореляції між вологістю повітря і рівнем води оз. Світязь –  $-0,66$ ;
- коефіцієнт кореляції між температурою повітря і рівнем води оз. Світязь –  $0,35$ ;
- коефіцієнт кореляції між кількістю опадів і рівнем води оз. Світязь –  $0,11$ ;
- множинний коефіцієнт кореляції між рівнем води оз. Світязь та вологістю повітря, кількістю опадів –  $0,7$ ;
- множинний коефіцієнт кореляції між рівнем води оз. Світязь та вологістю, температурою повітря –  $0,78$ ;
- множинний коефіцієнт кореляції між рівнем води оз. Світязь та вологістю, температурою повітря, кількістю опадів –  $0,82$ .

Для більш детального дослідження взаємозв'язку між зміною рівня води та кліматичними чинниками було пораховано коефіцієнти кореляції між ними для різних пір року за період 2006-2017 рр.

Значення коефіцієнта кореляції між опадами та рівнем води озера Світязь восени коливається від  $-1$  до  $1$ , літом коливається від  $-0,48$  до  $0,96$ , а весною – від  $-0,6$  до  $1$ . Отже, між кількістю опадів та рівнем води озера Світязь протягом усіх пір року простежується і пряма й обернена залежність.

Значення коефіцієнта кореляції між температурою повітря та рівнем води озера Світязь весною коливається від  $-0,76$  до  $0,99$ , літом коливається від  $-1$  до  $0,13$ , а восени – від  $-0,99$  до  $1$ . Отже, між температурою повітря та рівнем води озера Світязь весною та восени простежується пряма залежність, а літом – обернена.

На основі середньорічних даних динаміки зміни рівня води на озері Світязь за період 1985-2017 років підтверджено, що цикли зміни рівня води приблизно збігаються із відомими 11-річними циклами сонячної активності. Встановлено, що період проведеного моніторингу рівнів води озер у 2016-2017 роках припадає на завершення циклу зміни рівня води (мінімум) і початок нового циклу. Аналіз залежності динаміки середньорічного рівня води в озері Світязь і сонячної активності за період з 1985-2017 рік виявив обернену їх залежність, оскільки за цей період сонячна активність спадає, а рівень води піднімається, на що вказує лінійна апроксимація (рис.12).

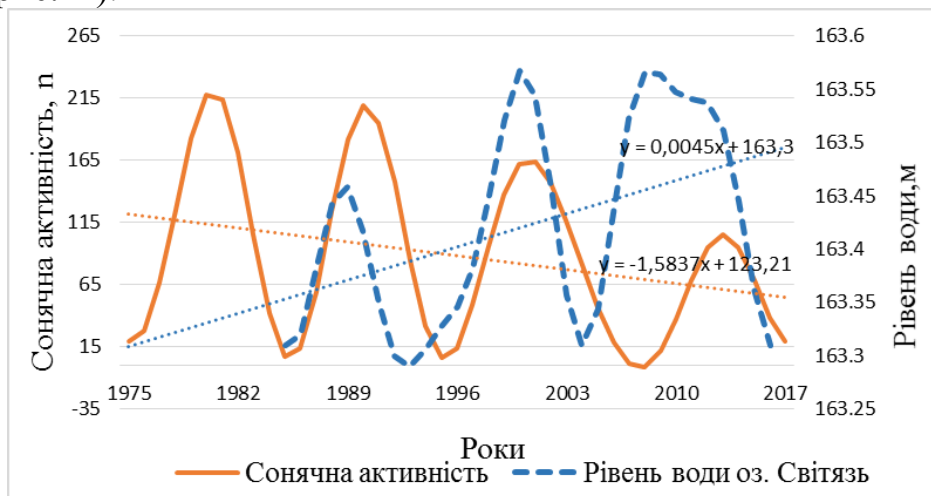


Рис.12 Динаміка середнього рівня води в озері Світязь і сонячної активності за 1985-2017 рр.

*Прогнозування зміни рівня води оз. Світязь*

Оскільки зміна рівня води в озері Світязь не є періодичною функцією, то задача полягала в апроксимації та прогнозуванні майже періодичних коливань, які дають змогу описати рівень води у оз.Світязь від 1985 до 2017 року. У зв'язку з цим розроблено математичну модель зміни рівня води у оз.Світязь протягом вказаного терміну.

Зміну рівня води  $u(t)$  описано співвідношенням:

$$u(t) = A_0 + A \cos \omega t + B \sin \omega t, \quad (7)$$

де  $A_0, A, B$  – невідомі коефіцієнти;  $t$  – час, протягом якого спостерігалася зміна рівня води;  $\omega = \frac{2\pi}{P_{\text{сер}}}$  – частота;  $P_{\text{сер}}$  – середнє значення періоду циклів.

Коефіцієнти емпіричної математичної моделі (7), за допомогою якої описано зміну рівня води, знайдено з нормальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь із використанням методу найменших квадратів. Розв'язавши цю систему, отримали значення коефіцієнтів  $A_0=163,42$ ;  $A= - 0,0952$ ;  $B= - 0,0134$ .

У результаті опрацювання експериментальних даних трендову складову зміни рівня води в оз. Світязь визначено у вигляді лінійної функції  $x(t) = 0,003t + 163,37$  м, коефіцієнти якої знайдено із використанням методу найменших квадратів.

Задачу прогнозування розв'язано у два етапи. Перший етап полягав у розробленні математичної моделі, яка дає змогу адекватно описати поведінку експериментальних даних, а другий – в уточненні її для адекватного прогнозування з використанням трендової складової. У зв'язку з цим співвідношення (7) після деяких математичних перетворень записано у вигляді (8):

$$H(t) = u(t) + \frac{1}{2} z(t), \quad \text{де} \quad (8)$$

$$z(t) = \sum_{i=1}^n (y_i - x(t_i)) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos k t_i + b_i \sin k t_i,$$

де  $y_i$  – фактичне значення рівня води в моменти часу  $t_i$ ,  $i=1,2,\dots,33$ ;  $k$  – номер гармоніки.

СКП між результатами, отриманими за розробленою моделлю та експериментальними даними, становить 0,071 м, що не перевищує 20-25% від максимального значення амплітуди багаторічних коливань рівня води.

Використавши запропоновану модель, було здійснено прогнозування зміни рівня води на період у 10 років. Результати прогнозування зміни рівня води зображені на рисунку 13. СКП прогнозування на 4 роки та 2 роки складає 0,144 м та 0,028 м відповідно.

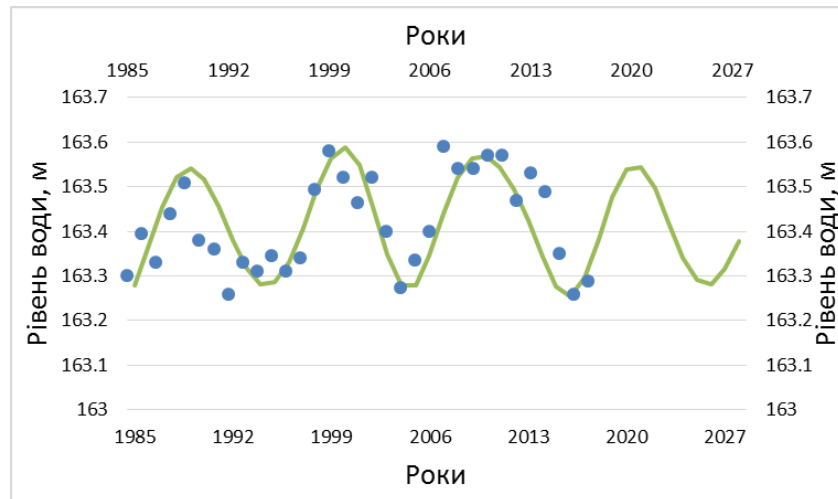


Рис. 13 Прогнозуюча крива зміни рівня води в озері Світязь з 2018 до 2028 року та експериментальні результати вимірювань цього рівня з 1985-2017 роки

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень, спрямованих на розв'язання актуальної науково-практичної задачі оптимізації геодезичного моніторингу рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод на території ШНПП, отримано такі наукові та практичні результати:

1. Аналіз матеріалів, пов'язаних з експлуатацією Хотиславського піщано-крейдового родовища, діяльність якого може призвести до екологічної катастрофи на території ШНПП (зокрема, зниження рівня води), спонукає до виконання постійного комплексного моніторингу. З метою оптимізації створеної висотної геодезичної мережі на цій території, проведено експериментальні дослідження різних методів нівелювання. На основі виконаних досліджень здійснено оцінку точності кожного методу й встановлено, що точності геометричного нівелювання III класу відповідає: геометричне двостороннє нівелювання «вперед-назад», двостороннє неодночасне тригонометричне нівелювання, тригонометричне нівелювання методом «із середини» та GNSS метод.

2. Для підвищення точності тригонометричного нівелювання над водними поверхнями отримано формулу обчислення степеня флуктуацій зенітних відстаней під час двосторонніх спостережень. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що під час нестійкої стратифікації для двостороннього тригонометричного нівелювання рекомендується застосовувати степені флуктуацій зенітних відстаней в межах +1 до +0.3, а під час стійкої стратифікації атмосфери — -1 до -0.3.

3. Запропоновано методикку оптимізації висотної геодезичної мережі. Критеріями оптимізації висотної геодезичної мережі є точність, яка не повинна перевищувати 1/3 величини багаторічної швидкості зміни рівня води озера Світязь та мінімальний час виконання польових робіт.

4. Сконструйовано мобільний водомірний пост і запропоновано методикку вимірювання рівня води за допомогою лазерної рулетки Leica Disto A3. Застосування цієї методикки дозволяє підвищувати точність вимірювання рівня води до 1 мм, що є

на порядок вище, ніж на існуючих водомірних постах. Конструкція водомірного посту є універсальною для передачі перевищень від основного репера на конструкцію різними методами нівелювання, а її перевагами є мобільність і низька собівартість.

5. На основі даних багаторічної динаміки зміни рівня води на озері Світязь за період 1985-2017 років підтверджено, що цикли зміни рівня води приблизно збігаються із 11-річними циклами сонячної активності. Встановлено, що період проведеного моніторингу рівнів води озер у 2016-2017 роках припадає на завершення циклу зміни рівня води (мінімум) і початок нового циклу. Побудовано математичну модель зміни рівня води в озері Світязь, яка дає можливість прогнозувати зміну цього рівня на 10 років вперед. Точність цієї моделі не перевищує 20-25% від максимального значення амплітуди багаторічних коливань рівня води.

6. Проаналізовано динаміку зміни рівня поверхневих, ґрунтових та напірних вод, прив'язаних до Державної системи висот на території ШНПП за 2016-2017 роки. Встановлено, що зміна рівня напірних вод зміщена на 3 місяці вперед відносно зміни рівнів поверхневих вод оз. Чорне Велике, Люцимер та Світязь. Крім того, досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та температурою, вологістю повітря й кількістю опадів. Встановлено, що річний хід кривої зміни рівня води зміщений на 2-3 місяці відносно температурної кривої.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті в наукових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних*

1. Perij S. Investigation of accuracy of methods of trigonometric leveling during the transmission of elevations over water surfaces / S. Perij, I. Pokotylo, T. Korliatovych // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2017. – Вип. 85. – С. 18-26.
2. Investigation of refraction field over water surfaces/ S. Perij, T. Korliatovych, I. Pokotylo, V. Lityn`skiy // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2017. – Вип. 86. – С. 11-18.

*Статті у фахових виданнях України:*

3. Мороз О. І. Екологічна проблема Шацького національного природного парку та шляхи її вирішення геодезичними методами / О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, Т.Ю. Качмар // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во НУ «ЛП», 2015. – № 2 (30). – С. 23-27.
4. Застосування тригонометричного нівелювання для передавання висот над водними поверхнями на території Шацького національного природного парку / С.С. Перій, О.І. Мороз, Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017. – Вип. I (33). – С. 65-68.
5. Порівняльний аналіз двох способів геометричного нівелювання «із середини» та «вперед-назад» / О.І. Мороз, Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило, М.М. Фис // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – Вип. I (31). – С. 79-83.
6. Створення геодезичного полігона навколо озера Пісочне Шацького національного природного парку / О.І. Мороз, Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило, С.П. Ямелинець // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 5-6. – С. 21-23.
7. Результати моніторингу за рівнями поверхневих вод Шацьких озер протягом 2016-2017 років / О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Я. Покотило, Т.Ю. Корлятович //

- Природа Західного Полісся та прилеглих територій. Том I Географія. – 2017. – №14. – С. 33-38.
8. Корлятович Т. Дослідження конструкції мобільного водомірного посту / Т. Корлятович // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2018. – Вип. №1 (35). – С. 103-106.  
*Публікації у збірниках матеріалів конференцій:*
  9. Мороз О.І. Моніторинг динаміки зміни рівнів поверхневих, підземних та ґрунтових вод на території природо-заповідних територіях Волинської області / О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, Т.Ю. Корлятович // Зб. матеріалів XV-ого Міжнародного наукового семінару «Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи», 4-8 липня 2016 р. – Київ-оз. Світязь: Національна академія управління, 2016. – С. 28-33.
  10. Корлятович Т.Ю. Стан екологічної проблеми на українській території транскордонного біосферного резервату «Західне Полісся» / Т.Ю. Корлятович, О.І. Мороз, І.Я. Покотило // Зб. тез Міжнародної практичної конференції, присвяченій 70-річчю кафедри геодезії та геоінформатики Львівського національного аграрного університету «Актуальні завдання топографо-геодезичного забезпечення в землеустрої та земельному кадастрі», 25 листопада 2016 р. – Дубляни: ЛНАУ, 2016. – С. 52-53.
  11. Корлятович Т.Ю. Створення геодезичної основи для моніторингу довкілля на території Шацького національного природного парку / Т.Ю. Корлятович // Зб. тез Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «Geoterrace-2016», 15-17 грудня 2016 р. – Львів: НУ «ЛП», 2016. – С. 58-61.
  12. Корлятович Т.Ю. Створення та розвиток висотної мережі геодезичного полігону Шацького національного природного парку для прив'язки водомірних постів та свердловин до ДГМ / Т.Ю. Корлятович // Зб. програми та тез 21-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Geoforum 2016», 13-15 квітня 2016 р. – Львів - Брюховичі - Яворів: НУ «ЛП», 2016. – С. 32-33.
  13. Корлятович Т.Ю. Оптимізація методів нівелювання при створенні висотної основи на території Шацького національного природного парку / Т.Ю. Корлятович // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації», 22-25 березня 2017 р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. – С. 341-343.
  14. Перій С.С. Застосування тригонометричних ходів для створення висотної основи / С.С. Перій, І.Я. Покотило, Т.Ю. Корлятович // Збірник тез 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Моніторинг довкілля, фотограметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку», 14-16 вересня 2017 р. – Львів-Східниця: НУ «ЛП», 2017. – С. 73-78.
  15. Корлятович Т.Ю. Про геодезичні роботи на території Шацького національного природного парку / Т.Ю. Корлятович, З.Р. Тартачинська, І.Я. Покотило // Збірник тез наукової конференції «Стан і біорізноманіття екосистеми Шацького національного природного парку та інших природоохоронних територій», 7-10 вересня 2017 р. – Шацьк: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – С. 55-57.

16. Корлятович Т.Ю. Дослідження взаємозв'язку рівнів поверхневих, ґрунтових та підземних вод на території Шацького національного природного парку / Т.Ю. Корлятович, З.Р. Тартачинська, І.Я. Покотило // Зб. матеріалів XVI-ого Міжнародного наукового семінару «Сучасні проблеми інформатики в економіці, управлінні, освіті та подоланні наслідків Чорнобильської катастрофи», 3-7 липня 2017 р. – Київ-оз. Світязь: Національна академія управління, 2017. – С. 63-67.
17. Корлятович Т.Ю. Тенденція динаміки зміни рівня поверхневих вод Шацького поозер'я відносно даних з багаторічних спостережень рівня води на озері Світязь / Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило // Зб. тез міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «Geoterrace-2017», 14-16 грудня 2017 р. – Львів: НУ «ЛП», 2017. – С. 25-28.
18. Геодезичний моніторинг як складова комплексного розв'язку екологічних проблем Шацького Національного парку / О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило // Зб. матеріалів міжнародного наукового симпозіуму SDEV-2018 «Сталий розвиток – стан та перспективи», 28 лютого-3 березня 2018 р. – Львів-Славськ: НУ «ЛП», 2018. – С. 27-30.
19. Корлятович Т.Ю. Дослідження зміни рівня води оз. Світязь з циклами сонячної активності / Т.Ю. Корлятович, І.Я. Покотило // Зб. програми та тез 23-ої міжнародної науково-технічної конференції «Geoforum 2018», 18-20 квітня 2018 р. – Львів-Брюховичі-Яворів: НУ «ЛП», 2018. – С. 22.

## АНОТАЦІЯ

**Корлятович Т.Ю. Оптимізація геодезичного моніторингу рівнів води на території Шацького національного природного парку.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. Національний університет «Львівська політехніка», Міністерства освіти і науки України, Львів, 2019.

Дисертація присвячена моніторингу рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод на території Шацького національного природного парку та оптимізації для цього геодезичної мережі. З метою оптимізації створеної висотної геодезичної мережі на території ШНПП проведено експериментальні дослідження різних методів нівелювання. Для економії часу та ресурсів розроблено та запропоновано методику оптимізації висотної геодезичної мережі, критеріями якої є точність та мінімальний час виконання польових робіт.

Для дослідження динаміки зміни рівня води сконструйовано мобільний водомірний пост, перевагами якого є мобільність та низька собівартість, та запропоновано методику виміру рівня води за допомогою нього, яка дозволяє підвищити точність вимірювання рівня води до 1 мм. Встановлено закономірності взаємозв'язку динаміки зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод, які приведено до Державної системи висот за період з 2016 по 2017 р. Досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та метеорологічними факторами. Встановлено закономірності взаємозв'язку сонячної активності та багаторічної динаміки зміни рівня води озера Світязь за період 1985-2017 рр. Розроблено математичну модель зміни рівня води в озері Світязь протягом

1985-2017 років, яка надає можливість прогнозувати зміну цього рівня на найближчих 10 років.

**Ключові слова:** геодезична основа, геометричне нівелювання «із середини», геометричне двостороннє нівелювання «вперед-назад», вертикальна рефракція, неоднчасне двостороннє тригонометричне нівелювання, GNSS-виміри, оптимізація, мобільний водомірний пост, свердловина, рівень води.

#### АННОТАЦІЯ

**Корлятович Т.Ю. Оптимізація геодезического моніторинга рівней води на території Шацкого національного природного парку.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – геодезия, фотограмметрия и картография. Национальный университет «Львівська політехніка», Министерства образования и науки Украины, Львов, 2019.

Диссертация посвящена мониторингу уровней поверхностных, грунтовых и глубинных вод на территории Шацкого национального природного парка и оптимизации для этого геодезической сети. С целью оптимизации созданной высотно-геодезической сети на территории ШНПП, проведены экспериментальные исследования различных методов нивелирования. Для экономии времени и ресурсов разработана и предложена методика оптимизации высотной геодезической сети, критериями которой являются точность и минимальное время выполнения полевых работ.

Для исследования динамики изменения уровня воды сконструирован мобильный водомерный пост, преимуществами которого является мобильность и низкая себестоимость, и предложена методика измерения уровня воды, которая позволяет повысить точность измерения уровня воды до 1 мм. Установлены закономерности взаимосвязи динамики изменения уровней поверхностных, грунтовых и глубинных вод, привязанных к Государственной системе высот за период с 2016 по 2017 гг. Исследована взаимосвязь между многолетними, сезонными колебаниями уровня воды и метеорологическими факторами. Установлены закономерности взаимосвязи солнечной активности и многолетней динамики изменения уровня воды озера Свитязь за период 1985-2017 гг. Разработана математическая модель изменения уровня воды озера Свитязь на протяжении 1985-2017 годов, которая позволяет прогнозировать изменение этого уровня на ближайшие 10 лет.

**Ключевые слова:** геодезическая основа, геометрическое нивелирование «средины», геометрическое двустороннее нивелирование «вперед-назад», вертикальная рефракция, одновременное двустороннее тригонометрическое нивелирование, GNSS-измерения, оптимизация, мобильный водомерный пост, скважина, уровень воды.

#### ANNOTATION

**Korliatovych T.Yu. Optimization of geodetic monitoring of water levels on the territory of Shatsk national nature park.** – On the rights of manuscript.

Thesis on gaining a scientific degree of candidate of technical sciences (PhD in technical sciences) of the specialty 05.24.01 – geodesy, photogrammetry and cartography. Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.



The thesis is devoted to the monitoring of the levels of surface, subterranean and pressure water on the territory of Shatsk national nature park (SNNP) and the optimization of the methods of creating the geodetic network for this purpose.

The leveling network on the territory of SNNP containing 3 polygons has been created. On the levelling polygon, different levelling methods were approved: double-ended geometric «forward-back» levelling, non-simultaneous reciprocal trigonometric levelling above different underlying surface and GNSS measurements. It has been shown that among all approved methods only following ones meet the accuracy requirements of the III class: non-simultaneous reciprocal trigonometric levelling and leveling «from inside», double-ended geometric «forward-back» levelling, as well as the GNSS method. For increasing the accuracy of the trigonometric levelling above water surfaces, the formulae for determining the extent of fluctuations of zenith distances during the reciprocal observations were obtained. For saving time and resources, the technique of the optimization of levelling geodetic network has been developed and proposed. Its main criteria are the accuracy and minimum time of conducting field operations.

For the investigation of the dynamic of changing the water levels on the lakes of SNNP, during the period of years 2016 and 2017, temporary hydrometric stations were equipped on 9 lakes: PISOCHNE, MOSHNE, KRYMNE, PEREMUT, SOMENETS, CHORNE VElyKE, LUTSYMER, PULEMETSKE and OSTRIVJANSKE. The mobile hydrometric station was designed and constructed, whose advantages are mobility and low cost, and the technique of measuring the water level with the use of this station was proposed, which enables increasing the accuracy of measuring the water level up to 1 mm. The construction of the mobile hydrometric station is a universal means for the transferring elevations from the main benchmark to the construction by different leveling techniques. The regularities of interconnection of the dynamics of changes of surface, subterranean and pressure water, included into the single State system of heights for the period from 2016 to 2017, were determined. The interconnection between perennial, season deviations of the water level and such meteorological factors as temperature, air humidity and amount of precipitations was investigated. The regularities of the interconnection between the Sun activity and perennial dynamics of changes of the water level of the Svitiaz lake for the period from 1985 to 2017 were determined. The perennial dynamics of the changes of water levels on the Svitiaz lake during the period from 1985 to 2017 was analyzed, and on the basis of this analysis the cycle of 11 years of water level changes was determined, which approximately coincides with the Sun activity cycles. It has also been revealed, that the terms of conducted monitoring of the cycle of water level changes coincides with the end of the cycle of the water level change (decrease) and the beginning of a new one.

The mathematical model of the changes of the water level in the Svitiaz lake during the period from 1985 to 2017 was developed, which enables predicting the change of this level for the next 10 years. According to the results of investigation, it has been determined that with the use of this model it can be possible to describe the change of the water level in the Svitiaz lake during the period from 1985 to 2017 with the accuracy not exceeding 20-25% from maximum value of the amplitude of the perennial fluctuations of the water level.

**Key words:** geodetic basis, geometric leveling «from inside», double-ended geometric «forward-back» leveling, vertical refraction, non-simultaneous reciprocal trigonometric leveling, GNSS measurements, optimization, mobile hydrometric station, well, water level.