

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОРЛЯТОВИЧ ТЕТЯНА ЮРІЇВНА

УДК: 528.3+556.3+556.5

ДИСЕРТАЦІЯ

ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ РІВНІВ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ
ШАЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

05 – Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів, текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



/Корлятович Т. Ю./

Науковий керівник — Мороз Олександр Іванович, д.т.н., професор

Ідентичність всіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради  /Б. Б. Паляниця

Львів – 2019

Зміст

АНОТАЦІЯ	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ШНПП, МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВОДИ	25
1.1 Топографічні, геоморфологічні та гідрографічні особливості території ШНПП	25
1.2 Екологічна проблема ШНПП та шляхи її дослідження геодезичними методами	32
1.3 Результати обстеження та оновлення геодезичної мережі на території ШНПП	38
1.4 Методи нівелювання для створення висотної геодезичної мережі	42
1.5 Водомірні пости та методи визначення рівнів води	54
1.6 Чинники, які впливають на зміну рівня води.....	60
1.7 Постановка задачі дисертаційної роботи.....	63
ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ	65
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ НІВЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИСОТНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ШНПП	66
2.1 Створення висотної геодезичної мережі на території ШНПП для моніторингу рівнів води.....	66
2.2 Дослідження методик нівелювання для моніторингу рівнів води.....	72
2.2.1 Порівняння точності двох методів геометричного нівелювання: «зі середини» та «вперед-назад»	72
2.2.2 Застосування тригонометричного нівелювання над водною поверхнею	76
2.2.3 Дослідження методики неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання та порівняння її з результатами геометричного нівелювання III класу	89
2.2.4 Дослідження рефракційного поля над водними поверхнями	93
2.2.5 Дослідження точності визначення перевищень методом GNSS.....	102
2.2.6 Оцінювання точності мережі під час виконання нівелювання різними методами	103
2.3 Оптимізація висотної геодезичної мережі.....	105
ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ	117

РОЗДІЛ 3 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ РІВНІВ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ ШНПП	119
3.1 Створення водомірних постів та прив'язка напірних, ґрунтових свердловин та водомірних постів до Державної системи висот	119
3.2 Візуалізація моніторингових досліджень рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод.....	123
3.2.1 Моніторинг поверхневих вод Шацького поозер'я	123
3.2.2 Моніторинг ґрунтових та напірних вод ШНПП	129
3.3 Дослідження залежності зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод ШНПП	132
3.4 Дослідження взаємозалежності між рівнем води та метеорологічними чинниками	134
3.5 Побудова математичної моделі зміни рівня води в озері Світязь	143
3.6 Конструкція мобільного водомірного посту та її апробація	146
ВИСНОВКИ ДО 3 РОЗДІЛУ	155
ВИСНОВКИ.....	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	159
Додаток А.....	177
Додаток Б.....	178
Додаток В	180
Додаток Д	192
Додаток Г.....	197

АНОТАЦІЯ

Корлятович Т. Ю. Оптимізація геодезичного моніторингу рівнів води на території Шацького національного природного парку.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. Національний університет «Львівська політехніка». Львів. 2018.

Дисертація присвячена моніторингу рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод на території Шацького національного природного парку (ШНПП) та оптимізації методів створення геодезичної мережі. Описано причини можливої екологічної катастрофи на території Західного Полісся. Виконано обстеження та оновлення геодезичної мережі на території ШНПП. Віднайдено 6 стінних реперів та 12 ґрунтових, з них пункти тріангуляції IV класу Травни, Плотиччя, Перемут, Люцимер, Городище, Острів'я. Для розвитку висотної мережі згідно з вимогами Інструкції нівелювання I-IV класів додатково було закладено 7 стінних реперів та 3 марки. Створено висотну геодезичну мережу, яка складається з 3 полігонів.

Для дослідження динаміки зміни рівня води на озерах ШНПП протягом 2016-2017 років було обладнано тимчасові водомірні пости на 9 озерах: Пісочне, Мошне, Кримне, Перемут, Соменець, Чорне Велике, Люцимер, Пулемецьке та Острів'янське.

До закладених тимчасових водомірних постів, напірних та ґрунтових свердловин, прокладено нівелірні ходи III класу, що об'єднало їх в єдину державну систему висот. На ділянках полігону, де виконано повторне нівелювання, оцінено стійкість реперів водомірних постів. Встановлено, що величина осідання реперів за 2 роки не перевищує допустимих значень, тобто пункти є достатньо стабільними.

Моніторингові дослідження рівнів поверхневих вод Шацького поозер'я виконувалися щомісяця, крім зимових періодів, протягом 2016-2017 років не лише на тимчасових постах, але й на постійному водомірному пості на озері Світязь.

На висотному полігоні були апробовані різні методи нівелювання: двостороннє геометричне нівелювання «вперед-назад», двостороннє неодночасне тригонометричне нівелювання над різними підстилаючими поверхнями та GNSS-виміри. Показано, що з усіх апробованих методів нівелювання вимогам точності III

класу відповідають двостороннє неоднчасне тригонометричне нівелювання та «із середини», двостороннє геометричне нівелювання «вперед-назад», а також метод GNSS.

Виконано порівняння середньоквадратичних похибок (СКП) визначення висотного положення пунктів геодезичної мережі на території ШНПП класичним методом геометричного нівелювання III класу та комбінуванням різних методів нівелювання. Встановлено, що СКП визначення висотного положення пунктів в обох випадках не перевищує 5 мм і знаходиться у межах точності вимірювань.

Виконано оптимізацію методів створення висотної геодезичної мережі ШНПП. Запропоновано створити GNSS-мережу з 4 пунктів та перманентної станції SHAZ. Прив'язку свердловин та реперів водомірних постів запропоновано виконувати тригонометричним нівелюванням. У лісистій місцевості доцільно виконувати геометричне нівелювання способом «із середини» та «вперед-назад», оскільки лінії прямої видимості є обмеженими.

Проаналізовано багаторічну динаміку зміни рівня води в озері Світязь за період 1985-2017 років, на основі чого встановлено 11-річний цикл зміни рівня води, що приблизно збігається з циклами сонячної активності. Виявлено, що термін виконаного моніторингу рівнів води озер у 2016-2017 роках припадає на завершення циклу зміни рівня води (зниження) й початок нового.

Досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та метеорологічними факторами: температурою, вологістю повітря та кількістю опадів. Встановлено, що середнє значення коефіцієнта кореляції за період з 1985-2017рр. між температурою повітря та рівнем води становить 0,41, а між кількістю опадів та рівнем води становить 0,4. Значення коефіцієнтів кореляції знаходяться в межах області помірних зв'язків. Виявлено, що річний хід кривої зміни рівня води зміщений на 2-3 місяці відносно кривої температури повітря.

Досліджено зміну рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод в державній системі висот на території ШНПП за 2016-2017 роки. Встановлено, що коефіцієнти кореляції між рівнями поверхневих, ґрунтових та напірних вод є значними і коливаються в межах 0,47-0,91. А коефіцієнти кореляції між рівнями поверхневих вод

озер: Світязь, Чорне Велике та Люцимер та рівнями напірних вод становлять $-0,1 - 0,08$. Встановлено, що середнє зміщення зміни рівня поверхневих вод озер Світязь, Чорне Велике, Люцимер та напірних вод становить 3 місяці.

Розроблено математичну модель зміни рівня води в озері Світязь за даними 1985-2017 років, яка надає можливість прогнозувати зміну цього рівня на 10 років вперед. Із результатів досліджень встановлено, що, використовуючи дану модель, можна описати зміну рівня води в озері Світязь протягом 1985-2017 років із точністю, яка не перевищує 20-25% від максимального значення амплітуди багаторічних коливань рівня води.

Сконструйовано мобільний водомірний пост. Конструкцію і методику виміру рівня води було досліджено в лабораторних та природних умовах. Конструкція мобільного водомірного посту і описана методика вимірювань дає можливість отримати перевищення між верхом підставки конструкції та рівнем води з СКП до 1 мм, що є на порядок вищою, ніж на простих водомірних постах. Конструкція мобільного водомірного посту є універсальною для передачі перевищень від основного репера на конструкцію різними методами нівелювання.

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

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України

1. 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.
2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

Статті у науковому періодичному виданні України, яке включене до міжнародної наукометричної бази

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'skyi. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2017. – Вип. 86. – С. 11-18.

Тези конференцій

1. Мороз О. І. Моніторинг динаміки зміни рівнів поверхневих, підземних та ґрунтових вод на природо-заповідних територіях Волинської області / О. І. Мороз, З. Р. Тартачинська, Т. Ю. Корлятович. // 3б. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Корлятович Т. Ю. Тенденція динаміки зміни рівня поверхневих вод Шацького поозеря 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.

10. 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.

11. 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.

ANNOTATION

Korliatovytch T.Yu. Optimization of geodetic monitoring of water levels on the territory of Shatsk national nature park.

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. Lviv. 2018.

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 optimization of

the methods of creating the geodetic network. The causes of possible (hypothetical) ecological disaster on the territory of Zakhidne Polissia are described. The survey and renewal of the geodetic network was performed. Six wall benchmarks and 12 ground ones were found, including class IV triangulation points Travny, Plotytchia, Peremut, Lutsymer, Horodyshche and Ostrivja. For the development of the levelling network, according to the requirements of the Levelling Instruction of I – IV classes, 7 wall benchmarks and 3 markers were set. The levelling geodetic network consisting of 3 polygons has been created.

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.

To the established temporary hydrometric station, pressure wells and ground wells, levelling paths of the III class were laid, which united them into a single State levelling system. On the sites of the polygon where repeated levelling was performed, the stability of benchmarks of hydrometric stations was estimated. It was determined that the value of benchmark settlement during 2 years does not exceed acceptable values, which proves that those points are sufficiently stable.

Monitoring investigations of the levels of surface water of the Shatsk lake and its surroundings were performed monthly (despite winter periods) during 2016 and 2017 years not only on temporary stations, but also on the permanent hydrometric station on the Svitiaz lake.

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.

The comparison of mean square errors (MSE) of the determining the heights of the points of the geodetic network on the territory of SNNP by the classical method of III class geometric levelling and by combining different levelling methods was performed. It has

been determined that MSE of determining the point heights in both cases does not exceed 5 mm and belongs to the range of measurement accuracy.

The optimization of the methods of creating the levelling geodetic network of SNNP has been done. The creation of levelling geodetic network of SNNP containing 4 points and the SHAZ permanent station has been proposed. The suggested tie-in to wells and benchmarks of hydrometric stations is to be done by trigonometric levelling. In woodland, geometric levelling should be done by «from inside» and «forward-back» methods, since direct sight lines are limited.

The perennial dynamic of changes of water level in the Svitiaz lake (from 1985 till 2016) was analyzed, and on the basis of the analysis the 11-year cycle of the changes of a water level was revealed, which is approximately similar to 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 interconnection between perennial season deviations of water level and meteorological factors (temperature, air humidity and amount of precipitations) was investigated. It is determined that mean value of the coefficient of correlation during the period from 1985 to 2017 between air temperature and water level is 0,41, and between the amount of precipitations and water level – 0,4. The values of correlation coefficients are within the range of medium connections. It has been determined that the yearly curve of the change of water level is displaced by 2-3 months relative to the air temperature curve.

The change of levels of surface, subterranean and pressure water in the State levelling system of heights on the territory of SNNP in the years 2016 and 2017 has been investigated. It has been revealed that the correlation coefficients between levels of surface, subterranean and pressure water are quite big and deviate in the range 0,47-0,91. Correlation coefficients between levels of surface water of the Svitiaz, Chorne Velyke and Lutsymer lakes and pressure water are -0,1 - 0,08. It has been determined that mean deviation of the change of water level of the Svitiaz, Chorne Velyke and Lutsymer lakes is equal to 3 months.

The mathematical model of changing the water level in the Svitiaz lake according to the data collected during the period from 1985 to 2017 has been developed, which enables

predicting the change of this level by 10 years forth. 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.

A mobile hydrometric station has been designed. Its construction and the technique of the water level measurements have been investigated in the laboratory and natural conditions. The construction of the mobile hydrometric station and the described measuring technique enables obtaining elevations between the top of the construction pedestal and the water level with MSE to 1 mm, which is by the order higher than that on simple hydrometric stations. 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.

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.

LIST OF PUBLICSTIONS BY THE SUBJECT OF DISSERTATION

Articles in scientific professional editions of Ukraine

1. Creation of geodetic ground around Pisochne lake in Shatsk national nature park / O. Moroz, T. Korlyatovych, I. Pokotylo, S. Yamelynets' // Herald of geodesy and cartography. – 2015. – issue 5-6. – Pp. 21-23.
2. Moroz O. Ecological problem of Shatsk natural national park and ways of its solution by means of geodetic methods / O. Moroz, Z. Tartachynska, T. Kachmar // Modern achievements in geodetic science and industry. – Lviv, Lviv Polytechnic Publishing House, 2015. – №2 (30). – Pp.23-27.
3. Applying of trigonometric leveling for the transfer of heights over the water surface by the example of high-altitude test polygon in the territory of Shatsk National Natural Park / S. Periy, O. Moroz, T. Korlyatovych, I. Pokotylo // Modern achievements in geodetic science and industry. –2017. – issue I (33). – Pp.65-68.

4. Comparative analysis of two methods of spirit levelling «from inside» and «forward-back» / O. Moroz, T. Korlyatovych, I. Pokotylo, M. Fys // Modern achievements in geodetic science and industry. –2016. – issue I (31). – Pp.79-83.

5. Results of monitoring of surface water levels in the Shatskie Lakes during 2016-2017 / O.Moroz, I. Pokotylo, Z.Tartachynska, T. Korlyatovych // Nature of Western Polesie and surrounding areas. Tom I Geography. – 2017. – №14. – Pp. 33–38.

6. Korlyatovych T. Investigation of the construction of a mobile water-level measuring post / T. Korlyatovych // Modern achievements in geodetic science and industry. – Lviv, Edition NU «LP»2018. – issue №1 (35). – Pp.103-106.

Articles in the scientific periodical publication of Ukraine included in the international science-based database

7. Perij S. Investigation of accuracy of methods of trigonometric leveling during the transmission of elevations over water surfaces / S.Perij, I.Pokotylo, T.Korliatovych // Geodesy, cartography and aerial photography. –2017. – issue 85. – Pp.18-26.

8. Investigation of refraction field over water surfaces / S.Perij, T.Korliatovych, I.Pokotylo, V. Lityn'skyi // Geodesy, cartography and aerial photography. –2017. – issue 86. – Pp.11-18.

Abstracts of conferences

9. Moroz O. Monitoring of the dynamics of changes in levels of surface, underground and groundwater in the territory of the nature reserves of the Volyn region / O.Moroz, Z.Tartachynska, T. Korlyatovych // The collection of materials of the XV-th International Scientific Seminar «Modern problems of informatics in economics, management, education and coping with the consequences of the Chernobyl disaster», July 4-8, 2016.– Kyiv-Lake Svityaz: National Academy of Management, 2016. – Pp.28-33.

10. Korlyatovych T. State of the ecological problem at the Ukrainian territory transboundary biosphere reserve "Western Polesie" / T. Korlyatovych, O.Moroz, I. Pokotylo // Collection of abstracts of the international scientific and practical conference devoted to the 70th anniversary of the department of geodesy and geoinformatics of Lviv National Agrarian University "Urgent task of topographic and geodetic support in land management and land cadastre", November 25, 2016. – Dublyany: LNAU, 2016. – Pp.52-53.

11. Korlyatovych T. Geodetic works for the further ecological and hydrological research in the region Shatsk national natural park / T. Korlyatovych // Collection of abstracts of the international conference of young scientists «Geoterrace-2016», December 15-17. 2016. – Lviv: NU «LP», 2016. – Pp. 58-61.

12. Korlyatovych T. Creation and development of high-altitude geodetic network of Shatsk National Nature Park for binding of water-level posts and wells to SGN / T. Korlyatovych // Collection of programs and theses of the 21st international scientific and technical conference «Geoforum 2016», April 13-15, 2016. – Lviv - Brukhovychi - Yavoriv: NU «LP», 2016. – Pp. 32-33.

13. Korlyatovych T. Optimization of leveling methods at creation of altitude base on the territory of Shatsk National Nature Park / T. Korlyatovych // Proceeding of the international scientific-practical conference "Ecogeoforum-2017. Actual Problems and Innovations», March 22-25. 2017. – Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2017. – Pp. 341-343.

14. S.Perij Applying of trigonometric traverses for the creation elevation datum / S.Perij, T.Korliatovych, I.Pokotylo // Collection of abstracts of the 8th international scientific and technical conference "Environmental Monitoring, Photogrammetry, Geoinformatics - Modern Technologies and Development Perspectives», September 14-16, 2017. – Lviv-Skhidnytsia: NU «LP», 2017. – Pp. 73-78.

15. Korlyatovych T. About geodetic works on the territory of Shatsk national nature park / T. Korlyatovych, Z.Tartachynska, I.Pokotylo // Collection of abstracts of the scientific conference "State and biodiversity of the ecosystem of Shatsk National Nature Park and other protected areas", September 7-10, 2017. – Shatsk: Ivan Franko National University of Lviv, 2017. – Pp.55-57.

16. Korlyatovych T. Investigation of the relationship of levels of surface, groundwater and groundwater on the territory of the Shatsk national nature park / T. Korlyatovych, Z.Tartachynska, I.Pokotylo // The collection of materials of the XVI-th International Scientific Seminar «Modern problems of informatics in economics, management, education and coping with the consequences of the Chernobyl disaster», July 3-7, 2017. – Kyiv-Lake Svityaz: National Academy of Management, 2017. – Pp. 63-67.

17. Korlyatovych T. Trends in the dynamics of surface water level changes of Shatsk lakes concerning the data from long-term observations of Svitiaz Lake water level / T. Korlyatovych, I. Pokotylo // Collection of abstracts of the international conference of young scientists «Geoterrace-2017», December 14-16, 2017. – Lviv: NU «LP», 2017. – Pp.25-28.

18. Geodetic monitoring as a component of the complex solution of environmental problems of Shatsk National Park / O.Moroz, Z.Tartachynska, T. Korlyatovych, I. Pokotylo // Proceedings of the International Scientific Symposium SDEV-2018 «Sustainable development – state and prospects», 28 February-3 March, 2018.– Lviv- Slavske: NU «LP», 2018.– Pp.27-30.

19. Korlyatovych T. Investigation of water level changes in the Svityaz lake with solar activity cycles / T. Korlyatovych, I. Pokotylo // Collection of programs and theses of the 23rd international scientific and technical conference «Geoforum 2018», April 18-20, 2018. – Lviv - Brukhovychi - Yavoriv: : NU «LP», 2018. – Pp. 22.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШНПП	—	Шацький національний природний парк
СКП	—	Середня квадратична похибка
GPS	—	Global Position System (Система глобального позиціонування)
EGM-2008	—	Earth Gravitational Model (Гравітаційна модель Землі 2008)
WGS-84	—	World Geodetic System (Світова геодезична система 1984)
GNSS	—	Глобальна навігаційна супутникова система
ОРП	—	Орієнтирний пункт
ДГМ	—	Державна геодезична мережа

ВСТУП

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 58,40 м в озері Світязь, а найменша – 1 м в озері Зведенка. На цій відносно невеликій території поєднуються унікальні лісові, водно-болотні, лучні й озерні природні комплекси [120].

Актуальність теми

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 [120]. 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» [84,149]. Однак жодна зі свердловин ШНПП, у якій вимірюють рівень води, не має прив'язки до ДГМ. 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 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 [52] 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. На нашу думку, 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. Lencewicz, B. Krygowski, J. Kondracki та інші.

Питанням оптимального проектування, оптимізації геодезичних мереж займалися багато вітчизняних та закордонних вчених: К. Афонін, М. Герасименко, Ю. Маркузе, К. Третьяк, А. Ярмоленко, І. Савчин, З. Тамутис, Т. Ayan, W. Baarda, A. Chezanowski, E. Grafarend, S. Kuang.

Дослідженням і врахуванням впливу атмосфери на геодезичні вимірювання займалися такі науковці: А. Островський, Б. Джуман, Д. Масліч, Л. Хижак, Р. Тартачинський, Б. Тлустяк, Ф. Заблоцький, І. Тревого, В. Літинський, О. Мороз, С. Перій, С. Власенко, О. Терещук, І. Кметко, П. Павлів, В. Перваго, М. Кравцов, М. Дрок, І. Гарасимчук, О. Кіселик, П. Баран, В. Струве, А. Ізотов, Л. Пеліннен, Н. Павлов, А. Алексєєв, R. Brein, F. Bruner, I. Owens, E. Tengstron, B. Witte, D. Deuben, B. Böcken, Ph. Flach, M. Hennes, R. Hill, M. Näbauer та інші. Дослідники цього напрямку становлять основу відомої у світі Львівської школи рефракції, лідером якої був професор А. Островський.

Дослідженням точності GNSS-вимірів займалися багато вчених як вітчизняних, так і зарубіжних. Це, насамперед, К. Третьак, С. Савчук, Я. Костецька, І. Тревого, І. Цюпак, О. Кучер, Р. Висотенко, О. Марченко, І. Калинич, В. Hofmann-Wellenhof, Н. Lichtenegger, J. Collins, C. Rizos, A. Leick, P. Teunissen, W. Featherstone, G. Fotopoulos та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Виконана робота відповідає науковому напрямку 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 для 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

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

- Методика оптимізації висотної геодезичної мережі на території ШНПП дозволить скоротити час виконання робіт, не погіршуючи точності нівелювання III класу, а також здешевити вартість робіт.
- Виготовлена конструкція мобільного водомірного посту та запропонована методика вимірювання рівня води дозволяє підвищити точність вимірювання рівня води до 1 мм.
- Побудована прогноуюча математична модель дає можливість дослідити зміну рівня води оз. Світязь внаслідок впливу діяльності Хотиславського піщано-крейдового родовища.
- 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 Шацького національного природного парку.
- Результати досліджень динаміки зміни поверхневих вод можуть доповнювати геоінформаційну систему ШНПП.
- 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».

Основні положення, що виносяться на захист

1. Методика оптимізації висотної геодезичної мережі, яка використовується для моніторингу рівнів води на території ШНПП.
2. Конструкція мобільного водомірного посту та методика вимірювання рівня води за допомогою нього.
3. Математична модель для прогнозування зміни рівня води в оз. Світязь за даними 1985-2017 років.
4. Встановлені закономірності взаємозв'язку динаміки зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод за період з 2016 по 2017 рік.
5. Виявлені закономірності взаємозв'язку між багаторічною (1985-2017 рр.) та

сезонною динамікою зміни рівня води (2006-2017 рр.) озера Світязь та метеорологічними факторами і сонячною активністю.

Особистий внесок здобувача

Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковано у співавторстві у працях [10; 8; 29; 48; 64; 65; 67; 68; 71; 98; 99; 116; 119; 123; 131] та одноосібно в [63; 66; 69; 70]. В опублікованій праці [98] автору належить збір та аналіз інформації про Хотиславське піщано-крейдове родовище, ШНПП та рекомендації щодо дослідження екологічного стану заповідної території геодезичними методами; в працях [69; 70; 131] – рекогностування геодезичних пунктів та реперів, створення та розвиток висотної основи на території ШНПП; в працях [29; 64; 65; 67; 68; 71; 99; 123] – моніторинг поверхневих вод Шацького поозер'я, опрацювання та аналіз результатів моніторингу рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод на території ШНПП. У роботах [10; 48; 66; 116; 119] – опрацювання результатів експериментальних досліджень методів нівелювання: геометричного способом «вперед-назад», тригонометричного нівелювання над водною поверхнею способами «через точку», «зі середини», рефракційного базиса та неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання та їх аналіз. У роботі [8] – дослідження рефракційного поля над озером Пісочне та Бережанським ставом та дослідження значення степеня флуктуацій zenітних відстаней для всіх ліній над досліджуваними водоймами. У роботі [63] – 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 симпозиуму 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 входить до наукометричної бази даних Index Scopus. 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.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ШНПП, МЕТОДИ НІВЕЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВОДИ

1.1 Топографічні, геоморфологічні та гідрографічні особливості території ШНПП

Біосферний резерват – це територія, на яку поширюється міжнародна програма охорони навколишнього середовища ЮНЕСКО «Людина і біосфера», спрямована на забезпечення збалансованих відносин між людиною і природою. Біосферні резервати були створені для збереження біологічного різноманіття та можливості відслідковування змін у навколишньому середовищі [139].

Транскордонний біосферний резерват «Західне Полісся» розташований на території Польщі, України і Білорусі та займає площу приблизно 2 600 км². Він охоплює три об'єкти, які з початку десятиліття існували на території польсько-українсько-білоруського прикордоння. У Польщі – це створений у 2002 році Біосферний резерват «Західне Полісся», що охоплює територію Ленчинсько-Влодавського поозер'я і Поліської долини Західного Бугу. В Україні – це створений в цьому ж році Шацький біосферний резерват, який включає територію ШНПП, а в Білорусі – територію Республіканського заказника «Прибузьке Полісся», де в 2004 році був створений Біосферний резерват «Прибузьке Полісся» [139].

Транскордонний біосферний резерват «Західне Полісся» розташований між басейнами Балтійського і Чорного морів, у межах басейнів річок Західного Бугу та Прип'яті. Долини обох річок є ключовими екологічними коридорами, які мають загальноєвропейське значення. Долина р. Західного Бугу, яка проходить з півдня на північ уздовж східного кордону Європейського Союзу, перетинає один з найбільших у Європі болотно-озерно-лісових комплексів, що охоплює різні види водно-болотних угідь. Резерват розташований в центральноєвропейському біогеографічному регіоні.

Площа Транскордонного біосферного резервату складає 263016 га (48024 га в Білорусі; 139917 га в Польщі; 75075 га в Україні) [139].

Шацький біосферний резерват створено в Україні в 2002 році. Він займає площу близько 75 тис. га. Резерват створено на базі ШНПП, який існує з 1983 року та розширеного в 1999 році з 32800 до 48977 га (Див. рис.1.1).



Рис.1.1 Картографічна схема ШНПП

У його межах розташований комплекс найбільших озер в Україні, їх нараховують 23, загальною площею 6 тис.га. Найбільші – о. Світязь (близько 2600 га), оз. Пулеметське (1568 га), оз. Луки (673 га), оз. Люцимер (430 га). Найменшим є озеро Навраття, площа якого становить 1,9 га, довжина 175 м, ширина 150 м, максимальна глибина – 2,0 м, середня глибина – 1,0 м. Також великі площі займають болота у верхній частині р. Прип'яті та невеликому фрагменті долини р. Західного Бугу. Вони розділяються Головним Європейським вододілом до басейнів Балтійського і Чорного морів [56].

За походженням групи озер є: карстово-тектонічні, що пов'язані з тектонічними порушеннями та древнім і сучасним карстом; суфозійно-карстові, що сформовані серед четвертинних відкладів і підстеляються тріщинуватими мергельно-крейдяними утвореннями; заплавні, що простежуються в річкових системах [120].

Основна частина озер має чіткі округлі або обвальні обриси, відносно рівну берегову лінію без складних звивин і згинів. Два озера мають у центральній частині острів (о. Світязь, о. Кримне). Береги деяких озер піднімаються на 1-3 м над рівнем води, на окремих ділянках спостерігаються виходи крейди (о. Пісочне, о. Біле та

інші). Береги інших озер низькі, слабковиражені, часто заболочені, із розвинутими сплавинами і торфовищами (о. Линовець) [120].

Таблиця 1.1

Морфометричні показники озер Шацького біосферного резервату [120]

Назва озера	Площа, км ²	Довжина, км	Ширина, км	Глибина, м
Прибич	0,35	0,70	0,70	2,00
Піщанське велике	0,67	1,00	0,67	7,00
Піщанське мале	0,17	0,65	0,60	2,50
Чахове	0,37	0,80	0,50	-
Озера Шацького національного природного парку				
Світязь	27,5	9,30	4,80	58,40
Пулемецьке	16,4	6,00	3,60	19,20
Луки	6,80	5,90	3,10	3,50
Люцимир	4,50	2,97	2,00	11,20
Острів'янське	2,57	2,60	1,70	3,40
Перемут	1,50	1,90	1,40	3,50
Кримне	1,44	2,00	0,72	6,00
Пісочне	1,38	2,00	1,90	16,00
Чорне Велике	0,70	1,35	0,65	3,20
Соменець	0,46	1,25	0,55	3,20
Чорне Мале	0,37	0,90	0,60	1,50
Мошне	0,36	0,60	0,60	3,00
Климівське	0,32	0,80	0,48	3,00
Карасинець	0,16	0,50	0,32	3,00
Озерце	0,14	0,90	0,90	2,00
Довге	0,12	1,20	0,40	3,00
Плотиччя	0,11	0,60	0,50	2,00
Кругле	0,09	0,50	0,30	1,50
Зведенка	0,04	0,25	0,25	1,00
Олешно	0,10	0,38	0,37	3,30
Ритець	0,03	0,24	0,14	3,00
Навраття	0,02	0,20	0,20	2,00
Линовець	0,02	0,22	0,40	1,50

Улоговини карстово-тектонічних та суфозійно-карстових озер у здебільшого мають одну симетричну лійку. Простежуються також озера, улоговини яких мають асиметричну лійку чи декілька лійок і, відповідно, овальну або неправильну форму. Дуже складна улоговина озера Світязь. Вона складається з кількох лійок, що в північній частині мають глибини 30-50 м, і розміщених одна за одною по лінії тектонічного розлому з південного заходу на північний схід, а в південній – глибину 15-25 м з лійками розміщеними хаотично. Тут зустрічаються западини з мілководдям. В озері Пулемецьке з північного сходу на південний захід простягається пасмо виходів крейди з глибинами до 1 м при середній 4,3 м. Напевно, це пасмо розділяє дві карстові улоговини [120]. Усі озера характеризуються сповільненим водообміном і

належать до водойм із малим та середнім питомим водообміном. Рівень води в озерах коливається за сезонами року, виділяючи весняні й осінні максимуми та літні й зимові мінімуми. Максимальне підвищення рівня води спостерігається наприкінці квітня – на початку травня після танення снігу та льоду, а мінімальне – наприкінці серпня – на початку вересня. За багаторічними спостереженнями амплітуда середніх річних коливань становить приблизно 0,5 м, але може коливатися від 0,3 до 0,75 м [84].

На території ШНПП дослідження рівня води ведуться лише на одному водомірному пості, який розташовується на озері Світязь. Спостереження за ґрунтовими та підземними водами ведуться працівниками ШНПП на 3 напірних свердловинах та 16 ґрунтових свердловинах [84].

Поверхневі води характеризуються слабorozвиненою річковою сіткою, представленою річками Прип'ять і Західний Буг та їхніми притоками. До басейну Балтійського моря належать річка Західний Буг із притоками Копаївка (яка на території ШНПП майже вся каналізована) та Рита, розташована в крайній західній частині на кордоні з Білоруссю. Річка Прип'ять, права притока Дніпра, належить до басейну Чорного моря. Нині русло річки Прип'ять спрямлене і є магістральною каналом Верхньоприп'ятської осушувальної системи [84]. Річка Копаївка починається із озера Луки, поблизу с. Затишшя Шацького району. Вона протікає біля сіл Піща та Хрипськ, а потім заходить на територію Республіки Білорусь і впадає в річку Західний Буг. Береги річки невисокі, часто зливаються із заплавою і покриті трав'янистою рослинністю й чагарниками. Витік річки Рита з'єднаний із озером Кримне меліоративним каналом довжиною в межах України майже 8 км. Русло річки заболочене і каналізоване [120].

На території парку є багато боліт. Екосистеми боліт є унікальними ботанічними об'єктами, на території яких ростуть лікарські та рідкісні рослини, занесені до Червоної книги України. Болота мають важливе значення для підтримання водного режиму озер. Найбільшими із болотних масивів є болота Унич, Довге-Кругле, Став, Рипицьке [84].

Більше половини території ШНПП займають ліси. Велику частину займають водойми – 14,1 % і болота – 2,7 %. Луки займають 7,3 % площі, 20,6 % – орні землі і населені пункти [139].

Геоморфологія

Досліджувана територія розміщена в межах Східноєвропейської полігенної рівнини і належить до Південно-Поліської області пластово-аккумулятивних низовинних рівнин та Прип'ятсько-Слуцької підобласті пластово-аккумулятивної низовини на палеогенових і крейдових відкладах. У межах підобласті виділено два геоморфологічні райони: Верхньоприп'ятську алювіальну (терасну) плоску, дуже слаборозчленовану рівнину та Волинську моренно-водно-льодовикову слабохвилясту, погорбовану, слаборозчленовану рівнину.

За схемою геоморфологічного районування України територія Шацького поозер'я належить до району Верхньоприп'ятської алювіальної (терасної), плоскої, дуже слабо розчленованої рівнини Прип'ятсько-Слуцької підобласті пластово-аккумулятивної низовини на палеогенових і крейдових відкладах Південно-Поліської області пластово-аккумулятивних низовинних рівнин [60]. Вона охоплює частину басейну р. Малорита, заплаву та надзаплавну терасу р. Припять. Типовою особливістю рельєфу є наявність великої кількості торфовищ, заболочених улоговинних понижень та озер. Рівнинні особливості рельєфу порушують еолові та делювіально-еолові форми висотою до 5-10 метрів. У західній частині описуваного району, тобто в межах західного поозер'я, у сучасному рельєфі морфологічно виділяється підрайон Шацька вододільна моренно-зандрова карстово-озерна рівнина. Для нього типовим є підвищення рельєфу до висот 189 м над рівнем моря, високе залягання крейдової поверхні і незначна потужність четвертинних відкладів. Тут, окрім карстових западин, збереглися аккумулятивно-льодовикові форми у вигляді кінцевих морен, озів та камів [120].

Досліджувана територія розташована в північно-західній частині Волино-Подільської плити (див.рис.1.2).

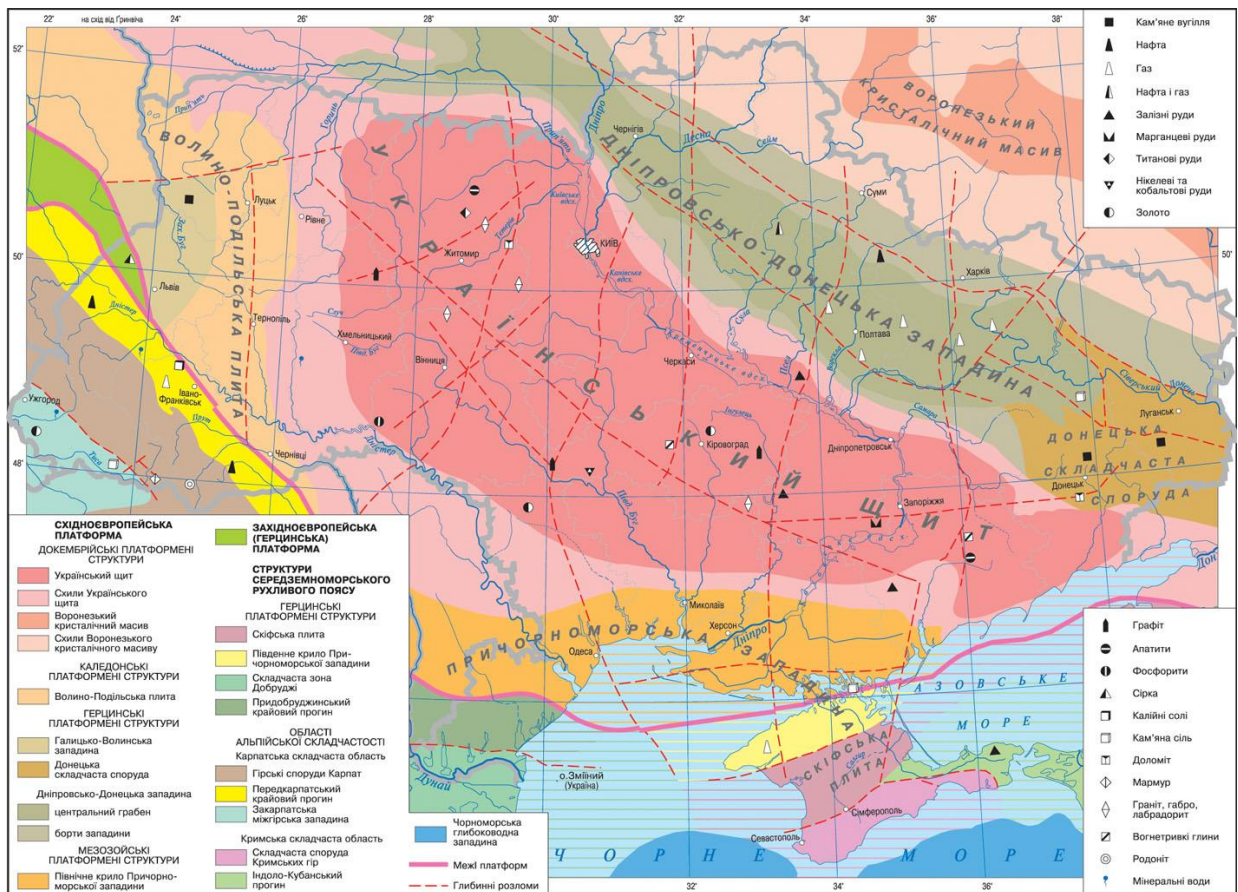


Рис.1.2 Тектонічна карта України

Поверхня ШНПП плоска, рівнинна, з незначним ухилом на північ–північний схід. Кути нахилу земної поверхні пересічно становлять від $0^{\circ}30'$ до $1-3^{\circ}$. Висоти є в межах 160-180 м над рівнем моря. Оскільки ця територія розташована у межах крайової зони Дніпровського льодовика, тут трапляються як флювіогляціальні, так і власне льодовикові моренні відклади. Для південно-східної частини парку характерні водно-льодовикові форми рельєфу – флювіогляціальні піщані ози, які трапляються також в околицях с. Світязь. Підвищення чергуються із заболоченими зниженнями. Найхарактернішою геоморфологічною особливістю парку є поширення озерних улоговин [153].

На території Шацького біосферного резервату проходить Головний Європейський вододіл та вододіл між Турським каналом і річкою Прип'ять. Недалеко від неї розташовані активні сейсмічні зони Карпат і Вранча та шовна зона між Східноєвропейською та Західноєвропейською платформами. Шовна зона, або зона Тейссера-Торнквіста, – це широка смуга контакту двох різновікових та різних за будовою структур, де, незважаючи на відсутність видимого контакту, ми

спостерігаємо на поверхні наслідки зіткнення у вигляді як тектонічних порушень, так і інших проявів геологічних процесів.

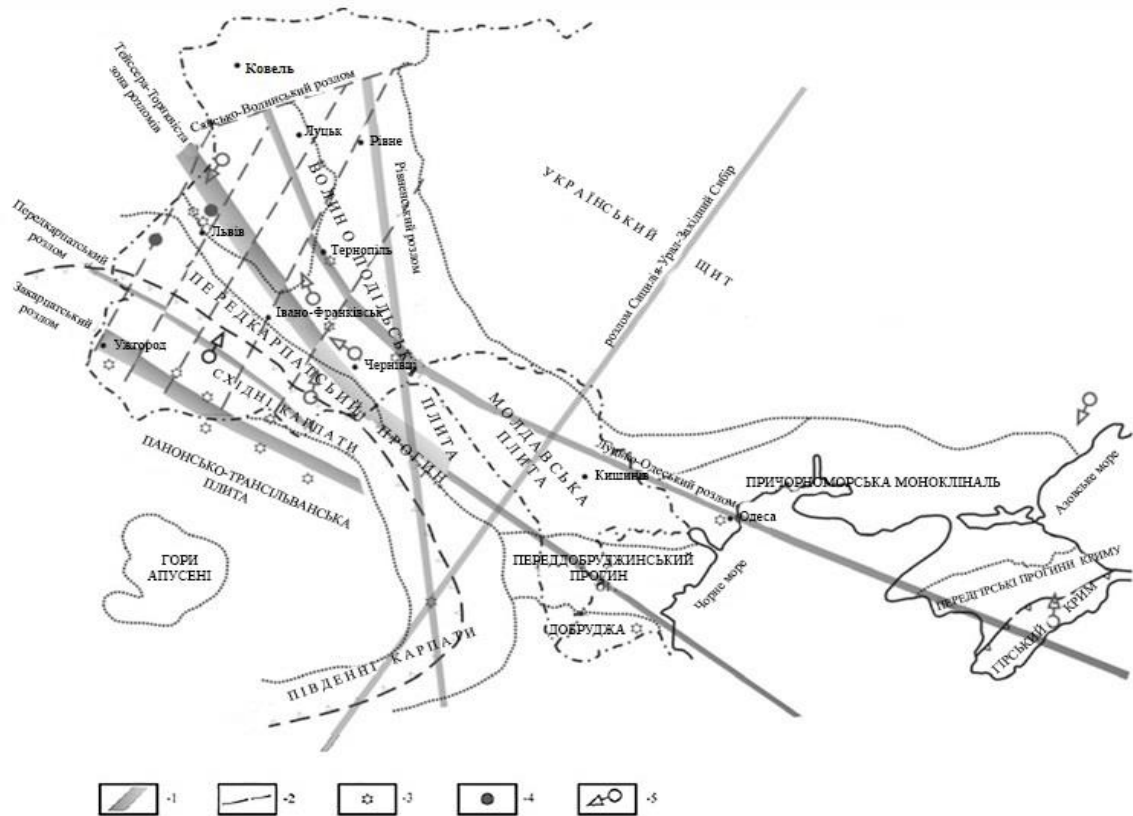


Рис.1.3 Основні тектонічні зони, розломи і напрями горизонтальних рухів земної кори на заході і півдні України (тут: 1 – *трансрегіональні розломи*; 2 – *регіональні розломи*; 3 – *епіцентри землетрусів*; 4 – “*гарячі*” *точки*; 5 – *напрямок відносних горизонтальних рухів земної кори*)

Лінія Тейссера-Торнквіста має не лінійну структуру і ширину приблизно 120 кілометрів біля кордону з Польщею та до 10 кілометрів біля кордону з Румунією [135] (рис.1.3). І ще неподалік розташована тектонічна тріщина, яка проходить біля населених пунктів Вілиця, Прип’ять, Заболоття, Сукачі.

Отже, ШНПП є унікальним куточком української природи з великими запасами чистої, придатної до пиття води, з різноманітною флорою і фауною. Неподалік нього розташовані тріщини та шовна зона між Східноєвропейською та Західноєвропейською платформами. Сусідство з ними може спровокувати негативні явища, а саме: деформації земної кори можуть призвести до зменшення рівня водного

плесу озер, зміну русел річок, висихання боліт, тобто порушення екологічного стану заповідної території.

Тому достовірне оцінювання ризиків і прогнозування геодформаційних процесів можливі за належної організації стабільного геодезичного моніторингу рухів земної кори, рівнів поверхневих вод та ґрунтових водоносних горизонтів, а також виявлення закономірності динаміки зміни рівнів поверхневих та підземних вод.

Для дослідження зміни рівня озер одного водомірного посту недостатньо, тому потрібно закласти водомірні пости на решті озер для виконання моніторингу рівнів води Шацького поозер'я.

1.2 Екологічна проблема ШНПП та шляхи її дослідження геодезичними методами

На території Білорусі, на віддалі 300 метрів від кордону України, розташоване Хотиславське піщано-крейдове родовище [44;68]. Планове заглиблення якого до глибини 45 метрів може призвести до екологічної катастрофи на території Західного Полісся. Родовище розробляється кар'єрним способом на площі 4,5 га. На сьогодні видобувають будівельний пісок до глибини 10-11 метрів, тобто до покрівлі крейдових відкладів. На кар'єрі працює трубопровідне водовідведення ґрунтових вод до р. Рита. Обсяг щодобового відкачування води сягає 12 тис.м³/добу [50].

У 2015 році розпочалася друга черга експлуатації родовища. Видобувати крейду планують трьома уступами до глибини 45 метрів, із фронтом експлуатації до 100 метрів, з водопритоком 27,5 тис.м³/добу. На цій стадії передбачено спорудження на південь від кар'єру протифільтраційної завіси загальною довжиною 1,5 км. Прогнозоване моделювання умов експлуатації родовища показало, що водопониження на кінцевий період експлуатації кар'єру до глибини 45 метрів спричинить формування депресійних лійок у верхньокрейдовому і четвертинному водоносних горизонтах розміром 10,5 км в субмеридіональному і 15 км у субширотному спрямуваннях [120].

Висока водонаповненість четвертинних відкладів і значна величина кар'єрного водопониження може призвести до формування водопритоку у відкритий кар'єрний простір за рахунок інтенсивної витрати ємкісних запасів ґрунтових вод.

Інститут гідротехніки і меліорації Української академії аграрних наук стверджує, що коефіцієнт фільтрації активної зони тріщуватості крейди становить 3-6 м/добу. Тому головним джерелом стоку підземних вод є тріщинна зона крейди. Потрібно не допустити розкриття кар'єром цієї зони активної тріщинуватості, щоб не отримати з неї активного підземного водопритоку. Тому не рекомендується перевищувати проектну глибину більше ніж на 30 метрів [120].

Застосування гідравлічної «завіси» як захисного заходу може призвести до активації карстово-суфозійних процесів, які тільки підсилять негативний вплив.

За матеріалами «Оцінки впливу на навколишнє середовище Хотиславського кар'єру» білоруські фахівці запропонували математичну модель гідрогеологічних процесів, на підставі якої побудовані тривимірні картосхеми гідродинамічних змін на 2014, 2019, 2024 та 2040 рр. експлуатації родовища. За результатами моделювання білоруських фахівців межа впливу розробки кар'єру під час його експлуатації у 2024 р. перетне кордон України на ділянці між автодорогою с. Тур - уздовж підніжжя г. Йосипової - с. Сушитніца (Білорусь) і матиме ширину 2,0 км при заглибленні на територію України на 3,0 км. Білоруські спеціалісти опублікували карти передбачуваного зниження рівня підземних вод у процесі експлуатації Хотиславського кар'єру на період 2014-2040 рр. без застосування і з застосуванням протифільтраційного захисту (рис. 1.4 а,б,в,г; 1.9 а,б,в,г) [49].

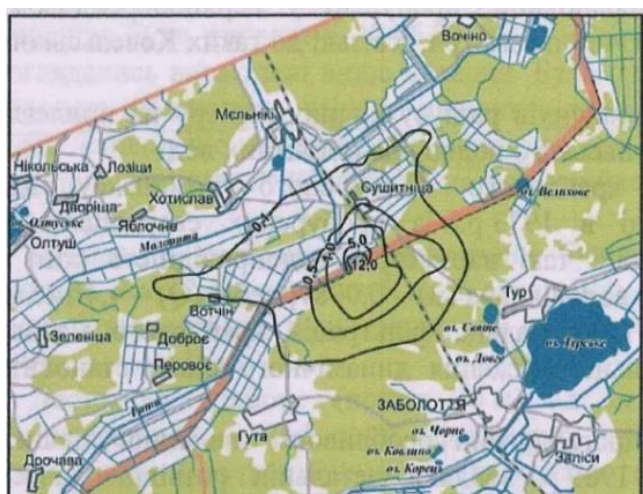


Рис. 1.4 а) 2014 рік

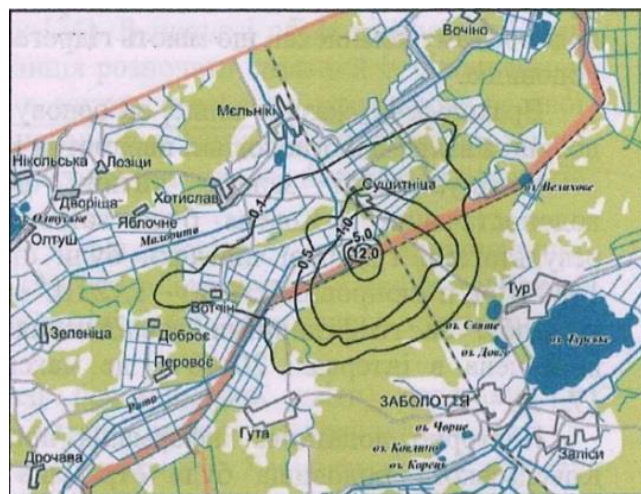


Рис. 1.4 б) 2019 рік

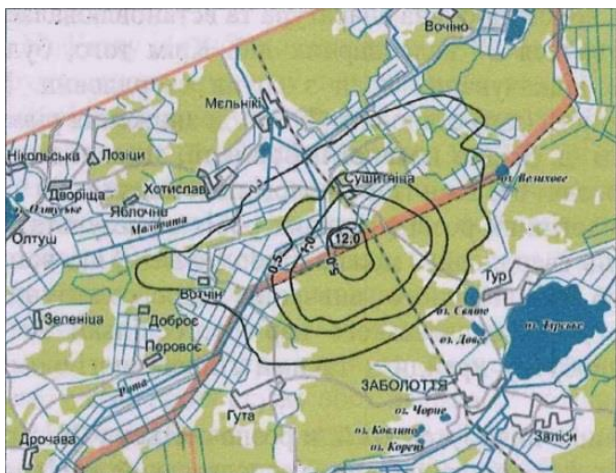


Рис. 1.4 в) 2024 рік

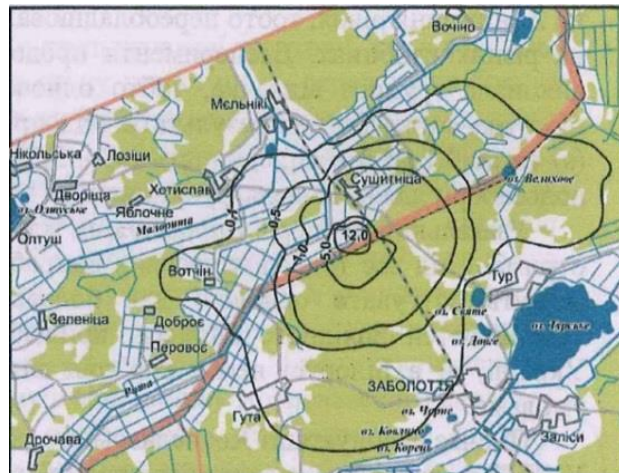


Рис. 1.4 г) 2040 рік

Рис. 1.4.а,б,в,г Передбачуване зниження рівня ґрунтових вод під час експлуатації II черги родовища «Хотиславське» на період 2014-2040 рр. без застосування протифільтраційного захисту (Масштаб 1 :280 000)

Як бачимо із поданих карт, у випадку протифільтраційного захисту під час експлуатації кар'єру всі лінії передбачуваних глибин залягання ґрунтових вод 0,1, 0,5, 1,0, 5,0 та 12,0 м закартовані на території Білорусі, за винятком 0,1 м, хоча кар'єр розташований за 300 м від кордону з Ратнівським районом Волинської області. За цією інформацією експлуатація кар'єру не спричинятиме зниження рівня ґрунтових вод на території України. У випадку відсутності протифільтраційного захисту ореоли зниження рівня підземних вод значно більші, ніж за наявності такого для всіх передбачуваних глибин – 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 12.0 м. Межі впливу показуються також на прилеглій території України, особливо у разі зниження рівня ґрунтових вод на 0.1 м, що, зазвичай, не має впливу на довкілля [47].

Білоруські спеціалісти вважають, що на завершальному етапі експлуатації родовища (2040 р.) зона дисперсії підземних вод проникне на територію Волинської області на 7 км, що викликає певні сумніви.

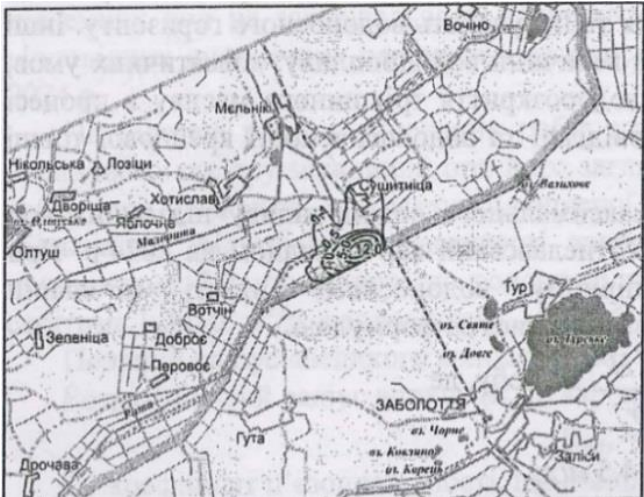


Рис. 1.5 а) 2014 рік

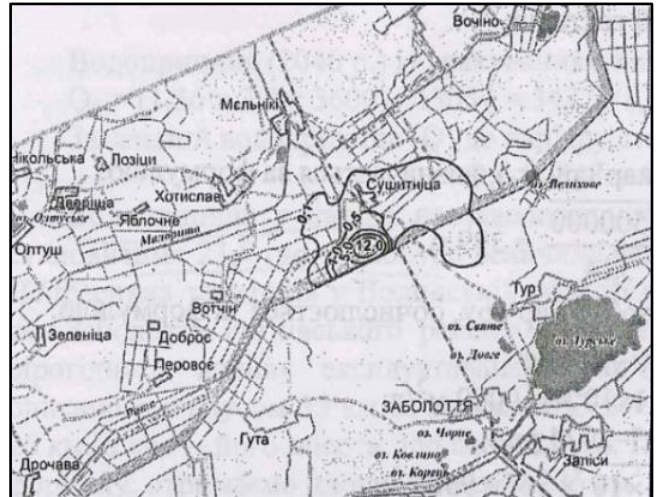


Рис. 1.5 в) 2024 рік

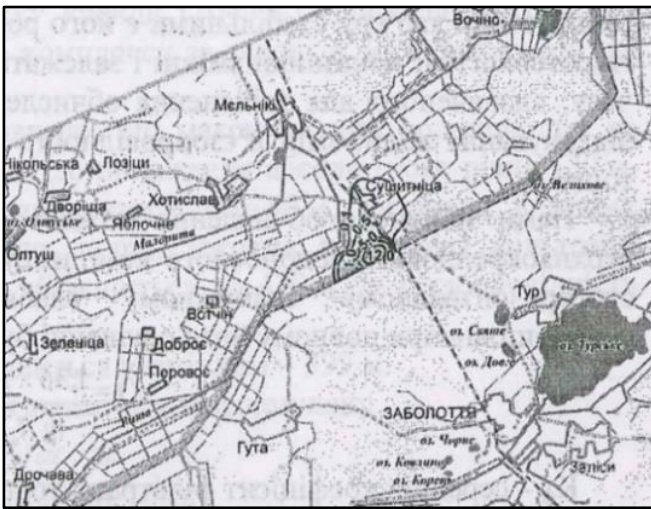


Рис. 1.5 б) 2019 рік

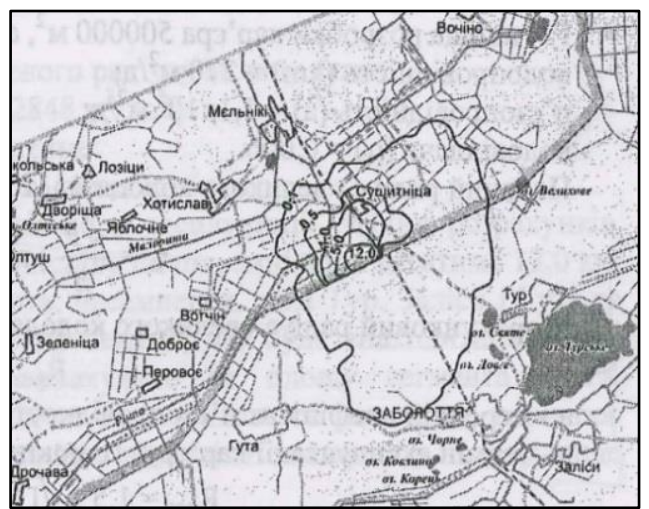


Рис. 1.5 г) 2040 рік

Рис. 1.5 а),б),в),г). Передбачуване зниження рівня ґрунтових вод під час експлуатації II черги родовища «Хотиславське» на період 2014-2040 рр. із застосування протифільтраційного захисту (Масштаб 1:280 000)

Зважаючи на інформацію білоруських вчених, І. Залеський [120] побудував картосхему передбачуваного зниження рівня підземних вод під час експлуатації II черги Хотиславського кар'єру станом 2024 і 2040 рр. (рис.1.6). У першому випадку процес зниження рівня вод охопить територію, південна межа якої буде проходити через населені пункти Гута, Заболоття, Тур, а в другому – набагато південніше, зокрема через с. Заліси [47].

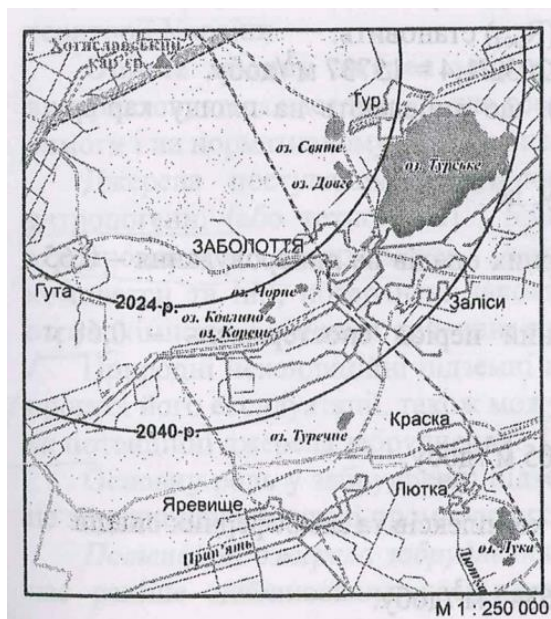


Рис.1.6. Передбачувані радіуси впливу експлуатації II черги родовища «Хотиславське» на період 2024-2040 рр.

Природні підземні або поверхневі води, які підтягуються до водозабору у процесі експлуатації Хотиславського піщано-крейдового родовища, також можуть впливати на зміну якості підземних вод і виступати як потенційні джерела забруднення [120].

Отже, можна вважати, що діяльність Хотиславського піщано-крейдового родовища є потенційною загрозою для Західного Полісся, а також для ШНПП.

Найближчим озерами до Хотиславського піщано-крейдового кар'єру є Кримне, яке розташоване на віддалі 18,5 кілометрів, Плотиччя (21,8 км) та Мошне (20 км.). Найдальшими – Ритець (40 км), Зведенка (37,5 км), Пулемецьке (32 км) та Світязь (27,5 км) [98].

З метою визначення змін рівня водних поверхонь озер та рухів земної кори необхідно провести геодинамічні дослідження на території ШНПП [61; 96;121]. Для цього слід створити мережу (рис.1.7) і прив'язати її до загальнодержавної нівелірної мережі I класу лінії Брест-Красне [99].

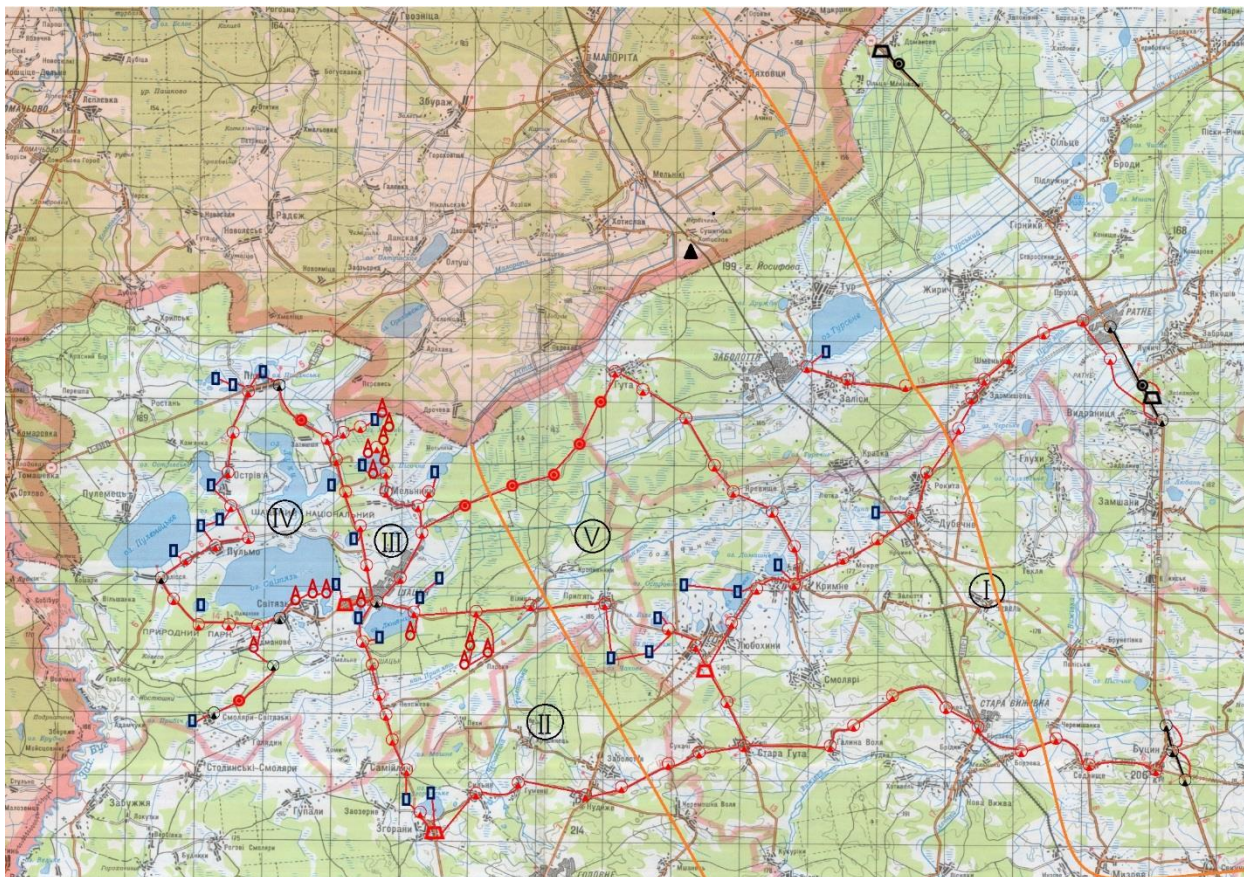


Рис.1.7 Схема запроєктованого геодинамічного полігону на території ШНПП

Прив'язування можна виконати до фундаментальних реперів. Кожне озеро має бути забезпечене рівневим водомірним постом, який складається з трьох реперів: двох основних і одного робочого. Запроєктована мережа має утворювати 5 полігонів. Ця мережа має бути прокладена до рівневих водпостів і глибинних свердловин [98].

Перший полігон буде прив'язаний до фундаментальних реперів згаданих вище. Ходи другого полігона проходять через населені пункти Прип'ять, Любохини і навколо озера Люцимир. Ходи третього полігона будуть проходити через населений пункт Мельники і навколо озера Пісочне. Ходи четвертого полігона повинні проходити навколо озер Світязь і Луки через населені пункти Пульмо, Острів'я і Затишся. Ходи п'ятого полігона будуть проходити через населені пункти Гута і Кримне [98].

Оскільки територія ШНПП не є однотипною, тому потрібно дослідити методи нівелювання та їх методики, які доцільніше виконувати на цій місцевості з урахуванням її особливостей: залежно від рельєфу, лісистості і заболоченості

території, для дослідження стійкості реперів водомірних постів, свердловин та розвитку геодезичної мережі.

Ці дослідження в подальшому допоможуть оцінити інтенсивність екологічних процесів, спричинених діяльністю Хотиславського піщано-крейдового родовища і прогнозувати загрозу екологічної катастрофи.

1.3 Результати обстеження та оновлення геодезичної мережі на території

ШНПП

Неподалік території ШНПП проходить через населені пункти Ратне та Буцин лінія нівелювання I класу Брест-Красне. На досліджуваній території є 2 фундаментальні репери. Фундаментальний репер 6035 (тип 154) розташований в селі Видриця Ратнівського району Волинської області. Він знаходиться за 6 км від районного центру і за 30 кілометрів від залізничної станції Заболоття. Інший фундаментальний репер б/н (тип 161 ОП) розташований в селі Доманове, 0,7 км на захід від його околиці, біля перехрестя доріг Брест–Картоліси–Ковель, контрольна марка №5038 у фундаменті плити.

На території ШНПП, який входить до складу біосферного резервату «Західне Полісся», були закладені різними відомствами Радянського Союзу та довоєнної Польщі нівелірні репери мереж II, III і IV класу [67]. На цій території були виконані роботи, які детально описані в таблиці №1.2 [128], схема ліній зображена в Додатку А, типи закладених пунктів та реперів зображено в Додатку Б.

Таблиця 1.2

Характеристики геодезичних робіт виконаних на території ШНПП

Клас нівелювання	Виконавча організація	Рік виконання	№ лінії нівелювання, прокладеної на території ШНПП	Тип закладених пунктів та реперів
1	2	3	4	5
II (переведений у III)	Польським бюро проектів меліорації Полісся	1930-1936	№13, №18, №21, №220, №221, №242, №247	A
III і IV	Підприємством №13	1976	№23, №180	65, 37, 146, 2
III і IV	Підприємством №5	1967-1968	№ 175, № 198, № 208, № 213, № 215, № 229, № 243, № 249	2, 120, 56, 146, 121, 148
IV	Підприємством №13	1978, 1979, 1981	№ 252, № 278	121, 146-A, 65, 2

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
IV	Підприємством №13	1980	№ 202, № 205, № 207, № 209, № 210, № 211, № 248, № 244, № 250, № 251, № 253, № 268, № 271, № 291, № 319	2, А, 146, 121, 106, 146-А, 120, 65
IV	Підприємством №13	1979	№ 186, № 223, № 257, № 264, № 284, № 184	146, 121, 146-А, 2, 65
IV	Інститут Укрдипроводгосп	1975-1978	№ 199	121, 2
IV	Підприємством №5	1977	№ 182	137, 146, 2
IV	Інститут «Союздіпромелиоводгос п»	1972-1974	№ 175	121, 65, 148
IV	Інститут Укрдипроводгосп	1970	№ 194, № 196, № 212, № 214, № 216, № 219, № 225	146, А, 2
IV	Військово-топографічна служба	1962	№ 197, № 217, № 267, № 269, № 272, № 275, № 276, № 290, № 292.	А, 2оп
IV	Інститут Укрдипроводгосп	1961-1962	№ 218, № 270, № 218	А, 121, 146
IV	Військово-топографічна служба	1940	№ 322, № 246, № 273	А, 56

На території ШНПП було виконано:

- Загальнодержавне знімання масштабу 1:100000 і частково 1:25000 у 1920-1930 рр. Великомасштабне знімання для прокладання осушувальних каналів.
- Загальнодержавне знімання масштабів 1:200000, 1:100000, 1:25000 у 1939-1990 рр. Загальнодержавне знімання масштабу 1:10000 в 1960-1990 рр. для цілей меліорації.
- У 20-30рр. – 1-3 клас триангуляції локальні мережі для осушувальних систем.
- 1939-1970 рр. – триангуляція і полігон 1-4 кл. для загально- державних потреб і основа для робіт меліорації.
- Зв'язок триангуляції 1 класу СРСР з триангуляцією 1 класу Польської Народної республіки в районі Гродно-Любомиль (трапеція М-34-24), виконана в 1967 році частинами Військово-топографічної служби.
- Триангуляція 1,3 класу і світловіддалемірна полігонометрія 3 і 4 класу в районі Томашевка-Ратно-Ковель (трапеції М-34-12, 24), закладеної в 1962 році частинами Військово-топографічної служби.

- Триангуляція 2,3,4 класу і світловіддаємінна полігонометрія 3 і 4 класу в районі Береза-Брест (трапеції М-34-12, 24), закладена в 1961 році частинами Військово-топографічної служби.

- Триангуляція 2,3,4 класу в районі Львів-Брест (трапеції М-34-12, 24) закладена в 1940 році частинами Військово-топографічної служби.

- Триангуляція I, II, III, IV, V класів і знімальна мережа Польської Народної республіки (трапеції М-34-11, 12, 23, 24), закладені в 1832-1965 році геодезичними організаціями Польщі.

- Триангуляція 2,3,4 класу Польської Народної Республіки (трапеції М-34-11, 12, 23, 24), закладена в 1947-1965 роках Головним управлінням геодезії та картографії Міністерства внутрішніх справ Польщі та Топографічної служби війська польського.

- Полігонометрія 2 класу залізничній дорозі Хелм-Влодава (трапеція М-34-24) закладена в 1961 році Варшавським геодезичним підприємством Міністерства внутрішніх справ Польщі.

Обстеження планової та висотної геодезичних мереж на території ШНПП

Обстеження та оновлення пунктів державної геодезичної мережі (далі ДГМ) здійснюється для встановлення їхньої збереженості на місцевості і підтримання в належному стані при виконанні топографо-геодезичних та картографічних робіт та інженерно-геодезичних вишукувань [57].

Польове обстеження геодезичних пунктів і реперів полягає у віднайденні їх на місцевості, визначенні стану зовнішніх знаків, центрів, ОРП та їх зовнішнього оформлення. Оновлення геодезичних пунктів і реперів передбачає виконання всіх робіт, необхідних для приведення їхніх центрів, зовнішніх знаків, ОРП та зовнішнього оформлення у відповідність до вимог чинних нормативно-технічних документів [57].

На першому етапі робіт з обстеження планової та висотної геодезичних мереж виконувався збір інформації про пункти на територію ШНПП:

- Топографічна карта 1:100000 з нанесеними пунктами триангуляції;
- Каталог координат геодезичних пунктів;
- Схема ліній нівелювання на територію ШНПП;

- Топографічні карти 1: 5000 знімання минулих років.

Якщо візуальним оглядом місцевості відшукати пункт не вдавалося, а явні ознаки знищення його центра відсутні, то застосовувалися всі інші можливі заходи для розшуку центра пункту, такі як опитування місцевих жителів та інструментально-геодезичні методи розшуку [57].

На території ШНПП проведено обстеження, раніше закладеної різними відомствами Радянського Союзу і довоєнної Польщі нівелірної мережі II та III класів і мережі триангуляції 2–4 класів (Таблиця 1.3). Детальний опис місця закладки кожного репера зображений у Додатку В.

Таблиця 1.3

Результати обстеження пунктів та реперів планової та висотної геодезичних мереж на території ШНПП

Віднайдені					Не віднайдені				
Назва пунктів та реперів	Тип пунктів та реперів	Рік закладки та підприємство	№ лінії нівелювання	Клас нівелювання	Назва пунктів та реперів	Тип пунктів та реперів	Рік закладки та підприємство	№ лінії нівелювання	Клас нівелювання
П. тр. Травни	2оп	1962 рік, частини Військово-топографічної служби	243	IV	Ст. рп. №23		1930-1936 роках, Поліське бюро проектів меліорації Полісся	13	III
П.тр. Перемут	2оп		244	IV	Ст. марка № 23 ^a			21	III
П.тр. Люцимер	2оп		272	IV	Гр. рп. №27	A		21	III
П.тр. Плотиччя	2оп		251	IV	Ст.рп. б/№			21	III
П.тр. Городище	2оп		219	IV	Ст.рп. б/№			21	III
П.тр. Острів'я	2оп		211	IV	Гр.рп. №3606	146		23	III
Ст. рп. №234		1975 рік, Підприємство №13	23	III	Гр.рп. № 812	A		247	IV
Закл.точка №9	65		23	III	Гр. рп. №24	A		21	III
гр.рп. б/№	120	1967-1968 роках Підприємство №5	215	IV	Гр. рп. б/№	A		13	III
Ст.рп. №1909		1980 рік, Підприємство №13	211	IV	Ст.рп. № 1280		1979 рік, Підприємство №13	264	IV
Гр.рп. б/№	146		211	IV					
Ст.рп. № 630		1980 р. Підприємство № 13	251	IV					
Ст.рп. б/№			251	IV					

Також було віднайдене стінний репер б/№ на будівлі пошти у с.м.т. Шацьк, пілон – GPS-пункт 0-класу, ґрунтовий репер б/№ біля озера Кримно, Стінний репер б/№ та 2 ґрунтові реperi на території метеостанції «Світязь».

Оновлення висотної геодезичної мережі

Віднайдені пункти тріангуляції та репери розташовані не рівномірно по всій території ШНПП і їх кількість є недостатньою, тому для подальшого створення висотних полігонів нами було закладено додаткові репери. Детальний опис місця закладки описано у Додатку В.

При рекогностуванні ділянки цього полігону ст.рп. б/№ Пошта – п.тр. Перемут (рис.2.1) довжиною 8,5 км було виявлено недостатньо реперів. Згідно з Інструкцією [32] кожні 2-2,5 кілометра мають бути закладені репери, тому було закладено 1 стінний репер б/№ (Міст-2) та 3 марки: б/№ (Мельники), (Бігборд), (Міст-1).

На ділянці п.тр. Травни - п.тр. Плотиччя довжиною 6,8 км заклали 2 стінних репери: ст.рп. б/№ (Школа) та ст.рп. б/№ (Міст-3).

На ділянці закл. точка (ЛЕП) – ст.рп.№1909 (Садік) довжиною 6,4 км заклали ст.рп. б/№ (Ферма).

На ділянці ст.рп. №1909 (Садік) – п.тр. Городище довжиною 6,0 км заклали ст.рп. б/№ (Пульмо Кінцевий).

На ділянці п.тр. Городище – марка (Бігборд) довжиною 5,3 км заклали ст.рп. №9235 (Міст-4).

На ділянці ст.рп.б/№ (27) – п.тр. Травни довжиною 4,7 км заклали ст.рп. №174 (База).

Отже, за результатами обстеження геодезичних пунктів та реперів на території ШНПП віднайшли 6 стінних реперів та 12 ґрунтових, але для подальшого створення полігонів віднайдених пунктів є недостатньо, тому для створення висотних полігонів додатково було закладено 7 стінних реперів та 3 марки.

1.4 Методи нівелювання для створення висотної геодезичної мережі

Територія ШНПП не є однотипною, оскільки є багато озер різної площі, заболочених ділянок, великі площі території вкритими лісами. Тому доцільно виконувати не якийсь один вид нівелювання для всієї території ШНПП, а застосовувати комбінацію методів. Тож розглянемо методи нівелювання, які найчастіше використовуються для створення висотних мереж.

Геометричне двостороннє нівелювання «вперед-назад»

Методика геометричного двостороннього нівелювання «вперед-назад» запропонована С. Перієм дозволяє вимірювати пряме і зворотне перевищення, що підвищує точність геометричного нівелювання за рахунок зменшення впливу негоризонтальності візирної осі нівеліра, кривини Землі та впливу вертикальної рефракції на результати вимірювання. Вона дозволяє контролювати вимірювані перевищення, величину і постійність кута негоризонтальності візирного променя, в процесі нівелювання на станції. Це також прискорює процес нівелювання за рахунок зменшення втрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч і висоти візирного променя [108;109;112;115].

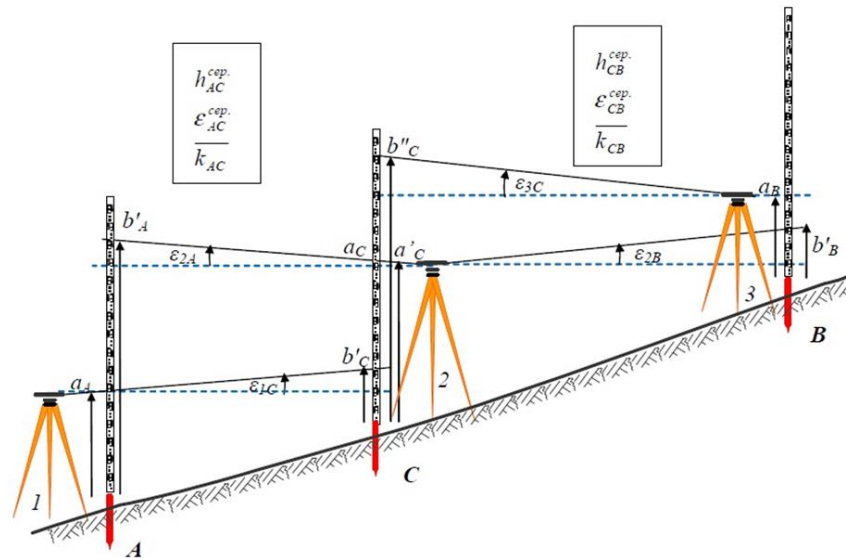


Рис.1.8 Схема геометричного двостороннього нівелювання способом «вперед-назад»

Наближене середнє перевищення без врахування вертикальної рефракції обчислюють за спрощеною формулою (1.1) [112]:

$$h_{AB}^{сер.} = \frac{a_A - b_C - a_C + b_A}{2} = \frac{h_{вп.}^{вим.} - h_{наз.}^{вим.}}{2}, \quad (1.1)$$

де $h_{вп.}^{вим.} = a_A - b_C$; $h_{наз.}^{вим.} = a_C - b_A$.

де a_A, a_C – відліки ближніх рейок, які встановлені у точках A і C ; b_C, b_A – відліки дальніх рейок;

Сумарний середній кут ε_{AB}^{sep} , який містить кутові величини за негоризонтальність візирного променя, кривину Землі та вертикальну рефракцію, обчислюється за формулою (1.2) [39]:

$$\angle \varepsilon'' = \left(\frac{b_A + b_C - a_A - a_C}{2} \right) \frac{\rho''}{d_{AC}}, \quad (1.2)$$

де $\rho'' = 206265$.

Прийнявши, що геометричне нівелювання виконувалося на рівно нахиленому профілі, то еквівалентну висоту обчислюють за спрощеними формулами (1.3) [23;41]:

$$h_{екв.1B} = \frac{2a_A + b_C}{3}; \quad h_{екв.2A} = \frac{2a_C + b_A}{3}. \quad (1.3)$$

Лінійну величину різниці $\angle \varepsilon$ обчислюють за формулою (1.4) [119]:

$$\Delta = \frac{h_{np.} - h_{зв.}}{2}, \quad (1.4)$$

де $h_{np.}, h_{зв.}$ – перевищення прямого і зворотного ходу;

Оскільки величина рефракції обернено пропорційна до еквівалентних висот, то, склавши лінійну пропорцію поправки у перевищення, можна розрахувати [119]:

$$\left. \begin{aligned} \nu_1 &= 2 \times \Delta \frac{h_{екв.2A}}{h_{екв.1B} + h_{екв.2A}} \\ \nu_2 &= 2 \times \Delta \frac{h_{екв.1B}}{h_{екв.1B} + h_{екв.2A}} \end{aligned} \right\}, \quad (1.5)$$

де Δ – лінійна величина різниці кута $\angle \varepsilon$; ν_1 – величина поправки вертикальної рефракції.

Виправлені перевищення обчислюються за формулою (1.6) [119]:

$$h_{випр.} = h_1 - \nu_1, \quad (1.6)$$

h_1 – виміряне перевищення.

Точність геометричного нівелювання методом «із середини» та «вперед-назад» обчислюється за формулами [115]:

$$m_h^2 = 2m_{відл}^2 + 2m_i^2 \left(\frac{S}{\rho''} \right)^2 + 2m_{\Delta k}^2 \left(\frac{S^2}{2R} \right)^2, \quad (1.7)$$

$$m_h^2 = 2m_{\text{відл}}^2 + m_i^2 \left(\frac{S}{\rho''} \right)^2 + m_{\Delta k}^2 \left(\frac{S^2}{2R} \right)^2, \quad (1.8)$$

де $m_{\text{відл}}$ – похибка відлічування; m_i – похибка за негоризонтальність променя візування; $m_{\Delta k}$ – похибка за вертикальну рефракцію. S – горизонтальна віддаль між нівеліром і дальніми рейками; R – середній радіус Землі.

Тригонометричне нівелювання

Для рівнинної чи горбистої місцевості з великою кількістю озер, боліт та річок найкращим методом нівелювання є тригонометричне нівелювання. Використання тригонометричного нівелювання надає ряд безсумнівних економічних, трудомістких та часових переваг перед нівелюванням горизонтальним променем. Метод тригонометричного нівелювання за продуктивністю значно переважає геометричне нівелювання, однак точність його вважається меншою порівняно з геометричним. Із появою сучасних електронних тахеометрів значно підвищилася точність вимірювання вертикальних кутів та віддалей. Основними похибками тригонометричного нівелювання залишаються: врахування вертикальної рефракції, вимірювання зенітних відстаней та висот візирних цілей і приладів.

Питаннями про застосування тригонометричного нівелювання свого часу займалися багато науковців: А. Островський [100;104;105;106;147], Б. Джуман [38], Л. Хижак, М. Дрок, Д. Масліч [89], Б. Тлустяк [137;138], В. Літинський [81;82], Ф. Заблоцький, С. Власенко, С. Перій [117;118], О. Мороз, А. Ізотов, Л. Пеллінен [51], М. Кравцов, В. Перваго, В. Дементьев [36;37], М. Марущак [88], І. Тревого, П. Баран [20], А. Михайлев [91], А. Никонов [102,103;146], F. Bruner [5] та багато інших.

Перевищення h_{AB} без врахування відхилення прямовисних ліній можна обчислити за формулою (1.9) [117], використовуючи результати односторонніх вимірювань вертикальних кутів та похилих віддалей (рис.2.4):

$$h_{AB} = D_{AB} \cos Z_{AB} + i_A - v_B + (1 - k_{AB}) \frac{D_{AB}^2 \sin^2 Z_{AB}}{2R}, \quad (1.9)$$

де D_{AB} – похила віддаль, виміряна між пунктом спостереження, у яку введенні

поправки за метеорологічні умови проходження світлового променя; Z_{AB} – виміряна зенітна відстань; i_A – висота тахеометра; v_B – висота візирної цілі; $R \cong 6380$ км – радіус кривини Землі; k_{AB} – інтегральний коефіцієнт вертикальної рефракції по спостережуваній лінії, визначений на пункті А.

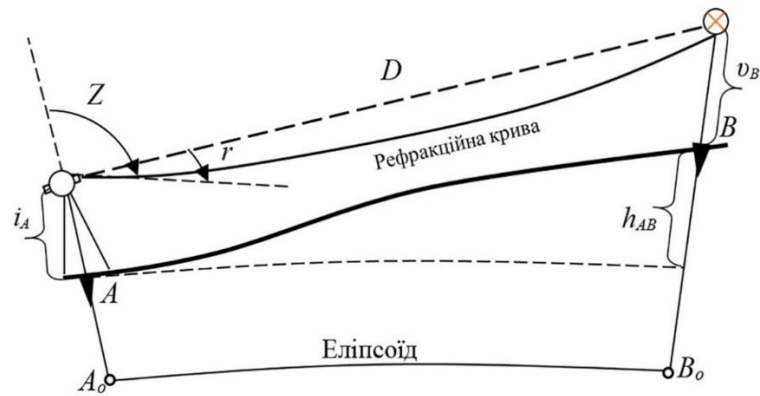


Рис. 1.9 Схема одностороннього тригонометричного нівелювання

Взаємо-зворотні перевищення h_{AB}^1 та h_{BA}^1 без врахування вертикальної рефракції визначають із формули (1.9) [20]:

$$h_{AB}^1 = D_{AB} \cos Z_{AB} + i_A - v_B + \frac{D_{AB}^2 \sin^2 Z_{AB}}{2R}, \quad (1.10)$$

$$h_{BA}^1 = D_{BA} \cos Z_{BA} + i_B - v_A + \frac{D_{BA}^2 \sin^2 Z_{BA}}{2R}. \quad (1.11)$$

Загальну похибку визначення перевищення для одностороннього тригонометричного нівелювання обчислюють за формулою (1.12):

$$m_h = \sqrt{\left(\left(\cos Z + (1-k) \frac{D \sin^2 Z}{R} \right) m_D \right)^2 + \left(\left(D \sin Z + (1-k) \frac{D^2 \sin Z \cos Z}{R} \right) \frac{m_Z}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{D^2 \sin^2 Z m_k}{2R} \right)^2 + m_I^2 + m_v^2}, \quad (1.12)$$

де m_D, m_Z, m_I, m_v – похибки за вимірювання похилої віддалі, зенітної відстані, висоти приладу та візирної марки; m_k – похибка визначення коефіцієнта рефракції.

Для рівнинної місцевості формулу (1.12) можна спростити до такого вигляду:

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{D}{\rho} m_Z \right)^2 + \left(\frac{D^2}{2R} m_k \right)^2 + m_I^2 + m_v^2}. \quad (1.13)$$

Тригонометричне нівелювання «зі середини»

Для послаблення впливу вертикальної рефракції під час тригонометричного нівелювання застосовують метод спостережень «зі середини».

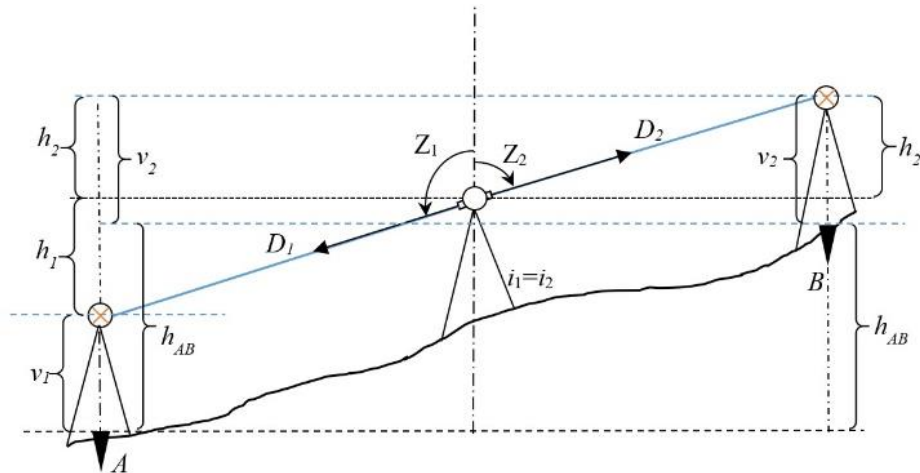


Рис. 1.10 Схема тригонометричного нівелювання «зі середини»

Під час вимірювання зенітних відстаней та похилих віддалей методом «зі середини» можемо прийняти гіпотезу: якщо коефіцієнти вертикальної рефракції по обох плечах нівелювання однакові і висота приладу постійна, то перевищення між точками (див. рис. 1.10) визначають на основі різниць формул (1.10) і (1.11) [20], а оцінка точності визначається за формулою 1.15:

$$h_{AB} = D_2 \cos Z_2 - D_1 \cos Z_1 + \frac{1}{2R} (D_2^2 \sin^2 Z_2 - D_1^2 \sin^2 Z_1) - (v_2 - v_1). \quad (1.14)$$

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{m_z}{\rho''}\right)^2 + \left(\frac{D^2}{2R} m_{\Delta k}\right)^2 + m_{\Delta v}^2}. \quad (1.15)$$

Тригонометричне нівелювання «через точку»

В основу нівелювання методом «через точку» покладено вимірювання зенітних відстаней Z_1 , Z_2 та нахилених віддалей D_1 та D_2 на відбивач, установлений приблизно посередині між станціями (див. рис. 1.11).

За аналогією до методу «зі середини» перевищення методом «через точку» визначають за формулою (1.16) [20], а оцінку точності за формулою (1.17):

$$h_{AB} = D_1 \cos Z_1 - D_2 \cos Z_2 + \frac{1}{2R} (D_1^2 \sin^2 Z_1 - D_2^2 \sin^2 Z_2) + (i_1 - i_2). \quad (1.16)$$

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{m_z}{\rho''}\right)^2 + \left(\frac{D^2}{2R} m_{\Delta k}\right)^2 + m_{\Delta i}^2} \quad (1.17)$$

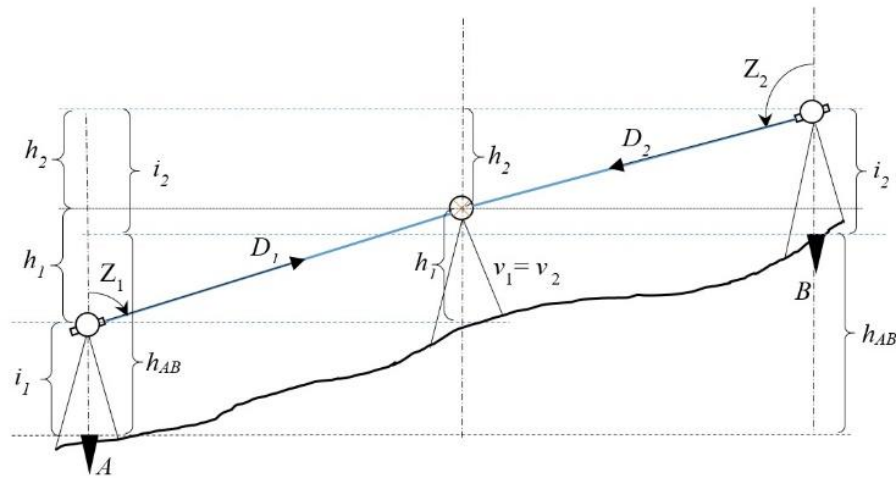


Рис. 1.11 Схема тригонометричного нівелювання «через точку»

Відмінності двох методів «зі середини» і «через точку» полягають в основному тільки в одночасності спостережень для методу «зі середини» та вимірюванні або висот інструментів або візирних цілей, що не є суттєвим. В основному методи можна застосовувати для передачі висоти між точками для зменшення віддалі та вибору однакової підстильної поверхні між точками для компенсації вертикальної рефракції [19;20].

Двостороннє тригонометричне нівелювання

Одним із дієвих геодезичних методів врахування вертикальної рефракції є двостороннє тригонометричне нівелювання. Розрізняють одночасні та неодночасні двосторонні спостереження. Одночасні спостереження доволі трудомісткі та дороговартісні (необхідно мати, щонайменше два високоточних прилади, відбивачі при двох спостерігачах). Двостороннє тригонометричне нівелювання передбачає визначення перевищень із протилежних кінців лінії спостереження. Для цього виконують вимірювання взаємно зворотних вертикальних кутів та віддалей (див. рис.1.12).

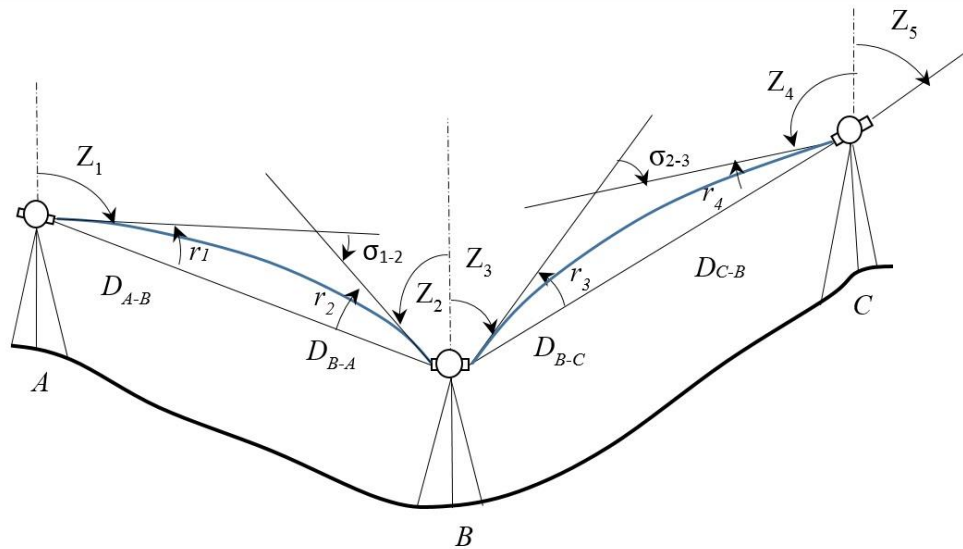


Рис. 1.12 Схема застосування двостороннього тригонометричного нівелювання

Перевищення із двостороннього тригонометричного нівелювання можна обчислити за формулою (1.18) [20]:

$$h_{AB} = \frac{D_{AB} \cos Z_{AB} - D_{BA} \cos Z_{BA}}{2} + \frac{(i_A - v_B) - (i_B - v_A)}{2} + \frac{(1 - k_{AB}) D_{AB}^2 \sin^2 Z_{AB} - (1 - k_{BA}) D_{BA}^2 \sin^2 Z_{BA}}{4R}. \quad (1.18)$$

Зазвичай, перевищення із двостороннього тригонометричного нівелювання отримують із частковою компенсацією вертикальної рефракції за умови однакового її впливу за спрощеною формулою (1.18) [147]:

$$h_{AB}^{дв.мп.} \cong \frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2}. \quad (1.19)$$

СКП перевищення для двостороннього тригонометричного нівелювання обчислюють за формулою (1.20):

$$m_h = \sqrt{\left(\cos Z m_D\right)^2 + \left(D \sin Z \frac{m_z}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{D^2}{4R} m_k\right)^2} + m_I^2 + m_v^2. \quad (1.20)$$

Різниця коефіцієнтів вертикальної рефракції в ході одночасних спостережень за нормальної стратифікації атмосфери між взаємно протилежними напрямками не перевищуватиме 0.1 [51], що у лінійній величині складе на лініях спостереження до 600 м – 1 мм [82]. Різниця коефіцієнтів вертикальної рефракції повністю увійде до похибки визначення середнього перевищення.

Запропоновано в роботі [117] у перевищення із результатів двостороннього тригонометричного нівелювання враховувати вертикальну рефракцію та похибки

вимірювань зенітних відстаней із використанням флуктуацій зенітних відстаней:

$$h_{AB}^{\partial \delta. mp.} = \frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2} - \left(\frac{m_{Z_{AB}} - m_{Z_{BA}}}{m_{Z_{AB}} + m_{Z_{BA}}} \right) \left(\frac{h_{AB}^1 + h_{BA}^1}{2} \right), \quad (1.21)$$

де $m_{Z_{AB}}$ і $m_{Z_{BA}}$ – флуктуації виміряних зенітних відстаней, визначені за період спостережень із 10-ох прийомів.

Теоретичну зенітну віддаль на пункті спостереження можна визначити, знаючи точне або виправлене перевищення із формули (1.7) [48]:

$$Z_{AB}^{теор} = \arccos \left(\frac{h_{AB}^{теор} - i_A + v_B - \frac{D^2 \sin^2 Z}{2R}}{D_{AB}} \right), \quad (1.22)$$

Найскладнішим у тригонометричному нівелюванні є врахування похибок, викликаних вертикальною рефракцією [36;37;147].

Коефіцієнт вертикальної рефракції залежить від зміни градієнта температури та атмосферного тиску.

Формула коефіцієнта вертикальної рефракції від температури та тиску набуде вигляду (1.23), де перший член – коефіцієнт нормальної рефракції, а другий – коефіцієнт аномальної рефракції [51]:

$$k = 12,27 \frac{P}{T^2} + 503 \frac{P}{T^2} \frac{c}{h_e^b}. \quad (1.23)$$

За дослідженнями Д. Масліча найкращим періодом стабільності коефіцієнта вертикальної рефракції є весна та літо, для осені та зими характерні максимальні зміни коефіцієнта через нестабільність стану атмосфери.

Геодезичний спосіб визначення коефіцієнта рефракції базується на так званому **рефракційному базисі**, який започаткував С. Вільнер [19]. Виконується тригонометричне нівелювання на лінії з відомими висотами між пунктами, визначеними високоточним (геометричним) нівелюванням. Із формули (1.9) знайдемо коефіцієнт рефракції k [19]:

$$k_{12} = 1 - \frac{(H_2 - H_1) - (D_{12} \cos Z_{12} + i_1 - v_2)}{\Delta_R}, \quad (1.24)$$

де H_1, H_2 – висоти кінцевих пунктів лінії; Δ_R – поправка за кривину Землі.

$$\Delta_R = \frac{D_{12}^2 \sin^2 Z_{12}}{2R}. \quad (1.25)$$

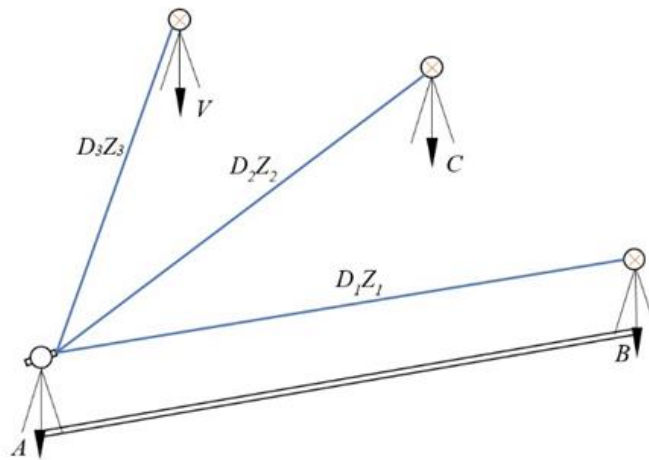


Рис. 1.13 Схема тригонометричного нівелювання методом рефракційного базису
СКП визначення коефіцієнта рефракції обчислюють за формулою (1.26) [19]:

$$m_k = \frac{\sin Z}{\Delta_R} \sqrt{m_h^2 (m_D \cos Z)^2 + \left(D \sin Z \frac{m_Z}{\rho} \right)^2 + m_I^2 + m_V^2}, \quad (1.26)$$

де m_h – похибка взаємного положення (нівелювання) опорних пунктів.

Під час двостороннього тригонометричного нівелювання за відомими висотами коефіцієнти вертикальної рефракції можна визначити двічі за формулою (1.24), тобто окремо k_{12} і k_{21} та за їхньою різницею оцінити якість вимірювань і стратифікацію атмосфери за взаємно зворотними напрямками.

М. Марущак запропонував ефективний спосіб зменшення впливу вертикальної рефракції за допомогою вертикального базису (фіксованого двома рефлекторами і марками) з вимірюванням двох похилих відстаней та зенітних кутів електронним тахеометром [88].

Визначення перевищень методом GNSS

Розвиток супутникових технологій, таких як GNSS, дає змогу визначити перевищення між точками земної поверхні за допомогою приймачів супутникових сигналів. Основною перевагою цього методу є простота та швидкість виконання, однак його точність потребує дослідження [11].

Дослідженням точності GNSS-спостережень, визначення перевищень методом GNSS займались багато науковців С. Савчук [40;126;127], К. Третяк [33;144], О. Кучер [78], Р. Висотенко [78;132], І. Тревого [122;140;141;142], І. Цюпак [122;140;141;142], О. Марченко, Я. Костецька [72;73], І. Калинич [59], А. Віват [24], В. Hofmann-Wellenhof [32], Н. Lichtenegger, J. Collins, С. Rizos, А. Leick, Р. Teunissen, W. Featherstone, G. Fotopoulos, К. Воробьев та багато інших.

Точність визначення висот за результатами GNSS-спостережень залежить від похибок:

- похибки визначення просторового місцеположення пункту, зокрема геодезичної висоти (відносно математичного тіла Землі) з опрацювання GNSS-спостережень;
- похибок моделювання референцної поверхні рівня моря для визначення висот квазігеоїда;
- похибки визначення висоти пунктів геометричним нівелюванням.

На точність визначення висот точок технологією GNSS впливають такі чинники:

- рух фазового центру антени приймача GNSS по висоті;
- геометричне розміщення супутників над пунктами;
- похибки висот перманентних пунктів;
- похибки ефемерид GNSS-супутників;
- вплив атмосфери (тропосферна та іоносферна рефракції).

У процесі вимірювань GNSS-методу визначають геодезичну висоту точки земної поверхні над земним еліпсоїдом WGS-84, що створює умови для приведення геодезичних висот до нормальних, якщо відома висота квазігеоїда над еліпсоїдами WGS-84 або Красовського. Маючи густу мережу опорних реперів геометричного нівелювання, можна створити апроксимовану модель поверхні квазігеоїда і в багатьох випадках виконувати GNSS-нівелювання, замість геометричного. Для визначення висот квазігеоїда була використана модель гравітаційного поля Землі EGM-08, бо з дослідження [35] ця модель найкраща для території України і її точність можна характеризувати ± 10 см. У роботі І. Цюпака [142] встановлено, що модель

EGM2008 представляє геоїд на території Яворівського полігона з похибками 11–13 см.

Дослідження точності визначення перевищень GNSS-методом виконано різними авторами. У роботі К. Третьяка [33] встановлено, що при лініях довжиною 10 км практично можна замінити геометричне нівелювання 3-го класу для визначення вертикальних зміщень. Дослідження точності визначення перевищень GNSS-методом різними часовими серіями від 1 до 24 годин виконано на створеному Яворівському науковому еталонному геодезичному полігоні описано у роботі І. Цюпак, І. Тревого [122]. Встановлено, що перевищення між пунктами еталонного лінійного базису визначено методом GNSS із середнім квадратичним відхиленням 5 мм. Автори стверджують про можливість передавання висот пунктів на відстань близько 2,5 км з точністю другого класу нівелювання в рівнинних районах.

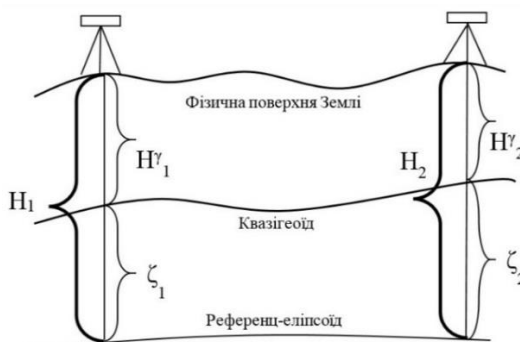


Рис. 1.14 Визначення нормальної висоти GNSS-нівелювання

Перевищення обчислюють за формулою (1.27) [25]:

$$H_2^{\gamma} - H_1^{\gamma} = H_2 - H_1 - (\zeta_2 - \zeta_1), \quad (1.27)$$

де $H_{1,2}$ – геодезичні висоти, які відлічуються від поверхні еліпсоїда; $H_1^{\gamma}, H_2^{\gamma}$ – нормальні висоти; $\zeta_{1,2}$ – висоти квазігеоїда.

Оцінка точності визначення перевищень методом GNSS обчислюється за формулою (1.28) [33]:

$$m_h = [(0.00086 L_{км} - 0.0246) t_{год} + 0.44] \alpha_{(град)} + 5 мм, \quad (1.28)$$

де $\alpha_{(град)}$ – мінімальна висота супутників над горизонтом.

1.5 Водомірні пости та методи визначення рівнів води

Для вивчення режиму водних об'єктів, що характеризуються мінливістю гідрологічних характеристик і залежністю їх від кліматичних умов, встановлюють спеціальні гідрологічні станції і пости [27]. На цих спостережних пунктах вивчають режим водних об'єктів протягом багаторічного періоду.

За тривалістю спостережень розрізняють стаціонарні (постійні) гідрологічні станції, водомірні пости, а також тимчасові пости.

Водомірний пост – це місце на річці, озері, водосховищі, вибране з дотриманням певних правил і обладнане спеціальним устаткуванням для систематичних вимірювань рівня води [27].

За способом облаштування водомірні пости бувають прості, самописні і з дистанційною реєстрацією. Прості водомірні пости поділяють на рейкові, пальові і змішані.

Рейкові водомірні пости – це одна або декілька дерев'яних чи металевих рейок з одно-або двосантиметровими поділками, прикріпленими до вертикальної стінки набережної, опор мостів чи гребель або спеціально забитої в дно палі. Для збереженості рейкового водомірного поста, він повинен бути захищений льодорізом (див. рис. 1.15). Крім вертикальних, можна використовувати похилі рейки, прикріплені до пологої бетонної поверхні набережної чи сходинок [27]. Для точного відлічування рівня води, якщо є хвилі, рейку встановлюють у ковші, виритому на березі і з'єднаному з руслом канавкою.

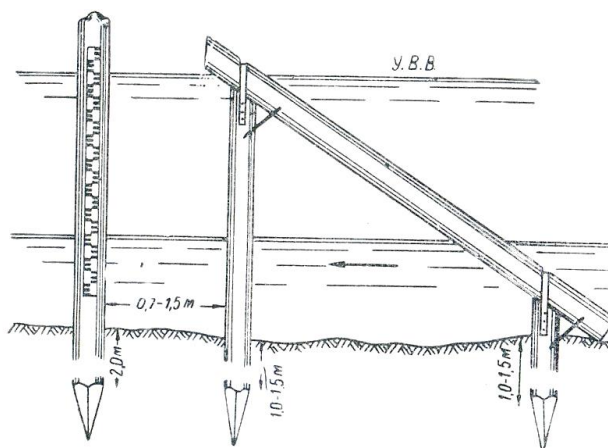


Рис.1.15 Рейковий водпост з льодорізом

До складу **пальового посту** входить декілька забитих паль вздовж одного створу (див. рис. 1.16). Кількість паль на водомірному посту залежить від конфігурації дна русла річки або іншої водойми та коливання рівня води. Палі забиті так, що верх (головка) першої палі є на 0,5 м вище від найвищого рівня води, а головка останньої палі на 0,5 м нижче від найнижчого рівня води. Різниця висот головок сусідніх паль не більша 0,8 м. Висоту рівня води на цьому водомірному пості вимірюють переносними дерев'яними чи металевими рейками з одностиметровими поділками, які ставлять на головку найближчої до берега затопленої палі. Перевищення між палями і вся система паль прив'язана нівелюванням до репера водомірного поста [27].

На водомірному пості встановлюють два репери – контрольний і основний. Контрольний репер використовують для систематичних контрольних визначень висот вимірюваних точок, висоту якого перевіряють відносно основного репера. Репери встановлюють поза зоною затоплення високими водами. Основний репер має бути прив'язаний до репера III або IV класу [27].

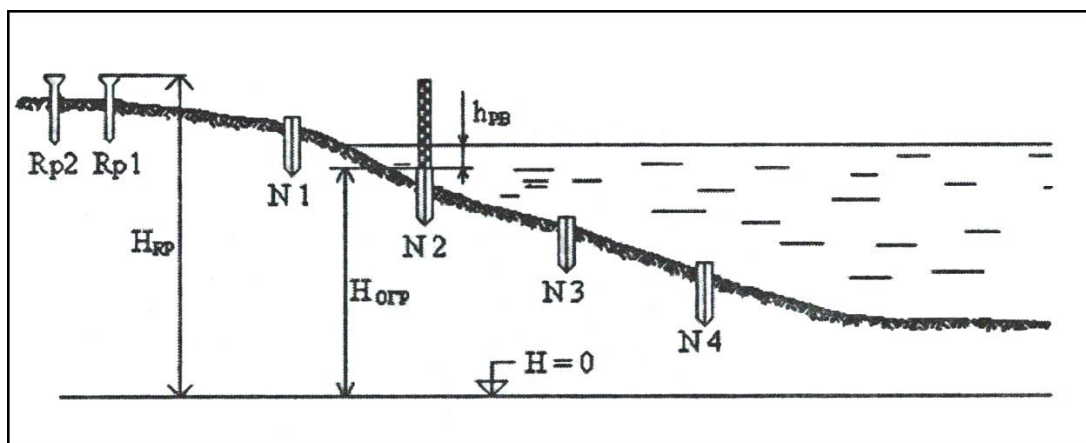


Рис.1.16 Пальовий водомірний пост

$Rp2$, $Rp1$ – контрольний і робочий репери; $H_{огр}$ – висота нуля графіка водомірного поста; $h_{рв}$ – висота рівня води над нулем графіка; $H_{кр}$ – висота контрольного репера; $N1,2,3,4$ – номери паль

Змішані рейково-пальові водомірні пости встановлюють на річках з різкими перегинами профілю берегів або біля мостів і набережних. Водомірний пост складається з декількох паль, забитих на дно на похилій частині русла і рейки, у стрімкій частині профілю берега [85].

Вимірюють рівні води на водомірних постах щоденно о 8 та 20 годинах. Під час незначних коливаннях виміри рівня виконують тільки один раз – зранку. Під час паводків і повеней вимірюють рівень через однакові проміжки часу (1,2,4,6 год.) [27]. Висоту рівня на простих постах вимірюють з точністю 10 мм.

Рейковий і пальовий водомірні пости мають переваги через простоту пристроїв і порівняно невисоку вартість. Їх недоліком є руйнування паль через замерзання води, відсутність заспокійливих колодязів, ручна реєстрація вимірів.

Самописні водомірні пости встановлюються на водних об'єктах, рівень води у яких різко змінюється протягом доби. Автоматизовані спостереження за рівнями води виконують за допомогою поплавкових самописців рівня води – лімніграфів. Найпоширенішим самописцем рівня води є «Валдай». Одна з головних деталей самописця – поплавок. Рух поплавка передається на передавальний і годинниковий механізми самописця, за допомогою яких на розграфленому папері (стрічці) записується графік зміни рівня в часі. **Перевагою** є відносно проста конструкція і, відповідно, низька вартість. **Недоліками** є спосіб реєстрації результатів вимірювань – чорнилами на паперовій стрічці та неможливість дистанційної передачі інформації [46].

Передаточні водомірні пости споруджуються тоді, коли підхід до води важкодоступний (наприклад, дуже круті береги). Рівні води в таких випадках вимірюються вище поверхні води або збоку на березі. Передаточний водомірний пост обладнується як на березі, так і на гідротехнічній споруді.

Мостовий водомірний пост облаштовується на містку чи іншій споруді, розташованій над водою. Для цього на мосту (чи іншій споруді) вибирається і закріплюється постійна точка (нуль спостережень), висотне положення якої визначається нівелюванням від репера. Рівень води вимірюється рейкою, розміченим тросом чи рулеткою з тягарцем [86].

Дистанційні водомірні пости, незалежно від конструкції і принципу дії, складаються з датчика, джерела живлення, каналу зв'язку і реєстратора даних про висоту рівня.

У системі служби Держкомгідромету функціонують дві моделі дистанційних водомірних постів [27]:

- автоматичний дистанційний гідрологічний пост, на якому виконують вимірювання рівня води і її температури. Дані вимірювання можна передавати по лініях електрозв'язку на відстані до 30 км.
- радіорівнемір «Перека́т», на якому автоматично виконується вимірювання рівня води і передавання даних по радіо на віддаль до 300 км.

Датчики більшості дистанційних рівнемірів мають поплавковий пристрій, але є також **пневматичні, акустичні, радіолокаційні**.

Останніми роками розроблено багато **акустичних** вимірювачів висоти рівня, дія яких заснована на вимірюванні часу проходження звукового імпульсу, відбитого від поверхні води. Випромінювач імпульсів і приймач встановлюються над поверхнею води (над найвищим рівнем, що спостерігався на даному водному об'єкті). Акустичний випромінювач надсилає звуковий імпульс в напрямку водної поверхні. Приймач фіксує відбитий імпульс, а час, що пройшов з моменту посилення імпульсу, дозволяє визначити відстань до водної поверхні [86]. Точність вимірювання рівня води становить 1 см.

Оскільки швидкість звуку в повітрі змінюється залежно від його температури і вологості, ця технологія потребує компенсації змін температури повітря. Компенсація виконується шляхом вимірювань деякої постійної еталонної відстані і вимірювань температури повітря в робочій зоні. Крім того, всі вимірювання виконуються у звуковій трубі, що захищає від різких змін робочу зону вимірювача. Саму акустичну установку бажано розміщувати в зовнішньому колодязі, який зможе заспокоїти водну поверхню від хвиль і захистити від швидкої зміни температури повітря. **Недоліком** цих вимірювачів є потреба в одночасних вимірюваннях температури та вологості повітря [86].

Принцип роботи **пневматичних** систем заснований на вимірюванні гідростатичного тиску стовпа води над фіксованою точкою і перетворенні його в еквівалентний рівень водойми з урахуванням щільності води і локальної гравітаційної сталої. Рівень вимірюється за допомогою перетворювача тиску, який розташовується

під найнижчим рівнем, що очікується. Головний **недолік** цих вимірювачів – низька спроможність під час хвиль на водній поверхні. Крім того, потрібно враховувати атмосферний тиск.

Дія **радіолокаційних** приладів заснована на вимірюванні часу розповсюдження імпульсу у радіохвильовому діапазоні. Точність вимірювання рівня води становить 1 см.

На відміну від акустичних приладів, радар менш чутливий до зміни температури [85]. З'явилися іноземні автоматизовані пристрої і прилади, наприклад, радарний датчик рівнів води OTT RLS, який розміщується на мостах і шлюзах. Діапазон вимірювань складає від 0,8 м до 35 м. **Недоліком** радарних датчиків є неможливість безперервної дистанційної передачі й реєстрації даних. У нашій країні широкого використання ці системи не знайшли.

Супутникові методи використовують останніми роками для моніторингу рівня води на внутрішніх водоймах. Точність вимірювання рівня води становить 5 см. Головні **переваги** зондування підстилаючої поверхні у мікрохвильовому діапазоні пов'язані з доброю проникністю радіохвиль крізь атмосферу і хмарність, що дозволяє виконувати спостереження в будь-який час доби, практично за будь-якої погоди, наявності в повітрі достатньо високої концентрації аерозолів. Це радіоальтиметри, які розміщені на супутниках CNES/NASA Topex–Poseidon і Jason-1. Головна **проблема** зондування рівнів води на невеликих акваторіях виникає під час калібровки та валідації одержаної інформації, тому що стандартна обробка альтиметричної інформації розроблена для відкритого океану [86].

Водомірні пости для спостережень за підземними водами встановлюються у колодязях та бурових свердловинах. У бурову свердловину, утворену з допомогою обсадних труб, опускають спостережувану трубу діаметром 10 см. У нижньому кінці труба має отвори та обсипана з зовнішньої сторони крупнозернистим піском або гравієм (рис.1.6) [22].

Для захисту від проникнення в трубу поверхневих вод верхня частина свердловини відгороджується глиною, а спостережна труба накривається кришкою

для запобігання її забруднення. Верхній кінець труби прив'язується нівелюванням до репера і є постійною вихідною площиною, від якої відлічується рівень води в трубі.

Відлік рівня води в колодязі чи трубі можна виконувати за допомогою дерев'яних рейок або лотів на гнучких розмічених стрічках (рулетках). Рейки зручно використовувати, якщо глибина колодязя не більше 3-3,5 метра. Рейка опускається в колодязь до дотику її нижнього кінця з водою, відлік по рейці зчитують проти мітки, яка є вихідною точкою для спостережень. Якщо нижній кінець рейки буде змочений, то від першого відліку потрібно відняти глибину занурення рейки у воду [83].

Лот – це рулетка з металевою стрічкою, на кінці якої для кращого її натягу прикріплений тягарець 1 із штирем 2 (Див. рис. 1.18). Перед спостереженням тягарець 2 натирають крейдою і лот опускають у воду. Відлік рівня виконують по стрічці проти верхнього кінця труби, після чого лот витягують і по змиву крейди зі штиря встановлюють глибину його занурення у воду; і ця величина віднімається із першого відліку по стрічці. Лот з ковшем, прикріплений до металевої стрічки (див. рис.1.18 б).



Рис. 1.17 Пост для спостереження за підземними водами

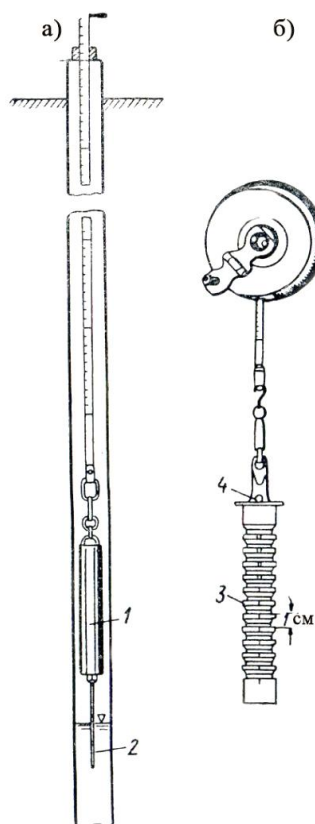


Рис. 1.18 Лот для вимірювання рівня підземних вод

Ківш 3 складається з 10-20 маленьких стаканчиків, насаджених через 1 см на вертикальну вісь, в якій є наскрізний отвір, закритий у верхньому кінці трубки із свистком 4. Під час занурення приладу у воду повітря стиснене в отвори осі ковша та виходить зі свистом, це свідчить про те, що лот не тільки досягнув води, а й почав у неї занурюватися. Під час звучання свисту відлічують рулетку проти верхнього краю труби. Витягують лот з труби і визначають глибину занурення лота за наповненими водою стаканчиками і виправляють відлік рівня на величину занурення ковша у воду. Аби запобігти потраплянню в стаканчики капель води, зверху вони закриті захисною тарілкою [83].

Також є лоти і водомірні рейки із електричною сигналізацією, суть яких полягає в тому, що в момент дотику нижньої поверхні лота (рейки) з водою відбувається замикання струму, про що сигналізує дзвінок чи світло лампочки. Для реєстрації рівнів підземних вод застосовують також самописці і дистанційні рівноміри.

Проаналізувавши усі методи, встановлено, що точність визначення рівня води становить 1 см і більше.

1.6 Чинники, які впливають на зміну рівня води

Для вивчення динаміки зміни рівнів поверхневих та підземних вод необхідно розглянути чинники, які впливають на ці зміни.

Причини коливання рівня води в озерах можна поділити на дві групи [22]:

- 1) коливання рівня води в озерах, що спричиняються зміною співвідношення елементів водного балансу, тобто зміною водної маси озера;
- 2) коливання рівня води в озерах, які не пов'язані зі зміною водної маси, тобто ті, які відбуваються при постійному об'ємі водної маси, це так звані денівеляції.

Коливання рівня першої групи пов'язані передусім з кліматичними причинами, і тому зміни рівня, як і кліматичні зміни, можуть бути віковими, багаторічними та сезонними [22].

Коливання рівня другої групи пов'язані передусім зі згінно-нагінними денівеляціями рівня, що обумовлені вітрами або сейшовими коливаннями. Такі коливання мають короткочасний характер.

Вікові та багаторічні коливання рівня озер. Головна причина таких коливань – кліматична, тому вивчення вікових і багаторічних коливань рівня озер може служити і непрямим доказом існування кліматичних змін зволоженості території.

Загальновідомі вікові й багаторічні коливання рівня Каспійського й Азовського морів, обумовлені як кліматичними, так і антропогенними факторами.

Сезоні коливання рівня озер. Ці коливання також пов'язані переважно зі змінами складових водного балансу озер. Підвищення рівня озер відбувається в період підвищеного притоку вод в озера, обумовленого типом середньорічного річкового стоку.

Величина сезонного коливання рівня озера залежить від площі поверхні озера і питомого водозбору: зі зменшенням площі озера й збільшенням питомого водозбору вона збільшується [22].

Короточасні коливання рівня озер. Коливання рівня цього виду можуть бути обумовлені згінно-нагінними явищами, сейшми, коливаннями атмосферного тиску.

Вплив вітру викликає підвищення рівня води у навітряного (нагін) і зниження рівня води у підвітряного (згін) берега. При тривалому стійкому вітрі виникає перекис водної поверхні з ухилом у бік, протилежний до напрямку вітру.

Нерівномірний розподіл атмосферного тиску також створює перекис рівня води. При цьому рівень води поводить як «зворотний барометр», підвищується при зниженні і знижується при підвищенні атмосферного тиску [22].

Після припинення дії вітру або вирівнювання градієнтів атмосферного тиску маса води в озері, прагнучи повернутися до стану рівноваги, починає випробувати поступово загасаючі коливання руху – сейші. Пункти, де коливання рівня максимальні, називаються пучностями, а де рівень незмінний – вузлами.

Для підземних вод, так як і для поверхневих, теж характерний певний режим. **Режим підземних вод** – це зміна в часі рівнів підземних вод, температури, фізичних властивостей, хімічного, газового складу, швидкості руху, витрати і т.д [62]. Режим підземних вод визначається геологічною обстановкою і кліматичними умовами, а також господарською діяльністю людини (осушення, зрошення,

будівництво водозаборів, дренажних споруд і т.д.). Уявлення про **класифікацію факторів режиму підземних вод** дає таблиця 1.4.

Таблиця 1.4

Класифікація факторів режиму підземних вод (За М. Альтовським) [15]

Генетичні групи факторів	Фактори				
	Вікові	Багаторічні	Сезонні	Добові	Епізодичні
кліматичні	Різні типи клімату	Метеорологічні елементи (атмосферні опади, температура повітря, випаровування, коливання сонячної активності і ін.)	Метеорологічні елементи (атмосферні опади, температура повітря, випаровування та ін.)	Метеорологічні елементи (випаровування, температура повітря, атмосферний тиск і опади). Вплив тяжіння Місяця і Сонця («земні припливи»)	Різкі зміни атмосферного тиску, температури повітря (відлиги), зливи і ін.
геологічні	Епейрогенічні коливання земної кори. Зміни літологічного складу і водопроникності порід (у зв'язку з вилугуванням, ущільненням, цементацією, перекристалізацією і ін.). Геоморфологічні перетворення. Зміна температурного і гравітаційного поля землі	Неотектонічні рухи. Зміни літологічного складу і водопроникності порід (карстові процеси). Фізико-геологічні процеси: ерозійні, еолові, суфозійні). Фізико-хімічні процеси, що відбуваються в зоні аерації	Карстові, ерозійні і суфозійні процеси. Гідротермічні процеси, що відбуваються в зоні аерації		Землетруси, вулканізм, зсуви
гідрологічні	Режим гідросфери	Режим річок, озер і боліт	Режим річок, озер і боліт	Припливно-відливні явища. Режим річок, що збагачуються льодовиками і ін.	Штормовий прибій, нагон і зганяння води вітрами, льодові затори і зажори
біолого-грунтові	Грунтоутворювальні процеси	Грунтоутворювальні процеси	Діяльність живих організмів (землеріїв). транспірація рослинами	Транспірація рослинами	
штучно створені		Заходи, що осушують: гірський водовідлив, асфальтові покриття міст, водозабори і ін; заходи, що обводнюють: підтоплення і підпір водосховищами, поля фільтрації вод, скидання промислових вод, іригація	Періодичні осушення і обводнення території (меліорація і іригація). Посадки лісосмуг. Зміна структури ґрунтів в результаті оранки	Зрошення	Заходи, що обводнюють - контурне заводнення; осушувальні заходи: будівельний водовідлив, гірські зсуви, осідання в зв'язку з веденням гірничих робіт та ін.

Режими ґрунтових та артезіанських вод суттєво відрізняються. **Режим ґрунтових вод** повністю визначається метеорологічними факторами (атмосферними

опадями, температурою повітря, випаровуванням і т.д.). Нерівномірність інфільтрації атмосферних опадів є основною причиною зміни рівня ґрунтових вод. Окрім того, особливо в межах урбанізованих територій, значний відбиток на рівні ґрунтових вод накладають переущільнення ґрунтів унаслідок забудованості території та втрати вологи в системі підземних інженерних комунікацій (водопроводу, каналізації, теплоцентралей і т.д.) [62].

Режим артезіанських вод характеризується дещо більшою стабільністю. На рівень артезіанських вод теж дуже сильно впливає діяльність людини (забір підземних вод для водопостачання населення й промисловості, штучне водопониження при проведенні будівельних, гірничих та низки інших робіт), особливо на урбанізованих територіях. Унаслідок десятиліть експлуатації рівень артезіанських вод знижується й утворюються *депресійні воронки підземних вод*. Зниження рівнів води тягне за собою і зміну їх фізичних властивостей, хімічного, газового, бактеріального складу підземних вод, зникнення джерел, обміління рік та озер, зміну властивостей гірських порід і т.д.

Для того, щоб з'ясувати чи впливає розробка Хотиславського піщано-крейдового родовища на зміну рівня води в озерах і свердловинах, необхідно дослідити багаторічні та сезонні коливання рівня води. І надалі враховувати їх.

1.7 Постановка задачі дисертаційної роботи

У цій дисертаційній роботі поставлені такі задачі:

1. Створити на території ШНПП науковий експериментальний полігон для моніторингу рівнів води та досліджень методів нівелювання.
2. Дослідити і вдосконалити різні методи нівелювання та їх методики для створення висотних полігонів.
3. Запропонувати методику оптимізації висотної геодезичної мережі на території ШНПП.
4. Визначити і закласти в надійних місцях водомірні пости для проведення моніторингу рівнів води озер ШНПП.

5. Звести в одну Державну систему висот (Балтійська 77) рівні поверхневих, ґрунтових та напірних вод ШНПП для комплексного дослідження динаміки їх зміни з часом.
6. Дослідити залежність багаторічної зміни рівня води на озері Світязь від сонячної активності, температури повітря та опадів за 30 останніх років.
7. Дослідити залежність сезонної зміни рівня води озера Світязь від температури, вологості повітря та кількості опадів з 2006 до 2017 року.
8. Розробити і впровадити конструкцію мобільного водомірного посту.
9. Розробити математичну модель для прогнозування зміни рівня води озера Світязь.

На першому етапі роботи необхідно обстежити та відновити нівелірні знаки, які збереглися на місцевості, закладені раніше під час виконання робіт геодезичними організаціями в різні роки на території ШНПП. Обстежити наявні свердловини для спостереження за рівнями ґрунтових, напірних вод та прив'язати їх до нівелірної мережі.

Кожне озеро потрібно забезпечити водомірним постом, який складається з трьох реперів: двох основних і одного робочого.

Виконати щомісячний, окрім зимового періоду, моніторинг рівнів поверхневих вод на 10 озерах ШНПП: Пісочне, Соменець, Мошне, Кримно, Перемут, Люцимер, Світязь, Пулемецьке, Чорне Велике, Острів'янське.

ВИСНОВКИ ДО 1 РОЗДІЛУ

1. Виконано детальний аналіз топографії, геоморфології, гідрології, матеріалів виконання геодезичних робіт та здійснено обстеження наявності геодезичних пунктів на території ШНПП. Виявлено, що на території парку не існує постійного моніторингу рівнів води на всіх озерах, а наявних пунктів ДГМ недостатньо для забезпечення моніторингу рівнів вод.
2. Виконано детальний аналіз літературних джерел методів визначення рівнів води. Виявлено, що точність усіх методів визначення рівня води становить не точніше 1 см. Показано необхідність модернізації відомих методів і технічних засобів одержання гідрологічної інформації.
3. Запропоновано в подальшому постійно проводити комплексні геодезичні дослідження на території ШНПП у зв'язку з роботами Хотиславського піщано-крейдового родовища на території Білорусі, діяльність якого може призвести до екологічної катастрофи. Для виявлення впливу діяльності родовища перш за все необхідно виконати дослідження взаємозалежності багатолітніх, сезонних кліматичних чинників для того, щоб в подальшому враховувати їх у змінах рівнів вод.

РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ НІВЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИСОТНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ШНПП

Основною метою створення висотної геодезичної мережі є моніторинг рівнів поверхневих, напірних та ґрунтових вод ШНПП і прив'язка їх до Державної системи висот (Балтійська 77) для виявлення та запобігання негативних процесів, спричинених експлуатацією Хотиславського родовища. Для моніторингу рівня води цієї групи озер, створення полігонів доцільно виконувати за програмою геометричного нівелювання III класу, оскільки вимоги щодо точності вимірювання рівня води становлять 1 см.

2.1 Створення висотної геодезичної мережі на території ШНПП для моніторингу рівнів води

На території ШНПП протягом 2015-2017 років проведені наукові експедиції для створення висотних полігонів навколо озер Пісочне та Світязь за програмою геометричного нівелювання III класу [70]. Ці полігони створено згідно з Інструкцією нівелювання I – IV класів [52]. У створюванні полігони були включені наявні реperi нівелірної мережі та пункти тріангуляції, а також додатково закладені 7 стінних реперів та 3 марки. Схема висотних полігонів подана на рис.2.1.

Висотна основа ШНПП складається з 3-х полігонів [99]:

- Полігон №1, прокладений від гр. репера б/№ (27) до нього ж, навколо озера Пісочне через населений пункт Мельники. Довжина полігона становить 14,6 км. Він закріплений 6-ма реперами: гр. рп. № 27; марка б/№ (Мельники); п. тр. Перемут; ст.рп.№174 (База); п. тр. Травни; ст. рп. б/№ (Школа).
- Полігон №2, прокладений від марки б/№ (Мельники) до неї ж, навколо озер Карасинець та Озерце, через с.м.т. Шацьк і село Мельники. Довжина полігона становить 18,2 км. Він закріплений 10-ма реперами: ст. рп. № 5147 (Пошта); ст. рп. № 630; ст. рп б/№ (буд. № 192); п. тр. Плотиччя; ст.рп. б/№ (Міст-3); ст. рп. б/№ (Школа); мр. б/№ (Мельники); ст. рп б/№ (Міст-2); мр. б/№ (Бігборд); мр. б/№ (Міст-1).

• Полігон №3, прокладений від ст. рп. №5147 (Пошта) до нього ж, навколо озера Світязь, через населені пункти: Шацьк, Світязь, Підманове, Залісся, Пульмо. Довжина полігона становить 32,6 км і закріплений 12 реперами: ст. рп. №5147 (Пошта); свердловина; гр. рп. б/№ (Водпост); ст.рп. б/№ (Пілон); закл. точка б/№ (ЛЕП); ст. рп. б/№ (Ферма); ст. рп. № 1909 (Садік); ст.рп. б/№ (Кінцевий Пульмо); п.тр. Городище; ст. рп. № 9235 (Міст-4); мр. б/№ (Бігборд); мр. б/№ (Міст-1).

Нівелювання виконували за методикою геометричного нівелювання III класу за допомогою цифрових нівелірів Dini 22 Trimble № 700285A, Dini 03 Trimble №735275, №735278 з використанням штрих-кодових рейок [131].

Перед початком робіт виконували перевірки та дослідження нівелірів. Перед початком польових робіт виконували визначення кута i та протягом перших семи днів досліджували його стабільність, і лише після того цю перевірку виконували раз в 15 днів.

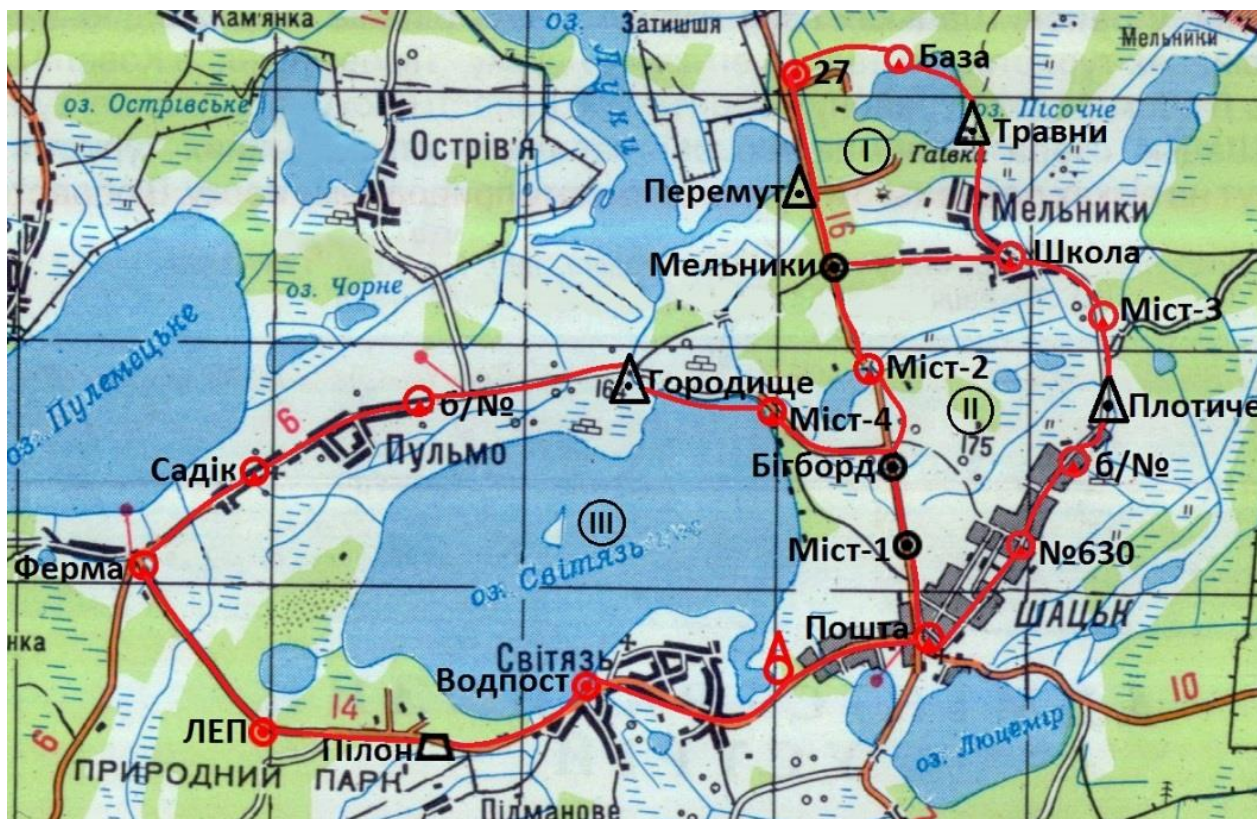


Рис.2.1 Схема створених висотних полігонів геометричним нівелюванням III класу на території ШНПП

Опрацювавши результати вимірювань у програмному комплексі Credo_DAT, отримали попередню оцінку точності створеної мережі (див. табл. №2.1).

Таблиця 2.1

**Попередня оцінка точності визначення СКП висотного положення реперів
висотної геодезичної мережі**

№п/п	Репери та пункти	СКП (м)	№п/п	Репери та пункти	СКП (м)
1	27	0,024	12	Міст-4	0,019
2	192	0,021	13	Мельники	0,022
3	630	0,019	14	Пілон	0,012
4	Бігборд	0,019	15	Перемут	0,023
5	База	0,024	16	Плотиччя	0,022
6	Водпост	0,015	17	Пошта	0,019
7	Городище	0,019	18	Пульмо кінцевий	0,018
8	Дит.садок	0,016	19	Травни	0,024
9	Міст-1	0,019	20	Ферма	0,012
10	Міст-2	0,021	21	Школа	0,022
11	Міст-3	0,022	22	Свердловина	0,017

На експериментальних полігонах виконано геометричне нівелювання за програмою III класу впродовж 3 років. Результати нівелювання полігону № 1 зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Результати нівелювання III класу полігону №1

№ п/п	Назва пунктів та реперів	Довжина секції, (м)	Кількість штативів	Перевищення прямий хід, (мм)	Перевищення зворотній хід, (мм)	Середнє перевищення, (мм)	fh (мм)	fh _{доп} (мм)
1	Гр.рп.б/№27	5273,39	52	1170,5	-1164,0	1167,25	6,5	16,2
2	П.тр. Перемут	4317,37	36	211,5	-207,0	209,25	4,5	14,7
3	Мр. б/№2 (Мельники)	5213,17	40	1086,5	-1087,0	1086,75	-0,5	16,1
4	Ст.рп.б/№2 (школа)	4876,51	38	-517,0	520,0	-518,50	3,0	15,6
5	П.тр.Травни	6640,82	61	-940,0	940,0	-940,00	0,0	18,2
6	Ст.рп. №174 (База)	2838,10	31	-1003,0	1000,5	-1001,75	-2,5	11,9
1	Гр.рп.б/№27							

Результати геометричного нівелювання по полігону №2 зведені в таблиці № 2.3

Таблиця 2.3

Результати нівелювання III класу полігону №2

№ п/п	Назва пунктів та реперів	Довжина секції,(м)	Кількість штативів	Перевищення прямий хід, (мм)	Перевищення зворотній хід, (мм)	Середнє перевищення, (мм)	fh (мм)	fh _{доп} (мм)
1	Мр. б/№ (Мельники)	3407,24	24	-567,5	569,0	-568,25	1,5	13,0
2	Ст.рп. б/№ (Міст-2)	3869,97	28	4054,5	-4052,5	4053,50	2,0	13,9
3	Мр. б/№ (Бігборд)	3221,85	25	2143,0	-2140,0	2141,50	3,0	12,7
4	Мр. б/№ (Міст-1)	2137,24	21	3023,0	-3023,0	3023,00	0,0	10,3
5	Ст.рп. № 5147(Пошта)	1842,54	20	-5285,0	5281,1	-5283,05	-3,9	9,6
6	Ст.рп №630	3009,86	26	2054,0	-2051,6	2052,80	2,4	12,3
7	Ст.рп.б/№ (192)	5006,19	40	-3554,5	3560,5	-3557,50	6,0	15,8
8	П.тр. Плотиця	3515,14	29	-2664,5	2661,0	-2662,75	-3,5	13,3
9	Ст.рп. б/№ (Міст3)	5278,21	46	1887,0	-1883,0	1885,00	4,0	16,2
10	Ст.рп. б/№ (Школа)	5213,17	40	-1087,0	1086,5	-1086,75	-0,5	16,1
1	Мр. б/№ (Мельники)							

Результати нівелювання по полігону №3 зведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Результати нівелювання III класу полігону №3

№ п/п	Назва пунктів та реперів	Подвійна довжина секції, (м)	Кількість штативів	Перевищення прямий хід, (мм)	Перевищення зворотній хід, (мм)	Середнє перевищення, (мм)	fh (мм)	fh _{доп} (мм)
1	Ст.рп. №5147 (Пошта)							
		6339,40	49	-8407,0	8413,5	-8410,25	6,5	17,8
2	Свердловина	5744,70	45	279,5	-278,5	279,00	1,0	16,9
3	Гр. рп. б/№ (Водпост)							

Продовження таблиці 2.4

№ п/п	Назва пунктів та реперів	Подвійна довжина секції, (м)	Кількість штативів	Перевищення прямий хід, (мм)	Перевищення зворотній хід, (мм)	Середнє перевищення, (мм)	f_h (мм)	$f_{h\text{доп}}$ (мм)
3	Гр. рп. 6/№ (Водпост)	3983,82	32	5567,0	-5575,0	5571,00	-8,0	14,1
4	Ст.рп.6/№ (Пілон)	7226,54	56	-1079,0	1082,0	-1080,50	3,0	19,0
5	Закл.т.(ЛЕП)	6799,64	50	-1084,5	1089,0	-1086,75	4,5	18,4
6	Ст.рп. 6/№(Ферма)	6027,80	47	-587,0	584,5	-585,75	-2,5	17,4
7	Ст.рп. №1909 (дит.садик)	5745,33	44	-2218,0	2220,0	-2219,00	2,0	16,9
8	Ст.рп. 6/№ (Пульмо кінцевий)	6440,35	47	-1537,0	1537,0	-1537,00	0,0	17,9
9	П.тр. Городище	6661,95	51	-469,5	479,0	-474,25	9,5	18,3
10	Ст.рп. №9235 (Міст-4)	3986,21	30	4367,5	-4379,5	4373,50	-12,0	14,1
11	Мр. 6/№ (Бігборд)	3221,85	25	2143,0	-2140,0	2141,50	3,0	12,7
12	Мр. 6/№ (Міст-1)	2137,24	21	3023,0	-3023,0	3023,00	0,0	10,3
1	Ст.рп. №5147 (Пошта)							

Врівноваження нівелірної мережі виконано корелатним методом. Вихідним репером є закладна точка III класу (ЛЕП). Схема полігонів із вузловими точками зображена на рис. 2.2. Характеристики кожного нівелірного ходу подані в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Характеристики нівелірних ходів

Ходи	Довжина ходу (м)	Кількість пунктів	$f_{h\text{ факт.}}$ (м)	$f_{h\text{ доп.}}$ (м)
Школа - Мельники	11,973	6	0,002	0,035
Бігборд - Пошта	2,680	3	-0,001	0,016
Пошта - Школа	9,326	6	-0,001	0,031
Школа - Мельники	2,607	2	-0,001	0,016
Бігборд - Мельники	3,639	3	0,000	0,019
Леп - Пошта	11,647	5	0,002	0,034
Бігборд - Леп	17,831	7	0,003	0,042

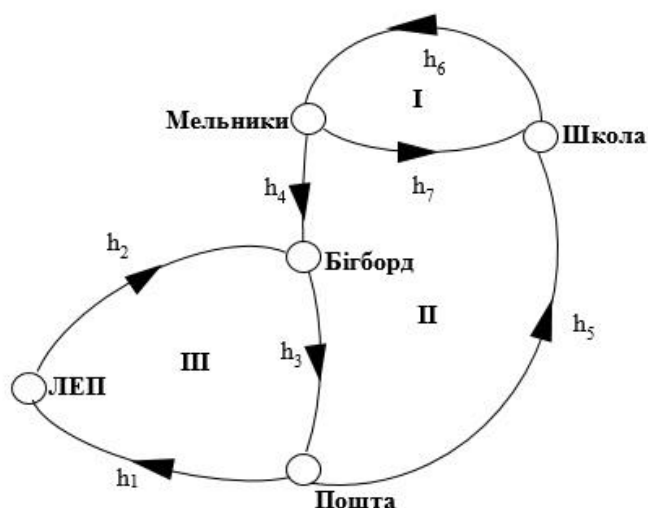


Рис.2.2 Схема зрівноваження ходів геометричного нівелювання

Висоти реперів експериментальної висотної геодезичної мережі зведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Зведена таблиця висот пунктів та реперів висотної геодезичної мережі в результаті зрівноваження

№ п/п	Назва реперів та пунктів	Висоти пунктів та реперів, м	№ п/п	Назва реперів та пунктів	Висоти пунктів та реперів, м
1	Ст.рп. №5147(Пошта)	173,353	13	Гр.рп. б/№ (27)	163,327
2	Свердловина	164,943	14	П.тр. Перемут	164,494
3	Гр.рп. б/№ (водпост)	165,223	15	Мр. б/№(Мельники)	164,703
4	Ст. рп. б/№ (Пілон)	170,794	16	Ст.рп. б/№ (Міст-2)	164,135
5	Закл.точка (ЛЕП)	169,714	17	Ст.рп №630	168,070
6	Ст.рп. б/№ (Ферма)	168,628	18	Ст.рп. б/№(192)	170,123
7	Ст.рп.№ 1909 (Садік)	168,043	19	П.тр. Плотичя	166,566
8	Ст.рп. б/№ (Пульмо кінцевий)	165,824	20	Ст.рп.б/№ (Міст-3)	163,904
9	П.тр. Городище	164,288	21	Ст.рп. б/№ (Школа)	165,789
10	Ст.рп.№9235 (Міст-4)	163,814	22	П.тр. Травни	165,270
11	Мр. б/№ (Бігборд)	168,188	23	Ст.рп.№174(База)	164,329
12	Мр. б/№ (Міст-1)	170,330	24	-	-

СКП нівелювання висотної геодезичної мережі по нев'язках в полігонах (за 2017 рік) обчислена за формулами (2.1;2.2) і становить $m_{\text{ст}}=0,29$ мм, а $m_{\text{км}}=0,84$ мм.

$$m_{cm} = \pm \sqrt{\frac{f^2}{nN}}, \quad (2.1)$$

$$m_{км} = \pm m_{cm} \sqrt{\frac{n}{L}} \quad (2.2)$$

де f – нев’язка полігону або ходу; n – кількість станцій в полігонах; N – кількість полігонів або ходів; L – довжина ходу (полігонів) в км.

Створена висотна геодезична мережа може використовуватися екологами, гідрологами та спеціалістами з геоінформаційних систем для дослідження проблем в цих галузях.

2.2 Дослідження методик нівелювання для моніторингу рівнів води

Для того, щоб визначити, який вид нівелювання найбільше підходить для різних видів території ШНПП, необхідно виконати дослідження найновіших методів і методик нівелювання, які були переважно розроблені в Інституті геодезії Національного університету «Львівська політехніка». Цей підпункт присвячений дослідженню різних методів нівелювання для того, щоб оптимізувати їх застосування для території ШНПП.

2.2.1 Порівняння точності двох методів геометричного нівелювання: «зі середини» та «вперед-назад»

Під час геометричного нівелювання III класу велике значення має визначення та стабільність кута i (відхилення променя візування від горизонтальної площини). Згідно з вимогами Інструкції [52] по виконанню нівелювання III класу перед початком польових робіт необхідно, окрім інших перевірок і досліджень, виконати визначення кута i та протягом перших семи днів досліджувати його стабільність, і лише після цього таку перевірку дозволяється виконувати раз в 15 днів.

Було поставлено за мету проаналізувати результати двох способів геометричного нівелювання: «зі середини» та «вперед-назад» [119].

Послідовність виконання нівелювання способом «вперед-назад» така [23] (див. рис.1.8):

1. Встановили нівелір в положення 1 на віддалі 7-10 м від задньої точки А та привели його в робоче положення. Вибрали по лінії нівелювання точку С відповідно

до допусків – висоти візирного променю над підстилаючою поверхнею та довжини плеча для певного класу нівелювання, і закріпили її.

2. Спрямували трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці С (довге плече) і відлічили її відповідно до програми спостережень, а потім – на А (коротке плече) і відповідно відлічили її.

3. Встановили нівелір в положення 2, біля точки С, дотримуючись рівності довгих і коротких плеч на станції нівелювання АС–СА, аналогічно до положення 1.

4. Спрямували трубу нівеліра на рейку, що встановлена на точці С (коротке плече) і відлічили її, а потім на рейку, що встановлена на точці А (довге плече) і також відлічили її.

5. Обчислили сумарний середній кут $\angle \varepsilon''_{\text{сер.}}$ та оцінили його значення (стабільність та величину відносно попередньої станції) і прийняли рішення відносно повторення нівелювання лінії АС або продовження нівелювання ходу (перехід нівелювання на наступну лінію СВ).

6. Обчислили остаточне середнє значення перевищення $h_{AB}^{\text{сер.}}$ вздовж лінії АС із результатів вимірювань «вперед», «назад».

7. Продовжили нівелювання ходу. Нівелювали наступну лінію СВ, для цього вибрали по лінії нівелювання наступну точку В, відповідно до інструкції виконали нові відлічування рейки, встановленій на точці С (коротке плече).

8. Спрямували трубу нівеліра на рейку, що встановлена на наступній точці В (довге плече) і відлічили її.

9. Продовжили нівелювання, повторюючи вищеописані дії.

Для дослідження точності двох способів геометричного нівелювання: «зі середини» та «вперед-назад» було вибрано одну секцію полігона між двома стінними реперами: ст.рп. №630 та ст.рп. б/№ (Пошта). Віддаль між цими стінними реперами становила 970 метрів. Нівелювання III класу виконувалося цифровим нівеліром Dini 22 Trimble з використанням штрих-кодових рейок. Результати нівелювання способом «зі середини» зведені в таблицю 2.7 [119].

Таблиця 2.7

Результати геометричного нівелювання способом «зі середини»

Прямий хід

Секція	№ станції	Віддаль (м)		Різниця плеч	Відліки (м)		Перевіщення (м)
		Задня	Передня		Задня	Передня	
1	Rp «пошта»	9,45	9,5	-0,05	0,043	1,699	-1,656
	1						
2	1	39,85	39,74	0,11	1,855	1,727	0,128
	2						
3	2	64,45	64,52	-0,07	1,629	1,237	0,392
	3						
4	3	57,53	57,58	-0,05	1,255	1,593	-0,338
	4						
5	4	45,75	45,91	-0,16	1,883	0,853	1,03
	5						
6	5	72,24	72,62	-0,38	1,327	1,748	-0,421
	6						
7	6	71,01	70,92	0,09	0,813	2,597	-1,784
	7						
8	7	73,12	73,53	-0,41	0,068	2,544	-2,476
	8						
9	8	33,04	33,28	-0,24	1,506	1,733	-0,227
	9						
10	9	18,16	18,09	0,07	1,592	1,518	0,074
	Rp 630 (буд №92)						

S=970,29

h=-5,278

Зворотний хід

Секція	№ станції	Віддаль (м)		Різниця плеч	Відліки (м)		Перевіщення (м)
		Задня	Передня		Задня	Передня	
1	Rp 630 (буд №92)	18,08	18,18	-0,1	1,485	1,56	-0,075
	1						
2	1	33,14	32,97	0,17	1,723	1,496	0,227
	2						
3	2	73,27	73,07	0,2	2,529	0,054	2,475
	3						
4	3	71,04	71	0,04	2,616	0,833	1,783
	4						
5	4	72,61	72,68	-0,07	1,736	1,32	0,416
	5						
6	5	46,06	45,68	0,38	0,867	1,899	-1,032
	6						
7	6	57,51	57,75	-0,24	1,573	1,221	0,352
	7						
8	7	64,17	64,53	-0,36	1,254	1,654	-0,4
	8						
9	8	39,83	39,95	-0,12	1,7	1,827	-0,127
	9						
10	9	9,66	9,24	0,42	1,695	0,039	1,656
	Rp «пошта»						

S=970,29

h=5,275

$$f_{h\text{ доп}} = 10 \text{ мм} \times \sqrt{0,97 \text{ км}} = 9,8 \text{ мм}$$

$$f_h = h_{np} - h_{зг} = 3 \text{ мм}$$

У таблиці №2.8 показано, що під час виконання нівелювання способом «вперед-назад» середнє значення кута $\angle \varepsilon''_{\text{сер.}}$ за весь період спостережень становило -3,51", а середнє квадратичне відхилення від середнього значення -1,17".

Порівняльний аналіз двох способів геометричного нівелювання представлений у таблиці №2.9 [119].

Таблиця 2.8

Результати геометричного нівелювання способом «вперед-назад»

Секція	№ станції	Наведення		Віддалі (м)		Відліки		h (м)	h _{сер} (м)	Δ (мм)	∠ε''	іскв. (м)	ν (мм)	h випр. (м)
				задня	передня	задня	передня							
1	1	Rp.63 0	п1	4,58	9,61	1,0256	1,1057	-0,0801	-0,0800	-0,10	-2,1	1,05	-0,1	-0,0800
	2	п1	Rp630	10,64	3,76	1,4145	1,4944	0,0799			-1,9	1,47	-0,1	-0,0800
2	3	п1	п2	3,94	75,9	1,5288	1,2797	0,2491	0,2510	-1,9	-5,1	1,45	-2,0	0,2511
	4	п2	п1	75,7	4,26	1,7692	1,5163	-0,2529			-5,2	1,60	-1,8	0,2511
3	5	п2	п3	4,31	66,85	1,5961	0,5792	1,0169	1,0186	-1,70	-5,2	1,26	-2,0	1,0189
	6	п3	п2	67,09	4,23	2,3972	1,3769	-1,0203			-5,2	1,72	-1,4	1,0189
4	7	п3	п4	3,27	55,69	1,7623	0,3226	1,4397	1,4408	-1,05	-3,9	1,28	-1,2	1,4409
	8	п4	п3	54,39	4,59	2,6943	1,2525	-1,4418			-4,0	1,73	-0,9	1,4409
5	9	п4	п5	3,6	62,18	1,5802	0,7634	0,8168	0,8179	-1,10	-3,6	1,31	-1,3	0,8181
	10	п5	п4	61,03	4,81	2,3077	1,4887	-0,819			-3,7	1,76	-0,9	0,8181
6	11	п5	п6	4,13	71,05	1,5077	0,4494	1,0583	1,0602	-1,85	-5,3	1,15	-2,2	1,0605
	12	п6	п5	71,4	4,03	2,4253	1,3633	-1,062			-5,3	1,72	-1,5	1,0605
7	13	п6	п7	4,72	57,79	1,5000	1,4458	0,0542	0,0552	-1,00	-3,6	1,48	-1,0	0,0552
	14	п7	п6	58,01	4,25	1,5266	1,4704	-0,0562			-3,5	1,49	-1,0	0,0552
8	15	п7	п8	4,88	70,83	1,4473	1,2917	0,1556	0,1565	-0,90	-2,6	1,40	-0,9	0,1565
	16	п8	п7	71,62	3,95	1,6267	1,4693	-0,1574			-2,6	1,52	-0,9	0,1565
9	17	п8	п9	4,57	16,48	1,508	1,2548	0,2532	0,2535	-0,25	-3,1	1,42	-0,3	0,2535
	18	п9	п8	17,08	4,17	1,6294	1,3757	-0,2537			-3,0	1,46	-0,2	0,2535
10	19	п9	п10	4,19	67,08	1,2677	2,4288	-1,1611	-1,1606	-0,50	-1,5	1,65	-0,4	-1,1607
	20	п10	п9	67,75	3,35	0,5741	1,7342	1,1601			-1,5	1,35	-0,6	-1,1607
11	21	п10	п11	3,92	71,36	1,5642	1,502	0,0622	0,06345	-1,25	-3,6	1,54	-1,2	0,0634
	22	п11	п10	71,59	4,08	1,5372	1,4725	-0,0647			-3,6	1,49	-1,3	0,0634
12	23	п11	п12	4,26	66,43	1,5267	1,0579	0,4688	0,4694	-0,60	-1,9	1,37	-0,6	0,4694
	24	п12	п11	66,97	3,57	1,8805	1,4105	-0,4700			-1,8	1,57	-0,6	0,4694
13	25	п12	п13	4,58	57,31	1,4784	2,0118	-0,5334	-0,5325	-0,95	-3,4	1,66	-0,9	-0,5325
	26	п13	п12	57,66	3,81	1,0525	1,584	-0,5315			-3,4	1,41	-1,0	-0,5325
14	27	п13	п14	4,05	60,89	1,5475	1,5983	0,0508	-0,0495	-1,30	-4,4	1,56	-1,3	-0,0495
	28	п14	п13	61,52	3,77	1,5478	1,596	-0,0482			-4,3	1,58	-1,3	-0,0495
15	29	п14	п15	3,73	53,88	1,5868	1,6582	-0,0714	-0,0705	-0,90	-3,4	1,61	-0,9	-0,0705
	30	п15	п14	53,84	3,6	1,4574	1,527	0,0696			-3,4	1,50	-0,9	-0,0705
16	31	п15	Rp « Пошта»	3,7	6	1,8094	0,2207	1,5887	1,5886	0,15	5,1	1,28	0,1	1,5886
	32	Rp « Пошта»	п15	6,37	3,26	1,913	0,3246	-1,5884			4,8	0,85	0,2	1,5886

$$\angle \varepsilon''_{\text{сер}} = -3,5'' \quad \sum h = 5,2829$$

$$m_{\angle \varepsilon''} = 1,17''$$

Як видно з таблиці 2.9 середнє перевищення між двома стінними реперами за результатами нівелювання способом «зі середини» становить 5276,5 мм, а способом «вперед-назад» – 5282,9 мм. А різниця між цими значеннями становить 6,4 мм [119].

Таблиця 2.9

Порівняльний аналіз результатів двох способів геометричного нівелювання

	Спосіб «зі середини»	Спосіб «вперед- назад»
Час виконання	1 год. 45 хв	1 год. 25хв
Перевищення (мм)	5276,5	5282,9
Δ (мм)	6,4	
$f_{\text{н доп}}$ (мм)	9,8	

Отже, спосіб «вперед-назад» за точністю не відрізняється від нівелювання «зі середини», але дає змогу контролювати положення променя візування нівеліра та спрощує процес нівелювання за рахунок вибору лінії нівелюванням (плеча).

Спосіб геометричного нівелювання «вперед-назад» відповідає за точністю способу «зі середини» та вимогам точності нівелювання III класу. Також цей спосіб прискорює процес нівелювання приблизно на 15% за рахунок зменшення витрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч і висоти візирного променя.

2.2.2 Застосування тригонометричного нівелювання над водною поверхнею

Особливістю території ШНПП є заболоченість, лісистість та значна кількість озер. Через це, прокладання нівелірних ходів III класу пов'язано з певними труднощами, а саме: обхід озер та заболочених ділянок. Виконання вимог Інструкції нівелювання [52] для III класу (нерівність плеч, видимість між нівеліром та рейкою, та ще й заборона вирубки просік через заповідну територію) в залісненій місцевості змушувало збільшувати кількість станцій в нівелірному ході, що, своєю чергою, вело до збільшення похибок нівелювання. Одним із найкращих варіантів розв'язання цього питання є передача висоти через водну поверхню тригонометричним нівелюванням. Розглядом даного питання свого часу займалися багато науковців: А. Островський [104;105;147], А. Celms, А. Brants [1], J. Walo, А. Pachuta [12], Д. Масліч [89], С. Перій [117;118], Б. Тлустяк [137;138] та інші.

Було поставлено завдання дослідити можливість заміни частини ходу геометричного нівелювання III класу неодноразовим двостороннім тригонометричним нівелюванням над водною поверхнею.

Дослідження тригонометричного нівелювання над оз. Пісочне

Для дослідження двох методів нівелювання – геометричного та неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання – було вибрано ділянку експериментального висотного полігону, де прокладали хід нівелювання III класу через ліс із обходом озера Пісочне. Довжина нівелірного ходу ПП2-ПП10 становить 1,5 км. Нівелювання за програмою III класу виконували цифровим нівеліром Dini 22 Trimble з використанням штрих-кодових рейок [48].

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.2.3) [66].

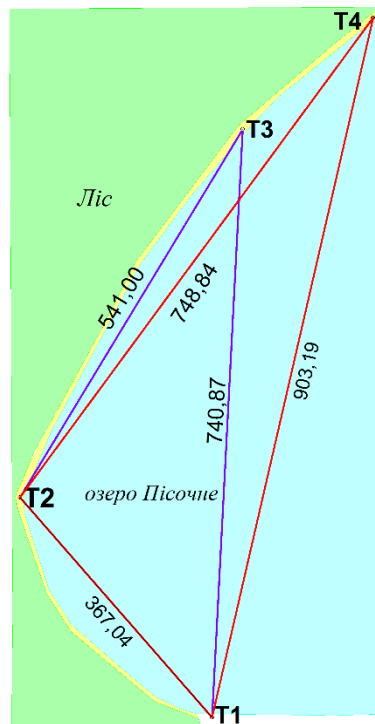


Рис.2.3 Схема спостережної мережі

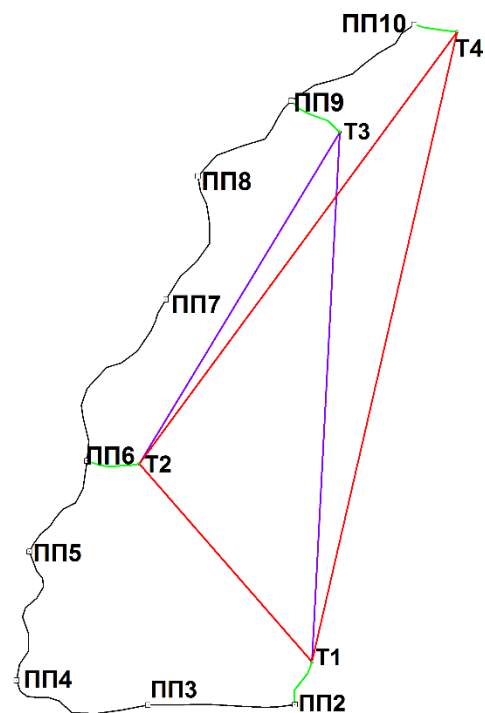


Рис.2.4 Схема висотної прив'язки пунктів T_1, T_2, T_3, T_4

І ще одним фактором у виборі місця закладки пунктів була їх близькість розташування до пунктів полігонометрії, через які виконувалося нівелювання III класу (прив'язка виконувалася з однієї станції рис. 2.4).

Вимірювання виконувалися тахеометром фірми Leica TC 2003 (приладова точність вимірювання кутів $0.5''$, а ліній $1\text{мм}+1\text{ppm}$). Послідовність дослідження така [48]:

1. На точки T_1, T_2, T_3 встановлювали та центрували штативи з підставками.
2. Над точкою T_1 встановлювали прилад, а на T_2, T_3 – відбивачі.

3. Вимірювали висоту приладу та відбивачів за допомогою спеціального обладнання із застосуванням відлічування методом фотофіксації (рис.2.5 а, б).

Суть методу вимірювання висот приладу полягає у наступному: в підставку відбивача установлюють спеціальне пристосування з прорізами перпендикулярно вертикальній осі, через 10 см. В один із прорізів розміщували рулетку і вимірювали гіпотенузу. Тричі відлічували шкалу рулетки. Маючи значення короткого катета і гіпотенузи, обчислювали величину великого катета, тобто висоту підставки. Тоді до цього значення додають висоту приладу над підставкою.



а)



б)

Рис. 2.5 Вимірювання висот приладів та відбивачів із застосування фотофіксації
(Відлік 1448,0 мм)

4. На точці, де розташовувався прилад, вимірювали температуру повітря, води та атмосферний тиск.
5. З точки T_1 на дві точки умовного трикутника T_2 , T_3 вимірювали горизонтальний кут, вертикальний кут, похилу віддаль 10 прийомами.
6. Почергово прилад установлювали на наступні точки, а на його місце встановлювали відбивач і спостереження виконували аналогічно.
7. Аналогічно такі дії виконували і в трикутнику $\Delta T_1 T_2 T_4$.

Вибравши за вихідну висоту пункту T_1 та опрацювавши результати вимірювань у програмному комплексі Credo_DAT отримали наступне: результат СКП положення пунктів, як в плановому так і висотному положенні [48]:

Таблиця 2.10

Планово висотна оцінка положення пунктів T_2, T_3, T_4 із врівноваження мережі за виміряними величинами (горизонтальних напрямів, похилих віддалей, зенітних відстаней)

Пункт	M, м	M _x , м	M _y , м	M _h , м
2	0,004	0,004	0,001	0,011
3	0,008	0,006	0,006	0,018
4	0,009	0,006	0,007	0,022

де M – це загальна похибка планового положення

Таблиця 2.11

Планово висотна оцінка положення пунктів T_2, T_3, T_4 із врівноваження мережі за виміряними величинами і виправленими зенітними віддальми (формула 1.19)

Пункт	M, м	M _x , м	M _y , м	M _h , м
2	0,004	0,004	0,001	0,002
3	0,008	0,006	0,006	0,004
4	0,009	0,006	0,007	0,004

Таблиця 2.12

Планово висотна оцінка положення пунктів T_2, T_3, T_4 із врівноваження мережі за виміряними величинами і виправленими зенітними віддальми (формула 1.21)

Пункт	M, м	M _x , м	M _y , м	M _h , м
2	0,004	0,004	0,001	0,004
3	0,008	0,006	0,006	0,005
4	0,009	0,006	0,007	0,007

Як видно з таблиць 2.10, 2.11, 2.12 найкращі результати положення пунктів за внутрішньою збіжністю отримані з таблиці 2.11, тобто коли для обчислень використовували виправлені зенітні відстані за середніми значеннями перевищень. У таблиці 2.10 висотна оцінка точності спотворена через неврахування двосторонніх зенітних спостережень. У таблиці 2.12 в середньому положення пунктів як в плані, так і по висоті однакове [48].

У таблиці 2.13 показані результати зрівноваження перевищень за виправленими зенітними відстанями з урахуванням середніх значень перевищень. Поправки за врівноваження не перевищують 1 мм, що відповідає точності вимірювань. Величини dh вказують на сумісний вплив вертикальної рефракції та кривини Землі на прямі і зворотні перевищення.

Таблиця 2.13

**Зрівноваження перевищень за виправленими зенітними віддалями з
урахуванням середніх значень перевищень**

Станція	Пункт візува- ння	Гор. проекція, м	Перевищення		dh, мм	h середн., м	Поправка врівноваже- ння, мм	h врівн., м
			h пряме, м	h зворотне, м				
1	3	740,685	-0,993	1,007	14	-1,000	-1	-1,001
	2	349,4	-0,845	0,848	3	-0,847	0	-0,846
	4	903,2	-0,248	0,269	21	-0,258	0	-0,259
2	1	349,4	0,848	-0,845	3	0,847	0	0,846
	4	748,811	0,594	-0,58	14	0,587	0	0,588
	3	541,156	-0,152	0,159	7	-0,155	1	-0,155
3	1	740,685	1,007	-0,993	14	1,000	1	1,001
	2	541,156	0,159	-0,152	7	0,155	1	0,155
4	1	903,2	0,269	-0,248	21	0,258	0	0,259
	2	748,811	-0,58	0,594	14	-0,587	0	-0,588

Результати геометричного та тригонометричного нівелювання зведені в таблиці 2.14 [48].

Таблиця 2.14

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

Назва станції	Назва пункт у	h геометр. м	h одностороннє триг. м	$\Delta h1$ мм	h двостороннє триг. м	$\Delta h2$ мм	h обч. з врахування коэф. рефр. м	$\Delta h3$ мм	h врівн., м	$\Delta h4$ мм
1	3	-1,0035	-1,0297	-26,2	-0,9998	3,7	-0,9980	5,5	-1,001	2,5
	2	-0,8465	-0,8660	-19,5	-0,8467	-0,2	-0,8538	-7,3	-0,846	0,5
	4	-0,265	-0,2913	-26,3	-0,2586	6,4	-0,2615	3,5	-0,259	0,6
2	1	0,8465	0,8274	-19,1					0,846	
	4	0,5815	0,5436	-37,9	0,5874	5,9	0,5811	-0,4	0,588	6,5
	3	-0,157	-0,1877	-30,7	-0,1554	1,6	-0,1649	-7,9	-0,155	2,0
3	1	1,0035	0,9699	-33,6					1,001	
	2	0,157	0,1231	-33,9					0,155	
4	1	0,265	0,2260	-39,0					0,259	
	2	-0,5815	-0,6311	-49,6					-0,588	
			fh _{абс сер.}	-31,5		3,5		-1,3		3,5
			СКП	9,4		2,8		6,1		2,6

Значення $\Delta h1$ – це різниця перевищень між геометричним та одностороннім тригонометричним нівелюванням; $\Delta h2$ – це різниця перевищень між геометричним та двостороннім тригонометричним нівелюванням, обчислена за формулою (1.16); $\Delta h3$ – це різниця між перевищенням, яке отримали з геометричного нівелювання та

перевищенням, яке обчислили з врахуванням коефіцієнта рефракції, обчислене за формулою (1.18); Δh_4 – це різниця між перевищенням, яке отримали з геометричного нівелювання та врівноваженими перевищеннями за допомогою програмного комплексу Credo_DAT.

Як видно з таблиці 2.14, середнє абсолютне значення похибок між геометричним та одностороннім тригонометричним нівелюванням становить: -31,5 мм, а СКП дорівнює 9,4 мм. Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та двостороннім тригонометричним нівелюванням становить 3,5 мм, а СКП дорівнює 2,8 мм. Середнє абсолютне значення похибок між перевищенням, яке отримали з геометричного нівелювання та перевищенням, яке обчислили з врахуванням коефіцієнта рефракції становить -1,3 мм, а СКП дорівнює 6,1 мм. Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та врівноваженим перевищенням за допомогою програмного комплексу Credo_DAT становить 3,5 мм, а СКП дорівнює 2,6 мм [48].

Отже, як видно з таблиці 2.14, результати неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання досягають точності вимог інструкції геометричного нівелювання III класу, навіть припустивши, що, проклавши нівелірний хід прямо по лінії візування, допустима похибка у нівелюванні становила би $f_h = 10 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})} = 10 \sqrt{0,9} \approx 10 \text{ мм}$.

Також було виконано на даній мережі дослідження точності різних методів тригонометричного нівелювання: «зі середини», «через точку» та «рефракційного базиса» [10].

Отримані результати по двох трикутниках опрацювали методом «зі середини» за формулою (1.12), «через точку» за формулою (1.14) та «рефракційного базиса».

Результати порівняння перевищень геометричного нівелювання з перевищеннями, отриманими тригонометричним нівелюванням методом «зі середини» показані в таблиці 2.15.

Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та тригонометричним нівелюванням методом «зі середини» у $\Delta 123$ дорівнює -0,005 м, а СКП дорівнює 0,004 м. Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та

тригонометричним нівелюванням методом «зі середини» у $\Delta 124$ дорівнює $-0,008$ м, а СКП дорівнює $0,009$ м.

Таблиця 2.15

Порівняння результатів тригонометричного нівелювання способом «зі середини» та геометричного III класу в $\Delta 123$, $\Delta 124$

Трикутник $\Delta 123$					Трикутник $\Delta 124$				
Станція	Напрямки	$h_{\text{триг}},$ (м)	$h_{\text{геом}},$ (м)	Δ (м)	Станція	Напрямки	$h_{\text{триг}},$ (м)	$h_{\text{геом}},$ (м)	Δ (м)
1	2	-0,158	-0,157	-0,001	1	2	0,583	0,582	0,002
	3					4			
2	1	-1,013	-1,004	-0,010	2	1	-0,278	-0,265	-0,013
	3					4			
3	1	-0,85	-0,847	-0,003	4	1	-0,86	-0,847	-0,014
	2					2			
			$fh_{\text{абс сер.}}$	-0,005				$fh_{\text{абс сер.}}$	-0,008
			СКП	0,004				СКП	0,009

Результати порівняння перевищень геометричного нівелювання з перевищеннями, отриманими тригонометричним нівелюванням методом «через точку» показані в таблиці 2.16 [10].

Таблиця 2.16

Порівняння результатів тригонометричного нівелювання способом «через точку» та геометричного III класу в $\Delta 123$, $\Delta 124$

Трикутник $\Delta 123$					Трикутник $\Delta 124$				
Станція	Напрямок	$h_{\text{триг}},$ (м)	$h_{\text{геом}},$ (м)	Δ (м)	Станція	Напрямок	$h_{\text{триг}},$ (м)	$h_{\text{геом}},$ (м)	Δ (м)
1	3	-0,839	-0,847	0,008	1	4	-0,832	-0,847	0,015
2					2				
1	2	-0,991	-1,004	0,012	1	2	-0,24	-0,265	0,025
3					4				
2	1	-0,148	-0,157	0,009	2	1	0,593	0,582	0,011
3					4				
			$fh_{\text{абс сер.}}$	0,01				$fh_{\text{абс сер.}}$	0,017
			СКП	0,002				СКП	0,007

Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та тригонометричним нівелюванням методом «через точку» у $\Delta 123$ дорівнює $0,01$ м, а СКП дорівнює $0,002$ м. Середнє абсолютне значення похибок між геометричним та тригонометричним нівелюванням методом «через точку» у $\Delta 124$ дорівнює $0,017$ м, а СКП дорівнює $0,007$ м.

Результати порівняння перевищень геометричного нівелювання з перевищеннями, отриманими методом «рефракційного базису» показані в таблиці 2.17 [10].

Таблиця 2.17

**Порівняння результатів тригонометричного нівелювання методом
рефракційного базису та геометричного III класу**

Базисна лінія	K	K _{сер}	Напрями спостережень	h ^{геом} , (м)	h ^{тр} , (м)	h ^{геом} -h ^{тр} , (м)
1-2	-1,88	-1,85	1-4	-0,265	-0,226	-0,039
2-1	-1,83					
1-4	-0,25	-0,35	1-2	-0,846	-0,861	0,015
4-1	-0,45					
2-3	-1,18	-1,25	3-1	1,004	1,027	-0,024
3-2	-1,32					
3-1	-0,62	-0,54	3-2	0,157	0,139	0,018
1-3	-0,45					
2-3	-1,18	-1,25	2-4	0,581	0,606	-0,024
3-2	-1,32					
2-4	-0,70	-0,83	2-3	-0,157	-0,165	0,008
4-2	-0,97					

Із таблиці 2.17 бачимо, що найменша різниця між геометричним перевищенням та перевищенням обчисленим методом рефракційного базису становить 0,008 м, а найбільша -0,039 м. Детальний аналіз результатів методу рефракційного базису показує, що за базисну лінію бажано обирати найдовший напрямок, для того щоб із найбільшою точністю прогнозувати значення коефіцієнта рефракції на інші напрямки.

Як видно із таблиць 2.15, 2.16, 2.17, найменша різниця між геометричним нівелюванням та тригонометричним отримана методом «зі середини», а найбільш слабкі за точністю результати прогнозування отримані методом рефракційного базису. Для підвищення точності рефракційного базису бажано застосовувати додаткові характеристики спостережуваної траси, пов'язані з турбулентністю атмосфери [10].

Виконано зрівноваження аналітичної мережі методом найменших квадратів із використанням ваг P розрахованих за флуктуаціями вимірних перевищень m_h із 10 прийомів спостережень за формулою (2.1) [6]:

$$P = \frac{1}{m_h^{2/3}}. \quad (2.1)$$

Степінь 2/3 при m_h дає найкращі результати зрівноваження та пояснюється систематичним впливом вертикальної рефракції у трикутниках спостережень [6].

Результати порівняння перевищень геометричного нівелювання та зрівноважених по $\Delta 123$ та $\Delta 124$ показані в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18

Результати порівняння перевищень геометричного нівелювання та зрівноваженого методом найменших квадратів згідно ваг за флуктуаціями перевищень в $\Delta 123$ та $\Delta 124$

Трикутник $\Delta 123$				Трикутник $\Delta 124$			
Напрямки	$h_{\text{геом}}$ (м)	$h_{\text{триг}}$ (м)	Δ (м)	Напрямки	$h_{\text{геом}}$ (м)	$h_{\text{триг}}$ (м)	Δ (м)
1-2	-0,846	-0,849	-0,002	1-2	-0,846	-0,850	-0,003
2-3	-0,157	-0,155	0,002	2-4	0,581	0,586	0,005
3-1	1,004	1,004	-0,0005	4-1	0,265	0,263	-0,002
		M=	0,002			M=	0,003

Середнє значення різниць перевищень, отриманих із геометричного нівелювання та тригонометричного нівелювання за результатами зрівноваженого методом найменших квадратів по прийнятих вагах, у $\Delta 123$ дорівнює 0,002 м та $\Delta 124$ – 0,003 м. Зведені результати порівнянь між геометричним та тригонометричним нівелюванням показані в таблиці 2.19 [10].

Таблиця 2.19

Зведені результати порівнянь між тригонометричним та геометричним нівелюванням

Метод «із середини»		Метод «через точку»		Метод рефракційного базису		Двостороннє неоднчасне тригонометричне нівелювання	Зрівноваження методом найменших квадратів по вагах	
f _h абс. сер. (м)								
Δ123	Δ124	Δ123	Δ124	Короткі лінії		Довгі лінії	Δ123	Δ124
-0.005	-0.008	0.01	0.017	-0.032		0.017	0.002	0.003

Аналіз опрацьованих результатів спостережень 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 неоднчасного 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 неоднчасно.

Визначення перевищень із застосуванням методу рефракційного базису показало значно гірші результати. Гіпотеза про рівність коефіцієнтів рефракцій за різними напрямками не завжди справджується, особливо над водною поверхнею.

Дослідження точності тригонометричного нівелювання над Бережанським ставом

Дослідження точності передачі висот над водною поверхнею із застосуванням одночасних спостережень тригонометричного нівелювання проведені влітку в місті Бережани на території навчального геодезичного полігона (див. рис. 2.6). Для цього завчасно були закладені 8 реперів: по 4 на лівому та правому берегах ставка на висоті приблизно 2 м – 10 м – 20 м відносно поверхні води [10].

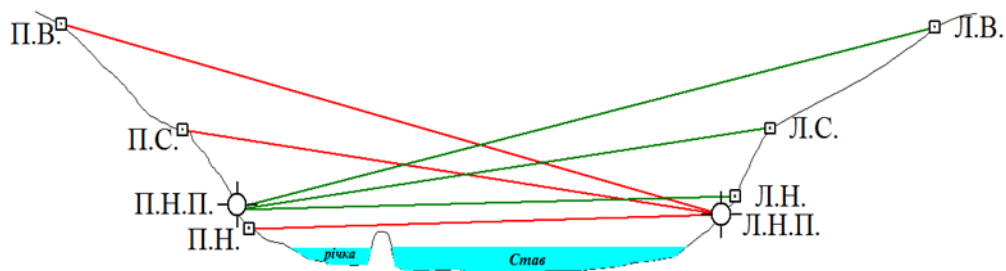


Рис. 2.6 Схема вертикального розрізу розташування пунктів спостереження на Бережанському ставу

Висотна прив'язка закладених пунктів виконана геометричним нівелюванням III класу. Проведені одночасні денні та вечірні лінійно-кутові вимірювання автоматизованими тахеометрами: TPS 1201R Leica (приладова точність вимірювання кутів 1'', а ліній 1мм+1.5ppm) та TC 2003 Leica (приладова точність вимірювання кутів 0.5'', а ліній 1мм+1ppm). На двох нижніх пунктах (П.Н.П. та Л.Н.П.) правого та лівого берегів були встановлені тахеометри, візирними цілями були відбивачі, котрі були закріплені на нижніх, середніх та верхніх пунктах на двох протилежних берегах [10].

Вимірювання кутів та довжин лінії виконано 10-ма щогодинними циклами по 10 прийомів при двох положеннях вертикального круга тахеометра. Наведення на відбивачі виконували в автоматичному режимі із застосуванням спеціальної функції

тахеометра — спостереження на максимум відбитого сигналу. Вимірювання метеоелементів: температури води та повітря, тиску виконували щогодини.

Програма годинних спостережень полягала в наступному [10]:

- З КЛ тахеометр спрямовували по чергово на верхній, середній та нижній пункти. Змінювали положення вертикального круга.
- З КП спрямовували по чергово на нижній, середній та верхній пункти.

Отримавши значення перевищень із односторонніх тригонометричних спостережень та з геометричного нівелювання, нами обчислено коефіцієнти рефракції погодинно з двох берегів за формулою (1.24). Отримані значення коефіцієнтів рефракції зі спостережень з правого берега на лівий берег нижній (Л.Н.), лівий середній (Л.С.) та лівий верхній (Л.В.) зображені на рис. 2.7 та з лівого на правий нижній (П.Н.), правий середній (П.С.) та правий верхній (П.В.) див. рис. 2.8.

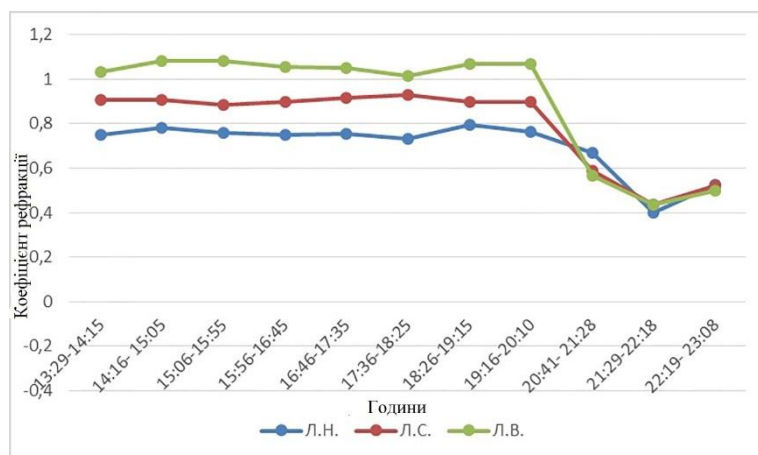


Рис. 2.7 Добовий хід коефіцієнта вертикальної рефракції, обчислений із спостережень з правого на лівий берег

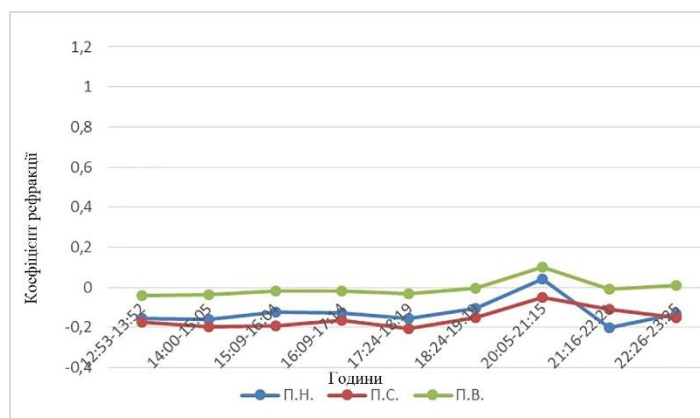


Рис. 2.8 Добовий хід коефіцієнта вертикальної рефракції, обчислений із спостережень з лівого на правий берег

Із рисунка 2.7 видно, що у спостереженнях з правого берега на лівий, коефіцієнт рефракції у денний період збільшується з висотою точки, на яку наводились і в середньому становить 0,75 (Л.Н.), 0,9 (Л.С.) та 1,05 (Л.В.). А в нічний період коефіцієнт рефракції однаковий на всіх напрямках та приблизно становить +0,45. Такий добовий хід вертикальної рефракції пояснюється складним рефракційним полем, яке формується над річкою і в основному описується динамічною турбулентністю атмосфери [10].

З рисунка 2.8 видно, що у спостереженнях з лівого берега на правий, коефіцієнт рефракції у денний та нічний періоди збільшується з висотою. Величини коефіцієнта вертикальної рефракції мають незначне від'ємне значення, що вказує на нормальну будову атмосфери над водною поверхнею. Добовий хід має плавну зміну, що характеризує проходження променів над великою водною поверхнею зі стабільною температурою.

Виконано порівняння результатів геометричного нівелювання III класу та тригонометричного нівелювання способом «зі середини» з правого на лівий берег та з лівого на правий берег. Результати цього порівняння зображені в таблицях 2.20, 2.21 [10].

Таблиця 2.20

Порівняння результатів геометричного III класу та тригонометричного нівелювання способом «зі середини», виконане з правого на лівий берег

Час спостережень	Перевищення h_3-h_2 (м)	Перевищення h_3-h_1 (м)	Перевищення h_2-h_1 (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h_3-h_2) (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h_3-h_1) (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h_2-h_1) (м)
	$h_{\text{геом}}=-7,739$	$h_{\text{геом}}=-17,229$	$h_{\text{геом}}=-9,490$			
	$h_{\text{триг}}$	$h_{\text{триг}}$	$h_{\text{триг}}$			
13:29-14:15	-7,757	-17,270	-9,513	-0,019	-0,041	-0,022
14:16- 15:05	-7,754	-17,272	-9,518	-0,015	-0,043	-0,028
15:06-15:55	-7,754	-17,274	-9,520	-0,015	-0,045	-0,030
15:56-16:45	-7,756	-17,272	-9,516	-0,017	-0,043	-0,026
16:46-17:35	-7,757	-17,271	-9,514	-0,019	-0,042	-0,024
17:36-18:25	-7,761	-17,270	-9,508	-0,022	-0,041	-0,018
18:26-19:15	-7,752	-17,269	-9,517	-0,013	-0,040	-0,027
19:16-20:10	-7,755	-17,272	-9,517	-0,016	-0,043	-0,027
20:41- 21:28	-7,733	-17,227	-9,494	0,006	0,002	-0,004
21:29-22:18	-7,744	-17,238	-9,495	-0,005	-0,009	-0,005
22:19- 23:08	-7,740	-17,233	-9,493	-0,002	-0,004	-0,002
			$f_{\text{абс.ср.}}$	-0,013	-0,032	-0,019
			СКП	0,009	0,018	0,011

Значення h_3-h_2 – перевищення між Л.Н.–Л.С.; h_3-h_1 – перевищення між Л.Н.–Л.В.; h_2-h_1 – перевищення між Л.С.–Л.В. Різниця між геометричним нівелюванням

та тригонометричним методом «зі середини» за напрямом **h3-h2** в середньому дорівнює -0,013 м, **h3-h1** дорівнює -0,032 м, **h2-h1** дорівнює -0,019 м. Із збільшенням висоти променя спостереження СКП та абсолютні значення похибок збільшуються. Це вказує на зміну коефіцієнта рефракції з висотою та необхідністю врахування різниці висот спостережуваних об'єктів.

Таблиця 2.21

Порівняння результатів геометричного III класу та тригонометричного нівелювання способом «зі середини», виконане з лівого на правий берег

Час	Перевищення h3-h2 (м)	Перевищення h3-h1 (м)	Перевищення h2-h1 (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h3-h2) (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h3-h1) (м)	$h_{\text{геом}}-h_{\text{триг}}$ (h2-h1) (м)
	$h_{\text{геом}}=-4,009$	$h_{\text{геом}}=-18,180$	$h_{\text{геом}}=-14,171$			
	$h_{\text{триг}}$	$h_{\text{триг}}$	$h_{\text{триг}}$			
12:53-13:52	-4,008	-18,190	-14,182	0,001	-0,010	-0,011
14:00-15:05	-4,006	-18,191	-14,185	0,003	-0,011	-0,014
15:09-16:04	-4,003	-18,189	-14,186	0,006	-0,010	-0,015
16:09-17:14	-4,006	-18,190	-14,183	0,003	-0,010	-0,013
17:24-18:19	-4,005	-18,191	-14,186	0,004	-0,011	-0,015
18:24-19:19	-4,005	-18,189	-14,184	0,004	-0,009	-0,013
20:05-21:15	-4,000	-18,187	-14,187	0,009	-0,008	-0,017
21:16-22:21	-4,018	-18,197	-14,179	-0,009	-0,018	-0,009
22:26-23:25	-4,008	-18,193	-14,186	0,001	-0,014	-0,015
			$f_{\text{абс.сер.}}$	0,002	-0,011	-0,013
			СКП.	0,005	0,003	0,002

Значення **h3-h2** – перевищення між П.Н.–П.С.; **h3-h1** – перевищення між П.Н.–П.В.; **h2-h1** – перевищення між П.С.–П.В. Різниця між геометричним нівелюванням та тригонометричним методом «зі середини» за напрямом **h3-h2** дорівнює 0,002м, **h3-h1** дорівнює -0,011м, **h2-h1** дорівнює -0,013м. СКП не перевищують 5 мм, що вказує на рівномірність зміни рефракцій за напрямками над великими водними поверхнями із стабільною температурою [10].

Отже, можна зробити такі висновки:

1. Виконані дослідження підтвердили можливість застосування неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання, замість геометричного нівелювання III класу для передачі висот над водними поверхнями.
2. Рекомендується для надійності та можливості оцінки точності передачі перевищень застосовувати спостереження на спеціально створених локальних аналітичних мережах.
3. Рефракційний базис має бути довшим, ніж шукані лінії над однотипними поверхнями із спостережуваними напрямками.

4. Рекомендується для заміни геометричного нівелювання III класу під час передачі висот над водними поверхнями використовувати неодноразове двостороннє тригонометричне нівелювання та метод «із середини».

2.2.3 Дослідження методики неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання та порівняння її з результатами геометричного нівелювання III класу

Для дослідження двох методів нівелювання (геометричного та неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання) було вибрано 2 ходи висотної полігона, між пунктами Пошта–Свердловина та ЛЕП–Пілон (див. рис. 2.9)

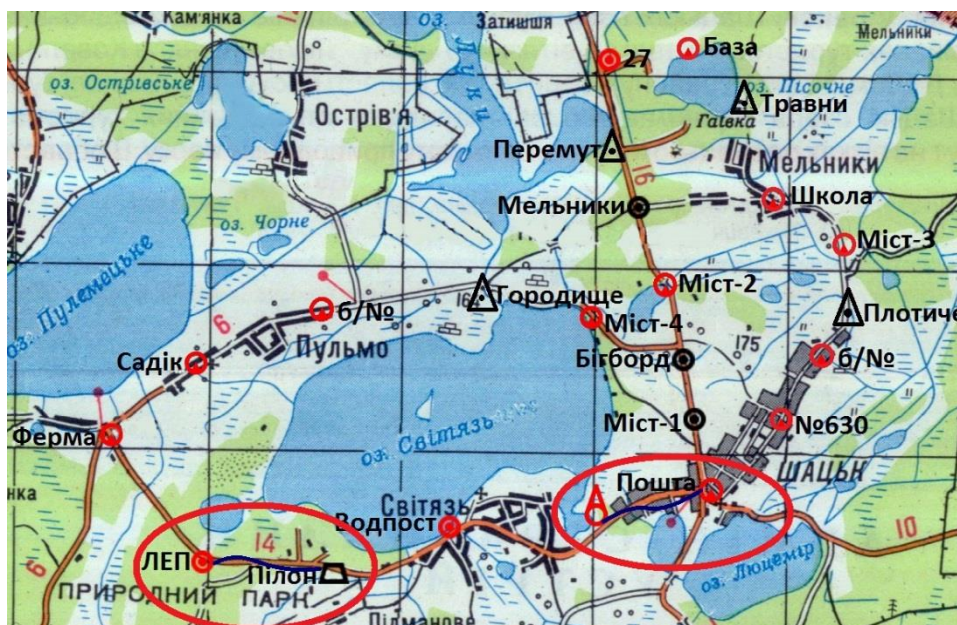


Рис.2.9 Схема виконання тригонометричного нівелювання на ділянках висотної геодезичної мережі ШНПП

Довжина ходу тригонометричного нівелювання, який прокладено від закладної точки III класу ЛЕП до стінного репера Пілон, становить 3,6 км. У цьому ході на початковому та кінцевому пунктах вимірювали висоту приладу і відбивачів, а на проміжних пунктах такі вимірювання не виконувалися. Хід прокладався вздовж дороги Шацьк-Пульмо. Траса характеризується малою кількістю поворотів, тому її можна вважати витягнутою. Через цю особливість багато сторін ходу сягали віддалей до 600м [116].

Довжина ходу від стінного репера Пошта до пункту Свердловина становить 3,2 км. Початковий пункт – це стінний репер, а кінцевий – труба пункту

«Свердловина», на яких неможливо встановити штатив. На цих реперах установлювалася міні-призма, висота якої відома (100 мм) (див. рис. 2.10).

Оскільки на початковій та кінцевій точках висотного ходу під час тригонометричного нівелювання встановлювалася одна і та ж сама візирна ціль, то висоти інструмента та відбивачів взагалі не вимірювались. Таким чином, похибки за вимірювання висот установлення приладу та візирних цілей повністю виключені. Хід прокладався через населений пункт с.м.т. Шацьк і ця ділянка дороги характеризується великою кількістю поворотів, а також непередбаченими перешкодами у курортний період (автотранспорт, пішоходи), тому довжини сторін ходу були не більшими 450м.



Рис.2.10 Міні-призма, установлена на стінному репері

Схеми тригонометричних ходів зображені на рис. 2.11 та рис. 2.12.

Вимірювання в ходах тригонометричного нівелювання виконували тахеометром фірми TPS 1201R Leica (приладова точність вимірювання кутів 1", а ліній (1мм+1.5ppm). Наведення на відбивачі виконували в автоматичному режимі із застосуванням спеціальної функції тахеометра — спостереження на максимум відбитого сигналу [116].



Рис. 2.11 Схема ходу тригонометричного нівелювання від закл. т. ЛЕП до ст. рп.

Пілон

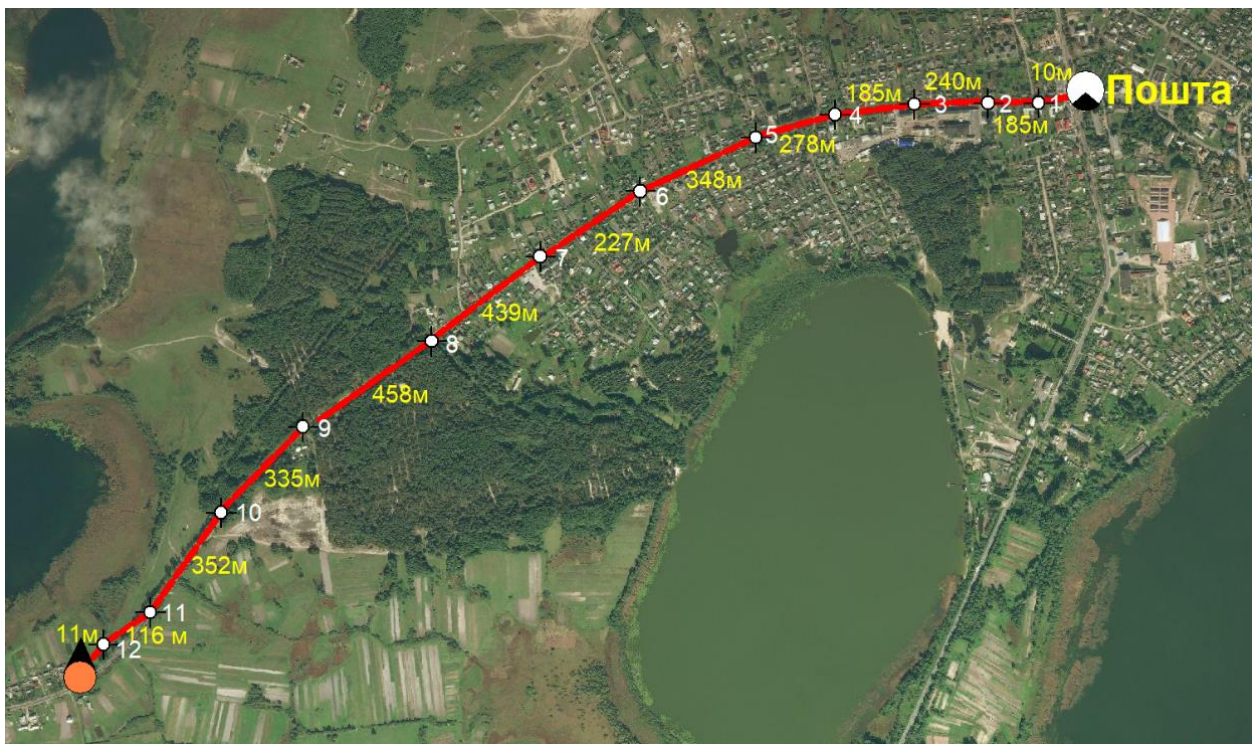


Рис. 2.12 Схема ходу тригонометричного нівелювання від ст.рп. «Пошта» до п. «Свердловина»

Послідовність спостережень така [116]:

1. На початковому та кінцевому реперах вимірювали висоту приладу (якщо була можливість установити його над репером) або відбивача. Вимірювали висоту приладу та відбивачів за допомогою спеціального обладнання із застосуванням відлічування методом фотофіксації (див. рис. 2.5).
2. Під час нівелювання застосовували трьохштативну систему, яка передбачала послідовне встановлення приладу на наступну станцію із установленням на його місце у підставці відбивача. При цьому висоти приладу та відбивачів не вимірювалися.
3. Вибір місця станції виконували із врахуванням місцевості, доброї видимості та забезпечення оптимальної віддалі між штативами приблизно до 600 м.
4. На кожній станції вимірювали зенітні віддалі та похилі віддалі 10 прийомами.
5. Метеорологічний супровід вимірювань на кожній станції передбачав вимірювання температури та тиску через певні проміжки часу (для визначення поправок у виміряні віддалі та коефіцієнта нормальної рефракції).

4. Для зменшення часу вимірювань та переставляння штативів використовували 2 автомобілі та три штативи. Після завершення сесії вимірювань на станції тахеометр із спостерігачем на одному із автомобілів переміщали на наступну станцію. Водночас, штатив та відбивач «задньої станції» із іншим членом бригади переміщали на іншу станцію, наступну від установа приладу. Встановлення відбивача виконували із врахуванням та узгодженням взаємної видимості з приладом.
5. Застосування двох автомобілів під час експерименту забезпечило мобільність запропонованої технології вимірювань. Для коротких віддалей і неproblemних ділянок застосовували чотири штативи, що значно пришвидшувало роботу.
6. Склад бригади з виконання тригонометричного неодноразового двостороннього нівелювання у прокладанні висотних ходів складався із 5 осіб.

За результатами спостережень виконано порівняльний аналіз двостороннього неодноразового тригонометричного нівелювання із геометричним нівелюванням III класу, який наведено в таблиці 2.22 [116].

Таблиця 2.22

Порівняння результатів неодноразового двостороннього тригонометричного нівелювання та геометричного III класу

Назва початкового репера	Назва кінцевого репера	Геометричне нівел.		Тригонометричне нівелювання				
		h геометр (м)	К-ть станцій, п	К-ть станцій, п	h формула (1.19). (м)	Δh_1 (мм)	h формула (1.21). (м)	Δh_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

В таблиці 2.22 наведені Δh_1 – різниці між перевищеннями визначеними по двох ходах із геометричного нівелювання III класу та сумою середніх перевищень обчислених за результатами тригонометричного двостороннього неодноразового нівелювання обчислені за формулою (1.19): ЛЕП-Пілон та Пошта-Свердловина становить по 4мм. Та Δh_2 – різниці між перевищеннями, визначеним з геометричного нівелювання III класу та сумою перевищень, обчислених за результатами тригонометричного двостороннього неодноразового нівелювання, обчислення виконані з врахуванням флуктуацій вимірюваних зенітних відстаней обчислені за формулою (1.21). У ході ЛЕП-Пілон Δh_2 склала 1 мм, а в ході Пошта-Свердловина –

2 мм. Під час визначення перевищення геометричним методом між пунктами ЛЕП – Пілон нев'язка між прямим та зворотним ходом становить 3 мм, а у ході Пошта – Свердловина - 6,5 мм. Відповідно до Інструкції [52] із геометричного нівелювання, допустима нев'язка розраховується за формулою $f_{h_{don}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})}$ і для цих ходів відповідно становить 19 мм та 18 мм. Різниці між визначеними перевищеннями з геометричного та тригонометричного нівелювання значно менші від допустимих значень.

Отже, переваги даного методу є і у часовій компоненті. На виконання геометричного нівелювання III класу для ходу довжиною 3,6 км затрачається приблизно 5,5-6 годин, а на виконання тригонометричного нівелювання було затрачено приблизно 3,5-4 години. А також у людському факторі – для виконання геометричного нівелювання III класу треба, зазвичай, залучати, згідно ЄНКРН, бригаду із 7 осіб, а на виконання тригонометричного нівелювання за цією методикою задіяно 5. Під час виконання неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання не виконується зворотний хід, оскільки, вимірювання перевищень виконують в прямому та зворотному напрямках. Таким чином, застосовуючи запропонований метод, кількість станцій під час нівелювання зменшується приблизно у 5 разів, що своєю чергою, призводить до скорочення часу виконання робіт на 30% (див. таб. 2.22). Важливою перевагою описаної методики вимірювань є можливість польового контролю визначення перевищень на кожній лінії. Під час виявлення грубих помилок повторюють вимірювання на цій лінії (при цьому положення штативів і підставок має залишатися незмінним) до закінчення обчислень.

Запропоновану методику тригонометричного нівелювання можна застосовувати і за сумісного прокладання полігонометричних і висотних ходів.

2.2.4 Дослідження рефракційного поля над водними поверхнями

Як відомо, на результати геодезичних вимірювань впливає багато похибок [107]. На сьогоднішній час геодезичні вимірювання виконуються сучасними електронними геодезичними приладами. Принцип відлічування в яких суттєво відрізняється від оптичних приладів. Похибки, які виникали під час використання оптичних приладів,

для електронних мінімізуються. Тому основною похибкою, яка впливає на результати вимірів, є похибка за зовнішнє середовище (рефракція).

Передача висот над водною поверхнею із застосуванням тригонометричного нівелювання є одним із найкращих методів і дозволяє значно спростити та прискорити процес нівелювання у районах із розвинутою гідрологією. Основною перешкодою у досягненні високоточних результатів є визначення впливу вертикальної рефракції на перевищення над водною поверхнею. Цим питанням свого часу займалися багато науковців: К. Казанський [58], Б. Тлустяк [137;138], Д. Масліч [89], А. Островський [100;104;105;106;130;147], Б. Джуман [38;147], А. Ізотов [51], О. Мороз [94;95;100;101;130], П. Баран [20], В. Дементьев [36;37], С. Перій [89;97;111;113;114], В. Татарський [134], К. Третьак [6], А. Алексеев [14], J. Walo, A. Pachuta [12], О. Bjelotomic [4], A. Celms, A. Brants [1] та інші.

Вертикальна рефракція вносить значні похибки у результати тригонометричного нівелювання [94]. Актуальними залишаються дослідження вертикальної рефракції над водними поверхнями та її впливу на результати тригонометричного нівелювання.

Коефіцієнти нормальної рефракції можна обчислити за даними вимірювань температури та тиску на пунктах спостереження. Тому представимо формулу (1.9) у вигляді [117]:

$$h_{AB}^1 = D_{AB} \cos Z_{AB} + i_A - v_B + (1 - k_{норм}) \frac{D_{AB}^2 \sin^2 Z_{AB}}{2R}, \quad (2.2)$$

де h_{AB}^1 – перевищення із врахуванням кривини Землі та нормальної складової вертикальної рефракції.

Коефіцієнт вертикальної рефракції поділяють на дві складові – нормальну та аномальну [51]:

$$k_{AB} = k_{норм} + k_{аном}, \quad (2.3)$$

де $k_{норм}$ – коефіцієнт нормальної складової рефракції; $k_{аном}$ – коефіцієнт аномальної складової рефракції.

Еквівалентну висоту візирного променя над підстильною поверхнею обчислюють за формулою (2.4) [51]:

$$\frac{1}{h_e^b} = \frac{2}{D^2} \int_0^D \frac{l}{h^b} dl, \quad (2.4)$$

де b – степінь, приблизно рівний 1 і залежить від стратифікації атмосфери.

Напишемо систему рівнянь визначення перевищень на основі (1.9) для двосторонніх спостережень із урахуванням (2.3) і (2.2) [81]:

$$\left. \begin{aligned} h_{AB} &= h_{AB}^1 - k_{аном. AB} \frac{D_{AB}^2 \sin^2 Z_{AB}}{2R} \\ h_{BA} &= h_{BA}^1 - k_{аном. BA} \frac{D_{BA}^2 \sin^2 Z_{BA}}{2R} \end{aligned} \right\}. \quad (2.5)$$

Інтегральне значення коефіцієнта аномальної вертикальної рефракції визначимо за формулою (2.6), яка отримана із системи рівнянь (2.5) за умови $k_{інт.(аном.)} = k_{аном. AB} = k_{аном. BA}$ [8; 51]:

$$k_{інт.(аном.)} = \frac{(h_{AB}^1 + h_{BA}^1) \times R}{\left(\frac{D_{AB} + D_{BA}}{2} \right)^2 \times \left[\sin \left(\frac{Z_{AB} + \pi - Z_{BA}}{2} \right) \right]^2}. \quad (2.6)$$

Коефіцієнти вертикальної рефракції за флуктуаціями зенітних віддалей визначають із використанням законів статистичної фізики атмосфери для різних стратифікацій атмосфери за спрощеними формулами [113]:

$$k_{(нестійка)} = k_H - 7,17 D^{-1/2} h_e^{-2/3} m_z'', \quad (2.7)$$

$$k_{(байдужа)} = k_H \mp 8,35 D^{-1/2} h_e^{-2/3} m_z'', \quad (2.8)$$

$$k_{(стійка)} = k_H + 13,3 D^{-1/2} h_e^{-2/3} m_z''. \quad (2.9)$$

Числові значення коефіцієнтів у формулах (2.7-2.9) є усереднені значення для різної стратифікації атмосфери. Насправді величини цих коефіцієнтів змінюються залежно від турбулентності, особливо для стійкої стратифікації, коли динамічна турбулентність переважає термічну. Порівнюючи (1.23) та (2.7-2.9) можна побачити функціональний зв'язок між аномальною складовою коефіцієнта вертикальної рефракції та флуктуаціями зенітних відстаней. Але флуктуації зенітних відстаней визначають як середні квадратичні відхилення від середніх значень із прийомів спостережень на відповідні цілі. Вони не несуть у собі інформацію про стратифікацію атмосфери, тобто не враховують знак градієнта температури C .

Стратифікацію атмосфери можна визначити із двосторонніх спостережень за знаком та величиною інтегрального коефіцієнта вертикальної рефракції (2.6) і за умови її однакового встановлення на взаємно протилежних напрямках. У періоди байдужої стратифікації (близьких до періодів спокійних зображень) точно встановити тип стратифікації атмосфери проблематично через можливість потрапляння у перехідні періоди.

Виправлене перевищення з врахуванням вертикальної рефракції та похибок вимірювань зенітних відстаней отримуємо за методикою опрацювання результатів двостороннього тригонометричного нівелювання із використанням флуктуацій зенітних відстаней [8;117]:

$$h_{AB}^{\partial \text{в.мп.}} \cong \frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2} - \left(\frac{m_{Z_{AB}}^b - m_{Z_{BA}}^b}{m_{Z_{AB}}^b + m_{Z_{BA}}^b} \right) \left(\frac{h_{AB}^1 + h_{BA}^1}{2} \right), \quad (2.10)$$

де $m_{Z_{AB}}$ і $m_{Z_{BA}}$ – флуктуації зенітних напрямків, визначені за період спостережень із 10-ох прийомів; b – степінь, який залежить від стратифікації атмосфери і може змінюватись від 1 до 3 (для стійкої стратифікації $b \approx 1$).

Виправлене перевищення можна отримати і за еквівалентними висотами, якщо формулу (2.10) подати у вигляді [8]:

$$h_{AB}^{\partial \text{в.мп.}} \cong \frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2} + \left(\frac{h_{eAB}^b - h_{eBA}^b}{h_{eAB}^b + h_{eBA}^b} \right) \left(\frac{h_{AB}^1 + h_{BA}^1}{2} \right). \quad (2.11)$$

Степінь b можна визначити із формули (2.10), заміною значення перевищення двостороннього тригонометричного нівелювання $h_{AB}^{\partial \text{в.мп.}}$ на перевищення із високоточного геометричного нівелювання $h^{\text{геом}}$. Для спрощення виразів зробимо заміну частини формули на коефіцієнт [8]:

$$A = \frac{\left[\left(\frac{h_{AB}^1 - h_{BA}^1}{2} \right) - h^{\text{геом}} \right]}{\left(\frac{h_{AB}^1 + h_{BA}^1}{2} \right)}, \quad (2.12)$$

де $h^{\text{геом}}$ – перевищення, отримане із геометричного нівелювання.

Тоді остаточна формула визначення степеня матиме вигляд [8]:

$$b = \frac{\ln\left(\frac{1+A}{1-A}\right)}{\ln\left(\frac{m_{z_{AB}}}{m_{z_{BA}}}\right)}. \quad (2.13)$$

Дослідження рефракційного поля виконувалося на озері Пісочне послідовність експерименту описано в пункті 2.2.2.

Вимірювання виконувались тахеометром фірми Leica TC 2003 (приладова точність вимірювання кутів 0.5", а ліній 1мм+1ppm).

Лінійно-кутові спостереження на пунктах виконували 10 прийомами. Наведення тахеометра на відбивачі виконувалось автоматично із застосуванням спеціальної функції тахеометра – спостереження на максимум відбитого сигналу.

Двосторонні спостереження виконувалися по 5 лініях. Неодночасні двосторонні спостереження виконувалося у сонячну погоду [8].

За отриманими результатами двосторонніх спостережень обчислено інтегральні аномальні коефіцієнти вертикальної рефракції для кожної лінії за формулою (2.6) (Див. табл. 2.23).

Таблиця 2.23

Значення інтегральних аномальних коефіцієнтів вертикальної рефракції (к_{аном.рефр.}) за результатами спостережень над озером Пісочне

Назва лінії	D (м)	к _{аном.рефр.}
T1-T3	740	-0.675
T2-T3	541	-1.389
T1-T2	349	-1.995
T1-T4	903	-0.491
T2-T4	748	-0.979

Аналізуючи табл. 2.23 за знаком та величиною інтегральних аномальних коефіцієнтів вертикальної рефракції, бачимо нестійку стратифікацію атмосфери над озером в період спостережень. Це означає, що температура повітря з висотою зменшується.

Для цих ліній було обчислено перевищення за формулою (2.10) з різними значеннями степенів: 1/2, 1/3, -1/6, -1/3, -1/2, -2/3. Ці перевищення порівнювали із перевищеннями, отриманими за результатами багаторазового геометричного

нівелювання III класу [48]. Різниці перевищень із тригонометричного і геометричного нівелювань подані в таблиці 2.24.

Аналізуючи табл. 2.24 бачимо неоднозначність визначення степеня по напрямках спостереження. Найменше СКП є між геометричним та тригонометричним нівелюванням із урахуванням флуктуацій zenітних відстаней у степені $-2/3$ і дорівнює 1.6 мм, а найменше значення середньоквадратичного відхилення від середнього значення похибок (СКП) із використанням степеня $1/2$ і дорівнює 0.9 мм.

Таблиця 2.24

Різниці перевищень між геометричним нівелюванням та тригонометричним із врахуванням флуктуацій zenітних відстаней із різними степенями b (оз. Пісочне)

Назва лінії	$b^{1/2}$ (мм)	$b^{1/3}$ (мм)	$b^{1/4}$ (мм)	$b^{1/5}$ (мм)	$b^{1/6}$ (мм)	$b^{1/7}$ (мм)	$b^{1/8}$ (мм)	$b^{1/9}$ (мм)
T1-T3	5.4	4.6	4.3	3.7	3.4	3.1	2.8	2.5
T2-T3	7.9	3.3	1.7	-1.5	-3.1	-4.7	-6.3	-7.9
T1-T2	7.3	3.9	2.7	0.2	-1.0	-2.3	-3.5	-4.6
T1-T4	3.6	5.0	5.4	6.3	6.8	7.3	7.7	8.2
T2-T4	-0.3	2.8	3.8	5.9	6.9	7.9	9.0	10.0
Середнє	4.8	3.9	3.6	2.9	2.6	2.3	2.0	1.6
СКП	3.3	0.9	1.4	3.5	4.6	5.6	6.7	7.8

Степінь b обчислили за формулою (2.13). Результати наведені у таблиці 2.25. Як бачимо із табл. 2.25, розмах величини степеня є значним від 2 до -2. Це вказує на похибки, які пов'язані із одночасністю спостережень по лініях та також на вміст у величинах флуктуацій приладових похибок.

Таблиця 2.25

Обчислені значення степеня b (формула 2.13) (оз. Пісочне)

Номер лінії	b
T1-T3	-2.15
T3-T2	0.16
T2-T1	-0.03
T1-T4	2.31
T2-T4	0.96
Середнє	0.25

Експеримент повторено на геодезичному полігоні в м. Бережанах влітку 2017 року. Дослідження виконані над водною поверхнею ставка [8].

Для експерименту вибрані 4 пункти, по 2 на правому та лівому берегах (див. рис. 2.13). Перевищення між цими пунктами визначено цифровим нівеліром Dini03 із використанням інварних рейок за програмою геометричного нівелювання II класу.

Дослідження виконувалося над водною поверхнею таким чином, що промінь проходив на висоті приблизно 10 метрів.

Вимірювання виконані тахеометром фірми Leica TC 2003 (приладова точність вимірювання кутів $0.5''$, а ліній $1\text{мм}+1\text{ppm}$).



Рис. 2.13 Схема експерименту над Бережанським ставом

Послідовність спостережень наступна [8]:

1. На точки 1, 2, 3, 4 установлювали та центрували штативи з підставками. Над точкою 1 установлювали прилад, а на 2, 3, 4 відбивачі.
2. Вимірювали висоту приладу та відбивачів за допомогою спеціального приладдя із застосуванням відлічування методом фотофіксації. На точці розташування приладу вимірювали температуру повітря, води та атмосферний тиск.
3. З точки 1 на три точки умовного чотирикутника 2,3,4 по чергово відлічували горизонтальні та вертикальні круги та вимірювали похилу віддаля. Вимірювання виконували 10-ма прийомами.
4. Спостереження на інших точках виконували аналогічно. По чергово прилад установлювали на наступні точки, а на його місце встановлювали відбивач і спостереження виконували аналогічно.

За отриманими результатами з двосторонніх спостережень обчислені інтегральні аномальні коефіцієнти вертикальної рефракції для кожної лінії за формулою (2.6) (Див. табл. 2.26).

Таблиця 2.26

Значення інтегральних аномальних коефіцієнтів вертикальної рефракції ($k_{\text{аном.рефр.}}$) за результатами спостережень над Бережанським ставком

Назва лінії	D (м)	$k_{\text{аном.рефр.}}$
1-3	1111	0.1556
1-4	1092	0.1556
2-3	1107	0.1520
2-4	1089	0.1626

Як бачимо із табл. 2.26, величини інтегральної аномальної коефіцієнта вертикальної рефракції мають додатне значення, що відповідає стійкій стратифікації атмосфери над Бережанським ставком. Це зумовлено збільшенням температури із висотою (інверсія температури) [8].

Для цих ліній було обчислено перевищення за формулою (2.10) із різними значеннями степенів: -1, -2/3, -1/3, 0, 1/3, 1. Крім цього, обчислено перевищення із врахуванням еквівалентних висот (2.11) замість флуктуацій зенітних відстаней. Еквівалентні висоти променів визначені за (2.4) по лініях 1-3, 1-4, 2-3 і 2-4 – 10 м, а по лініях 3-1, 3-2, 4-1, 4-2 – 5м. Ці перевищення порівняли із результатами перевищень, одержаних із геометричного нівелювання II класу, різниці яких подані в табл. 2.27.

Таблиця 2.27

Різниці перевищень геометричного та тригонометричного нівелювань з урахуванням флуктуацій зенітних відстаней (із різними степенями), а також із урахуванням еквівалентних висот (став Бережанський)

Назви лінії	$\Delta_{mh^{-1}}$ (мм)	$\Delta_{mh^{-2/3}}$ (мм)	$\Delta_{mh^{-1/3}}$ (мм)	Δ_{mh^0} (мм)	$\Delta_{mh^{1/3}}$ (мм)	Δ_{mh^1} (мм)	Δ_{he} (мм)
1-3	0.3	2.0	3.8	5.6	7.5	10.9	0.6
1-4	3.6	3.1	2.5	2.0	1.5	0.4	-2.8
2-3	4.1	4.7	5.3	5.9	6.5	7.7	1.0
2-4	0.7	1.9	3.2	4.5	5.8	8.3	-0.6
Середнє	2.2	2.9	3.7	4.5	5.3	6.8	-0.4
С.к.п	1.9	1.3	1.2	1.8	2.6	4.5	1.7

Як бачимо з табл.2.27, найменше середнє значення похибок є між геометричним та тригонометричним нівелюванням з врахуванням еквівалентних висот і дорівнює

0.4 мм, а СКП – 1.7 мм. Найменше значення СКП із використанням флуктуацій зенітних відстаней у степені $-1/3$ і дорівнює 1.2 мм. Обидва способи відповідають точності геометричного нівелювання II класу. Це вказує на обернену залежність флуктуацій від величини вертикальної рефракції і може бути пояснено наявністю динамічної турбулентності на більших висотах проходження візирного променя над водною поверхнею у районі досліджень [8].

Таблиця 2.28

**Обчислені значення степеня b (формула 2.13)
(ст. Бережанський)**

Номер лінії	b
1-3	-1.07
1-4	1.27
2-3	-3.39
2-4	-1.18
Середнє	-1.09

Степені, які обчислені за (2.13) приведені у табл. 2.28, підтверджують висунуту гіпотезу оберненого зв'язку. Повітряні потоки над Бережанським ставом проходять вздовж долини річки Золота Липа з високими берегами, що утворюють динамічну трубу.

Отже, показана можливість застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання для передачі висот над водними поверхнями із частковим врахуванням вертикальної рефракції з точністю геометричного нівелювання II класу.

Виявлено, що над водними поверхнями може створюватись як стійка, так і нестійка стратифікація приземного прошарку повітря.

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 -1 до -0.3 [8].

Під час нестійкої стратифікації для двостороннього тригонометричного нівелювання рекомендується застосовувати степені при флуктуаціях зенітних відстаней в межах $+1$ до $+0.3$.

Отримані висоти методом GNSS порівняли з висотами реперів, отриманих з геометричного нівелювання.

Таблиця 2.29

Результати порівняння перевищень методом GNSS та геометричного нівелювання III класу

Назва пунктів	$h_{\text{геом.}}$ (мм)	h_{GNSS} (EGM-2008) (мм)	h_{GNSS} (покращена EGM-2008 для тер.України) (мм)	Довжина (м)	f_h доп, (мм)	$\Delta 1$ (мм)	$\Delta 2$ (мм)
П.тр.Острів'я-П.тр.Городище	9488	9480	9485	3879	19	8	3
П.тр.Плотиччя-П.тр.Люцимер	-1549	-1554	-1558	4199	20	5	9

Як видно з таблиці 2.29, значення $\Delta 1$ – різниці між геометричним нівелюванням та методом GNSS з висотами квазігеоїда моделі EGM-2008; $\Delta 2$ – різниці між геометричним нівелюванням та методом GNSS з висотами квазігеоїда моделі EGM-2008 покращеної для території України, є меншими за допустиму нев'язку III класу. Отже, ходи геометричного нівелювання III класу можна замінити на GNSS-спостереження на досліджуваній території. GNSS-спостереження також можна використовувати для контролю стабільності пунктів.

2.2.6 Оцінювання точності мережі під час виконання нівелювання різними методами

Особливістю території ШНПП є заболоченість, лісистість та значна кількість озер. Через це прокладання нівелірних ходів III класу для розвитку висотної геодезичної мережі пов'язано з певними труднощами. Одним із найоптимальніших варіантів розв'язання цього питання є комбінування методів нівелювання. Залежно від вище вказаних особливостей, доцільно використовувати різні методи нівелювання.

Для оптимізації побудови висотної геодезичної мережі потрібно виконати оцінку точності мережі, яка була створена геометричним нівелюванням за методикою III класу. Зрівноваживши висотну геодезичну мережу ШНПП, отримали СКП визначення висотного положення пунктів (вихідним репером був пункт ЛЕП).

Як видно з таблиці 2.30, СКП визначення висотного положення реперів не перевищує 5 мм.

Таблиця 2.30

СКП визначення висотного положення реперів та пунктів

№п/п	Пункти та реperi	СКП (м)	№п/п	Пункти та реperi	СКП (м)
1	27	0.005	12	Мельники	0.005
2	192	0.005	13	Пілон	0.003
3	630	0.004	14	Перемут	0.005
4	Бігборд	0.004	15	Плотичья	0.005
5	База	0.005	16	Пошта	0.004
6	Водпост	0.003	17	Пульмо кінцевий	0.004
7	Городище	0.004	18	Травни	0.005
8	Дит.садок	0.003	19	Ферма	0.003
9	Міст-1	0.004	20	Школа	0.005
10	Міст-2	0.005	21	Свердловина	0.004
11	Міст-3	0.005	22	Міст-4	0.004

Після виконаних досліджень різних методів нівелювання (геометричного нівелювання «із середини», двостороннього геометричного нівелювання «вперед-назад», тригонометричного одностороннього нівелювання, тригонометричного двостороннього нівелювання, тригонометричного нівелювання методом «із середини», тригонометричного нівелювання методом «через точку») та визначення перевищень методом GNSS було виконано їх оцінку точності для віддалі 1000 метрів (див. таблицю №2.31).

Таблиця 2.31

Результати оцінки точності різних методів нівелювання для віддалі 1 км

Тип нівелювання	Геометричне нівелювання (м)		Тригонометричне нівелювання (м)				Метод GNSS (м) (1.28)
	«Із середини» (1.7)	Вперед-назад» (1.8)	Одностороннє (1.13)	Двостороннє (1.20)	«Із середини» (1.15)	«Через точку» (1.17)	
СКП визначення перевищення	0,006	0,006	0,024	0,006	0,005	0,008	0,007

Як видно з таблиці 2.31, за точністю класичному геометричному нівелюванню поступається лише одностороннє тригонометричне нівелювання. А також не рекомендовано використовувати метод тригонометричного нівелювання «через точку» для заміни геометричного нівелювання на території ШНПП, на що вказують результати досліджень (див. пункт 2.2.2).

Також було виконано оцінку точності визначення висот при комбінуванні методів нівелювання.

Таблиця 2.32

СКП визначення висотного положення реперів та пунктів при комбінуванні різних методів нівелювання

№ п/п	Назва реперів та пунктів	СКП (м)	№ п/п	Назва реперів та пунктів	СКП (м)
1	27	0,005	12	Мельники	0,005
2	630	0,004	13	Пілон	0,003
3	Бігборд	0,004	14	Перемут	0,005
4	База	0,005	15	Плотиччя	0,005
5	Водпост	0,003	16	Пошта	0,004
6	Городище	0,004	17	Пульмо кінцевий	0,004
7	Дит.садок	0,003	18	Травни	0,005
8	Міст-1	0,004	19	Ферма	0,003
9	Міст-2	0,004	20	Школа	0,005
10	Міст-3	0,005	21	Свердловина	0,004
11	Міст-4	0,004			

Як видно з таблиці 2.32, СКП визначення висотного положення реперів та пунктів при комбінуванні різних методів нівелювання так само, як і при класичному геометричному нівелюванні не перевищує 5мм і є в межах точності вимірювань.

2.3 Оптимізація висотної геодезичної мережі

Питанням оптимального проектування, оптимізації геодезичних мереж займалися багато вітчизняних та закордонних вчених: К. Афонін [17], М. Герасименко [30], Ю. Маркузе, К. Третьак [143; 125], А. Ярмоленко, І. Савчин [125], З. Тамутис [133], Т. Ayan [3], W. Baarda, A. Chezanowski, E. Grafarend [7], S. Kuang [9].

Суть задачі оптимізації на території ШНПП полягає в тому, що потрібно запланувати проведення повторного нівелювання різними методами для дослідження стійкості пунктів водомірних постів таким чином, щоб виконання польових робіт займали мінімум часу, а точність при цьому не погіршувалася.

СКП визначення перевищення ходу тригонометричним та геометричним нівелюванням (2.14), (2.15):

$$m_{hT} = \sqrt{\left(\cos Z m_s\right)^2 + \left(S \sin Z \frac{m_z}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{S^2}{4R} m_k\right)^2 + m_l^2 + m_v^2} \times \sqrt{\frac{x_i}{S}}. \quad (2.14)$$

$$m_{hG} = \sqrt{2m_{\text{відл}}^2 + 2m_i^2 \left(\frac{d}{\rho''}\right)^2 + 2m_{\Delta k}^2 \left(\frac{d^2}{2R}\right)^2} \times \sqrt{\frac{x_j \times 2}{d}}. \quad (2.15)$$

Цю задачу розв'язано методом лінійного програмування в програмному середовищі Mathcad.

Математична модель цієї задачі набуде вигляду (2.16):

$$F(t) = t_{GNSS} + \sum_{i=1}^n t_{iT} + \sum_{i=1}^n t_{ig} \rightarrow \min \quad (2.16)$$

Зробимо заміну t на змінну x , тоді вираз часу, виконання GNSS вимірів, набуде вигляду (2.17):

$$t_{GNSS} = x_1 \quad (2.17)$$

Час виконання тригонометричного і геометричного нівелювання для всього ходу виразимо через довжину ходу, сторони та час виконання на одній станції (2.18), (2.19):

$$t_T = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{s} \right) \times C_t, \quad (2.18)$$

де x_i – довжина ходу тригонометричного нівелювання; s – довжина сторони тригонометричного нівелювання; C_t – час виконання тригонометричного нівелювання на 1 станції.

$$t_G = \left(\frac{\sum_{j=1}^m x_j \times 2}{d} \right) \times C_g, \quad (2.19)$$

де x_j – довжина ходу геометричного нівелювання; d – довжина сторони геометричного нівелювання; C_g – час виконання геометричного нівелювання на 1 станції.

Підставити (2.17)-(2.19) в (2.16), тоді математична модель задачі набуде вигляду (2.20):

$$F(x) = x_1 + \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{s} \right) \times C_t + \left(\frac{\sum_{j=1}^m x_j \times 2}{d} \right) \times C_g \rightarrow \min \quad (2.20)$$

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

$$t_1 \leq x_1 \leq t_2$$

$$x_i \geq 0, \quad x_j \geq 0 \quad (2.21)$$

$$x_i + x_j = D_n \quad (2.22)$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{nT}^2 + m_{nH}^2} \leq \frac{V}{3} \quad (2.23)$$

де D – довжина ходу від GNSS пункту до репера водомірного посту; m_{GNSS} – СКП визначення перевищення GNSS вимірами формула (1.28); m_{nT} – СКП визначення перевищення ходу тригонометричним нівелюванням формула (2.14); m_{nH} – СКП визначення перевищення ходу геометричним нівелюванням формула (2.15); V – величина багаторічної швидкості зміни рівня води оз. Світязь.

Для мінімізації кількості вимірювань на полігонах під час висотної прив'язки водпостів та свердловин виконано оптимізацію мережі. Запропоновано створити GNSS-мережу з 4 пунктів мережі і перманентної станції SHAZ (рис. 2.15). Пункти було вибрано через близьке розташування до водомірних постів та відкритий горизонт біля них.



Рис. 2.15 Схема GNSS-мережі

Визначено апріорну оцінку точності GNSS-мережі (Див. таблицю 2.33)

Таблиця 2.33

Апріорна оцінка точності GNSS-мережі

Назва пункту	M (мм)	M _x (мм)	M _y (мм)	M _h (мм)
Острів'я	2,6	1,8	1,9	5
Люцимер	2,8	2,1	1,9	5
Пілон	2,8	2,2	1,7	5
Городище	2,5	1,9	1,7	5

Від пунктів GNSS-мережі прокладено 8 нівелірних ходів для дослідження контролю стабільності реперів водомірних постів (Див. рис. 2.16).

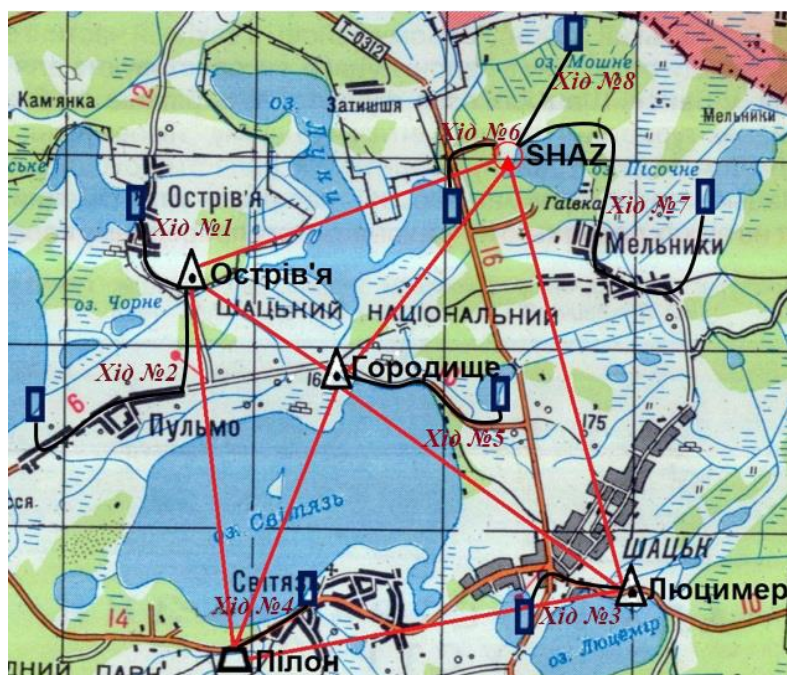


Рис. 2.16 Схема нівелірних ходів для дослідження контролю стабільності реперів водомірних постів

Для того, щоб порівняти результати моделювання оптимальних мереж за розробленою методикою було вибрано 4 категорії складності території (Див. табл. 2.34)

Таблиця 2.34

Характеристики категорій складності території

Величини	Категорії складності території			
	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°

Критеріями оптимізації вибрано точність та час виконання польових робіт.

Для прикладу представимо алгоритм оптимізації методів нівелювання для 4 категорії складності території:

Вихідні дані

$$D_{GNSS} = 10000 \quad D_1 = 1975 \quad D_2 = 7616 \quad D_3 = 3104 \quad D_4 = 2676 \quad D_5 = 3810 \quad D_6 = 4292 \\ D_7 = 11009 \quad D_8 = 3360$$

Функція

$$f(x) = x_1 + \left[\frac{(x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9)}{k} \right] \times 0.25 + \left[\frac{(x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17}) \times 2}{d} \right] \times 0.08$$

Обмеження функції

$$1 \leq x_1 \leq 24$$

$$x_2 + x_{10} = D_1$$

$$x_3 + x_{11} = D_2$$

$$x_4 + x_{12} = D_3$$

$$x_5 + x_{13} = D_4$$

$$x_6 + x_{14} = D_5$$

$$x_7 + x_{15} = D_6$$

$$x_8 + x_{16} = D_7$$

$$x_9 + x_{17} = D_8$$

$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \quad x_3 \geq 0 \quad x_4 \geq 0 \quad x_5 \geq 0 \quad x_6 \geq 0 \quad x_7 \geq 0 \quad x_8 \geq 0 \quad x_9 \geq 0 \quad x_{10} \geq 0$$

$$x_{11} \geq 0 \quad x_{12} \geq 0 \quad x_{13} \geq 0 \quad x_{14} \geq 0 \quad x_{15} \geq 0 \quad x_{16} \geq 0 \quad x_{17} \geq 0$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{1T}^2 + m_{1H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{2T}^2 + m_{2H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{3T}^2 + m_{3H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{4T}^2 + m_{4H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{5T}^2 + m_{5H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{6T}^2 + m_{6H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{7T}^2 + m_{7H}^2} \leq 0.015$$

$$\sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{8T}^2 + m_{8H}^2} \leq 0.015$$

Знаходження мінімуму функції

$$x = \text{Min}(f, x)$$

Результат оптимізації

Як видно з таблиці 2.36, загальний час нівелювання 28 год. З яких час виконання GNSS вимірів становить 5 годин. Всі ходи рекомендовано виконувати тригонометричним нівелюванням, час виконання яких становить 23.6 годин.

Таблиця 2.37

Результати моделювання оптимальних мереж за умови $k=200$, $d=110$, $\alpha=20^\circ$

GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання				Геометричне нівелювання			
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	—	1	—	—
			2	7616	6,5		2	—	—
			3	3104	4,2		3	—	—
			4	2676	3,9		4	—	—
			5	3810	4,6		5	—	—
			6	4292	4,9		6	—	—
			7	11009	7,9		7	—	—
			8	3360	4,3		8	—	—
50,5 години			Загальний час виконання польових робіт						

Як видно з таблиці 2.37, загальний час нівелювання 50.5 годин. З якого час виконання GNSS вимірів становить 3.2 годин. Всі ходи рекомендовано виконувати тригонометричним нівелюванням, час виконання яких становить 47.3 години.

Як видно з таблиці 2.38, загальний час нівелювання 93,5 год. Час виконання GNSS вимірів становить 16,2 годин, час виконання геометричного нівелювання – 25 годин, а тригонометричного – 46,7 годин. Ходи №1,4 рекомендовано виконувати тільки геометричним нівелюванням. А решту комбінуванням геометричного та тригонометричного.

Таблиця 2.38

Результати моделювання оптимальних мереж за умови $k=100$, $d=100$, $\alpha=25^\circ$

GNSS-виміри		Тригонометричне нівелювання				Геометричне нівелювання			
Час (год)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)	Час (год)	№ ходу	Довжини ходів (м)	СКП (мм)
16,2	9,5	46,7	1	–	–	25	1	1975	10,0
			2	5381	4,7		2	2235	11,0
			3	466	1,4		3	2638	12,0
			4	–	–		4	2676	12,0
			5	1235	2,3		5	2575	11,0
			6	1760	2,7		6	2532	11,0
			7	9076	6,1		7	1933	10,0
			8	745	1,8		8	2615	11,0
93.5 години			Загальний час виконання польових робіт						

Із отриманих результатів можна зробити висновки:

- при відкритій місцевості і хорошій видимості найкраще застосовувати тригонометричне нівелювання.
- при 4 категорії найкраще виконувати геометричне нівелювання, для ходів довжина яких не перевищує 3 км. Для ділянок довжиною понад 3 км рекомендовано виконувати комбінування геометричного і тригонометричного нівелювання.

Дослідження залежності загального часу польових робіт від тривалості спостережень GNSS-вимірів при різних категоріях складності території

Виконано дослідження загального часу виконання польових робіт під час примусового збільшення часу GNSS вимірів при різних категоріях складності. Результати дослідження за умови $k=600\text{м}$ $d=150$, $\alpha=10^\circ$ подані в таблиці 2.39. А результати дослідження при 2,3,4 категорії складності зображені на рисунках 2.24-2.27.

Як бачимо з таблиці 2.39, ця задача оптимізації для 1 категорії складності території не має розв'язку від 1 години до 22-ох годин GNSS-вимірів. При виконанні GNSS-вимірів 23,24 години, загальний час виконання польових робіт збільшується відповідно до часу GNSS-вимірів, а час тригонометричного нівелювання не змінюється.

Таблиця 2.39

Результати дослідження за умови $k=600\text{м}$ $d=150$, $\alpha=10^\circ$

Час GNSS-вимірів	Час тригонометричного нівелювання	Час геометричного нівелювання	Загальний час
1	—	—	—
...	...	...	...
23	15,8	—	38,8
24	15,8	—	39,8

Задача оптимізації при 2 категорії складності території не має розв'язку до 4-ох годин GNSS-вимірів. Під час збільшення часу GNSS-вимірів з 5 до 24-ох годин, відповідно збільшується загальний час виконання польових робіт, а час тригонометричного нівелювання не змінюється (Див. рис. 2.17).

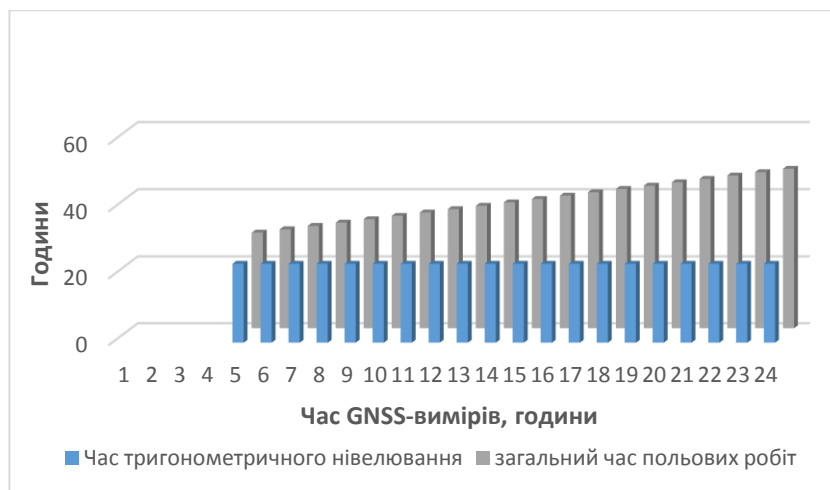


Рис. 2.17 Залежність загального часу польових робіт та тригонометричного нівелювання від зміни часу виконання GNSS вимірів при 2 категорії складності території ($k=400\text{м}$ $d=130$, $\alpha=15^\circ$)

Задача оптимізації при 3 категорії складності території не має розв'язку до 3-ох годин GNSS-вимірів. Під час збільшення часу GNSS-вимірів з 4 до 24 годин, відповідно збільшується загальний час виконання польових робіт, а час тригонометричного нівелювання залишається сталим (Див. рис. 2.18).

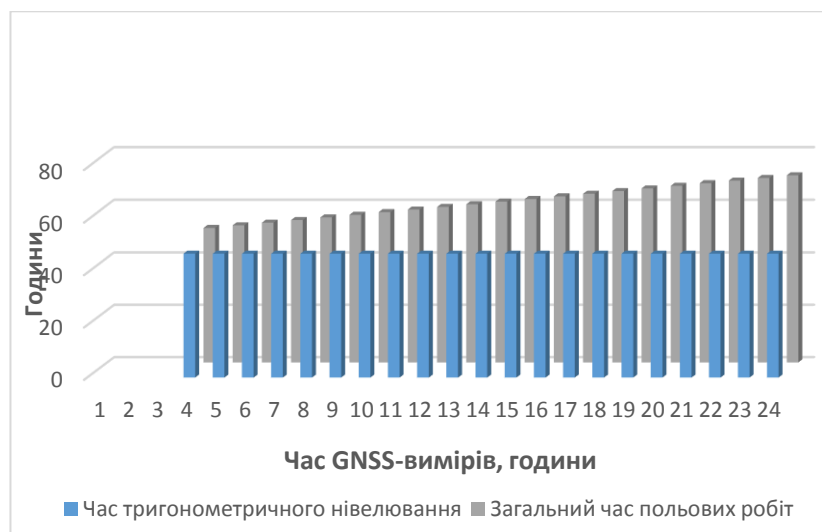


Рис. 2.18 Залежність загального часу польових робіт та тригонометричного нівелювання від зміни часу виконання GNSS вимірів при 3 категорії складності території ($k=200\text{м}$ $d=110$, $\alpha=20^\circ$)

Задача оптимізації при 4 категорії складності території не має розв'язку до 6 годин GNSS-вимірів. Під час збільшення часу GNSS-вимірів з 7 до 24 годин відповідно збільшується час геометричного нівелювання, а час тригонометричного

нівелювання зменшується (див. рис. 2.20). Мінімальне значення загального часу польових робіт є при 15 годинах GNSS-вимірів (див. рис. 2.19).

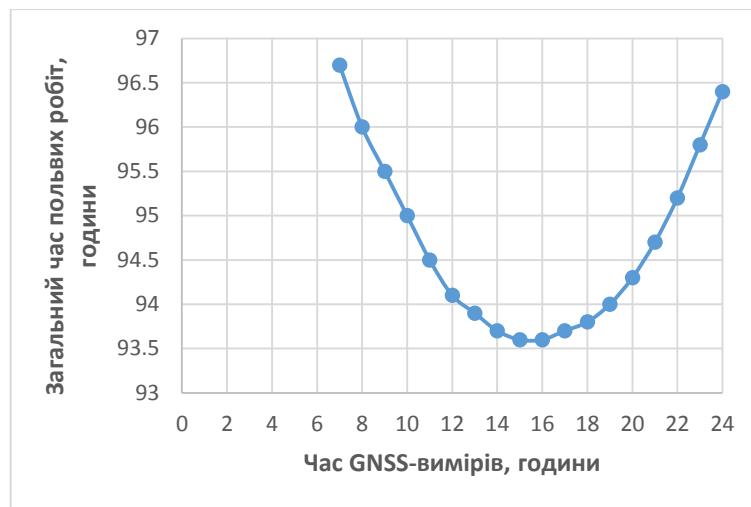


Рис. 2.19 Залежність загального часу польових робіт від часу виконання GNSS вимірів при 4 категорії складності території ($k=100\text{м}$ $d=100$, $\alpha=25^\circ$)

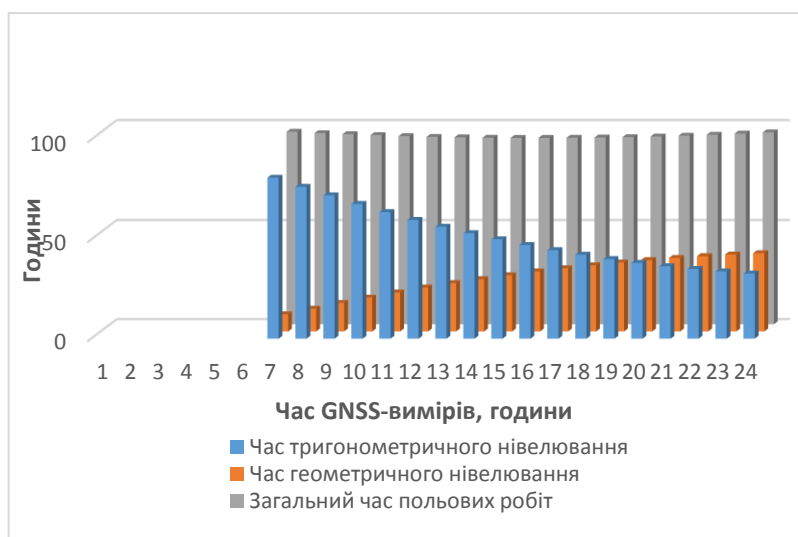


Рис. 2.20 Залежність загального часу польових робіт та тригонометричного нівелювання від зміни часу виконання GNSS вимірів при 4 категорії складності території ($k=100\text{м}$ $d=100$, $\alpha=25^\circ$)

Дослідження залежності точності визначення перевищень методом GNSS від тривалості спостережень при різних категоріях складності території

Виконано дослідження залежності точності визначення перевищень методом GNSS від тривалості спостережень при різній мінімальній висоті супутників над горизонтом ($\alpha=10^\circ$, 15° , 20° , 25°) та довжині вектору 10 км. Час спостережень змінювався від 1 до 24 годин з інтервалом 1 година. Для розрахунку точності

визначення перевищень методом GNSS використано формулу 2.48. Результати дослідження зображені на графіку 2.21.

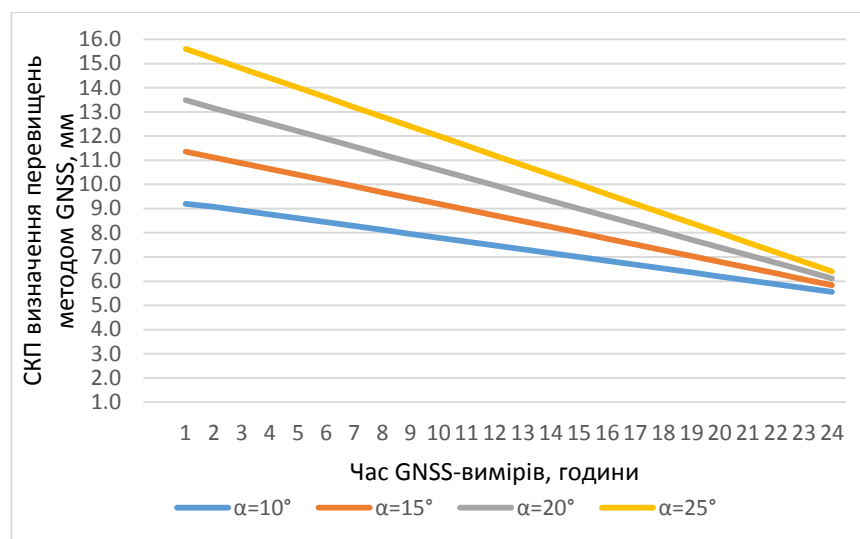


Рис. 2.21 СКП визначення перевищень залежно від часу спостережень та мінімальної висоти супутників над горизонтом (довжина вектору 10 км)

Мінімальне та максимальне значення СКП визначення перевищення при мінімальній висоті супутників над горизонтом $\alpha=10^\circ$ відповідно становить 9,2мм та 5,6 мм. При $\alpha=15^\circ$ мінімальне та максимальне значення СКП визначення перевищення становить 11,4 мм та 5,8 мм. При $\alpha=20^\circ$ мінімальне та максимальне значення СКП визначення перевищення становить 13,8 мм та 6,1 мм. При $\alpha=25^\circ$ мінімальне та максимальне значення СКП визначення перевищення становить 15,6 мм та 6,4 мм.

Рекомендації щодо виконання повторного нівелювання різними методами

Територія ШНПП в загальному відповідає 3 категорії складності. За результатами виконаної оптимізації та обстеження території ШНПП складено схему-рекомендацію виконання повторного нівелювання різними методами. (Див. рис. 2.22)

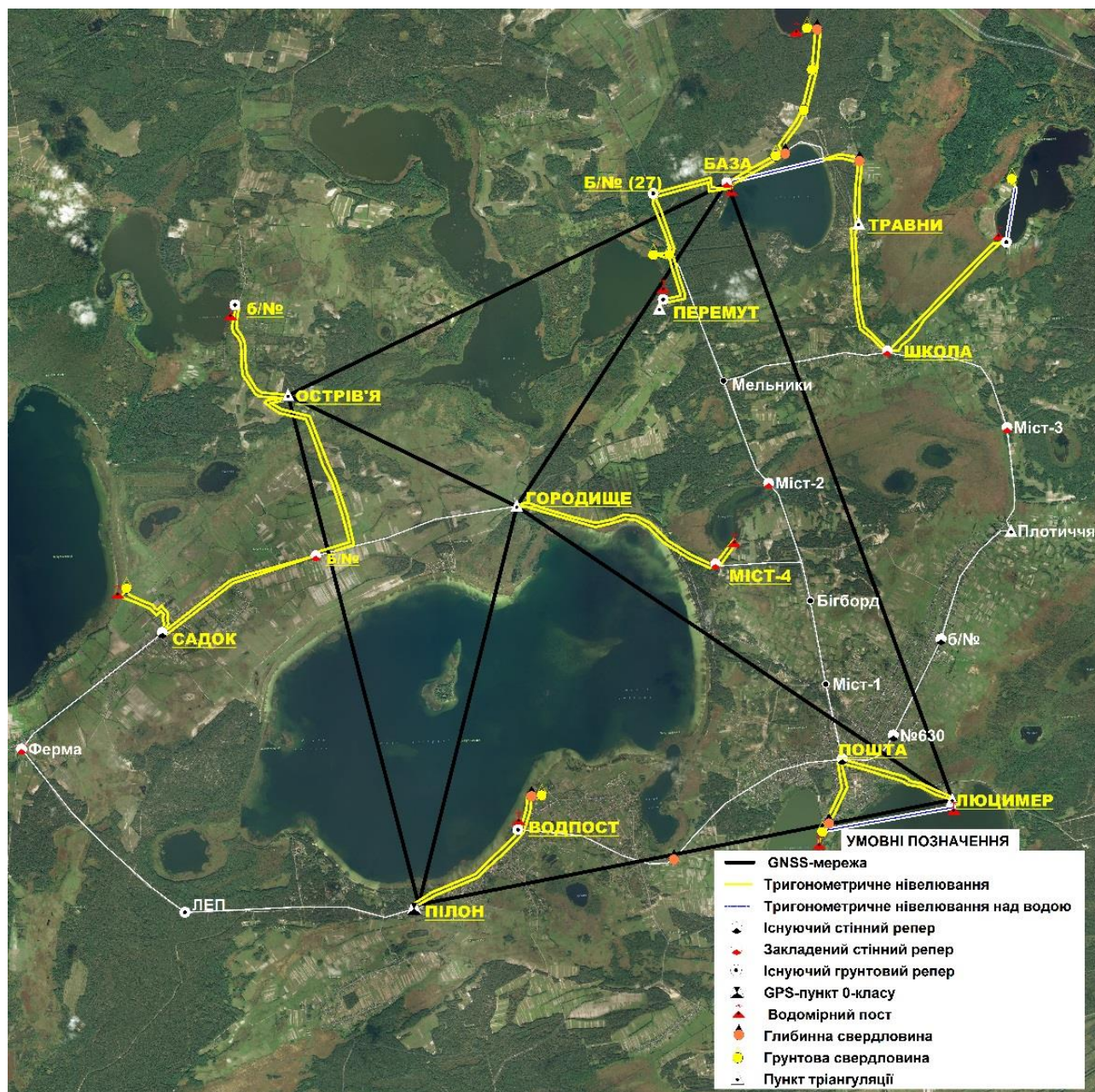


Рис. 2.22 Схема оптимізації висотно-геодезичної мережі

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

ВИСНОВКИ ДО 2 РОЗДІЛУ

1. Створено науково-експериментальну висотну геодезичну мережу на території ШНПП, яка складається з 3 полігонів (23 пункти), загальною довжиною 59,4 км, для подальшого моніторингу рівнів вод. За результатами вимірів обчислено СКП нівелювання висотної геодезичної мережі за нев'язками в полігонах (за 2017 рік), яка становить $m_{\text{ст}}=0,29$ мм, а $m_{\text{км}}=0,84$ мм.
2. На основі виконаних експериментальних досліджень різних методів нівелювання, виконано оцінку точності кожного методу і встановлено, що за точністю геометричному нівелюванню III класу поступається одностороннє тригонометричне нівелювання, методи тригонометричного нівелювання «через точку» та рефракційного базису, а інші методи: геометричне двостороннє нівелювання «вперед-назад», двостороннє неоднчасне тригонометричне нівелювання, метод тригонометричного нівелювання «із середини» та GNSS метод – можуть використовуватися для заміни геометричного нівелювання на території ШНПП.
3. Експериментально доведено, що спосіб геометричного двостороннього нівелювання «вперед-назад» прискорює процес нівелювання на 15% за рахунок зменшення витрат часу для вибору на місцевості лінії нівелювання з дотриманням умови рівності плеч і висоти візирного променя.
4. Доведено, що методика прокладання висотних ходів із застосуванням неоднчасного двостороннього тригонометричного нівелювання без вимірювання висот приладу та відбивачів на станціях (вимірюється лише на початковій або кінцевій точках) усуває похибки їх вимірювань та може застосовуватись для створення нівелірної мережі замість геометричного нівелювання. Показано, що дана методика має ряд переваг над геометричним нівелюванням: кількість станцій у ході довжиною 3,5 кілометра зменшується приблизно у 5 разів, що, своєю чергою, веде до скорочення часу виконання робіт на 30%. А також зменшується кількісний склад бригади.

5. Отримано формулу обчислення степеня флуктуацій zenітних відстаней під час двосторонніх тригонометричних спостережень, що необхідна для проектування мереж над водними поверхнями.
6. Встановлено, що степені флуктуації zenітних відстаней для визначення перевищень для стійкої стратифікації атмосфери мають від'ємні значення під час визначення часткових величин вертикальної рефракції в межах -1 до -0.3. А під час нестійкої стратифікації для двостороннього тригонометричного нівелювання рекомендується застосовувати степені при флуктуаціях zenітних відстаней в межах +1 до +0.3. Встановлено, що для стійкої стратифікації за умов сильно розвинутої динамічної турбулентності для визначення часткових величин вертикальної рефракції краще застосовувати еквівалентні висоти.
7. Виконано порівняння СКП визначення висотного положення реперів геодезичної мережі на території ШНПП класичним методом геометричного нівелювання III класу 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.
8. Запропоновано методику оптимізації висотної геодезичної мережі. Критеріями оптимізації висотної геодезичної мережі є точність та час виконання польових робіт. Пошук оптимального значення функції повинен задовольняти умови: час виконання робіт повинен бути мінімальний, а точність не перевищувати 1/3 величини багаторічної швидкості зміни рівня води озера Світязь.

РОЗДІЛ 3 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ РІВНІВ ВОДИ НА ТЕРИТОРІЇ ШНПП

Упродовж тривалого періоду дослідження рівня води в озерних екосистемах не мали постійного моніторингу, вони мали епізодичний, обмежений характер. Дослідження рівня води неперервно виконувалось лише на одному водомірному пості на озері Світязь. Проте ніхто не проводить виміри, щодо стабільності реперів водомірного посту, тому невідомо чи є достовірними результати моніторингу. Дослідження рівнів води на інших озерах велися періодично і опубліковані за матеріалами Волинського обласного виробничого управління водних ресурсів і водного господарства в працях Л. Ільїна. Середньорічні рівні води поліських озер вивчав С. Кутовий [76] та Л. Ільїн [53;54;55;56]. Також озерам досліджуваної території присвячені праці вчених: Ю. Ситник [129], Н. Карпенко [60], Н. Хомік [148;149;150;151]. Дослідження дна водойм ШНПП описані в роботах [21;87]. Окремі дослідження динаміки водних мас виконував Інститут гідробіології НАН України [136]. Проте динаміка зміни рівнів озер вивчена недостатньо.

3.1 Створення водомірних постів та прив'язка напірних, ґрунтових свердловин та водомірних постів до Державної системи висот

Водомірні пости

Для дослідження зміни рівня води на інших озерах ШНПП протягом 2016 року було обладнано тимчасові водомірні пости на 7 озерах: Пісочне, Мошне, Кримне, Перемут, Соменець, Чорне Велике, Люцимер [67]. До цього переліку у 2017 році було додано ще 2 озера Пулемецьке та Острів'янське. Схему водомірних постів зображено на рисунку 3.1. Детальний опис кожного водомірного посту (робочі та контрольні репери, місце їх закладки та схеми прив'язок водомірних постів до ДГМ) зображені у Додатку Д.

Для закладання тимчасових реперів було визначено найоптимальніше місце закладки із врахуванням всіх вимог (видимості, близькості до пунктів полігонів) Тимчасові водомірні пости облаштовані 2 реперами: робочим та контрольним на березі озера та металевою одномоетровою трубою, яка виконує функцію палі. На

деяких водомірних постах робочим репером служать ґрунтові чи напірні свердловини. Оскільки згідно Інструкції з нівелювання I-IV класів свердловина, до якої приварюють марку, може слугувати віковим репером [52].

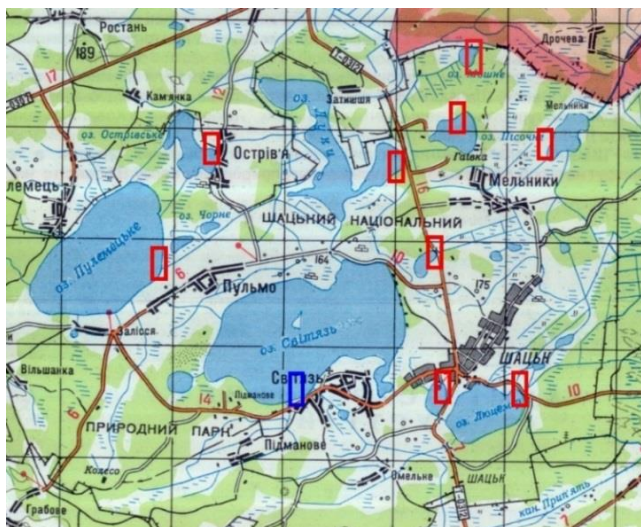


Рис. 3.1 Схема водомірних постів ШНПП

■ - існуючий водпост оз.Світязь; ■ - закладений тимчасовий водомірний пост

До закладених тимчасових водомірних постів прокладено нівелірні ходи III класу чим прив'язано їх до державної системи висот (Балтійська 77). Схема прив'язки водомірних постів до висотної геодезичної мережі на території ШНПП зображена на рисунку 3.2.

Протягом двох років (2016-2017 рр.) на деяких ділянках виконано повторне нівелювання та виконано оцінку стійкості реперів водомірних постів. Як бачимо з таблиці 3.1, величина осідання реперів за два роки є в межах допуску. Отже, можна зробити висновок про стабільність пунктів водомірних постів на цих озерах. На інших 7 озерах прив'язку водомірних постів виконали лише в 2017 році, тому на даний час неможливо виконати оцінку стійкості реперів.

Таблиця 3.1

Результати дослідження стійкості реперів

Репер водомірного посту	Висота на 2016 рік, (мм)	Висота на 2017 рік, (мм)	Осідання між роками, (мм)	Допустима величина осідання, (мм)
Гр.репер б/№ (оз.Світязь)	165219,5	165222	-2,5	14,1
Гр.репер № (оз. Пісочне)	162423	162422	1	4,2
Гр.репер № (оз.Перемут)	165964	165961,5	2,5	6,7



Рис. 3.2 Схема прив'язки водомірних постів до висотної геодезичної мережі на території ШНПП

■ - існуючий водопост; ■ - закладений тимчасовий водомірний пост; ● - закладений стінний репер; ● - існуючий ґрунтовий репер; ● - закладна марка; ● - існуючий стінний репер; ▲ - свердловина;

Свердловини та прив'язка їх до висотної геодезичної мережі ШНПП

На території парку Інститутом гідротехніки і меліорації ААН України в 2004 році було закладено нову систему свердловин для спостереження за рівнем ґрунтових та підземних вод – всього 16 свердловин [84].

Спостереження за рівнем ґрунтових вод ведуться працівниками ШНПП по створах свердловин оз. Пісочне – оз. Мошне (№ 4 – 6) та оз. Люцимер – р. Прип'ять (№ 12 – 15). За рівнем підземних вод – по «кущах» свердловин біля озера Пісочне (№ 24, № 25), біля озера Мошне (№ 4у, № 4н), біля озера Світязь (№ 12, № 13), біля озера Чорне Велике (№ 2, № 20), із свердловин по «кущах» – одна за рівнем ґрунтових вод, а інша – за рівнем напірних вод [84]. Детальний опис кожної свердловини розміщений у Додатку Г. Загальна схема свердловини зображена на рисунку 3.3.

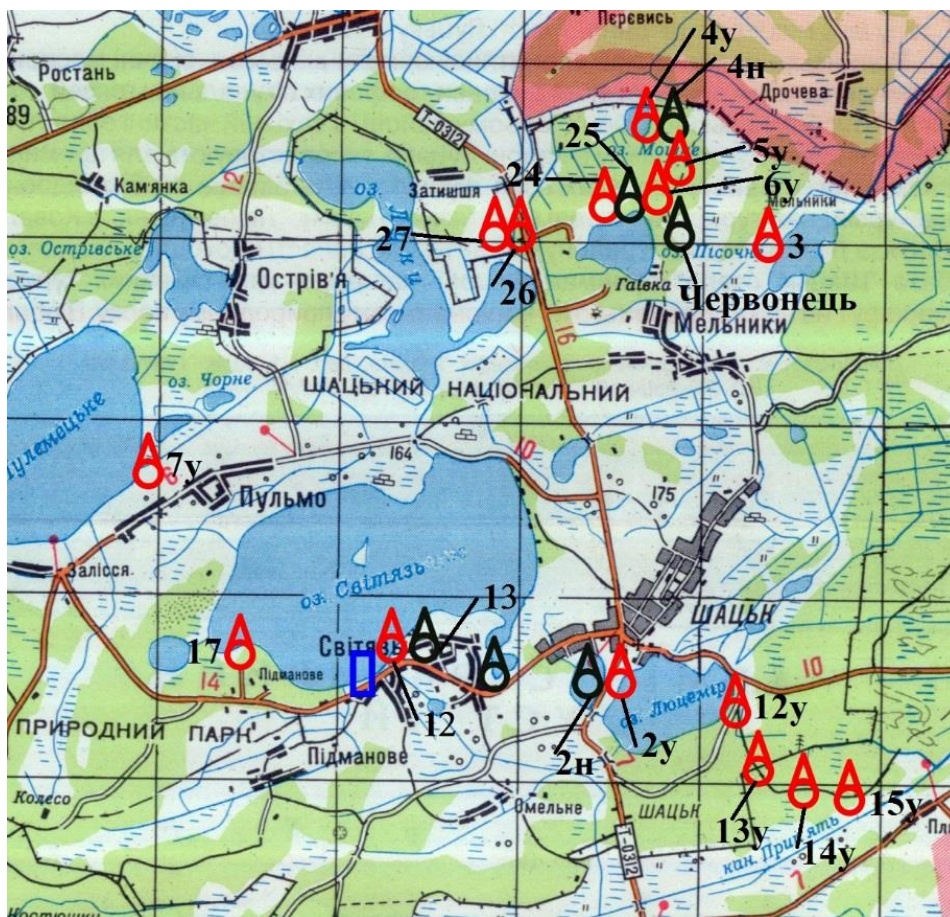


Рис. 3.3 Схема розташування свердловин на території ШНПП

Відповідно до геологічної будови виділяють два основні водоносні горизонти: 1 – водоносний горизонт четвертинних відкладів; 2 – водоносний горизонт крейдових відкладів, які не мають між собою чіткого водотривкого шару, що обумовлює їх тісний гідралічний та динамічний взаємозв'язок.

Водоносний горизонт четвертинних відкладів розвинутий усюди і бере безпосередню участь у формуванні заболочених площ. Живлення його відбувається в основному за рахунок атмосферних опадів, а також поверхневих і підземних вод, а розвантаження – в поверхневі водотоки і водойми [84].

Тріщинувата зона крейдових відкладів утримує напірні води з основною областю живлення в межах підвищених рівнин правобережжя Прип'яті. Гідрологічна особливість даного району – постійне підживлення водами крейдового напірного горизонту не тільки ґрунтових вод, але і безпосередньо озер Шацької групи.

Схеми прив'язки свердловин до реперів висотної геодезичної мережі зображені у Додатку Д. Визначені висоти труб свердловин зведені у таблицю № 3.2.

Визначені висоти свердловин геометричним нівелюванням

Назва озера, біля якого розташовані свердловини	№ свердловин	Висоти, (м)
Пісочне	24	163,758
	25	164,192
	Червонець	163,805
Кримно	3	162,435
Перемут	26	163,419
	27	162,684
Чорне Велике	2н	165,904
	2у	165,510
Світязь	12	164,368
	13	164,663
Пулемецьке	7у	163,771
Мошне	4н	163,031
	4у	163,114
	5у	163,883
	6у	165,291

Таким чином, у результаті нашої роботи більшість свердловин, на яких виконують спостереження рівнів ґрунтових та напірних вод працівниками ШНПП, отримали висоти в Державній системі висот (Балтійська 77). Отримані висоти дають можливість для комплексного дослідження динаміки зміни рівня водних поверхонь озер, ґрунтових і напірних вод та виявити закономірність у змінах цих рівнів та з'ясувати їх причину.

3.2 Візуалізація моніторингових досліджень рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод

3.2.1 Моніторинг поверхневих вод Шацького поозер'я

Джерелами живлення озер є атмосферні опади, поверхневий стік та підземні води. Витрати води в озерах обумовлюються поверхневим та підземним стоком, а також випаровуванням з водного дзеркала. За водним балансом озера поділяються на стічні та безстічні. Для перших характерно те, що, крім випаровування, їхню втрату води визначають поверхневі та підземні стоки. Безстічні озера не мають втрат за рахунок підземного та поверхневого витоків [120].

За живленням виділяють озера переважно атмосферно-напірного, атмосферно-ґрунтового й атмосферно-притокового типу [64]. Наприклад, до атмосферно-

напірного належать озера Чорне Велике, Світязь і Люцимир, до атмосферно-грунтового – озера Пулемецьке, Острів'янське, Луки, до атмосферно-притокового – озеро Кримне (входить до складу транзитної водної системи річок Прип'ять і Рита) [120].

Моніторингові дослідження рівнів поверхневих вод Шацького поозер'я проводилися нами щомісяця, крім зимових періодів протягом 2016-2017 рр. не лише на тимчасових постах, але й на постійному водомірному пості на озері Світязь [123]. Вимірювання на водпостах виконували так: між тимчасовим репером, встановленим в озері, та основним репером на березі виконували геометричне нівелювання, різницю між верхом тимчасового репера та рівнем води вимірювали металевою рулеткою. Дані результатів моніторингу за два роки 2016 і 2017 на кожному досліджуваному озері: Пісочне, Мошне, Кримне, Соменець, Перемут, Люцимир, Чорне Велике, Світязь, Пулемецьке, Острів'янське показано на рис. 3.4-3.12.

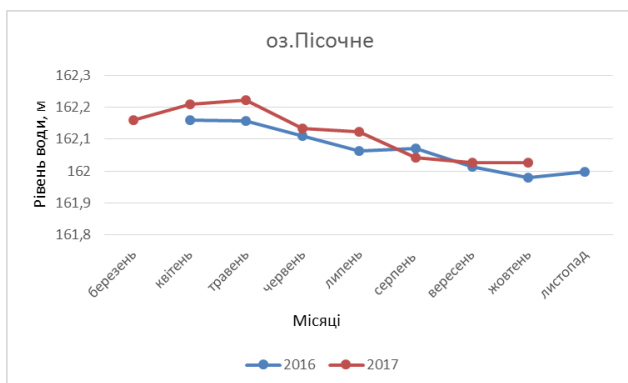


Рис. 3.4 Динаміка зміни рівня води в озері Пісочне

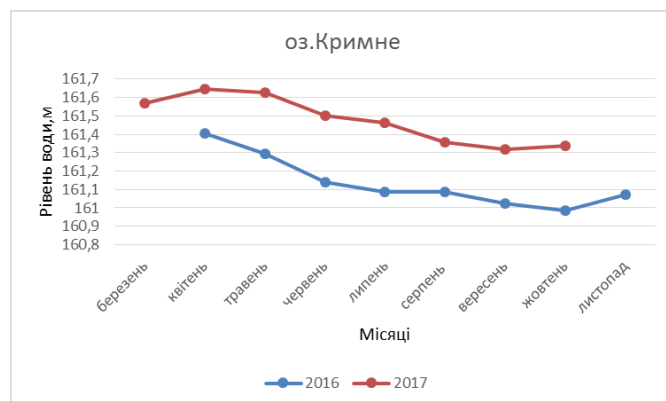


Рис. 3.6 Динаміка зміни рівня води в озері Кримне

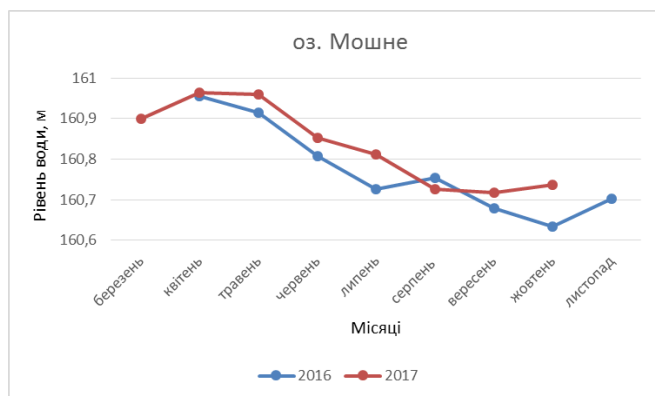


Рис. 3.5 Динаміка зміни рівня води в озері Мошне

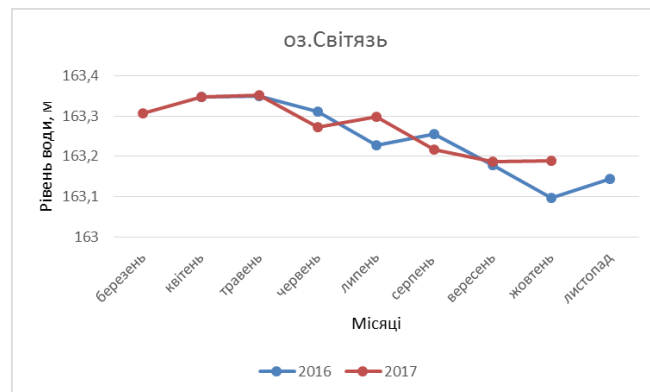


Рис. 3.7 Динаміка зміни рівня води в озері Світязь

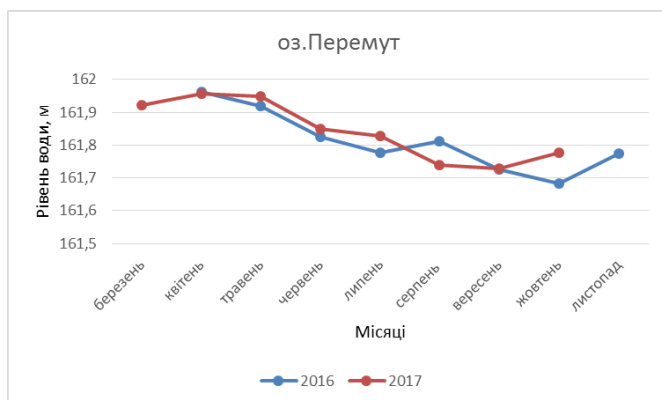


Рис. 3.8 Динаміка зміни рівня води в озері Перемут

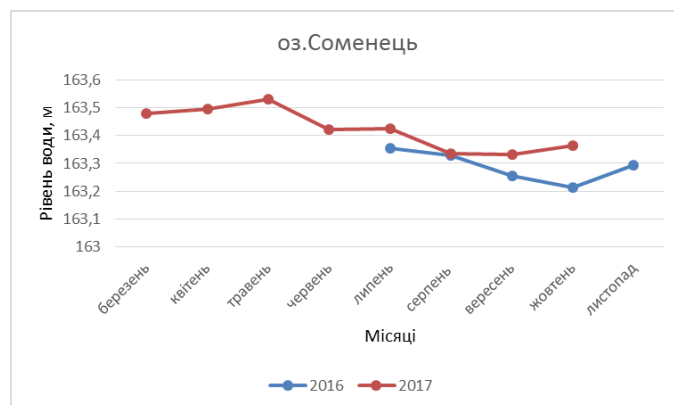


Рис. 3.10 Динаміка зміни рівня води в озері Соменець

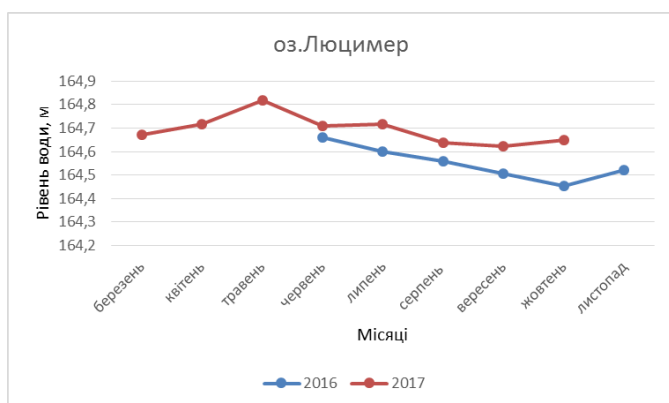


Рис. 3.9 Динаміка зміни рівня води в озері Люцимер

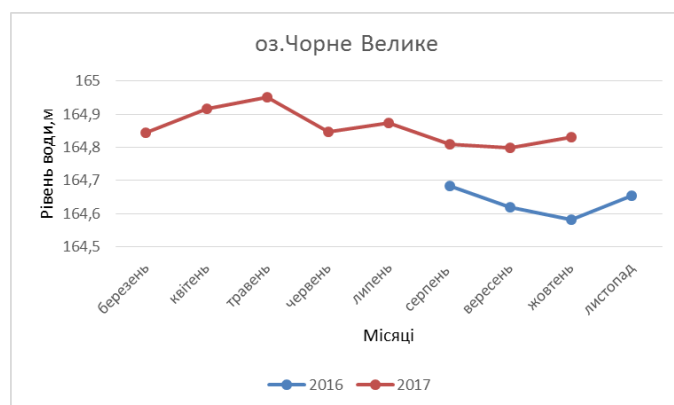


Рис. 3.11 Динаміка зміни рівня води в озері Чорне Велике

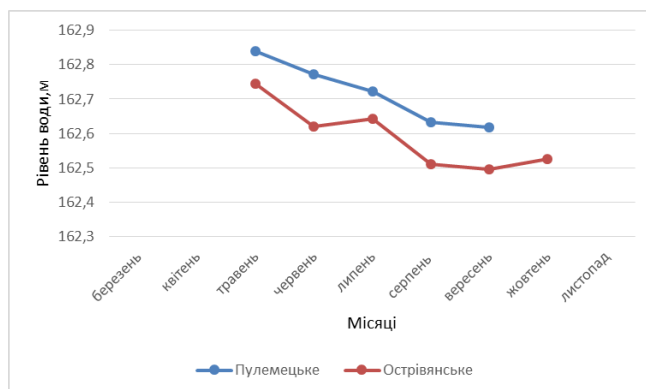


Рис. 3.12 Динаміка зміни рівня води в озері Пулемецьке та Острів'янське

Як видно з графіків 3.4-3.12, рівень води озер характеризується весняним й осіннім підняттям. Весною підняття рівня води пов'язане з таненням снігів, при цьому залежно від кількості опадів спостерігається підвищений рівень води. У кінці травня настає максимум, після чого рівень знижується і його падіння триває до жовтня. Починаючи із жовтня, спостерігається підняття, що виникає під впливом осінніх

дощових опадів. У 2016 році спостерігалось найвищий рівень у квітні, а найнижчий у жовтні, після чого спостерігалось підняття води у листопаді [69] (рис.3.13).

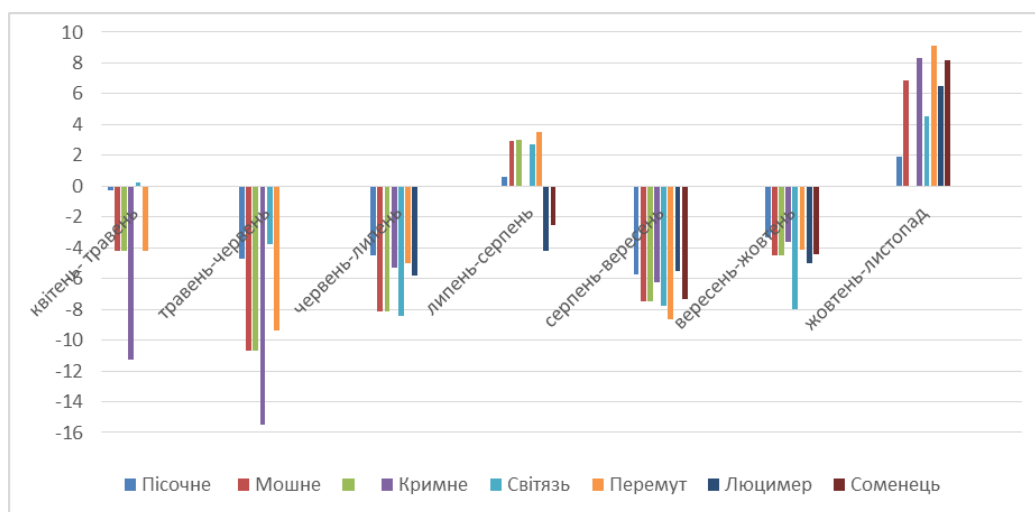


Рис. 3.13 Щомісячна різниця рівнів поверхневих вод у 2016 році

За результатами спостережень найбільше значення коливань рівня води з квітня по жовтень 2016 року становить в озері Кримне – 42 см, Мошне – 32 см, Перемут – 28 см, Світязь – 25 см [68]. А найменше значення зафіксовано в озері Пісочне – 18 см (рис. 3.14).

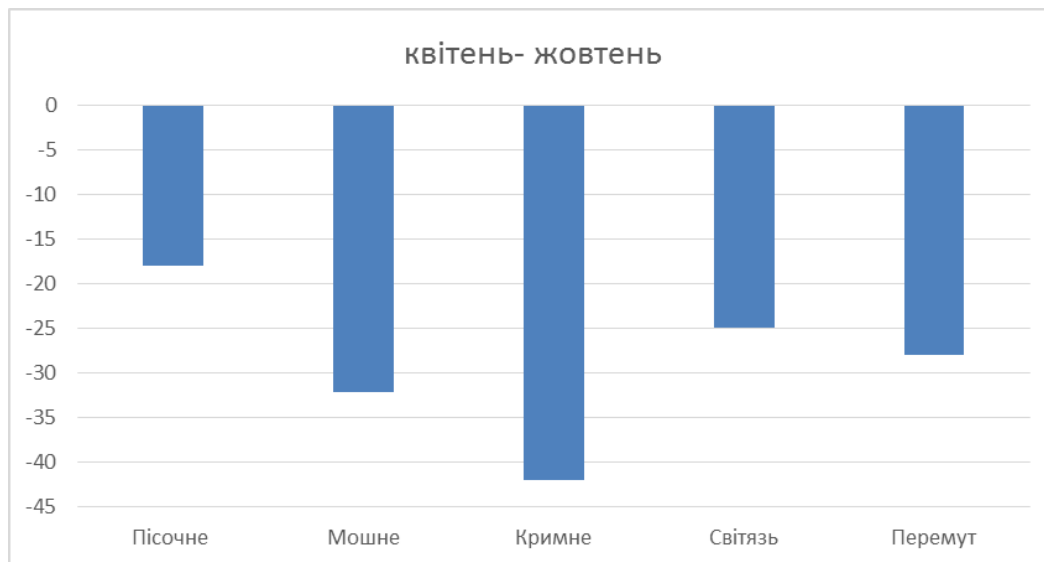


Рис. 3.14 Різниці рівнів поверхневих вод з квітня по жовтень 2016 року

У 2017 році спостерігався найвищий рівень у квітні-травні (в кожного озера по-різному), а найнижчий у вересні, після чого спостерігалось підняття води у жовтні (рис. 3.15).

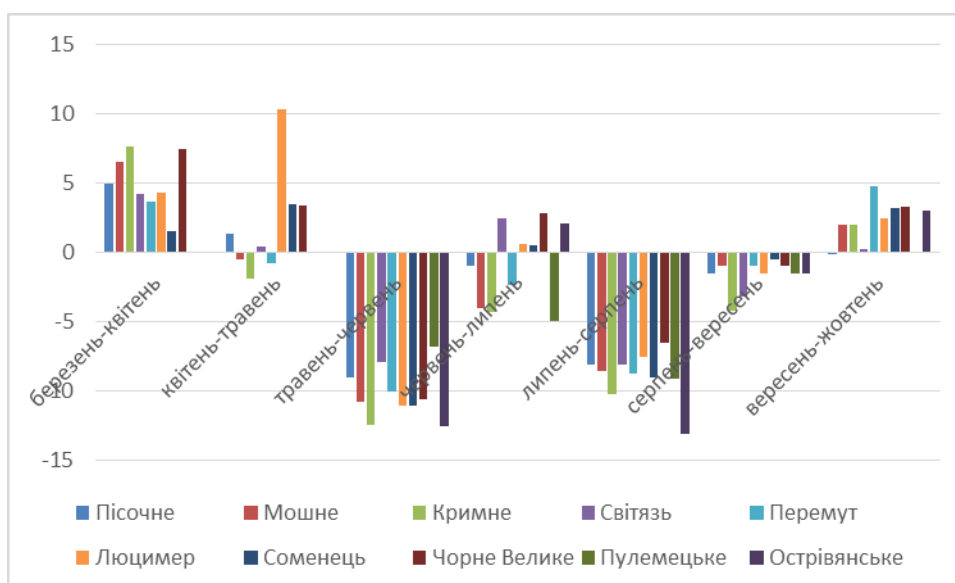


Рис. 3.15 Щомісячна різниця рівнів поверхневих вод у 2017 році

За результатами спостережень найбільше значення коливань рівня води з квітня чи травня по вересень 2017 року становить в озері Кримне – 33 см, Мошне – 25 см, Перемут – 23 см, Світязь – 16,6 см, Пісочне – 19,5 см, Люцимер – 19 см, Соменець – 20 см. А найменше значення зафіксовано в озері Чорне Велике – 15 см (рис. 3.16).

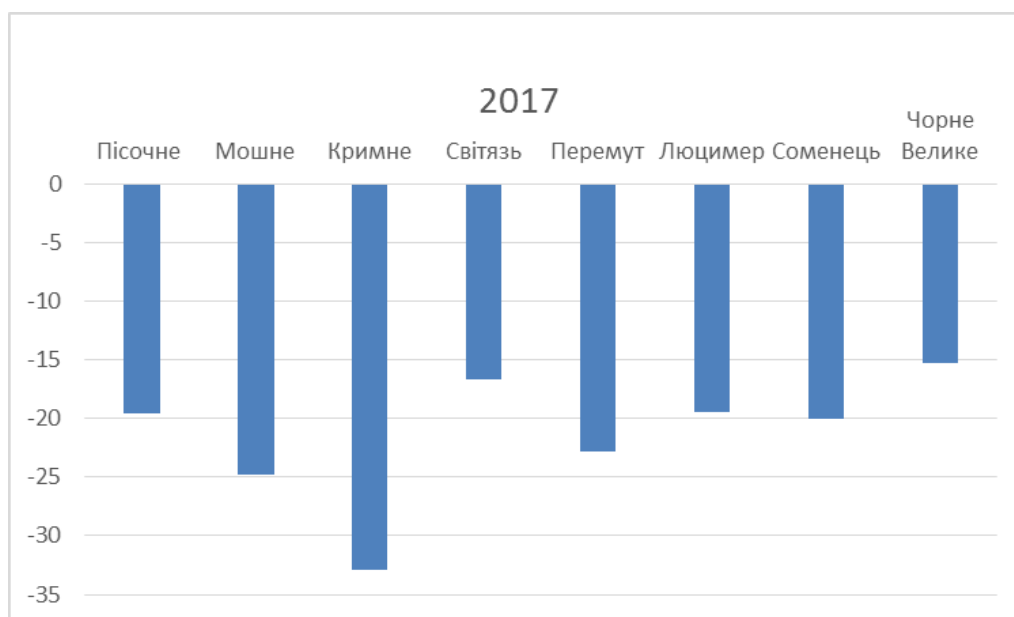


Рис. 3.16 Різниця рівнів поверхневих вод з квітня –травня по вересень 2017 року

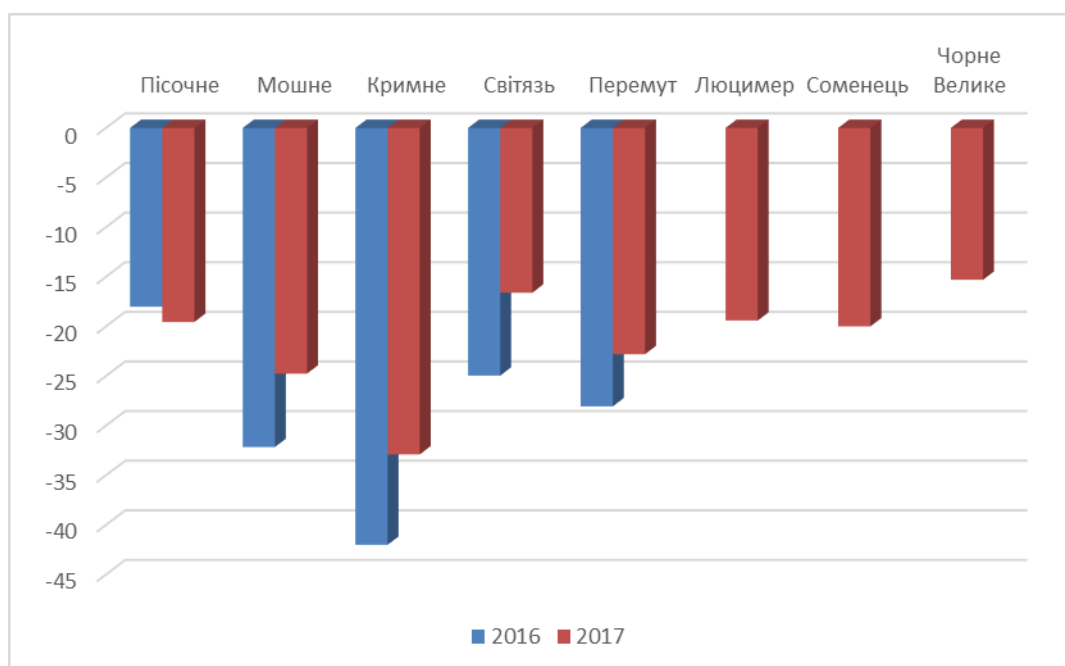


Рис. 3.17 Різниці рівнів поверхневих вод в весняно-осінній період у 2016 та 2017 роках

Як бачимо на рисунку 3.17, порівняно з 2016 роком у 2017 році спостерігається підвищення рівня води та зменшення значення коливань рівня води у весняно-осінній період у більшості озер.

Озера ШНПП зв'язані між собою меліоративними каналами, на яких є встановленні переливи, на відповідній висоті, котрі дають змогу при надмірній кількості опадів переливати воду в інші озера до відповідного рівня. Під час дослідження рівня води озера Кримно виявилось, що рівень води в абсолютній висоті у 2017 році значно вищий ніж в попередньому році досліджень, хоча рівень води в інших озерах залишався приблизно таким же. Як виявилось пізніше, після спілкування з представниками ШНПП причиною цього була життєдіяльність бобрів в каналі, котрий витікає з озера Кримно, а саме: спорудження ними дамби. Тому для врахування результатів моніторингу рівнів води на досліджуваній території потрібно враховувати і мати інформацію про техногенну людську діяльність, фактор тваринного світу і тому подібне. Також потрібно на великих озерах таких як: Світязь і Пулемицьке використовувати динамічні висоти для дослідження динаміки рівня води.

3.2.2 Моніторинг ґрунтових та напірних вод ШНПП

Рівень ґрунтових та напірних вод вивчався на підставі розрізів свердловин, пробурених у процесі геолого-картувальних і структуро-пошукових робіт (1963-1988 рр.), а також пошукових робіт на окремі види корисних копалин (1960-1986 рр.), гідрогеологічних та інженерно-геологічних досліджень (1953-1980 рр.). Дослідженню динаміки зміни рівня ґрунтових вод присвячені роботи О. Цвєтасової та О. Дятла [45;93].

За результатами цих досліджень видно, що дзеркало рівня ґрунтових вод на території всього регіону є в інтервалі 5 метрів від денної поверхні. Якщо порівнювати карти рівня ґрунтових вод і сучасного рельєфу простежується чітко виражена закономірність: при переході з півночі на південь досліджуваного регіону рівень ґрунтових вод підвищується від 145 до 195 м і вище одночасно з підвищенням денної поверхні рельєфу від 150 до 210 м і вище [120].

Рівень ґрунтових вод простежується навколо озер на глибині 0-0,5 м Світязь, Пулемецьке, Луки, Кримне, Велике Згорянське, а також на частині заплави р. Вижівка, а на рівні 0,5-0,75 м – на заплаві річок Прип'ять та басейні річки Копаївки, а також навколо озер Світязь, Пулемецьке, Луки, Кримне, Велике Згорянське. На решті території досліджуваного регіону рівень ґрунтових вод зафіксований на глибині 0,75-1,25 м [120].

Рівень напірних вод на кордоні з Білоруссю фіксується з найнижчим рівнем 145-150 м для денної поверхні 150-160 м. У центральній та північно-східній частині регіону рівні напірних вод є 150-155, 155-160 та 160-165 м для денної поверхні 150-160, 160-170, 170-180 м. На південному заході та півдні регіону рівень сягає 165-170 м, для денної поверхні висотою 160-170м та частково 170-180м. У межах кінцевої морени рівень напірних вод зростає від 175 до 200 і більше, що відповідає висоті денної поверхні рельєфу від 180-220 м [120].

Спостереження за напірними та ґрунтовими водами проводять на 16 свердловинах щомісяця працівниками ШНПП. Дані результатів моніторингу за два роки 2016 і 2017 по кожній свердловині, яка прив'язана до Державної системи висот і відповідно опрацьовані, показані на рисунках 3.18-3.29.

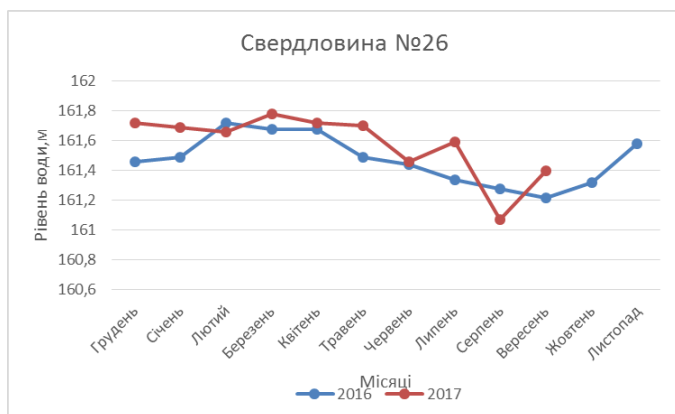


Рис. 3.18 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 26

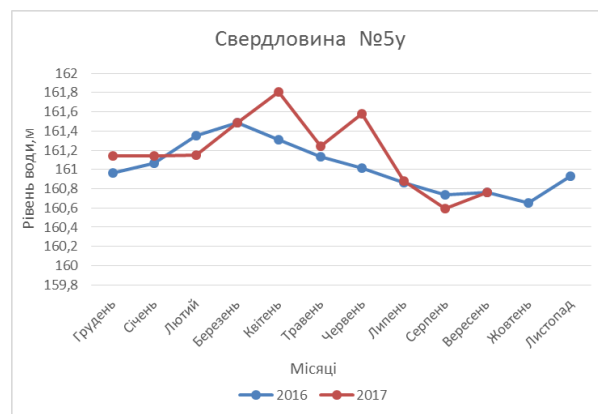


Рис. 3.21 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 5у

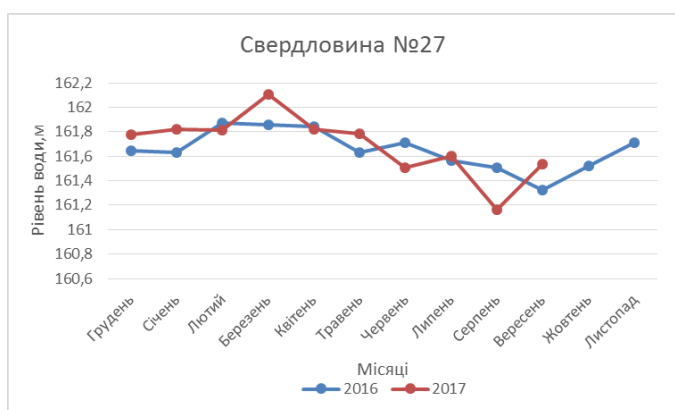


Рис. 3.19 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 27

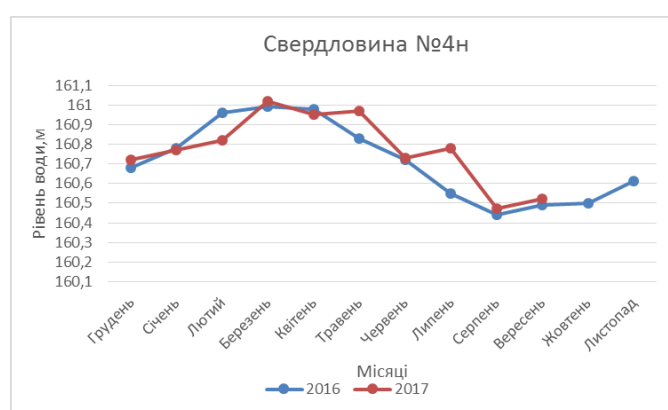


Рис. 3.22 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 4н

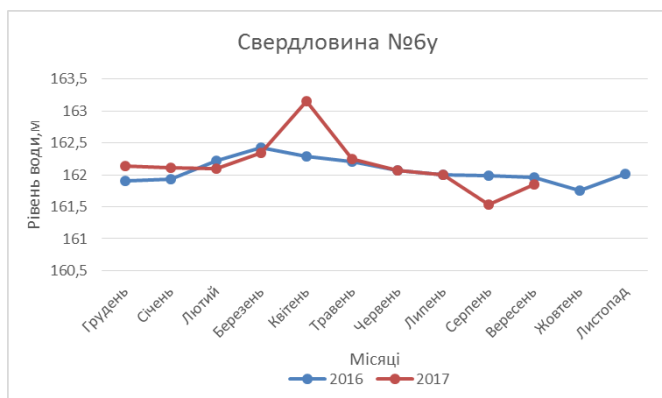


Рис. 3.20 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 6у

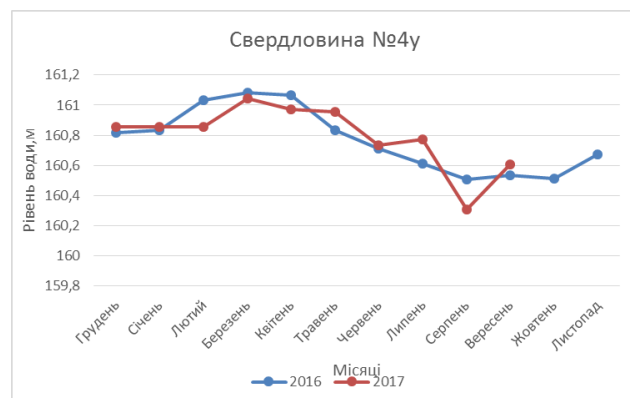


Рис. 3.23 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 4у



Рис. 3.24 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині Червонець

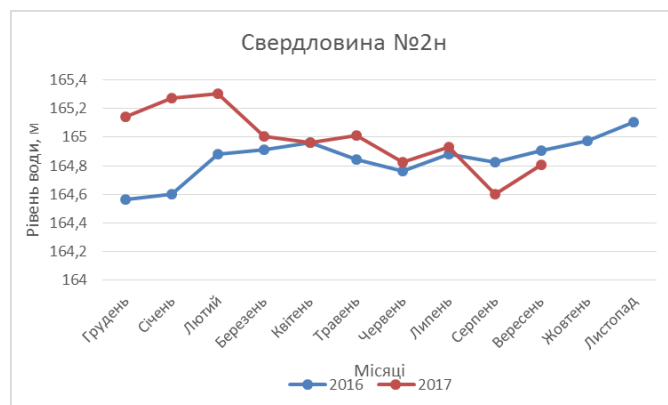


Рис. 3.27 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 2н



Рис. 3.25 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 12

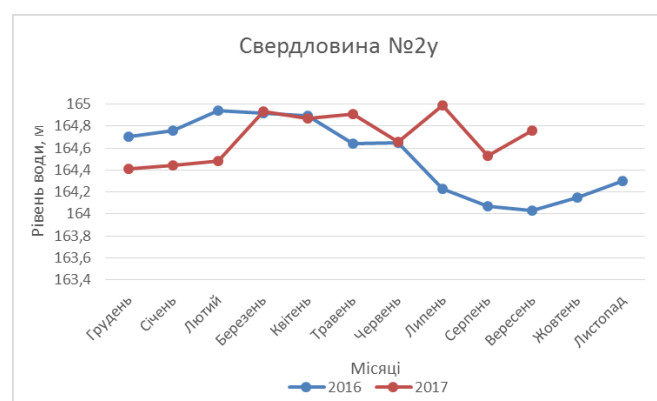


Рис. 3.28 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 2у

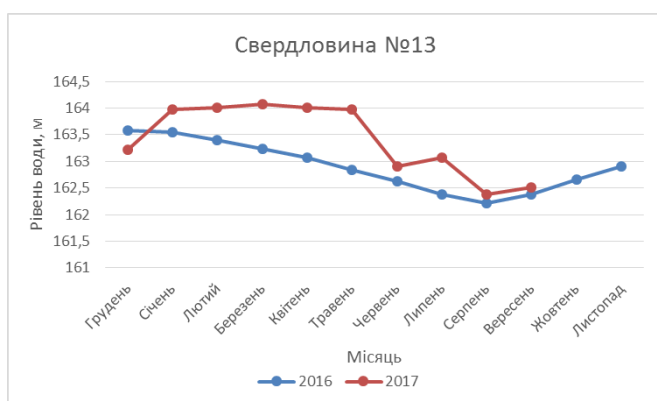


Рис. 3.26 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 13

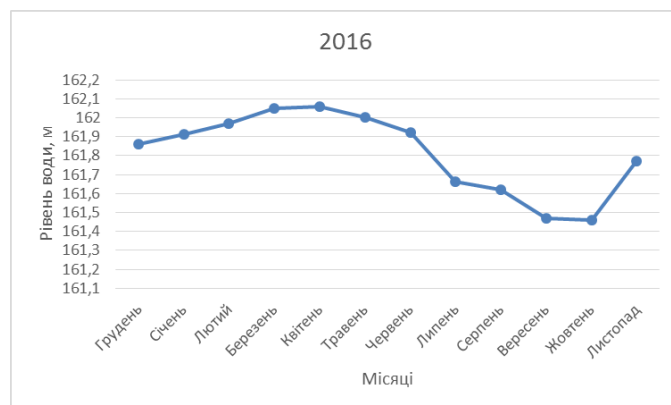


Рис. 3.29 Динаміка зміни рівня ґрунтових вод у свердловині № 7у

За багаторічними спостереженнями виділяються сезонні коливання рівнів ґрунтових вод, які залежать від кліматичних чинників. Середня амплітуда становить 0,8-1,2 м, в засушливі роки – 1,0-1,4 м, у вологі – 0,6-0,8 м. Річний хід рівнів ґрунтових

та напірних вод в 2016 році характеризується значним пониженням у весняно-літній період, у зв'язку із випаданням малої кількості опадів, спекотним літом та осінню з аномально високими температурами [84].

3.3 Дослідження залежності зміни рівнів поверхневих, ґрунтових та напірних вод ШНПП

Прив'язка рівнів ґрунтових, напірних та поверхневих вод до державної системи висот (Балтійська 77) дозволить виявити закономірність їх зміни та з'ясувати причину цих змін. Для виявлення залежності між ними було виконано моделювання даних рівнів вод тригонометричним рядом Фур'є. Результати цього дослідження зображені на рисунках 3.30 - 3.36.

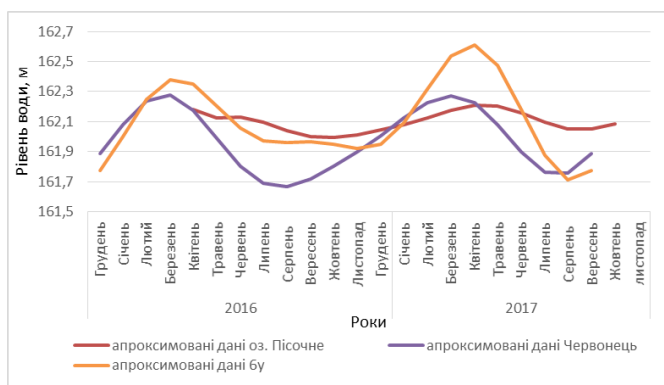


Рис. 3.30. Динаміка зміни рівня ґрунтових, напірних та поверхневих вод озера Пісочне

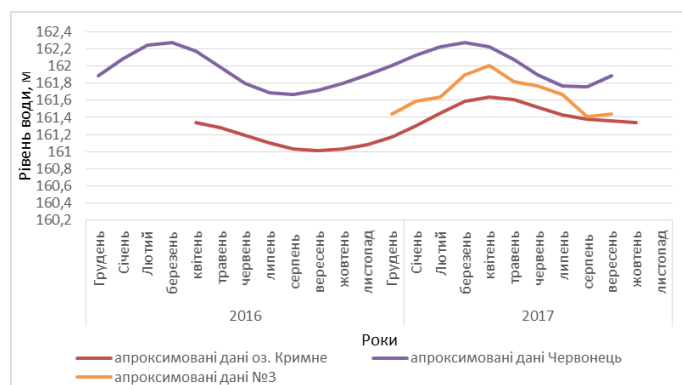


Рис. 3.32. Динаміка зміни рівня ґрунтових та поверхневих вод озера Кримне

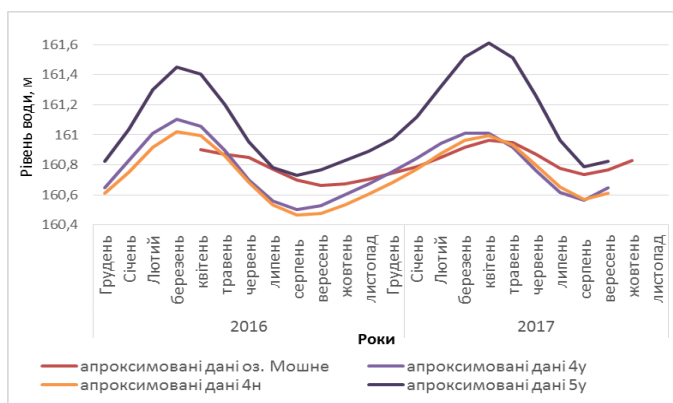


Рис. 3.31. Динаміка зміни рівня напірних, ґрунтових та поверхневих вод озера Мошне

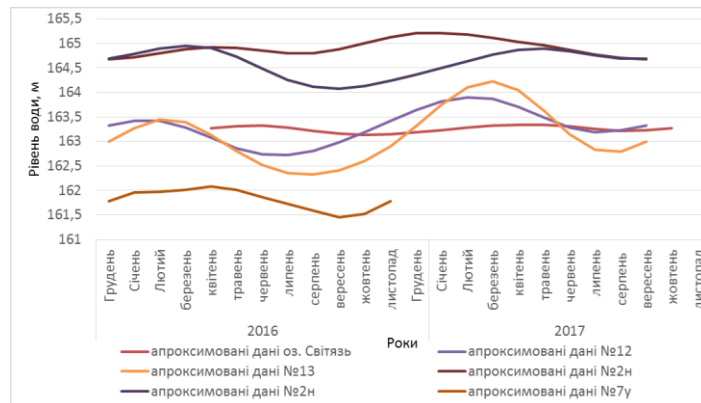


Рис. 3.33. Динаміка зміни рівня напірних, ґрунтових та поверхневих вод озера Світязь

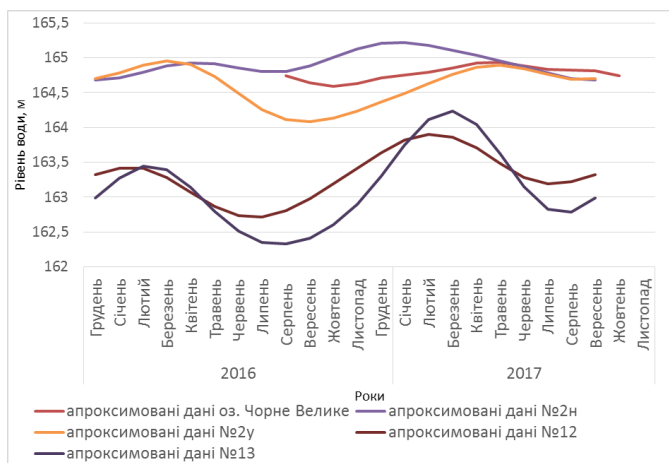


Рис. 3.34. Динаміка зміни рівня

напірних, ґрунтових та поверхневих вод
озера Чорне Велике

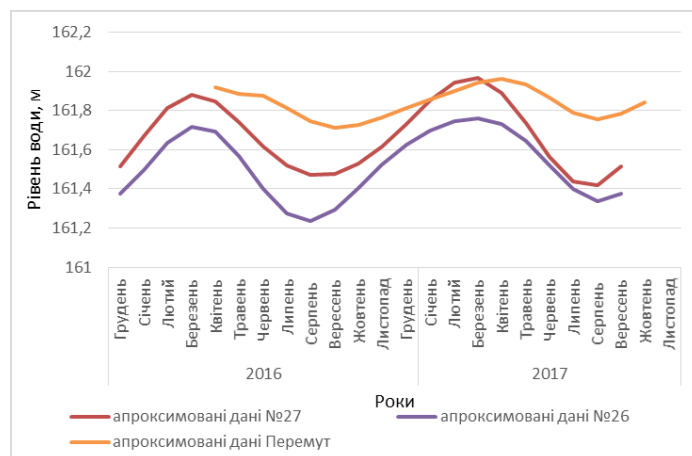
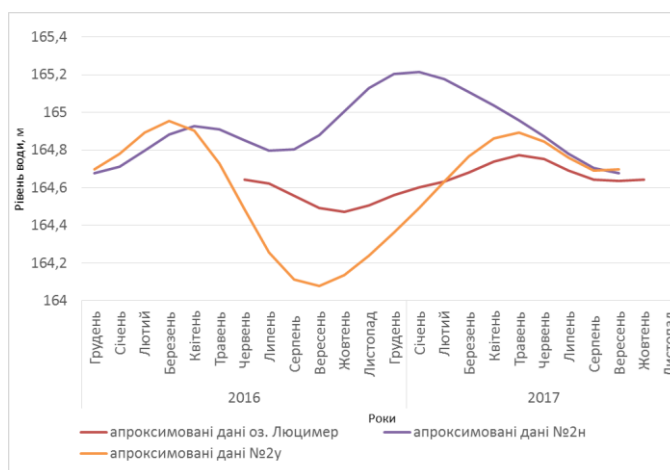


Рис. 3.35. Динаміка зміни рівня

ґрунтових та поверхневих вод озера
Перемут

Рис. 3.36. Динаміка зміни рівня ґрунтових, напірних та поверхневих вод озера
Люцимер

З графіків 3.30 - 3.36 видно, що залежність між рівнями ґрунтових, напірних та поверхневих вод існує. Напірні та ґрунтові води характеризуються більшою амплітудою коливань ніж поверхневі води. Обчислено коефіцієнти кореляції зміни поверхневих, напірних та ґрунтових вод (Див. Табл. 3.3). Як видно з таблиці 3.3, коефіцієнти кореляції між рівнями поверхневих, ґрунтових та напірних вод значними і коливаються в межах 0,47-0,91. А коефіцієнти кореляції між рівнями поверхневих вод озер Світязь, Чорне Велике та Люцимер та напірних вод становлять -0,1 - 0,08. Встановлено середнє зміщення між зміною рівня поверхневих вод озера Світязь, Чорне Велике та Люцимер та напірних вод і він становить 3 місяці. Коефіцієнти кореляції із врахуванням зміщення становлять в середньому 0,8.

Перевірка на надійність отриманих коефіцієнтів кореляції підтверджується функцією Фішера з довірчою ймовірністю 0,95.

Таблиця 3.3

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	-0,1
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				

Для детального дослідження закономірності у змінах рівнів поверхневих та підземних вод та з'ясування їх причини на даному етапі даних недостатньо, тому необхідний подальший моніторинг на цих озерах та свердловинах.

Оскільки всі рівні вод залежні між собою, то різке зростання інженерно-господарського освоєння Хотиславського піщано-крейдового родовища, а також наявність активних глибинних тектонічних розломів, можуть стати причиною екологічної катастрофи на території ШНПП, а саме: можливе зниження рівнів води в Шацькому поозер'ї та суміжних територіях.

3.4 Дослідження взаємозалежності між рівнем води та метеорологічними чинниками

Систематичні спостереження на водомірному пості озера Світязь проводяться з 1985 і по даний час.

Хід багаторічної зміни рівня води оз. Світязь показано на рисунку 3.37. Озеро Світязь має чітко виражені максимуми й мінімуми річних коливань рівня води, а також уже сформовані багаторічні цикли мінімального приблизно через 12 років та максимального рівнів приблизно 10 років, які приурочені до чергувань «сухих» і «мокрих» років [149].

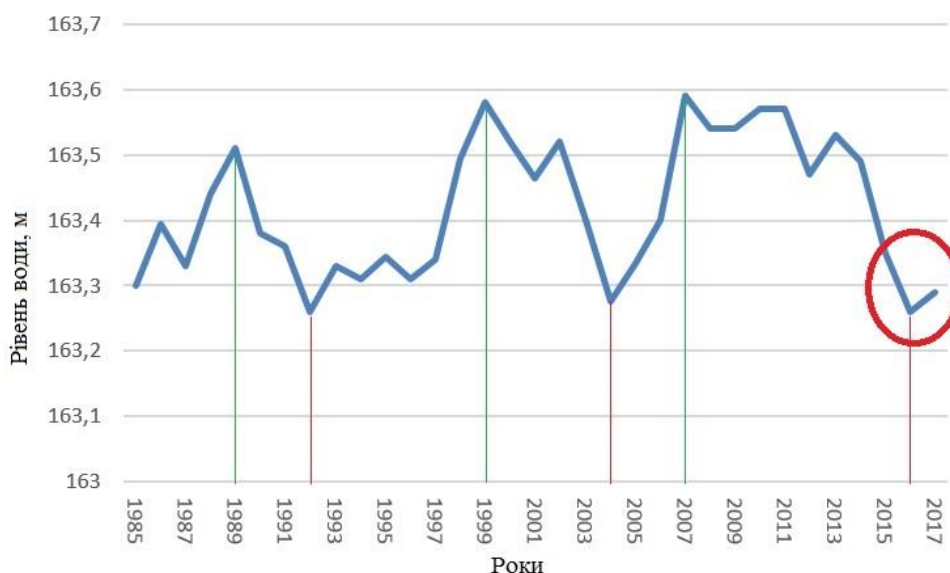


Рис. 3.37. Багаторічна динаміка зміни середнього рівня води в озері Світязь

За період із 1985-го до 2016 р. найвищий рівень спостерігався 1999 р. (163,76 м), а найнижчий 2004, 2016 р.р. (163,14 м).

Дослідження рівнів води озер у 2016 році виконані під час експедицій викладачів кафедри геодезії припадає на закінчення 11-річного циклу зміни рівня води озера Світязь, а 2017 році – початок нового циклу [71]. Це показано поміткою на графіку 3.37.

Основною особливістю гідрологічного режиму Шацьких озер є порівняно стабільне положення рівня води. Так, в озері Світязь багаторічна амплітуда коливання рівня води становить 0,75 – 1,0 м, а впродовж року вона не перевищує 0,3 – 0,5 м.

Проаналізувавши дані досліджень за минулі роки, встановлено, що максимальний рівень води спостерігаємо в квітні-травні, мінімальний – в червні-липні. Така закономірність залежить передусім від метеорологічних умов території: опадів та температури повітря. Звичайно, важливу роль відіграє і підземне живлення, хоча простежується безпосередня залежність від атмосферних опадів.

За даними метеорологічних спостережень показано хід середньої температури повітря (див. рис. 3.39) та середньої кількості опадів (рис. 3.38) за період 1985-2015 рр. На графіках показано, що найбільша кількість опадів та найвища температура спостерігається у липні [84].

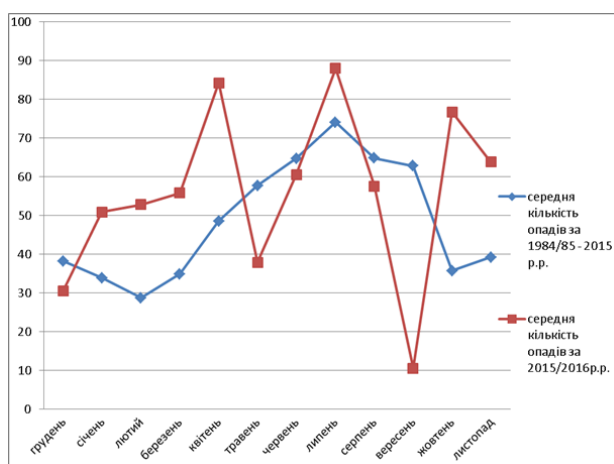


Рис. 3.38. Графік опадів в ШНПП

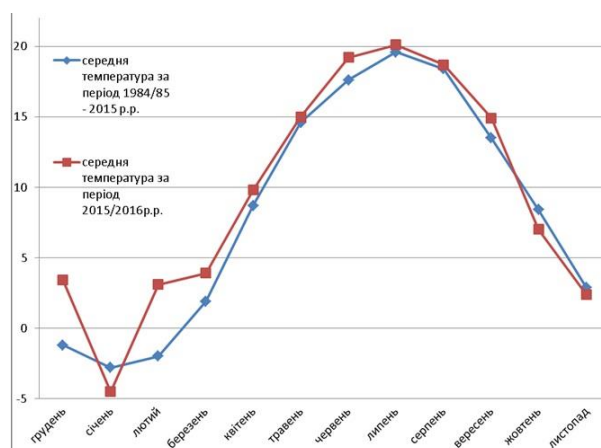


Рис. 3.39. Річний хід температури на території ШНПП

Виконано дослідження взаємозв'язку між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та температурою повітря. Результати зображені на рис. 3.40 та 3.41. Середнє значення коефіцієнта кореляції між температурою та рівнем води за період з 1985-2017 рр. становить 0,41.



Рис. 3.40 Багаторічна залежність рівня води оз. Світязь та температури повітря

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 (Див. табл. 3.4). На рисунку 3.41 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.

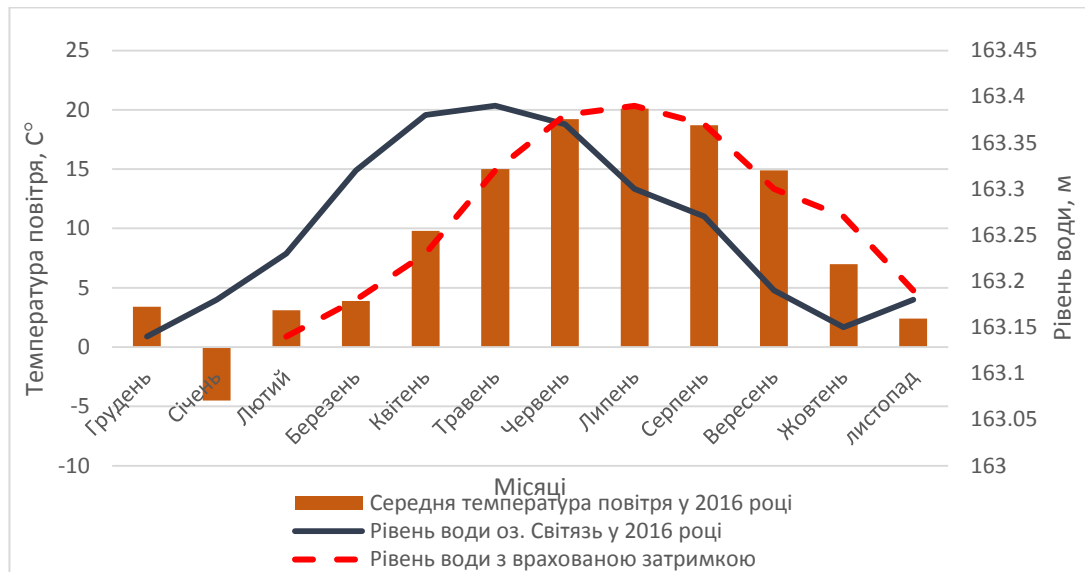


Рис. 3.41 Сезонна (річна) взаємозалежність між температурою повітря та рівнем води оз. Світязь

Також виконано дослідження взаємозв'язку між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води оз. Світязь та опадами. Результати зображені на рис. 3.42. 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.

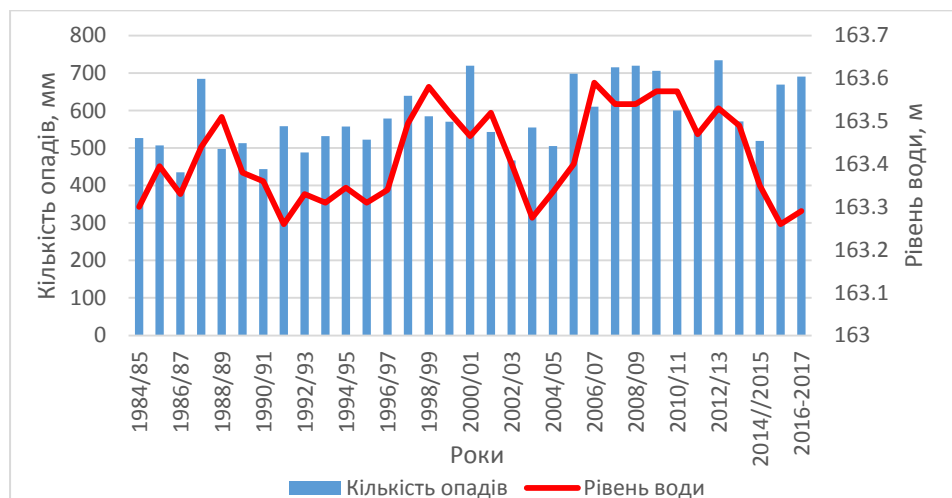


Рис. 3.42 Багаторічна залежність кількості опадів та зміни рівня води оз. Світязь

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 (Див. табл. 3.4). На рисунку 3.43 зображено графік взаємозалежності між сезонним коливанням рівня води та кількістю опадів на прикладі 2016 року.

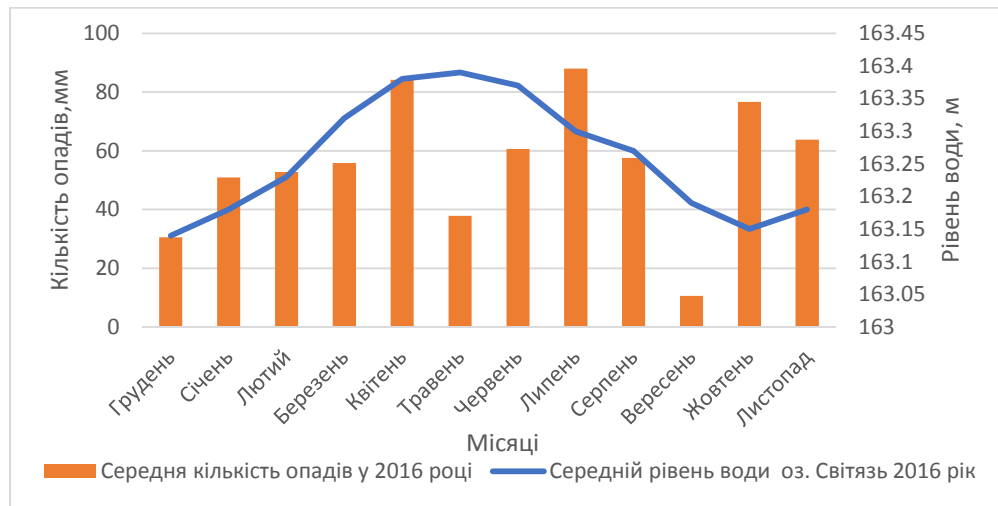


Рис. 3.43 Сезонна (річна) взаємозалежність кількості опадів та зміни рівня води оз. Світязь

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 (Див. Табл. 3.4). Як видно з таблиці 3.4 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.

**Коефіцієнт кореляції між температурою та вологістю повітря,
кількістю опадів та зміною рівня води озера Світязь**

Роки	Вологість+РВ	Температура+РВ	Опади+РВ	Множинний В+О+РВ	Множинний В+Т+РВ	Множинний В+Т+О+РВ
2006	-0,36	0,69	0,05	0,37	0,7	0,75
2007	-0,87	0,55	0,30	0,88	0,88	0,88
2008	-0,78	0,27	0,19	0,79	0,86	0,88
2009	-0,82	0,50	0,29	0,85	0,82	0,86
2010	-0,59	0,16	-0,25	0,61	0,65	0,67
2011	-0,70	0,27	0,16	0,8	0,71	0,86
2012	-0,58	-0,02	-0,13	0,62	0,76	0,77
2013	-0,75	0,80	0,43	0,84	0,87	0,93
2014	-0,67	0,29	0,42	0,7	0,7	0,76
2015	-0,20	-0,17	-0,31	0,31	0,61	0,62
2016	-0,86	0,55	0,30	0,89	0,91	0,95
2017	-0,77	0,28	-0,10	0,78	0,85	0,86
Середнє	-0,66	0,35	0,11	0,70	0,78	0,82

Для більш детального дослідження взаємозв'язку між зміною рівня води та кліматичними чинниками було пораховано коефіцієнти кореляції між ними по порах року за період 2006-2017 рр. (Див. табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Коефіцієнти кореляції між опадами, температурою та рівнем
поверхневих вод по порах року**

Роки	Коефіцієнт кореляції (опадів)			Коефіцієнт кореляції (температура)		
	Весна	Літо	Осінь	Весна	Літо	Осінь
2006	0,10	0,40	-0,98	0,97	-0,99	0,98
2007	-0,60	-0,08	0,53	-0,30	-0,68	0,96
2008	0,78	-0,35	-0,68	0,99	-0,99	-0,33
2009	-0,41	0,23	-1,00	0,86	-0,20	0,27
2010	0,23	-0,88	0,79	0,62	-0,54	1,00
2011	-0,19	-0,27	0,52	-0,76	-0,05	1,00
2012	0,98	-0,48	-0,70	0,96	-0,40	0,82
2013	0,74	0,96	1,00	0,96	-0,12	0,07
2014	0,99	-0,23	0,95	0,85	-0,45	0,94
2015	-0,22	0,37	0,97	0,14	-1,00	0,98
2016	0,00	-0,14	-0,81	0,94	0,13	0,38
2017	1,00	0,34	-0,99	0,91	-0,93	-0,99

Як видно з таблиці 3.5, 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 і 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.

Перевірка на надійність отриманих коефіцієнтів кореляції підтверджується функцією Фішера з довірчою ймовірністю 0,95.

Про вплив Сонця на різноманітні процеси, що відбуваються на Землі, відомо давно. Наукова спільнота приділяє цьому питанню значну увагу, а саме: впливу сонячної активності на людину, погоду, клімат та різне вимірювальне обладнання [28;90;110;124;154;155]. Результатом проявів сонячної активності є гравітаційний та іонізаційний вплив на навколишнє середовище. Дослідженням впливу сонячної активності на рівні поверхневих та ґрунтових вод займалися такі вчені: R. Alves [2], B. Wilson [13], О. Андріанова [16], С. Кутовий [77], И. Либин [26; 80], Н. Цвид-Ендрю [152], Л. Давибіда [34] та багато інших. У роботі [152] Н. Цвид-Ендрю розглянуто питання впливу сонячної активності на рівень води у озері Світязь за період 1928–1934, 1946–1955, 1970–2009 рр.

У 2015 році розпочалася друга черга експлуатації Хотиславського піщано-крейдового родовища, тому у зв'язку з цим фактом поставлено задачу дослідити кореляційний зв'язок сонячної активності та динаміки зміни рівня води в озері Світязь за період 1985-2017 роки. Для цього було виконано моделювання даних сонячної активності та рівня води тригонометричним рядом Фур'є (формула 3.1). Результати цього дослідження зображені на рисунку 3.44.

$$H = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\tilde{t} + b_n \sin n\tilde{t}), \quad (3.1)$$

$$\tilde{t} = \frac{2\pi(t - t_{\text{поч}})}{(t_{\text{кін}} - t_{\text{поч}})}, \quad (3.2)$$

де a_0 , a_n , і b_n – невідомі коефіцієнти ряду Фур'є, n – кількість гармонік; t – рік спостережень; H – відлік рівня води на епоху t ; $t_{\text{поч}}$ – рік початку спостережень; $t_{\text{кін}}$ – рік завершення спостережень.

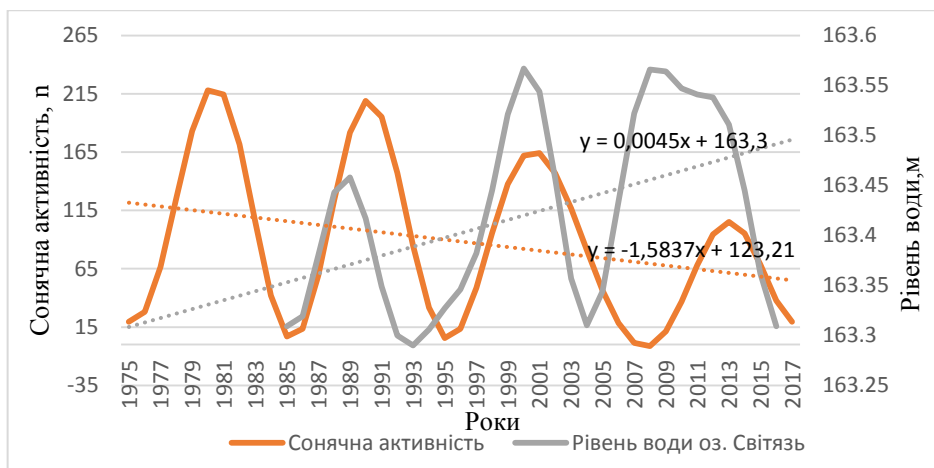


Рис. 3.44 Динаміка середнього рівня води в озері Світязь і сонячної активності за 1985-2017рр.

Аналіз залежності динаміки середнього 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) [65]. Кореляційний зв'язок між сонячною активністю і середньорічними рівнями озера Світязь виявлено. Встановлено, що цикли зміни рівня води приблизно збігаються із відомими 11-річними циклами сонячної активності (див. рис. 3.44).

Також було проаналізовано залежність динаміки середнього рівня ґрунтових вод і сонячної активності за період з 2006-2017 рік. Встановлено, що цикл зміни рівня ґрунтових вод збігаються із останнім циклом зміни рівня поверхневих вод, що відповідно приблизно збігаються із відомими 11-річними циклами сонячної активності (Див. рис. 3.45).

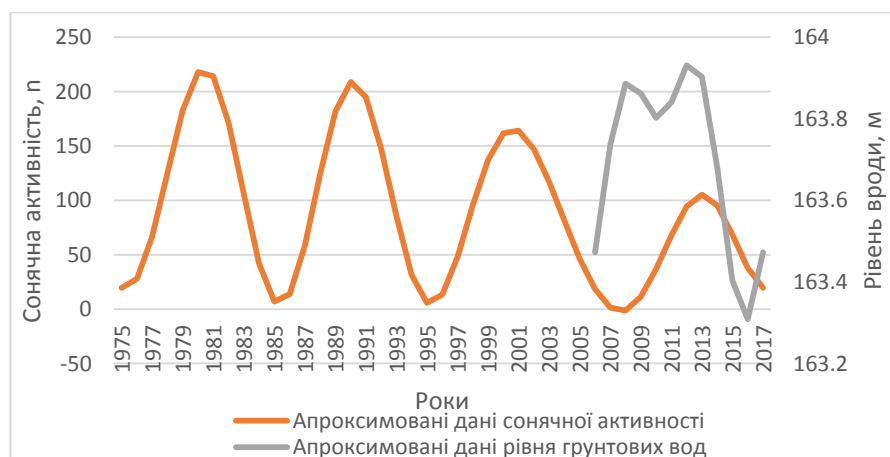


Рис. 3.45 Динаміка середньорічного рівня води в свердловині №13 і сонячної активності за 1985-2017рр.

Проаналізовано залежність багатолітнього ходу температури та кількості опадів від сонячної активності (рис. 3.46). Встановлено, що середня тривалість циклів зміни температури повітря за середньорічними даними становить 8 років. На фоні циклічності багаторічного ходу річних та інших температур повітря у період метеорологічних спостережень простежується чітка тенденція до їх підвищення, на що вказує лінійний тренд. Наші результати узгоджуються з результатами досліджень С. Кутового у роботі [75], де встановлено, що у багаторічному ході температури повітря формуються цикли трьох рівнів, кожен із яких складається з двох фаз: фази підвищеної температури і фази пониженої температури. Тривалість найменших циклів (мікроциклів) становить 2-5 років середніх (мезоциклів) – 6...11 років. Виділено лише один макроцикл багаторічних коливань температур повітря, котрий іще не завершився, оскільки його фаза підвищених величин температури, яка розпочалася переважно з 1988 році.

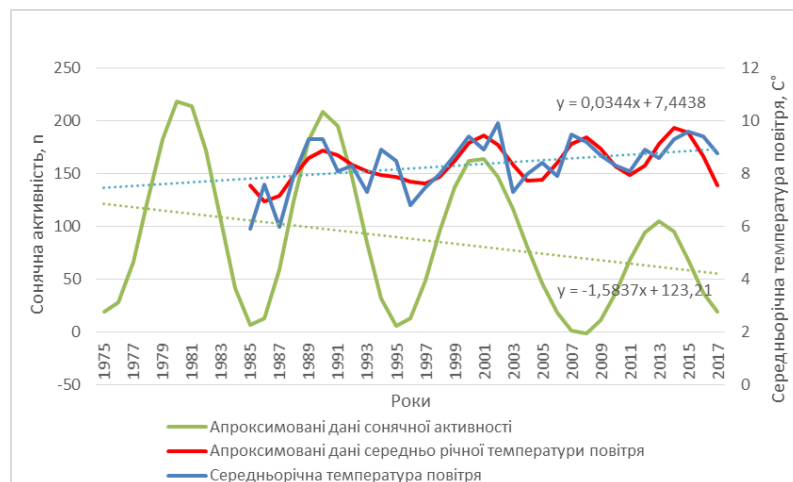


Рис. 3.46 Динаміка середньорічної температури повітря і сонячної активності за 1985-2017 рр.

На фоні циклічності багаторічного ходу річної кількості опадів у період метеорологічних спостережень простежується чітка тенденція до їх підвищення, на що вказує лінійний тренд. За апроксимованими середньорічними даними виділено 2 цикли тривалість яких становить 12-13 років (рис. 3.47).

Отже, аналіз залежності динаміки кількості середньорічних опадів та середньорічних температур і сонячної активності за період з 1985-2017 рік

виявив обернену їх залежність так само, як і у випадку з динамікою рівня води в озері Світязь (рис. 3.46 та 3.47).

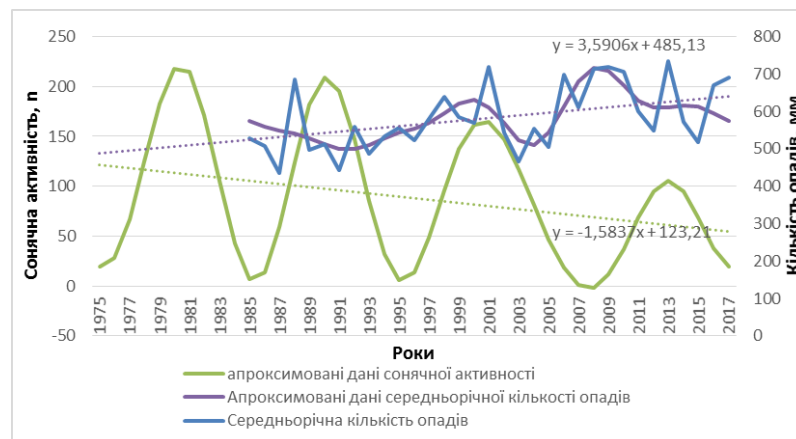


Рис. 3.47 Динаміка середньорічної кількості опадів і сонячної активності за 1985-2017 рр.

Отже, дані спостережень не дають підстав для негативних висновків щодо тенденцій до підвищення чи пониження рівня води в озерах. На фоні природних циклічних коливань виділяються ті зміни, які логічно очікувати через меліоративне освоєння прилеглих територій. Отож, вирішальним чинником коливань рівня води водойм парку є співвідношення компонентів водного балансу, насамперед атмосферних опадів, які відіграють вирішальну роль у прибутковій частині водного балансу території.

3.5 Побудова математичної моделі зміни рівня води в озері Світязь

Процес багаторічної зміни рівня води у Світязі можна змодельовати неперіодичною функцією. Математична модель прогнозування поведінки цього рівня із використанням класичних рядів Фур'є чи інших тригонометричних перетворень буде неадекватною до реального фізичного процесу [31;42;43]. Задача полягає в апроксимації та прогнозуванні майже періодичних коливань, які дають змогу описати рівень води у Світязі від 1985 до 2017 року. У зв'язку з цим розроблено математичну модель зміни рівня води у Світязі протягом вказаного терміну. Із використанням цієї моделі є можливість прогнозувати зміну цього рівня на 10 років.

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

$$u(t) = A_0 + A \cos \omega t + B \sin \omega t, \quad (3.3)$$

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.

Для визначення коефіцієнтів A_0, A, B співвідношення (3.3) використано метод найменших квадратів, тобто

$$S(A_0, A, B) = \sum_{i=1}^{33} [y_i - u(t)]^2 \rightarrow \min,$$

де y_i – рівні води в моменти часу t_i , $i=1, 2, \dots, 33$.

Коефіцієнти емпіричної математичної моделі (3.3), за допомогою якої описано зміну рівня води, знайдено з нормальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} A_0 n + A \sum_{i=1}^n \cos \omega t_i + B \sum_{i=1}^n \sin \omega t_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ A_0 \sum_{i=1}^n \cos \omega t_i + A \sum_{i=1}^n \cos^2 \omega t_i + B \sum_{i=1}^n \sin \omega t_i \cos \omega t_i = \sum_{i=1}^n y_i \cos \omega t_i \\ A_0 \sum_{i=1}^n \sin \omega t_i + A \sum_{i=1}^n \cos \omega t_i \sin \omega t_i + B \sum_{i=1}^n \sin^2 \omega t_i = \sum_{i=1}^n y_i \sin \omega t_i \end{cases} \quad (3.4)$$

Розв'язавши систему (3.4), отримаємо значення коефіцієнтів $A_0=163,42$; $A=-0,0952$; $B=-0,0134$.

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

Задачу прогнозування розв'яжемо двома етапами. Перший етап полягає 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 (3.3) після деяких математичних перетворень запишемо у вигляді (3.5):

$$H(t) = u(t) + \frac{1}{2} z(t), \text{ де} \quad (3.5)$$

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

Результати обчислень зміни рівня води із використанням співвідношення (3.5) та результати вимірювань зображені на рисунку 3.48. 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.

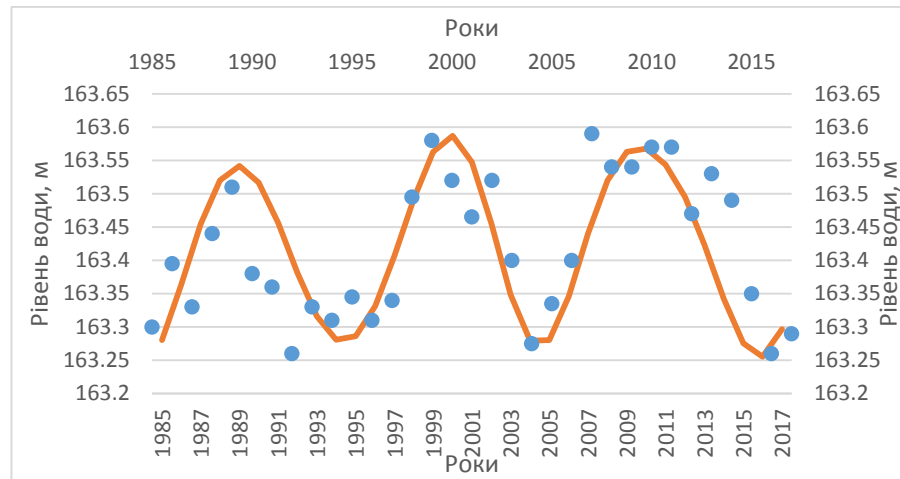


Рис. 3.48 Зображення кривої, описаної співвідношенням (3.5), та експериментальних результатів вимірювання рівня води озера Світязь

Використавши запропоновану модель, було здійснено прогнозування зміни рівня води на період у 10 років. Результати прогнозування зміни рівня води зображені на рисунку 3.49.

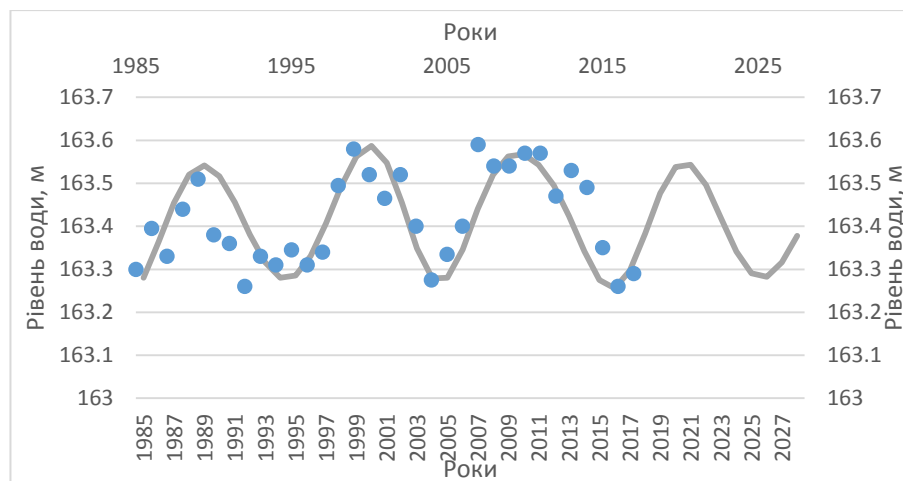
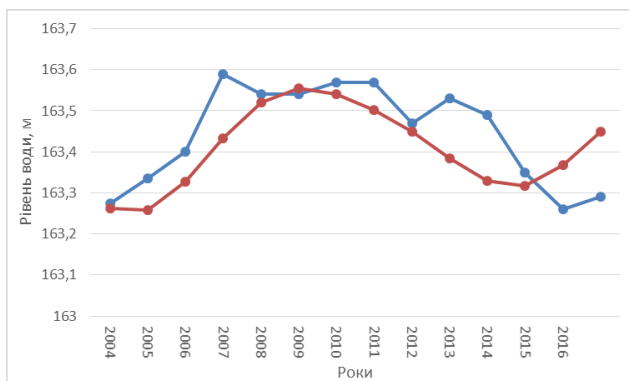
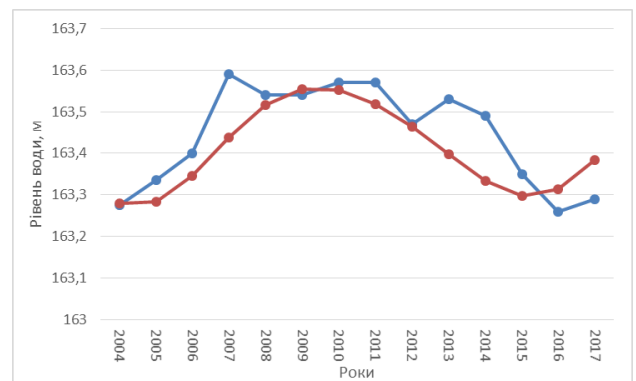


Рис. 3.49 Зображення прогнозуючої кривої зміни рівня води в озері Світязь з 2018 до 2028 року та експериментальних результатів вимірювань цього рівня з 1985-2017 роки

СКП прогнозування на 4 роки та 2 роки складає 0,144 м та 0,028 м відповідно (див. 3.50 а), б)).



а)



б)

Рис. 3.50 Зображення прогнозуючої кривої зміни рівня води в озері Світязь на 4 роки 2014-2017 рр. (рис. а) та на 2 роки 2016-2017 рр. (рис. б)

Із результатів досліджень встановлено, що з використанням розробленої математичної моделі можна адекватно описати зміну рівня води у Світязі протягом 1985-2017 років із допустимою точністю. Із збільшенням кількості експериментальних даних точність моделі підвищується, про що свідчать результати обчислень. Навіть наявність щоквартальних даних значно покращує розроблену модель.

На сьогоднішній день тільки розпочалася II черга розробки Хотиславського піщано-крейдового родовища, тому на даний час неможливо зробити висновки, порівнюючи дані рівня води із значеннями прогнозуючої моделі.

3.6 Конструкція мобільного водомірного посту та її апробація

Під час моніторингу рівнів води в Шацькому поозер'ї на тимчасових водомірних постах виникали різні проблеми:

1. Хвилі на водній поверхні.

Дана територія характеризується сильними вітрами на водних об'єктах, що утруднює вимірювання рівня води. При вимірюванні рівня води під час великих хвиль доводилося робити ківш, який з'єднаний з озером канавою чи трубою. Створення ковша збільшує час перебування на водомірному пості і потребує значних зусиль. Оскільки береги озер даної території здебільшого піщані, то такі ковші досить легко руйнуються під дією хвиль чи інших факторів (дощі, людська діяльність і т.д.).

2. Руйнування палів або тимчасових реперів через замерзання води.

На озері Світязь лід зігнув першу палю постійного водомірного посту, яка знаходилась найближче до берегової лінії і це утруднює вимірювання рівня води, бо водомірну рейку потрібно було ставити на наступну палю, яка закладена глибше відносно попередньої приблизно на 0,8 м. Аналогічно змінюють своє положення тимчасові водомірні пости.

3. Збереженість тимчасових водомірних постів.

Через людський фактор реperi тимчасових постів дуже часто не залишалися на своєму місці більше місяця, постійно доводилося встановлювати під час вимірювання нові.

Щоб уникнути вище вказаних проблем було вирішено сконструювати мобільний водомірний пост. Він являє собою 80 сантиметрову трубу діаметром 50 мм, з отворами у нижній частині, для надходження води у середину труби [63]. 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 3.51.

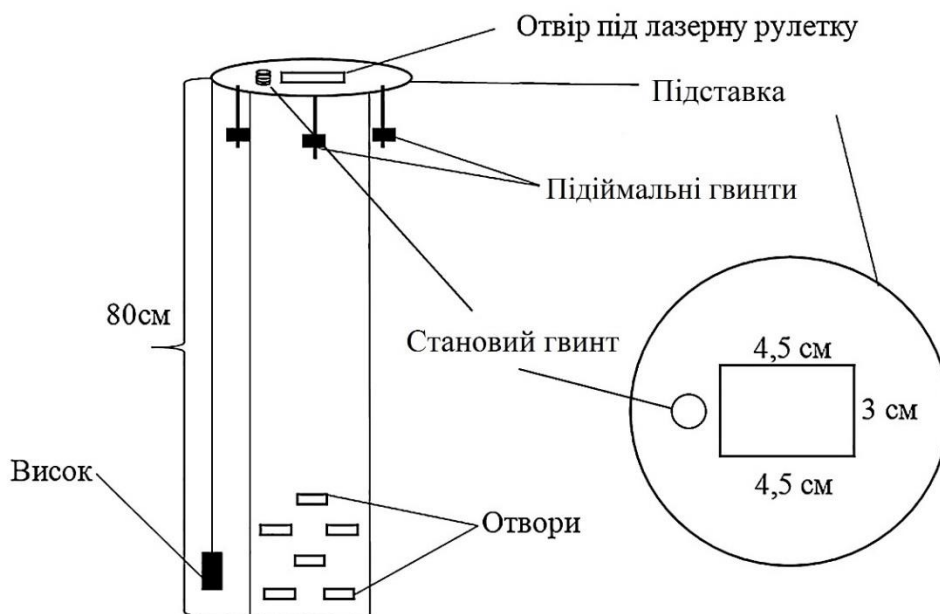


Рис.3.51 Схема мобільного водомірного посту

Берегова лінія озер ШНПП не завжди відкрита (багато озер знаходяться в лісі), і 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 був 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 (див. рис. 3.52).

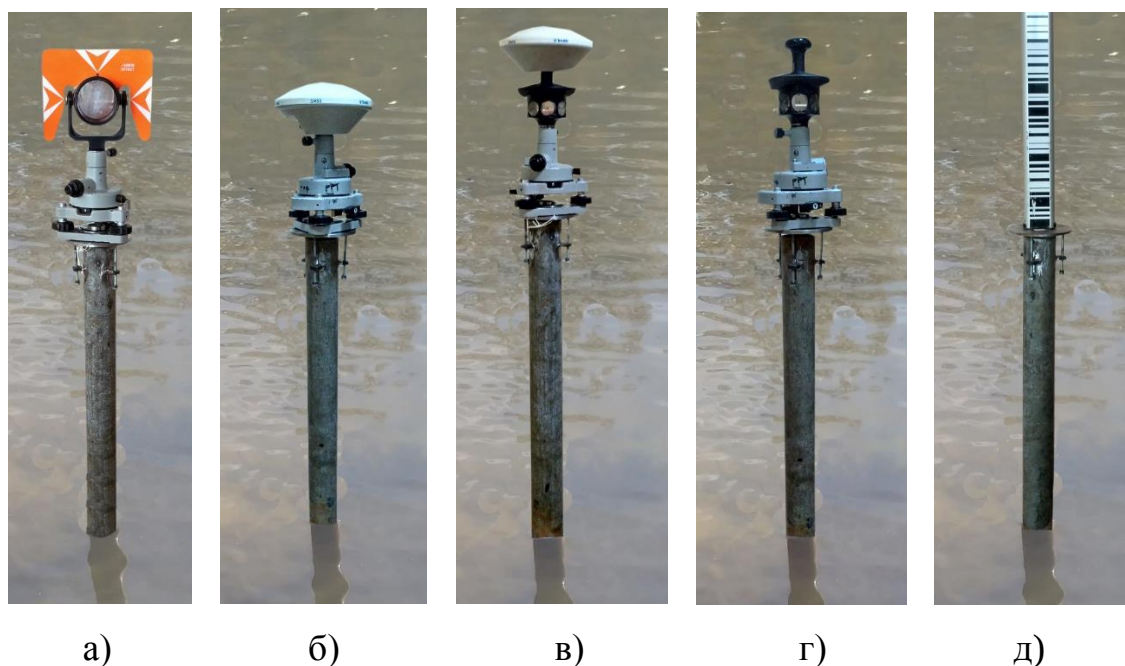


Рис 3.52 Можливості застосування конструкції мобільного посту

*а), г) конструкція з відбивачами б) конструкція з GNSS- приймачем
в) конструкція з GNSS- приймачем та відбивачем д) конструкція з рейкою*

Для встановлення такого водомірного посту забивають трубу у дно водойми або, оснастивши його буроподібним наконечником та ручками, загвинчують його у дно. Визначення прямовисності встановлення мобільного водомірного посту можна виконати за допомогою виска.

Конструкцію мобільного водомірного посту було досліджено в лабораторних та природніх умовах. У природніх умовах дослідження виконали в парку Алтайські озера міста Львова у похмуру практично безвітряну погоду. Дослідження виконувалося за допомогою лазерної рулетки Leica Disto A3.

Технічні характеристики лазерної рулетки Leica Disto A3:

1. Діапазон вимірювань віддалі від 0,05 м до 100м.

2. Точність вимірювання лінії становить $\pm 1,5$ мм.
3. Максимальне значення відхилення точності вимірювання віддалі при несприятливих умовах середовища таких як: яскраве сонячне світло або вимірювання до дуже нерівної поверхні дорівнює $\pm 3,0$ мм. Також при вимірюванні до поверхні з дуже низькою відбиваючою властивістю.

Лазерна рулетка оснащена рівнем, ціна якого становить $48''$. Дослідження ціни поділки рівня лазерної рулетки виконували за допомогою точного нівеліра Т5. Лазерну рулетку помістили на зорову трубу теодоліта. Навідним гвинтом зорової труби вивели бульбашку на середину і взяли відлік по вертикальному колу. Обертаючи цей навідний гвинт, переміщують бульбашку рівня до лівого штриха ампули і беруть відлік по вертикальному колу. Потім переміщують бульбашку рівня в протилежний бік до правого штриха ампули і дії повторюють. Дослідження виконували таким чином через неможливість плавно вивести бульбашку у кінець ампули, бо переміщення її у кінці ампули є скачкоподібне.

Послідовність дослідження на мобільному водомірному пості така [63]:

1. Мобільний водомірний пост встановлювався у водойму приблизно прямовисно, орієнтуючись по виску, який був підчеплений до одного з підіймальних гвинтів підставки (рис. 3.53).



Рис. 3.53 Загальний вигляд мобільного водомірного посту



Рис. 3.54 Приведення підставки в горизонтальне положення

2. Підставку конструкції приводили в горизонтальне положення за допомогою підіймальних гвинтів та рівня лазерної рулетки (сферичного рівня) (Рис. 3.54).

3. На верх підставки водомірного посту над отвором встановлювали лазерну рулетку прямовисно. І саме так, щоб візуально бачити куди потрапляє лазерний промінь рулетки (бажано в центр водної поверхні всередині труби) (Рис. 3.55).



Рис. 3.55 Встановлення рулетки на підставку

4. Вимірювання виконували від об'єктива лазерної рулетки, оскільки у неї є функції вимірювання відстаней або від об'єктива або від тильної частини.
5. Вимірювання відстаней виконувалося 10 прийомами.
6. Також рівень води вимірювався рулеткою з міліметровими поділками і визначався методом фотофіксації (рис. 3.56).



Рис. 3.56 Визначення відліку методом фотофіксації

Було проведено дослідження відбиття лазерного променя від різних поверхонь: від води, від води з плівкою олії та з плівкою дьогтю, направляючи в різні місця в районі центру труби [63].

Таблиця 3.6

**Результати вимірювання електронною рулеткою відстані до водної поверхні
і водної поверхні з різними домішками**

№ прийому	Віддаль, м			
	Лазерна рулетка			Металева рулетка
	Водна поверхня	Водна поверхня з домішками олії	Водна поверхня з домішками дьогтю	
1	0,446	0,446	0,447	0,447
2	0,447	0,446	0,447	0,448
3	0,446	0,446	0,447	
4	0,447	0,446	0,445	
5	0,447	0,446	0,446	
6	0,446	0,446	0,447	
7	0,447	0,447	0,447	
8	0,446	0,446	0,447	
9	0,448	0,446	0,446	
10	0,446	0,447	0,446	
Сер.абс	0,4466	0,4462	0,4465	0,4475
md	0,0007	0,0004	0,0007	0,0007

Як видно з таблиці 3.6, відбиття лазерного променя у конструкції здійснюється від всіх досліджуваних поверхонь. Середнє абсолютне значення довжини у вимірюваннях лазерною рулеткою від води дорівнює 0,4466 м, від плівки олії — 0,4462 м, від плівки дьогтю — 0,4465 м. За допомогою такого мобільного водомірного посту маємо можливість отримати перевищення між верхом підставки та рівнем води з СКП вимірювання в середині труби від води 0,0007 м, від плівки олії — 0,0004 м, від плівки дьогтю — 0,0007м.

Значення результатів майже однакові, тому в подальшому при моніторингу рівнів води можна здійснювати виміри не додаючи до поверхні води в середину труби інших речовин [63].

Проведено в інший день дослідження виміру відстані лазерної рулетки тільки від водної поверхні. Лазерний промінь старалися візуально направляти в центр труби. Результати дослідження зведені в таблицю 3.7.

Середнє абсолютне значення довжини у всіх вимірюваннях як і в трубі, так і поза нею лазерною рулеткою дорівнює 0,463 м. Найменше значення СПК вимірювання в середині труби дорівнює 0,0003 м, а найбільше — 0,0005 м. Значення СКП

вимірювання довжини поза трубою дорівнює 0,0006 м. Середнє абсолютне значення довжини, виміряне металевою рулеткою, дорівнює 0,464м, а СКП дорівнює 0,0016 м.

Таблиця 3.7

Результати вимірювання електронною рулеткою відстані до водної поверхні

№ прийому	Віддаль, м				
	Лазерна рулетка				Металева рулетка
	1 вимір	2 вимір	3 вимір	Вимір ззовні труби	
1	0,463	0,463	0,463	0,463	0,463
2	0,463	0,463	0,463	0,463	0,464
3	0,463	0,463	0,463	0,463	0,462
4	0,463	0,463	0,463	0,463	0,462
5	0,463	0,463	0,463	0,463	0,464
6	0,463	0,463	0,463	0,463	0,467
7	0,463	0,463	0,464	0,463	0,465
8	0,463	0,463	0,464	0,464	0,462
9	0,463	0,464	0,464	0,462	0,464
10	0,462	0,464	0,464	0,462	0,462
Сер.абс	0,4629	0,4632	0,4634	0,4629	0,4635
md	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0016

У лабораторних умовах дослідження виконували таким чином: встановили конструкцію у штатив для стійкості, набрали воду у відро і виконували вище описані дії з водною поверхнею та водною поверхнею з домішками олії (рис. 3.57) [63].



Рис. 3.57 Виконання дослідження у лабораторних умовах

Отримані результати за 2 дні звели в таблицю №3.8. Найменше значення СКП вимірювання в середині труби від водної поверхні дорівнює 0,5 мм, а найбільше –

0,9 мм. Найбільше значення СКП вимірювання довжини в середині труби від водної поверхні з олією дорівнює 0,4 мм, а найменше – 0 мм.

Таблиця 3.8

Результати виконання дослідження вимірювання електронною рулеткою відстані до водної поверхні в лабораторних умовах

№ прийому	Віддаль, м				
	Лазерна рулетка				
	Водна поверхня	Водна поверхня	Водна поверхня	Водна поверхня з олією	Водна поверхня з олією
1	0,683	0,713	0,712	0,715	0,715
2	0,684	0,713	0,714	0,715	0,715
3	0,683	0,713	0,713	0,714	0,715
4	0,684	0,713	0,714	0,714	0,715
5	0,684	0,714	0,713	0,714	0,715
6	0,683	0,711	0,714	0,714	0,715
7	0,683	0,712	0,715	0,714	0,715
8	0,683	0,713	0,714	0,714	0,715
9	0,683	0,713	0,714	0,714	0,715
10	0,683	0,714	0,714	0,714	0,715
Сер.абс	0,6833	0,7129	0,7137	0,7142	0,715
mp	0,0005	0,0009	0,0008	0,0004	0,0000
Металева рулетка	0,684	0,714	0,715		

Виконали попередній розрахунок точності виміру відстані між верхом підставки та рівнем води для середнього значення (50 сантиметрів) та максимального відхилення лазерного променя від прямовисного положення (див. рис. 3.58). З утвореного прямокутного трикутника із відомими катетами знайшли гіпотенузу. Різниця між отриманим результатом та відстанню при прямовисному положенні променя значення середньо квадратичної похибки 0,6 мм при максимальному відхиленні лазерного променя [63].

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{2.5^2 + 50^2} = 50.06 \text{ см}, \quad (3.6)$$

де c — довжина променя при максимальному відхиленні його відносно прямовисної лінії; a — внутрішній радіус труби тимчасового водомірного посту; b — довжина прямовисної лінії від підставки до рівня води.

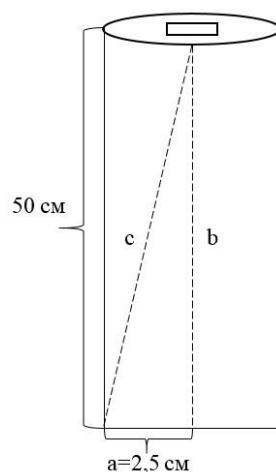


Рис. 3.58 Схема можливого максимального відхилення лазерного променя відносно прямовисної лінії

Отже, максимально похибка вимірювань відстані для лазерної рулетки Leica Disto A3 дорівнює 3,6 мм.

Точність виміру рівня води на водомірних постах згідно вимог становить 1 см. Конструкція мобільного тимчасового водомірного посту та методика вимірювань дозволяють підвищувати точність вимірювання рівня води до 1 мм. Цю методику вимірювань також можна застосовувати у свердловинах. Конструкція мобільного водомірного посту є універсальною для передачі перевищень від основного репера на конструкцію різними методами нівелювання.

ВИСНОВКИ ДО 3 РОЗДІЛУ

1. Показано результати виконаного моніторингу зміни рівнів поверхневих вод Шацького поозер'я протягом 2016-2017 років на додатково закладених водомірних постах на 9 озерах. Оцінено стійкість реперів водомірних постів. Встановлено, що величина осідання реперів за 2 роки не перевищує 2,5 мм, тобто пункти є достатньо стабільними.
2. Досліджено взаємозв'язок між багаторічними, сезонними коливаннями рівня води та температурою, вологістю повітря та кількістю опадів. Встановлено, що середнє значення коефіцієнта кореляції між температурою та рівнем води становить 0,41, а між кількістю опадів та рівнем води становить 0,4 за період з 1985-2017 рр. Річний хід кривої зміни рівня води зміщений на 2-3 місяці відносно температурної кривої.
3. На основі даних багаторічної динаміки зміни рівня води на озері Світязь за період 1985-2017 років підтверджено, що цикли зміни рівня води приблизно збігається із 11-річними циклами сонячної активності. Виявлено обернену залежність між зміною рівня води озера Світязь та сонячною активністю, оскільки за цей період значення амплітуди сонячної активності спадає, а рівня води — піднімається. Встановлено, що період проведеного моніторингу рівнів води озер у 2016-2017 роках припадає на завершення циклу зміни рівня води (мінімум) і початок нового циклу.
4. 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. Світязь, Чорне Велике та Люцимер.
5. Побудована математична модель зміни рівня води у Світязі за даними з 1985-2017 років, яка дає можливість прогнозувати зміну цього рівня на 10 років вперед. Модель описує зміну рівня води в озері Світязь протягом дослідженого періоду із точністю, що не перевищує 20-25% від максимального значення амплітуди багаторічних коливань рівня води.

6. Сконструйовано мобільний водомірний пост і запропоновано методику вимірювання рівня води за допомогою лазерної рулетки Leica Disto A3, яка дозволяє підвищувати точність вимірювання рівня води до 1 мм, що є на порядок вище, ніж на існуючих водомірних постах. Конструкція мобільного водомірного посту є універсальною для передачі перевищень від основного репера на конструкцію різними методами нівелювання, а її перевагами є мобільність та низька собівартість.

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 і встановлено, що точності геометричного нівелювання III класу відповідає: геометричне двостороннє нівелювання «вперед-назад», двостороннє неоднчасне 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 методику 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 методику вимірювання рівня води за допомогою лазерної рулетки Leica Disto A3. Застосування цієї методики 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Accuracy of height measurements for levelling across wide water bodies / A. Celms. A. Ratkevičs. A. Brants. E. Kauranens. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. –2013 –№II (26). – С.97-101.
2. Alves R.J. The sunspot cycle and the hydrological cycle, Proc. of the I Solspa Conference «The Solar Cycle and Terrestrial Climate», 25-30 September, in press, 2000.
3. Ayan T. Optimization of Geodetic Networks: дис. докт. техн. наук / Ayan T. – Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 1981.
4. Bjelotomić O. Prefactory accuracy of levelling figure closure by combined measurements of trigonometric and geometric levelling // O. Bjelotomić, I. Grgić, T. Bašić. // Proceeding of the 5th international conference on engineering surveying: «Ingeo 2011», 22-24 September 2011. – Brijuni, Croatia, 2011. – P.185-192.
5. Brunner F. K. Vertical Refraction Angle Derived from the Variance of the Angle-Of-Arrival Fluctuations / F. K. Brunner. // Refractional Influences in Astronomy and Geodesy, Tengström E., Teleki G. (Eds.), 1979. – P.227–238.
6. Complex High Accuracy Satellite and Field Measurements of Horizontal and Vertical Displacements of Control Geodetic Network on Dniester Hydroelectric Pumped Power Station (HPPS)/ K. Tretyak, S. Periy, I. Sidorov, L. Babiyy // Geomatics and Environmental Engineering, vol. 9, no. 1, 2015, pp. 83–96. Available at: <http://dx.doi.org/10.7494/geom.2015.9.1.83>
7. Grafarend E. W. Optimization of geodetic networks / E. W. Grafarend. // Bolletino di Geodesia a Science Affini. – 1974. – №33. – С. 351 – 406.
8. Investigation of refraction field over water surfaces/ S. Perij, T. Korliatovych, I. Pokotylo, V. Lityn'skyi. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2017. – Випуск 86. – С.11-18.
9. Kuang S. L. Optimization and design of deformation monitoring schemes : дис. канд. техн. наук / Kuang S. L. – University of New Brunswick, Fredericton, New Brun, 1991. – 179 pp.

10. 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. – Випуск 85. – С.18-26.
11. Seeber G. Satellite Geodesy – 2nd completely revised and extended edition // Hannover, Germany – 2003.
12. Walo J. The Height transfer over the Czorsztyn artificial lake applying trigometric levelling / J. Walo, A. Pachuta, T. Olszak. // Reports on Geodesy. – 2004. – Tom 2/69. – PP.315-321.
13. Wilson B.H. Some deductions made from a correlation of Lake Michigan water levels with sunspot cycle, Popular Astronomy, 54, pp.73-84, 1946.
14. Алексеев А.В. Оптическая рефракция в земной атмосфере (горизонтальные трассы) / А.В. Алексеев, М.В. Кабанов, И.Ф. Куштин.– Новосибирск: Наука, 1982. – 234 с.
15. Альтовский М. Е. Классификация родников / М. Е. Альтовский. // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. – М: 1961. – №19.
16. Андріанова О.Р. Зміни рівня світового океану в системі «океаносфера-атмосфера-гідросфера - поверхня суходолу» / О.Р. Андріанова. // Український географічний журнал. – 2014. – №1. – С. 14-20.
17. Афонин К. Ф. Об оптимальном проектировании геодезической сети / К.Ф. Афонин. // Тр. НИИГАиК. – 1975. – №37. – С. 141 – 152.
18. Баран П.І. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах // П.І. Баран, В.Я. Чорнокінь. // Вісник геодезії та картографії. –2004. – №2. – С.12-15.
19. Баран П.І. Топографія та інженерна геодезія: підручник для студентів геодез. та негеодез. спец. ВНЗ / П.І. Баран, М.П. Марущак. – Київ: Знання України, 2015. – 463 с.
20. Баран П. І. Тригонометричне нівелювання в інженерно-геодезичних роботах / П. І. Баран, Ф. Ф Соловйов, В. Я. Чоркоконь. – К: Укргеодезкартографія, 1996. – 130 с.
21. Батиметричні дослідження озера Світязь: минуле, сучасність та перспективи / О.В Альохіна, М.М. Корусь, В.В. Кошовий [і др.] // Природа Західного Полісся та

- прилеглих територій: зб. наук. пр. – Луцьк: Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2014. – №11. – С.24-32.
22. Богомолів Г.В. Гидрогеология с основами инженерной геологии / Г.В. Богомолів. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
 23. Ващенко В.І. Спосіб геометричного нівелювання з врахуванням вертикальної рефракції та негоризонтальності візирного променя / В. І. Ващенко, С. С. Перій, В. О. Літинський. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.–Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – Вип. І. – С. 116-121.
 24. Віват А. Дослідження точності GPS кінематичного методу знімання / А. Віват, О. Віват, В. Зелінський. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр.- Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – С. 141-143.
 25. Віват А.Й. Дослідження точності визначення нормальний перевищень методом GNSS / А. Й. Віват // Вісник Львівського національного аграрного університету. архітектура і сільське господарство. – 2017. – № 18. – С.11-19.
 26. Воздействие изменений солнечной активности на гидрологические процессы. Авторегрессионный анализ солнечной активности и уровней озер / [И. Либин, Р. Гущина, Х. Перес-Пераза и др.]. // Геомагнетизм и аэрономия. – 1996. – Т.36. – С. 79–83.
 27. Волосецький Б. Геодезія у природокористуванні: навчальний посібник / Б. Волосецький. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2012. – 291 с.
 28. Вплив сонячної активності на екологічні процеси на природо-заповідних територіях Західного Полісся: проблема чи гіпотеза?/ [В. В. Кошовий, О.А. Івантишин, І.М. Горбань та ін.].// Природа Західного Полісся та прилеглих територій. Розділ III Екологія. – 2012. – №9. – С. 294–301.
 29. 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.

30. Герасименко М. Д. Оптимальное проектирование и уравнивание геодезических сетей / М. Д. Герасименко. – Москва: Наука, 1992. – 160 с.
31. Горбійчук М.І. Метод прогнозування рівня води у р. Дністер залежно від погодних умов/ М.І. Горбійчук, М.А. Шуфнарович. // Восточно-европейский журнал передовых технологий : сб. науч. тр. – 2013. – № 3/4 (63). – С. 13-19.
32. Гофма-Велленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика. Підручник/ Б. Гофма-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз – Відень, Нью-Йорк 1994. – 377 с.
33. Грицюк Т.Ю. До питання оцінки точності вимірювання перевищень методом GPS/ Т.Ю. Грицюк, К.Р. Третяк. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С.78-82.
34. Давибіда Л.І. Довгострокове прогнозування природного режиму рівнів ґрунтових вод на прикладі території Дніпропетровської області/ Л.І. Давибіда, Е.Д. Кузьменко.// Геоінформатика. – 2012. – №2(42). – С. 67–76.
35. Двудіт П.Д. Порівняльна характеристика визначення висот квазігеоїда території України з використанням моделі геоїда/ квазігеоїда та гравітаційного поля Землі/ П.Д. Двудіт, Ю.І. Голубінка. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – № 72. – С.27-34.
36. Дементьев В. Е. Рефракция в турбулентной атмосфере / В. Е. Дементьев. – М.: ООО “Галлея-Принт”, 2011. – 398 с.
37. Дементьев В. Е. Рефракция и миражи / В. Е. Дементьев. – М.: ООО “Галлея-Принт”, 2009. – 391 с.
38. Джуман Б.М. Методы учета вертикальной рефракции в геодезических измерениях: Автореферат. дис. д-ра техн. наук: 05.24.01/ Джуман Б.М. – Львов, 1990. – 31 с.
39. До питання геометричного нівелювання способом “вперед-назад” з використанням високоточного цифрового нівеліра Leica DNA 03/ [С. С. Перій, І. Ф. Рій, О. І. Мороз та ін.]. // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4. – С. 5-8.
40. До питання точності GPS-спостережень/С. Савчук, Н. Каблак, І. Калинич, І. Проданець.// Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 68. – С.104-107.

41. Дослідження впливу нівелірної рефракції у нічний період за допомогою приладів зарядового зв'язку / [В. О. Літинський, О. В. Киселик, С. С. Перій та ін.]. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С.94-97.
42. Дреєв О.М. Апроксимація та прогноз майже періодичних процесів/ О.М. Дреєв, З.Ю. Філер. // Наукові записки. Серія: Математичні науки. – 2006. – № 65. – С.50-56.
43. Дреєв О.М. Спектральний аналіз майже періодичних сигналів / О.М. Дреєв, З.Ю. Філер. // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики. Збірник наукових праць. Випуск 4. Том 3. - Кривий Ріг. Видавничий відділ НМетАУ, 2004. – С.64-68.
44. Дятел О.О. Особливості формування водообміну на меліорованих землях Волинського полісся під впливом кліматичних та антропогенних чинників / О.О. Дятел // Меліорація і водне господарство. – 2017. – Том №1 106 (2). – С. 58-63.
45. Дятел О.О. Режим підземних вод у районі можливого впливу кар'єру «Хотиславський» на початок розробки мергельно-крейдяних відкладів/ О.О. Дятел, О.В. Цвєтова, О.В.Тураєва.// Меліорація і водне господарство. – Київ, 2016. – №102. – С. 84–87.
46. Елагин А. А. Анализ методов определения колебаний уровня моря при гидрографических работах/ А. А. Елагин, А. Л. Демидов. //Вестникгосударственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – Выпуск 2 (36). – С. 78-89.
47. Залеський І. Еколого-економічна депресивність Західного Полісся/ І. Залеський. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб.наук.пр. – 2006. – №3. – С.136-142.
48. 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. – Випуск I (33). – С.65-68.
49. Заявление о воздействии на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности «Разработка меловой залежи месторождения «Хотиславское» (II

- очередь) в Малоритском районе «Брестской области» - / КварцМелПром; РУП «ЦНИИКИВР»; ГНПО «НАН Беларуси по биоресурсам». – Минск, 2009. – 12с.
50. Зузук Ф.В. Природно-ресурсний потенціал Західної Волині / Ф.В. Зузук, І.І. Залеський. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. пр. – Луцьк :Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2010. – №7. – С.16-23.
 51. Изотов А.А. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирование/ А. А. Изовов, Л. П. Пеллинен. // Тр. ЦНИИГАиК. – 1955. – №102. – 175с.
 52. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. – М.: Недра, 1990.- 175 с.
 53. Ільїн Л. В. Гідрохімічні дослідження озерних екосистем Шацького природного національного парку :озеро Чорне Велике (1977–2009 рр.) / [Л. В. Ільїн, Ю. М. Ситник, П. Г. Шевченкота ін.]. // Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Географічні науки. – 2010. – Вип. 10. – С. 4–14.
 54. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся: [монографія: у 2-х т.] / Л. В. Ільїн. – Луцьк: Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – Т. 1: Природничо-географічні основи дослідження та регіональні закономірності. – 316 с.
 55. Ільїн Л. В. Лімнокомплекси Українського Полісся: [монографія: у 2-х т.] / Л. В. Ільїн. – Луцьк: Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки, 2008. – Т. 2: Регіональні особливості та оптимізація. – 400 с.
 56. Ільїн Л.В. Озера Волині: лімногеографічна характеристика / Л.В. Ільїн, Я.О. Мольчак. – Луцьк: Надстир'я, 2000. – 140 с.
 57. Інструкція з обстеження та оновлення пунктів державної геодезичної мережі України: затверджено наказом Укргеодезкартографії № 19 від 17.02.2000 р. – Укргеодезкартографія, 2000 р.
 58. Казанский К. В. Земная рефракция над обширными водными поверхностями / К. В. Казанский. – Л: Гидрометеиздат, 1966. – 192 с.
 59. Калинич І.В. Про визначення нормальних висот на регіон Закарпаття /І.В. Калинич. // Зб. наук. пр. «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва».

- Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка».– 2005. – С. 70-75.
60. Карпенко Н.І. Морфометрична оцінка рельєфу Шацького поозер'я для потреб оптимізації природокористування в регіоні / Н.І. Карпенко. // Вісн. Львів. ун-ту. - (Серія географ.). – Львів: Вища школа, 1996. – Вип.20. – С. 59-63.
61. Комплексний моніторинг природного середовища Шацького національного природного парку/ [О.Мороз, А. Дульцев, С. Ямелинець і ін.]. // Збірник матеріалів XVII Міжнародного науково-технічного симпозіуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS – технології»: Алушта (Крим). – 2012. – С.42-44.
62. Кононов В.М. Основы геологии, гидрогеологии и инженерной геологии / Кононов В.М., Крысаченко А.М., Швеи В.М. – М.: Высшая школа, 1978. – 192 с.
63. Корлятович Т. Дослідження конструкції мобільного водомірного посту/ Т. Корлятович. //Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во Нац.Ун-ту «Львівська політехніка», 2018. – В. №1 (35). – с.103-106.
64. 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.
65. 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.
66. Корлятович Т.Ю. Оптимізація методів нівелювання при створенні висотної основи на території Шацького національного природного парку/Т.Ю. Корлятович.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації», 22-25 березня 2017 року. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017 – С. 341-343.

67. 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 року. – Шацьк: ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. – С.55-57.
68. 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.
69. 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.
70. 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-шої міжнародної науково-технічної конференції «Geoforum 2016», 13-15 квітня 2016 р. – Львів- Брюховичі -Яворів: НУ «ЛП», 2016. – С. 32-33.
- 71.Корлятович Т.Ю. Тенденція динаміки зміни рівня поверхневих вод Шацького поозеря 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 року. – Львів: НУ «ЛП», 2017. – С.25-28.
72. Костецька Я. До питання визначення висот супутниковими методами / Я. Костецька, Ю. Луцишин, О. Фок. // Зб. наук. пр. “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – С.58–63.

73. Костецька Я. До питання тривалості GPS-спостережень / Я. Костецька, І.Торопа, О. Фок. // Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2005. – С.60–65.
74. Кривицький Р. Інноваційні тимчасові водомірні пости [Електронний ресурс]/ Р. Кривицький.// Вісник держггфдрографії . – 2015. – № 2 (49). – Режим доступу: http://charts.gov.ua/vis1_ua.htm
75. Кутовий С. С. Багаторічний хід температури повітря в Шацькому національному природному парку / С. С. Кутовий, Р. Є. Качаровський. // Науковий вісник Волинського національного університету ім. Лесі Українки / Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки ; [редкол.: Н. Н. Коцан та ін.]. – Луцьк, 2010. – № 17: Географічні науки. – С. 57-62.
76. Кутовий С. С. Багаторічні коливання рівня води озера Світязь / С. С. Кутовий. // Науковий вісник Волин. держ.ун-ту ім. Лесі Українки. – 2007. – № 11, Ч. 1. – С. 91–98.
- 77.Кутовий С.С. Вплив сонячної активності на водність річки Прип'ять / С.С. Кутовий. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 259-264.
78. Кучер О. В. Опрацювання спостережень фундаментальної GPS-мережі України, виконаних у 2000 та 2001 роках/ О.В.Кучер, Ю. Стопхай, Р. Висотенко. // Зб. матеріалів VII-ого міжнародного науково-технічного симпозіуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології», 7-14 вересня 2002 р. – Алушта: НУ «ЛП», 2002. – С.61-62.
79. Лахай Ю.О. Деякі показники гідроекології озера Світязь/ Ю.О. Лахай. // Науковий вісник Волин. держ.ун-ту ім. Лесі Українки. – 2009. – №5. – С.68-72.
- 80.Либин И. Я. Воздействие изменений солнечной активности на геофизические и гидрологические процессы. Спектральные характеристики колебаний водности Чудского озера/ И. Либин, А.Яани. // Изв. АН Эстонии. Сер. Геология.– 1984.–Т. 39, №4. – С.413-426.
81. Літинський В. О. Особливості застосування двостороннього тригонометричного нівелювання / В. О. Літинський, С. С. Перій, В. О. Сухоруков. // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – №1. – С.10-13.

82. Літинський В. О. Тригонометричне нівелювання в ходах геодезичних мереж згущення/ В. О. Літинський, С. С. Перій. // Суч. досягн. геодез. науки та вир-ва: зб. наук. пр. ЗГТ УТГК. –Л: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2006. – Вип. II. – С.125-133.
83. Літовченко О.Ф. Гідрологія і гідрометрія/ Літовченко О.Ф., Сорокін В.Г. – К.: Вища школа, 1985. – 240 с.
84. Літопис Природи: літопис /В.І. Матейчик, П.В. Юрчук, Н.В. Хомік, та ін./. – Світязь: 2017, – Книга 29 –163 с.
85. Логвинчук А.Н. Обзор методов и средств измерения уровня природных вод / А.Н. Логвинчук. // Системы контроля окружающей среды. – 2005. – С. 47-52.
86. Мамонтова Л. С. Огляд існуючих методів і засобів моніторингу гідрологічних характеристик водних об'єктів/ Л. С. Мамонтова. // Часопис картографії. – 2013. – №7. – С. 235-247.
87. Мартинюк В. Ланшафтно-геохімічні особливості природно-аквального комплексу озера Чорне Велике (Шацький національний природний парк)/ В. Мартинюк, О.Ільїна. // Науковий вісник Волин. держ.ун-ту ім. Лесі Українки. – 2013. – №6 (255). – С.30-38.
88. Марущак М. П. Способи тригонометричного нівелювання електронним тахеометром / М. П. Марущак. // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – №6 (69). – С.11-14.
89. Масліч Д. І. Особенности рефракционного поля на морских трассах в прибрежном субтропическом районе / Д. І. Масліч, С. С. Перій. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1984. – Вип. 39. – С. 38-46.
90. Матвійчук Я. Постановка задачі макромодельовання гео-геліогенних величин / Я. Матвійчук, В. Паучок. // Вісник НУ Львівська Політехніка : Телекомунікації і радіoeлектроніка. – № 557. – 2006. – С. 171-173.
91. Михалев А.В. Оценка возможности использования тригонометрического нивелирования для производства высокоточных измерений /А.В. Михалев. // Вестник ПНИПУ. Геология, Нефтегазовое и горное дело. – 2013. –№8. – С.136-144.

92. Мокрий В. І. Моніторинг, моделювання і прогнозування впливу Хотиславського кар'єру на гідрогеологічні і лісоекологічні умови природно-заповідних об'єктів Західного Полісся / В. І. Мокрий. // Природа Західного Полісся та прилеглих територій: зб. наук. праць. – Луцьк: Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. – № 9. – С. 284–288.
93. Моніторинг природних вод у зоні можливого впливу кар'єру «Хотиславський»/ О.В. Цвєтова, М.Н. Федотов, О.В. Тураєва, І.А. Демида. // Меліорація і водне господарство. – 2011. – №99. – С. 112-120.
94. Мороз О.І. Визначення вертикальної рефракції та врахування її впливу/ О.І. Мороз, Т.Г Шевченко. // Інженерна геодезія. – Київ: КНУБА, 2001. – № 46. – С.186-193.
95. Мороз О.І. Визначення та врахування вертикальної рефракції під час геодезичних вимірювань: Монографія.- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 224 с.
96. Мороз О.І. Вплив Хотиславського родовища на екологічний стан Шацького національного парку/ О.І. Мороз. // Збірник матеріалів 2-ого Міжнародного Конгресу – Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: Львів, 2012. – С.45.
97. Мороз О.І. До залежності вертикальної рефракції від метеорологічних елементів / О.І. Мороз, С.С. Перій. // Вісник геодезії та картографії. – 1996. – № 2(6). – С.25-28.
98. 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 Нац.Ун-ту « Львівська політехніка», 2015. – №2 (30). – С.23-27.
99. 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.
100. Мороз О.І. Основні положення теорії флуктуаційного методу визначення аномальної вертикальної рефракції/ О.І. Мороз, А.Л. Островський. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів: Ліга-Прес, 2002. – С.110-120.
 101. Мороз О.І. Теоретичні основи вертикальної рефракції, способи її визначення, врахування і прогнозування: дис. д-ра техн. наук: 05.24.01/ Мороз Олександр Іванович. – Львів, 2003. –267с.
 102. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами в зимних условиях /А. В. Никонов, А. А. Скворцов. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч.конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 70-76.
 103. Никонов А.В. Исследование тригонометрического нивелирования в полевых условиях / А.В. Никонов, С.А. Бабасов. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 71-78.
 104. Островський А.Л. Дослідження закономірностей дії вертикальної рефракції на результати тригонометричного нівелювання над водними поверхнями/ А.Л. Островський, О.І. Мороз, І.Я. Покотило.// Зб. матеріалів XIII-ого міжнародного науково-технічного симпозіуму « Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS- технології», 9-14 вересня 2008 р. – Алушта: НУ «ЛП», 2008. – С.4-7.
 105. Островський А. Дослідження закономірностей дії вертикальної рефракції та точності тригонометричного нівелювання над водними поверхнями/ А. Островський, О. Кравчук. // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2007. – №69. – С.83-90.

106. Островський А. Л. Рефрактометрія (досягнення та проблеми) / А. Л. Островський. // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2007. – №69. – С.5-15.
107. Павлив П.В. Проблемы высокоточного нивелирования/П.В. Павлив. – Львов: Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 1980. – 124 с.
108. Патент. Україна, UA 41429 U? МКП(2009), G01C5/00. Спосіб геометричного нівелювання «вперед-назад» / С.С. Перій; заявник і патентоутримувач Львів. нац. аграр.ун-т. – № 41429; зареєстр. в Держ. реєстрі патентів України на корисні моделі. – Бюл. № 10. – 25.05.2009. – 6 с.
109. Патент. Україна, UA 60589 U? МКП(2011.01), G01C5/00. Спосіб нівелювання / С.С. Перій; заявник і патентоутримувач Львів. нац. аграр.ун-т. – № 60589; зареєстр. в Держ. реєстрі патентів України на корисні моделі. – Бюл. № 12. – 25.06.2011. – 6 с.
110. Паучок В. К. Регуляризована ідентифікація математичних макромоделей процесів і систем різної природи: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02 / Паучок Володимир Костянтинович. – Л., 2010. – 178с.
111. Перій С.С. Определение вертикальной рефракции в зависимости от высоты луча и стратификации атмосферы : дис. к-та техн. наук: 05.24.01/ Перій Сергей Сергеевич. – Львов, 1991. –222с.
112. Перій С. Апробація способу геометричного нівелювання "вперед-назад" / С. Перій, В. Ващенко, І. Рій. // «Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва»: зб. наук. пр. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2010. – Вип. 1. – С. 91-94.
113. Перій С. С. Визначення вертикальної рефракції за флуктуаціями вертикальних кутів / С .С. Перій, О. І. Мороз. // Наукові праці Донец. нац. тех. ун-та, Донецьк. Сер.: гірничо-геологічна. – 2013. – Вип. 1(18). – С. 49-55.
114. Перій С. С. Вимірювання вертикальної рефракції із застосуванням плоского дзеркального відбивача / С. С. Перій .// Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – Випуск 74. – С. 38–43.

115. Перій С. С. Експериментальні дослідження точності геометричного нівелювання способом «вперед-назад»/С.С.Перій. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2010. – Вип. 73.– С. 45-52.
116. 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 року. – Львів-Східниця: НУ «ЛП», 2017. – С. 73-78
117. Перій С. С Апробація застосування неодночасного двостороннього тригонометричного нівелювання з урахуванням вертикальної рефракції/ С. С. Перій.// Геодезія, картографія і аерознімання. – 2015. – №82. – С.19-28.
118. Перій С. С. Використання двостороннього тригонометричного нівелювання у світловіддаємій полігонометрії / С. С. Перій. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – № 61. – С. 112-117.
119. 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. – Випуск I (31). – С.79-83.
120. Природа Західного Полісся, прилеглого до Хотиславського кар'єру Білорусі: монографія. за ред.Ф.В.Зузука. – Луцьк: ПП Іванюк В.П., 2014. – 246 с.
121. Про геодинамічні дослідження на природно-заповідних територіях/ [О. І. Мороз, А. Т. Дульцев, І. С. Сідоров та ін.].// Вісник геодезії та картографії. – 2013. – №2. – С.15-18.
122. Про точність визначення перевищень технологією GNSS/ І.С. Тревого, І.М. Цюпак, В.У. Волошин, О.В. Рудик.// Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Географія. Землеустрій. Природокористування. – 2014. – №3. – С. 96-98.
123. 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.

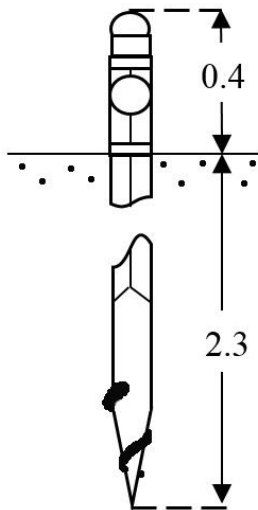
124. Рівень активності Сонця в затижному і глибокому мінімумі циклів 23/24 та його вплив на кліматичну систему землі / Л.М. Янків-Вітковська, І.С. Лаба, П.Г. Лісник, І.Я. Підстригач. – Журнал фізичних досліджень, Том 17.– 2013.– № 3. – 3902(9с).
125. Савчин І. Р. Апостеріорна оптимізація точності та надійності активної геодезичної мережі моніторингу Дністровської ГЕС / К.Р. Третяк, Дж. В. Краненброк, А. Ю.Балан, І.Р. Савчин. // Геодезія картографія і аерофотознімання. – 2014. – №79. – С. 5 – 14.
126. Савчук С. Обробка GPS-спостережень наукового геодезичного полігону / С. Савчук, І.Тревого, А.Віват. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – 2003.– С. 39-47
127. Савчук С.Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат/ С.Г. Савчук. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С.20-33.
128. Сводный каталог высот пунктов нивелирования на лист карты масштаба 1:200 000 М-34-IV. – К.: Гл. упр. геодез. и картогр. при Совете Министров СССР, Предпр. №13,1983. – 255 с.
129. Ситник Ю.М. Гідрохімічні дослідження озер Шацького національного природного парку(1996-2001рр.)/Ю.М. Ситник, П.Г. Шевченко, Д.А. Засекін. // Гідрологія, гідрохімія, гідроекологія: Матеріали Третьої Всеукр. наук. конф.(Київ,15-17 листоп. 2006 р.). – К.: Ніка-Центр, 2006.– С.133-134.
130. Спосіб визначення вертикальної рефракції: Деклараційний патент на винахід 38641А, МПК 7 G01C5/00/Мороз О.І., Островський А.Л. (Україна) - №200084719; заявлено 08.08.2000; Опубл. 15.05.2001. Бюл. № 4. – 4 с.
131. 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.
132. Стопхай Ю. Обробка GPS-спостережень, виконаних на пунктах фундаментальної геодезичної мережі України в 2000 році/ Ю.Стопхай, Р. Висотенко.// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – 2003. – С.48–54.

133. Тамутис З. П. Оптимальные методы проектирования геодезических сетей / З. П. Тамутис. – Москва: Недра, 1979. – 133 с.
134. Татарский В.П. Распространение волн в турбулентной атмосфере/В.И. Татарский. –М.: Наука,1967. – 548 с.
135. Тимошук В.Р. Зона зчленування східноєвропейської та західноєвропейської платформи на території західної України/В.Р. Тимошук.// Геодинаміка. – 2011. – № 2 (11). – С.290-292.
136. Тимченко В. М. Некоторые аспекты экологии озер Шацкого национального парка / В. М. Тимченко, Л. В. Чередниченко, А. Е. Ярошевич. // Материалы к семинару-совещанию по координации работ, связанных с организацией природоохранного мониторинга. – К., 1990. – С. 24–26.
137. Тлустяк Б. Т. Исследование закономерностей изменения земной рефракции в прибрежной зоне больших водных поверхностей // Б. Т. Тлустяк. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1974. – № 20. – С. 86-93.
138. Тлустяк Б. Т. Статистическая характеристика рефракции световых лучей на морских трассах. / Б. Т. Тлустяк, С. С. Перій. // Тез. докл. Всесоюз. совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере. – Томск, 1983. – С. 281-284.
139. Транскордонний біосферний резерват «Західне полісся» [електронний ресурс] // Шацький національний природний парк: [офіційний сайт] – Режим доступу: <http://shpark.com.ua/tbr/>
140. Тревого І.С. До метрологічного забезпечення GNSS-нівелювання на робочих еталонах/ І.С. Тревого, І.М. Цюпак, П.І. Волчко.// Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – № 82. – С.29-40.
141. Тревого І.С. Нові результати і перспективи досліджень на Яворівському науковому полігоні/ І.С. Тревого, І.М. Цюпак, Б.Б. Паляниця, В.У. Волошин. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Л.: Вид-во Нац.Ун-ту «Львівська політехніка», 2016. – В. №І (31). – С.41-46.
142. Тревого І.С. Фундаментальна геодезична мережа як основа метрологічного забезпечення сучасних супутникових технологій// І.С. Тревого, І.М. Цюпак. // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 3 (90). – С. 5-7.

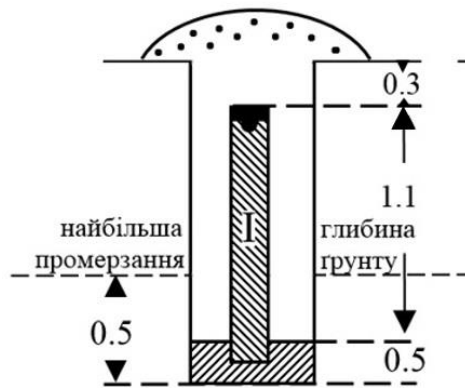
143. Третьяк К. Р. Оптимізація кінематичних геодезичних мереж : дис. докт. техн. наук : 05.24.01 / Третьяк К. Р. – Львів, 2003. – 342 с.
144. Третьяк К.Р. До питання тривалості GPS-вимірів при побудові державних мереж 1-го та 2-го класів / К.Р. Третьяк., Т.М. Шушкова. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – № 61. – С.124-132.
145. Труды Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии. – М: Геодезиздат, 1955. – Вып.102. – 175 с.
146. Уставич Г. А. Методика выполнения обратного тригонометрического нивелирования / Г. А. Уставич, А. В. Никонов, С. А. Бабасов. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 51-56.
147. Учет атмосферных влияний на астрономогеодезические измерения/ Островский А. Л., Джуман Б. М., Заблоцкий Ф. Д., Кравцов М. И. – М.: Недра, 1990. – 235с.
148. Хомік Н.В. Водні ресурси Шацького національного природного парку: сучасний стан, охорона, управління: [моногр.] / Н. В. Хомік; [ред. П. І. Коваленко]; Нац. академія аграрних наук України. Ін-т водних проблем і меліорації. – К.: Аграрна наука, 2013. – 239 с.
149. Хомік Н.В. Гідрологічна характеристика Шацького національного природного парку/Н.В. Хомік, Н.В. Матейчик. //Природа Західного Полісся та прилеглих територій. – Луцьк, 2012. – С. 47–55.
150. Хомік Н.В. Зміни гідрологічного режиму Шацького національного природного парку під впливом будівництва Хотиславського кар'єру/ Н.В. Хомік.// Вісник аграрної науки. – 2013. – №5. – С. 62-64.
151. Хомік Н.В. Стан поверхневих вод на території Шацького національного природного парку/ Н.В. Хомік. // Меліорація і водне господарство. – 2013. – №100. – С. 53–63.

152. Цвид-Ендрю Н. В. Дослідження зв'язку рівневого режиму Шацьких озер з сонячною активністю / Н. В. Цвид-Ендрю. // Фізична географія та геоморфологія, №2, 78. – 2015. - С. 62-71.
153. Шацький національний природний парк [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://ukrainaincognita.com/svityaz/shatskyi-natsionalnyi-prirodnyi-park>.
154. Янків-Вітковська Л. М. Про кореляційний зв'язок геодезичних і геосейсмічних процесів / Л. М. Янків-Вітковська. // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2011. – №75. – С. 36–52.
155. Янків-Вітковська Л.М. Про макромоделі змін геодезичних координат і геосейсмічних процесів / Л.М. Янків-Вітковська, В.К. Паучок. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. – № II (24). – С.188-190.

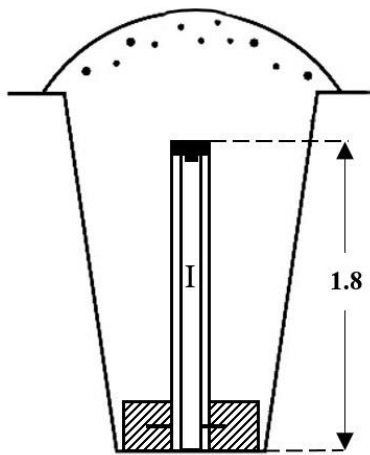
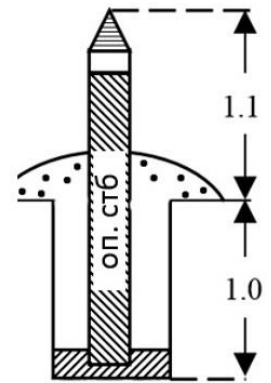
Додаток Б



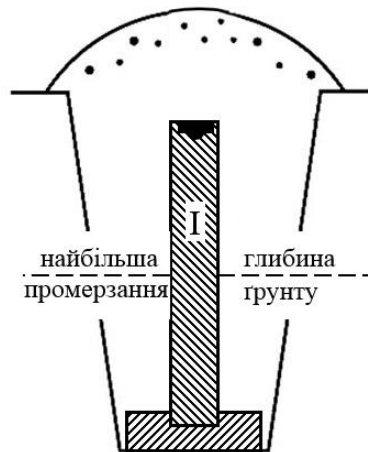
тип А



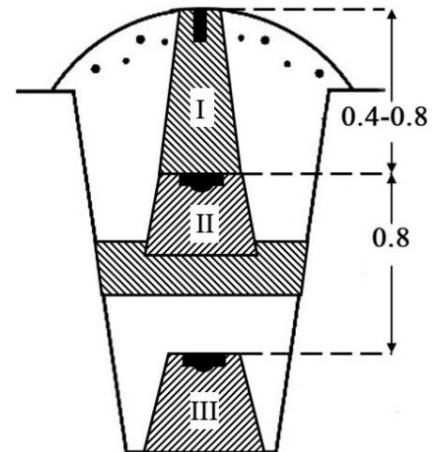
тип 146-А



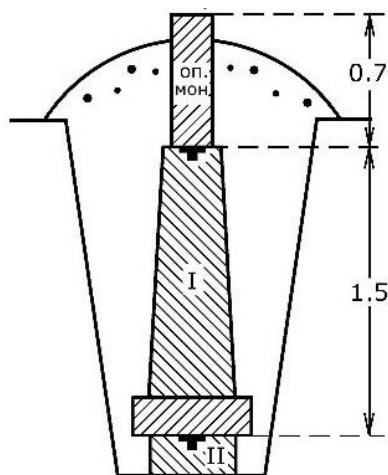
тип 148



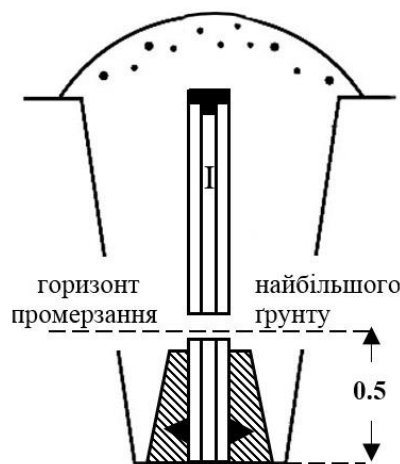
тип 146



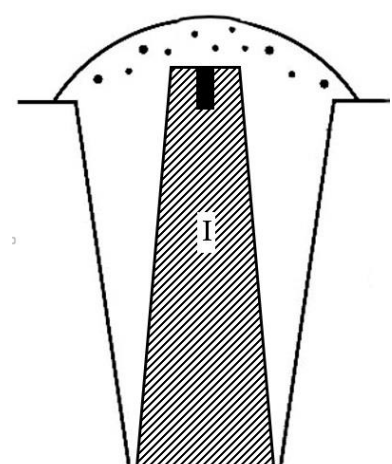
тип 37



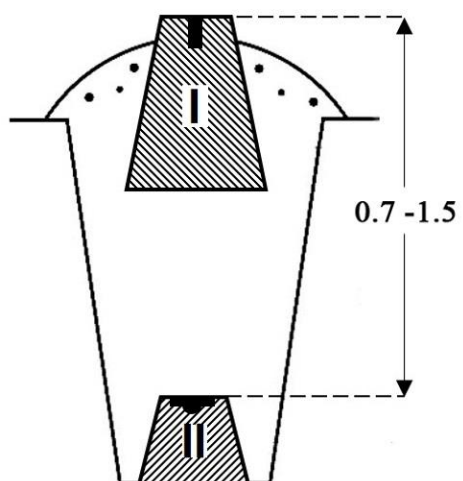
тип 2оп



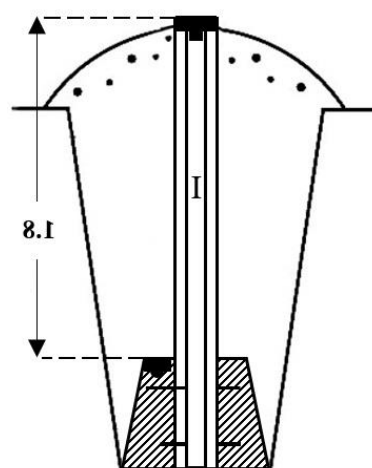
тип 106



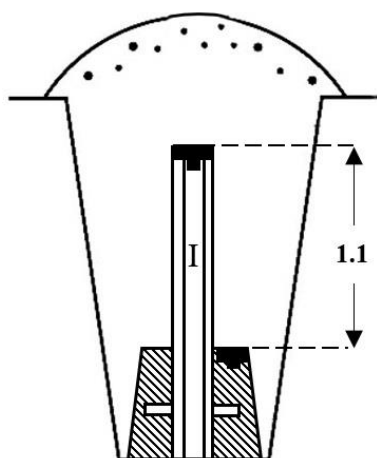
тип 65



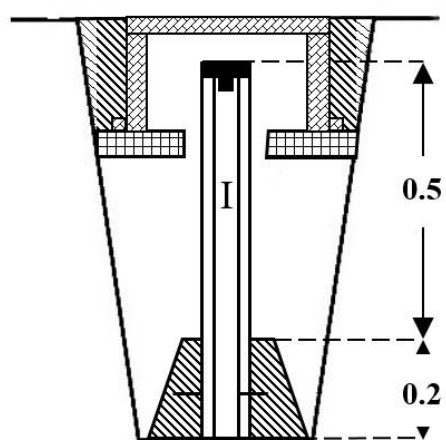
тип 56



тип 120



тип 121



тип 137

Опис місця закладки віднайдених та закладених пунктів

Стінний репер №5147 (Пошта) закладений у будівлі пошти, яка розташована за адресою с.м.т. Шацьк, вул. С. Шковороди, 30 (див. рис. 1).



Рис. 1 Стінний репер (Пошта)

Стінний репер №630 закладений у житловому будинку, який розташований за адресою с.м.т. Шацьк, вул. Незалежності, 92 (див. рис. 2).



Рис. 2 Стінний репер №630

Стінний репер б/№ (192), закладений у будівлі магазину, який розташований за адресою с.м.т. Шацьк, вул. Незалежності, 192 (див. рис. 3).



Рис. 3 Стінний репер б/№ (192)

Пункт тріангуляції Плотиччя, розташований у передмісті с.м.т Шацьк при виїзді по дорозі до села Мельники, останній поворот праворуч. Орієнтир – хата зліва, справа – городи. Тип пункту 2оп (див. рис. 4).



Рис. 4 Пункт тріангуляції Плотиччя

Пункт тріангуляції Травни, розташований біля озера Пісочне у сосновому лісі на початку села Мельники. Тип пункту 2оп (див. рис. 5).



Рис. 5 Пункт тріангуляції Травни

Грунтовий репер б/№ (27), розташований по правій стороні вздовж траси Шацьк-Піща біля повороту на базу «Медик». Тип пункту 120 (див. Додаток В рис.6).



Рис. 6 Розташування гр.рп.б/№ (27)

Пункт тріангуляції Перемут, розташований у молодому сосновому лісі, висота дерев 2-2,5 метра, неподалік від озера Перемут. Тип пункту 2оп (див. рис. 7).



Рис. 7 Пункт тріангуляції Перемут

Пункт тріангуляції Городище, розташований по лівій стороні ґрунтової дороги до села Пульмо, неподалік біля каналу і мосту. Тип пункту 2оп (див. рис. 8).



Рис. 8. Пункт тріангуляції Городище

Пункт тріангуляції Острів'я, розташований у сосновому лісі з правої сторони біля дороги, яка веде у село Острів'я. Тип пункту 2оп (Див. рис. 9).



Рис. 9 Пункт тріангуляції Острів'я

Грунтовий репер б/№, розміщений у селі Острів'я з лівої сторони центральної дороги села, біля будинку №53. Тип пункту 146 (Див. рис.10).



Рис.10 Грунтовий репер б/№

Стінний репер №1909, закладений у будівлі дитячого садочку у селі Пульмо, який розташований по центральній дорозі біля церкви (Див. рис. 11).

Закладна точка 9 знаходиться під поворотним стовпом ЛЕП з лівої сторони по дорозі Шацьк-Залісся. Тип пункту 65 (Див. рис. 12).



Рис. 11 Стінний репер №1909 у будинку дитячого садочку

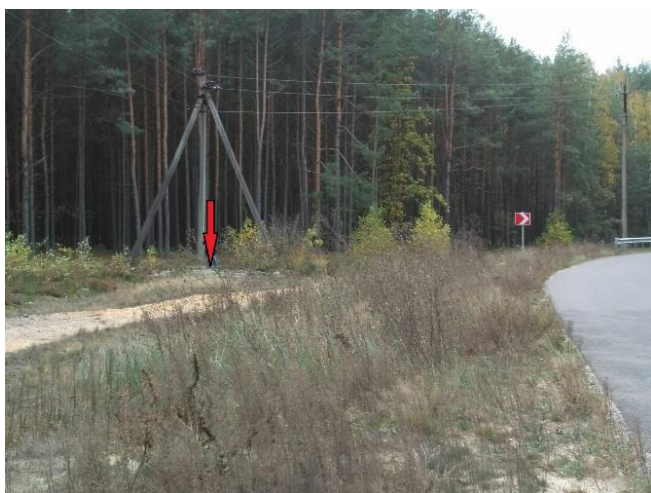


Рис. 12 Закладна точка 9 «ЛЕП»

Стінний репер б/№ закладений у будівлі, а два ґрунтові репери б/№ на території метеорологічної станції «Світязь» в селі Світязь (Див. рис.13,14).

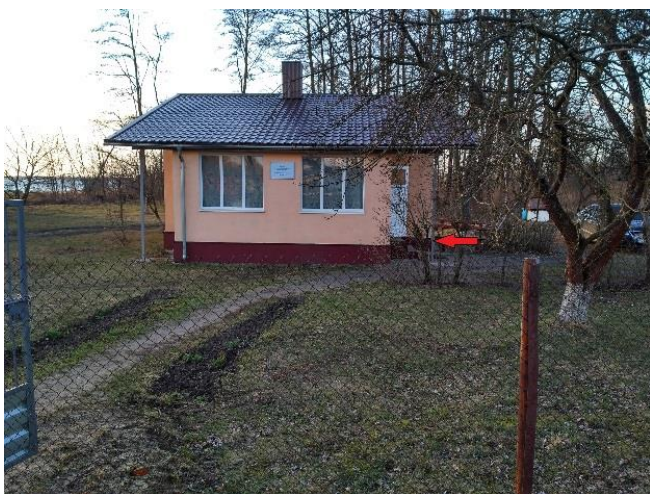


Рис. 13 Стінний репер у будинку метеостанції «Світязь»



Рис. 14 Ґрунтові репери на території метеостанції «Світязь»

Пункт тріангуляції Люцимер, розташований у прибережній смузі озера Люцимер на пагорбі біля флагштоку. Тип пункту 2оп (Див. рис.15).



**Рис. 15 Пункт тріангуляції
Люцимер**

GPS-пілон 0 класу, розташований у сосновому лісі по дорозі Шацьк-Залісся біля Фізико-механічного інституту. В пілон було закладено стінний репер б/№ (Див. рис. 16).



Рис.2.16 Пілон

Ґрунтовий репер б/№, закладений у прибережній смузі озера Кримно (Див. рис.17).



Рис. 17 Ґрунтовий репер б/№ біля озера Кримне

Марка б/№ (Міст-1), закладена в стінку моста при в'їзді у передмістя с.м.т Шацьк зі сторони с. Піща по трасі Піща-Шацьк з лівого боку, неподалік шиномонтажу та автостанції (Див. рис. 18).



Рис. 18 Марка б/№ (Міст-1)

Марка б/№ (Бігборд) закладена у фундаменті бетону бігборду по дорозі Шацьк–Піща з правої сторони, перед поворотом на Гряді (Див. рис.19).

Стінний репер б/№ (Міст-2), закладений у стінку моста по лівій стороні дороги Шацьк-Піща (рис. 20).

Марка б/№ (Мельники), закладена у бетонному фундаменті вказівного знаку на повороті у село Мельники по правій стороні дороги Шацьк–Піща (рис. 21).



Рис. 19 Марка 6/№ (Бігборд)



Рис.20 Стінний репер 6/№ (Міст-2)



Рис.21 Марка 6/№ (Мельники)

Стінний репер б/№ (Школа), закладений у будівлі школи зі сторони внутрішнього дворику у селі Мельники (Див. рис.22).



Рис.22 Стінний репер б/№ (Школа)

Стінний репер б/№ (Міст-3), закладений у мості через канаву по лівій стороні дороги Шацьк-Мельники. Біля мосту є роздоріжжя направо до лісу, а також лінія електропередачі 10 кВ (Див. рис.23).



Рис. 2.23 Стінний репер б/№ (Міст-3)

Стінний репер б/№ (Ферма), закладений у колгоспному дворі с. Залісся, у будівлі корівника, який розташований біля водонапірної башти (Див. рис.24).



Рис. 24 Стінний репер б/№ (Ферма)

Стінний репер б/№ (Пульмо кінцевий), закладений у с. Пульмо, у фундаменті крайньої хати з лівої сторони на виїзді із села по дорозі Пульмо-Гряди (Див. рис.25).



Рис.25 Стінний репер б/№ (Пульмо Кінцевий)

Стінний репер №9235 (Міст-4), закладений у мості через канаву по праву сторону дороги Гряди–Пульмо (Див. рис.26).



Рис. 26 Стінний репер №9235 (Міст-4)

Стінний репер №174 (База), закладений у фундамент житлового будинку на території науково-дослідної бази Національного університету «Львівська політехніка» біля озера Пісочне (Див. рис.27).



Рис. 27 Стінний репер №174 (База)

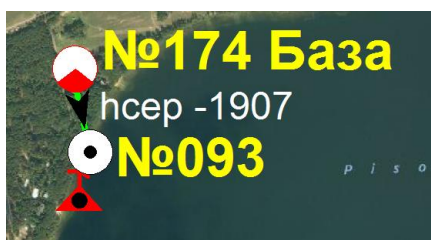
Водомірні пости та схема прив'язки водомірних постів на озерах та свердловин до реперів висотної мережі

На озері Пісочне водомірний пост складається з контрольного репера, яким є стінний репер №174 (База) та з робочого репера (грунтового репера №093), які додатково було закладено на території науково-дослідної бази НУ «ЛП» на березі озера Пісочне (див. рис.1). Контрольний репер ст.рп. №174 (База) водомірного посту озера Пісочне було включено до структури полігона №1. Прив'язка реперів водомірного посту зображена на рисунку 2 а).

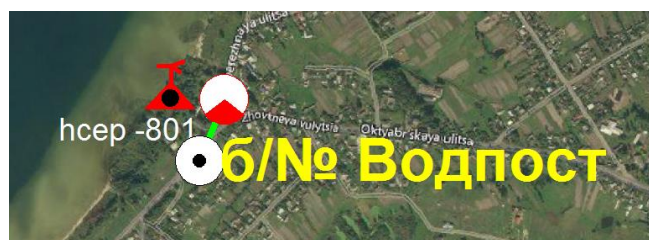


Рис. 1 Робочий та контрольний репери водомірного посту на озері Пісочне

Контрольним та робочим реперами водомірного посту озера Світязь є ґрунтові репери, які закладені на території метеостанції. Їх опис подано у Додатку В. Контрольний репер існуючого водомірного посту на озері Світязь було включено до полігону №3. Схема прив'язки водопосту зображена на рисунку 2 б).



а)



б)

Рис. 2 Схема прив'язки водомірних постів на озері а) Пісочне та б) Світязь до реперів висотної геодезичної мережі

На озері Мошне робочим та контрольним реперами водомірного посту слугують ґрунтова та глибинна свердловини. Прив'язка реперів водомірного посту до висотної основи зображена на рисунку 3.

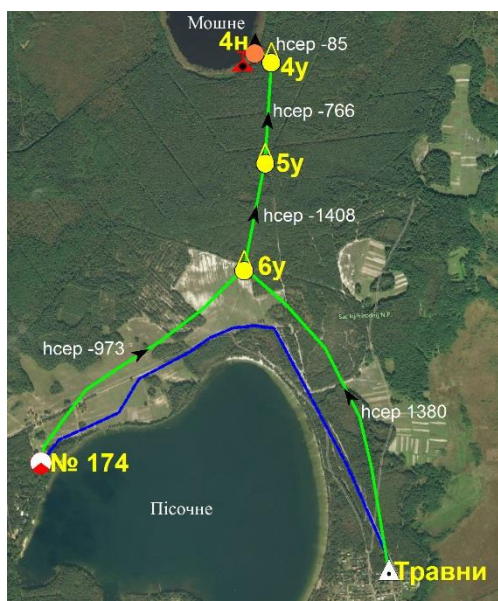
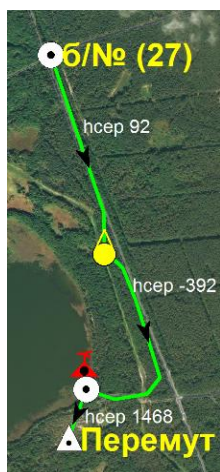


Рис. 3 Схема прив'язки водомірного посту на озері Мошне до реперів висотної геодезичної мережі

На озері Перемут контрольним репером є пункт триангуляції «Перемут», що включений до полігону №1. А робочим репером є ґрунтовий репер №5276, що був закладений додатково біля берега оз. Перемут і лісової дороги поблизу інформаційного стенду цього озера (рис. 4 б). Схема прив'язки зображена на рис.4 а)



а)



б)

Рис. 4 а) Робочий репер водомірного посту озера Перемут б) схема прив'язки водомірного посту до реперів висотної геодезичної мережі

На озері Пулемецьке контрольним репером є ст.рп. №1909, а робочим ґрунтова свердловина на березі озера. Схема прив'язки водопосту зображена на рисунку 5.

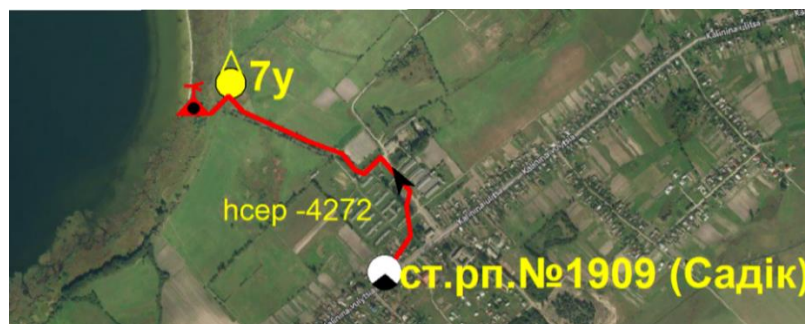


Рис. 5 Схема прив'язки водомірного посту на озері Пулемецьке до реперів висотної геодезичної мережі

На озері Острів'янське контрольним репером слугує пункт тріангуляції Острів'я, а робочим ґрунтовий репер б/№ на березі озера. Схема прив'язки водопосту зображена на рис. 6 а).

На озері Кримно контрольним репером слугує ст.рп. б/№ (Школа), а робочим – ґрунтовий репер б/№ на березі озера. Схема прив'язки водопосту зображена на рис. 6 б).



а)



б)

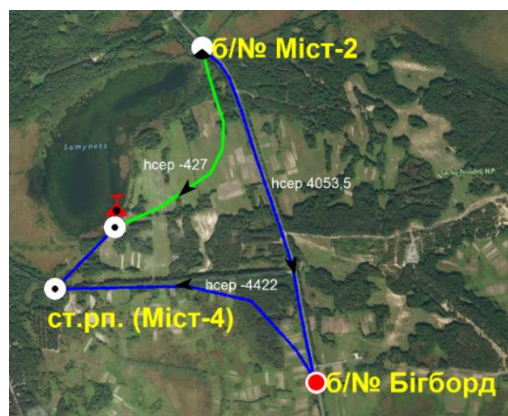
Рис. 6 Схема прив'язки водомірного посту до реперів висотної геодезичної мережі на озері а) Острів'янське б) Кримне

На озері Чорне Велике контрольним репером є ст.репер б/№ (Пошта), робочим є недіюча глибинна свердловина. Схема прив'язки водпосту зображена на рис 7 а).

На озері Соменець контрольним репером слугує ст.рп. № 9235(Міст-4), а робочим – тимчасовий репер на березі озера Соменець. Схема прив'язки водпосту зображена на рис 7 б).



а)



б)

Рис. 7 Схема прив'язки водомірного посту до реперів висотної геодезичної мережі на озері а) Чорне Велике б) Соменець

На озері Люцимер контрольним репером слугує ст.рп.№5147 (Пошта), а робочим є пункт тріангуляції Люцимер. Схема прив'язки водпосту зображена на рис 8.



Рис. 8 Схема прив'язки водомірного посту на озері Люцимер до реперів висотної геодезичної мережі

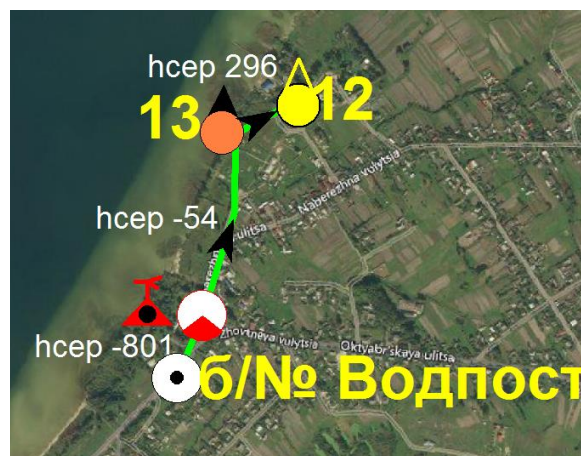
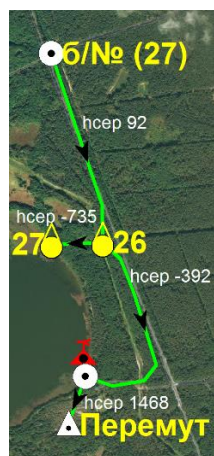


Рис.9 Схема прив'язки свердловин №26, 27,13,12 до реперів висотної геодезичної мережі

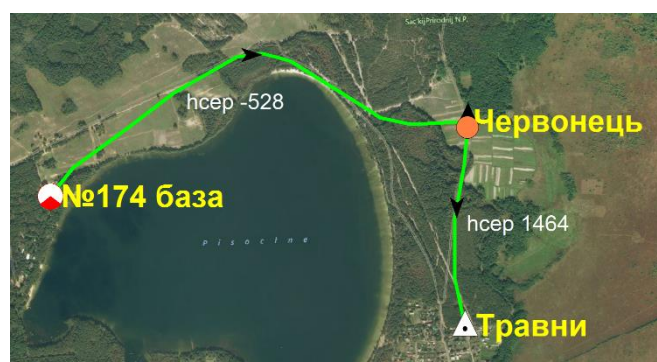
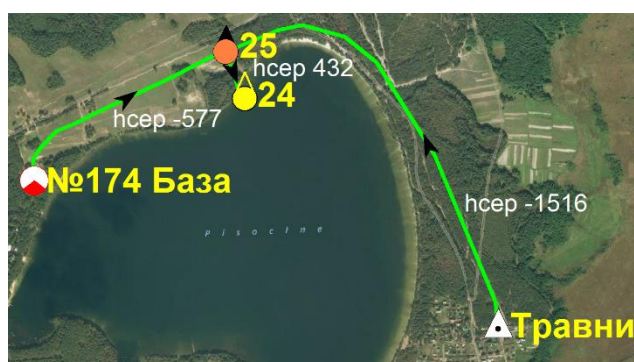


Рис. 10 Схема прив'язки свердловин №25,24, Червонець до реперів висотної геодезичної мережі



Рис. 11 Схема прив'язки свердловини №3 до реперів висотної геодезичної мережі

Опис свердловин ШНПП

Назва свердловини	Опис свердловини
Куш свердловин № 2н, № 2у	східний берег озера Велике Чорне (прибережна смуга), в зоні регульованої рекреації.
Куш свердловин № 12, № 13	східний берег озера Світязь (район церкви села Світязь), прибережна смуга озера.
№ 17	розміщена в зоні стаціонарної рекреації, на межі мішаного лісу і лук ур. Гушове.
№26, №27	розташовані неподалік озера Перемут в зоні лісу.
№7у	східний берег озера Пулемецьке, прибережна смуга озера.
«Червонець»	розташована неподалік озера Пісочне на хуторі Червонець
№3	розташована неподалік озера Кримно.
Створ свердловин оз. Пісочне – оз. Мошне:	
№4н, 4у	свердловини для спостереження за рівнем напірних (4н) та ґрунтових вод (4у), розміщені на південному березі озера Мошне, в заповідній зоні парку, у свіжому середньовіковому чорновільшанику.
№5у	розміщена в заповідній зоні парку, у середньовіковому сосновому лісі.
№6у	розміщена в заповідній зоні парку, у середньовіковому сосновому лісі (межа лісу і поля).
Куш свердловин № 24, № 25	північний берег озера Пісочне, в зоні стаціонарної рекреації, на підвищенні з ксерофітною рослинністю (гусяча лапка, подорожник ланцетолистий, кульбаба, спориш).
Створ свердловин оз. Люцимер – р. Прип'ять:	
№12у	розміщена в господарській зоні, на віддалі 152 м від озера Люцимер в напрямку села Плоске, в лісовому масиві з перевагою вільхи чорної
№13у	розміщена в зоні регульованої рекреації, в спілому сосновому лісі.
№14у	розміщена в господарській зоні, в спілому сосновому лісі.
№15у	розміщена в господарській зоні, в спілому сосновому лісі, біля підніжжя піщаного пагорба.