

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Група ГЗ-22-1

Вікторія Бенько

2026

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою

Бенько Вікторія Богданівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.16
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Особливості опрацювання результатів геодезичного моніторингу
осідань земної поверхні з підрахунком прогнозованих значень**

(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня

В. Б. Бенько

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Гринішак Микола Ярославович

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

геодезії та землеустрою

М.М. Приходько

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
Освітньо-професійна програма Геодезія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГКЗ
Приходько М. М.

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ
Бенько Вікторії Богданівні

1. Тема роботи «Особливості опрацювання результатів геодезичного моніторингу осідань земної поверхні з підрахунком прогнозованих значень»

Керівник роботи ст. викладач Гринішак М. Я.

Наказ ректора від «08» червня _____ 2026 року № 292/7.

2. Термін подання студентом роботи – 15 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи:

матеріали звіту, що містять результатами геодезичних спостережень за осіданнями ґрунтових реперів профільних ліній на рудниках «Голинь» та «Ново-Голинь» в межах с. Кропивник

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Історичні аспекти розробки родовища калійних солей на Калущині, що спричинило утворення зони екологічного лиха.

2. Характеристика висотної мережі ґрунтових реперів рудника «Ново-Голинь». Особливості підготовчих та польових робіт на об'єкті.

3. Особливості використання офісного програмного забезпечення для аналізу та прогнозування величин осідань земної поверхні.

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Схема профільних ліній нівелірної мережі I та II класів спостережної станції «Ново-Голинь».

2. Схема нівелірної мережі I-II класів спостережень за осіданнями земної поверхні рудника «Ново-Голинь» (с. Кропивник) у 2025 р.

3. Графіки осідання ґрунтових реперів окремих профільних ліній на території с. Кропивник за період 1968-2025 рр..

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1,2,3	Гринішак М.Я.		

7. Дата видачі завдання – «20» квітня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	Отримання завдання на виконання бакалаврської роботи. Опрацювання рекомендованої літератури.	20.04.26 26.04.26	
2	Складання попереднього плану та змісту бакалаврської роботи.	27.04.26 03.05.25	
3	Історичні аспекти розробки родовища калійних солей на Калушині, що спричинило утворення зони екологічного лиха.	04.05.26 18.05.26	
4	Характеристика висотної мережі ґрунтових реперів рудника «Ново-Голинь». Особливості підготовчих та польових робіт на об'єкті.	19.05.26 01.06.26	
5	Особливості використання офісного програмного забезпечення для аналізу та прогнозування величин осідань земної поверхні.	02.06.26 12.06.26	
6	Оформлення бакалаврської роботи та додатків до неї, складання висновків.	13.06.26 15.06.26	

Студент

(підпис)

Бенько В. Б.

(розшифровка підпису)

Керівник

(підпис)

Гринішак М. Я.

(розшифровка підпису)

Анотація

Бакалаврська робота присвячена дослідженню можливостей геодезичного моніторингу процесів осідання земної поверхні на території шахтних полів раніше розроблюваних калійних родовищ.

Предметом дослідження є методи геодезичного моніторингу осідань земної поверхні, результати високоточного нівелювання ґрунтових реперів спостережної мережі рудника «Ново-Голинь», а також способи прогнозування розвитку мульд осідання на основі багаторічних геодезичних спостережень.

Наведений детальний аналіз сучасного стану спостережуваної станції рудника «Ново-Голинь» в межах с. Кропивник. Обґрунтована доцільність вибору вихідного репера для мережі та показана доцільність застосування сучасного високоточного цифрового нівеліра для виконання польових вимірів.

Виконаний аналіз зміни швидкостей осідання за період 2021-2025 рр. дозволив виділити небезпечні зони, які в подальшому потребують особливої уваги. Результати дослідження можливостей використання вбудованих функцій Microsoft Excell для обчислення прогнозованих величин осідання ґрунтових реперів свідчать про більшу доцільність використання експоненціальної функції. Проте необхідно виконати дослідження можливостей використання поліноміальних функцій, пошук яких, на жаль, не автоматизованих в сучасному Microsoft Office.

Abstract

The bachelor's thesis is devoted to the study of the possibilities of geodetic monitoring of the processes of subsidence of the earth's surface in the territory of mine fields of previously developed potash deposits.

The subject of the study is methods of geodetic monitoring of subsidence of the earth's surface, the results of high-precision leveling of soil benchmarks of the observation network of the Novo-Golyn mine, as well as methods of predicting the development of subsidence of the molds based on long-term geodetic observations.

A detailed analysis of the current state of the observed station of the Novo-Golyn mine within the village of Kropyvnyk is presented. The feasibility of choosing the initial benchmark for the network is justified and the feasibility of using a modern high-precision digital level for performing field measurements is shown.

The analysis of the change in subsidence rates for the period 2021-2025 allowed us to identify dangerous zones that require special attention in the future. The results of the study of the possibilities of using built-in Microsoft Excel functions to calculate predicted values of soil benchmark settlements indicate a greater feasibility of using the exponential function. However, it is necessary to conduct a study of the possibilities of using polynomial functions, the search for which, unfortunately, is not automated in modern Microsoft Office.

Зміст

Вступ	7
1. ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ НА КАЛУЩИНІ, ЩО СПРИЧИНИЛО УТВОРЕННЯ ЗОНИ ЕКОЛОГІЧНОГО ЛИХА	8
1.1 Відомості про Калуш-Голинське родовище калійних солей.....	8
1.2 Причини та характер негативних наслідків у результаті розробки калійного родовища.....	11
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИСОТНОЇ МЕРЕЖІ ҐРУНТОВИХ РЕПЕРІВ РУДНИКА НОВО-ГОЛИНЬ». ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ТА ПОЛЬОВИХ РОБІТ НА ОБ'ЄКТІ.....	18
2.1 Відомості про мережу геодезичної спостережної станції рудника «Ново-Голинь» та її сучасний стан	18
2.2 Аналіз реперної основи спостережуваної станції з метою встановлення найстабільнішого репера висотної мережі.....	20
2.3 Методика польових спостережень з метою визначення осідань земної поверхні в межах с. Кропитвник.....	25
3 ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОФІСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЛИЧИН ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ	29
3.1 Аналіз результатів осідання земної поверхні в межах с. Кропивник за матеріалами геометричного нівелювання 2025 р.....	29
3.2 Дослідження можливостей автоматизованого прогнозування величин осідань реперів з використанням функцій Microsoft Excel	37
Висновки	42
Список використаних джерел.....	44

Вступ

Інтенсивна експлуатація Калуш-Голинського родовища калійних солей у межах територій м. Калуш, с. Кропивник та с. Сівка-Калуська спричинила суттєві зміни інженерно-геологічних умов регіону. Наслідком багаторічної гірничодобувної діяльності стали значні деформації земної поверхні, утворення карстово-суфозійних провалів, засолення водоносних горизонтів прісних підземних вод та інші негативні геодинамічні процеси. Зазначені явища становлять потенційну небезпеку для населення, інженерної інфраструктури та об'єктів житлової забудови, а в окремих випадках можуть призводити до аварійних ситуацій і створювати загрозу життю та здоров'ю людей.

З метою своєчасного виявлення небезпечних проявів техногенного впливу та оцінювання розвитку деформаційних процесів на територіях, що зазнали впливу підземного видобутку корисних копалин, необхідним є проведення систематичного геодезичного моніторингу. Регулярні спостереження дозволяють контролювати зміни висотного положення земної поверхні, фіксувати активізацію процесів осідання та своєчасно інформувати органи місцевого самоврядування і населення про можливе виникнення небезпечних геологічних явищ.

Метою дослідження є визначення сучасного стану та закономірностей розвитку процесів осідання земної поверхні в межах шахтних полів рудника «Ново-Голинь» на основі результатів високоточного геометричного нівелювання, а також оцінювання можливостей прогнозування подальших деформацій за даними геодезичного моніторингу.

Актуальність виконання систематичного геодезичного моніторингу деформацій земної поверхні, оцінювання динаміки їх розвитку та розроблення методів прогнозування подальших осідань зумовлена необхідністю своєчасного виявлення потенційно небезпечних зон і забезпечення безпеки населення та об'єктів інфраструктури.

1 ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ НА КАЛУЩИНІ, ЩО СПРИЧИНИЛО УТВОРЕННЯ ЗОНИ ЕКОЛОГІЧНОГО ЛИХА

1.1 Відомості про Калуш-Голинське родовище калійних солей

Калусько-Голинське родовище є одним із найбільш значущих родовищ калійних солей України, яке розташоване в межах внутрішньої частини Передкарпатського передового прогину на території Калуського району Івано-Франківської області. Цей гірничо-геологічний об'єкт характеризується винятковими природними та історичними особливостями, що зумовлюють його унікальність. Важливе значення родовища визначається не лише значними запасами калійних і кам'яних солей, а й тривалою історією їх освоєння. Поклади кам'яної солі на цій території розроблялися протягом багатьох століть, що свідчить про давні традиції солевидобування та вагому роль родовища в господарському розвитку регіону.

Перші відомості про наявність калійних солей у межах Калуського родовища належать до початку XIX століття. Виявлення цих мінеральних утворень стало важливою подією в історії освоєння родовища, однак на той час їхнє практичне та економічне значення ще не було належним чином оцінене. Більше того, присутність калійних компонентів у розсолах негативно впливала на якість продукції солеварного виробництва. У процесі випарювання таких розсолів отримувана кухонна сіль набувала характерного гіркуватого присмаку, що суттєво знижувало її споживчі властивості та ускладнювало реалізацію.

Одне з перших документально зафіксованих виявлень калійних мінералів було здійснено у 1804 році під час розширення стовбура шахти № IV. На глибині близько 50 м у соленосній товщі було встановлено наявність мінеральних утворень, які в подальшому були ідентифіковані як каїніт – один із найважливіших калійно-магнієвих мінералів родовища.

Подальші геолого-розвідувальні та гірничі роботи сприяли розширенню знань про мінеральний склад Калуського родовища. Зокрема, у 1826 та 1834

роках під час поглиблення шахти № VII та виконання навколостовбурних виробок було виявлено поклади сильвініту. Встановлення наявності цього мінералу мало важливе значення для подальшого вивчення калійних ресурсів регіону та створило передумови для майбутнього промислового освоєння калійно-сольової сировини.

Промислове значення досліджуваного родовища зумовлене наявністю значних запасів полімінеральних калійно-магнієвих солей, які залягають у товщі кам'яної солі. Освоєння родовища здійснювалося шляхом підземного видобутку на трьох рудниках, а також відкритим способом у Домбровському кар'єрі, який є унікальним об'єктом світової гірничодобувної практики. Видобута сировина надходила на переробку спочатку до калійного заводу, а в подальшому – до хіміко-металургійного комбінату (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Сучасний стан колишнього хіміко-металургійного комбінату

Інтенсивний розвиток гірничо-хімічної промисловості в місті Калуш розпочався після введення в експлуатацію у 1959 році хіміко-металургійного комбінату, створеного на базі Калуш-Голинського родовища калійних руд. До виробничої структури підприємства входили хімічна фабрика, рудник «Голинь» та Домбровський кар'єр. Проектна потужність фабрики становила 2,5 млн. т руди на рік, з яких близько 0,5 млн. т забезпечував кар'єрний видобуток, тоді як решта 2 млн. т надходила з підземних гірничих виробок.

Експлуатація рудника «Калуш» тривала понад століття. Після завершення його діяльності було реалізовано комплекс ліквідаційних заходів, що передбачав заповнення відпрацьованого підземного простору соляними розсолами загальним об'ємом 2502 тис. м³. Зазначені роботи сприяли частковій

стабілізації геомеханічних процесів та зменшенню інтенсивності осідань земної поверхні.

Розробка рудника «Ново-Голинь» здійснювалася протягом 1966–1995 років. За період його функціонування було сформовано близько 12 млн. м³ підземних порожнин. Ліквідаційні роботи розпочалися у 1996 році, а станом на 1 січня 2010 року до гірничих виробок було закачано приблизно 6,3 млн м³ розсолів.

Рудник «Голинь» перебував в експлуатації з 1930 до 1972 року. У результаті видобувних робіт утворився підземний вироблений простір загальним об'ємом близько 1,7 млн. м³. Проєктом освоєння Домбровського кар'єру передбачався поділ території на дві технологічні ділянки – північну та південну. Відпрацювання південної частини було завершено у 1982 році, після чого вона була повністю заповнена розсолами. На виробничій базі хіміко-металургійного комбінату в подальшому сформувався один із найбільших промислових комплексів України – концерн «Оріана».

У зв'язку з повним відпрацюванням промислових запасів рудника «Голинь» його експлуатацію було припинено у 1995 році.

Для забезпечення подальшого нарощування обсягів видобутку калійної руди у 1979 році було розпочато будівництво нового рудника «Пійло». Однак через складні економічні та виробничі умови наприкінці 1980-х років реалізацію проєкту було призупинено, а подальші будівельні роботи фактично припинені.

Особливе місце серед об'єктів гірничодобувного комплексу Калуського промислового району займає Домбровський кар'єр (рис. 1.2). На сьогодні значна частина кар'єру перебуває у затопленому стані, що суттєво ускладнює перспективи його подальшої експлуатації та ставить під сумнів можливість відновлення видобувних робіт.



Рисунок 1.2 – Затоплений Домбровський кар'єр

Інтенсивне затоплення північної частини кар'єру розпочалося у травні 2007 року. Основними чинниками цього процесу стало надходження засолених вод із дренажних каналів, а також часткове фільтраційне живлення через галькові відклади з боку річки Сівка. Подальше накопичення води в кар'єрі спричинило активізацію небезпечних геологічних процесів, пов'язаних із розчиненням соленосних порід.

Результати проведених геофізичних досліджень засвідчили безперервне поширення соленосних пластів на території між руслом річки Сівка та Домбровським кар'єром. Отримані дані свідчать про відсутність природних геологічних бар'єрів, здатних обмежити розвиток карстових процесів. У зв'язку з цим припущення щодо можливого припинення карстоутворення внаслідок виклинювання соляних пластів не підтверджуються фактичними результатами досліджень, а ризик подальшого розвитку карстово-суфозійних явищ залишається актуальним.

1.2 Причини та характер негативних наслідків у результаті розробки калійного родовища

Упродовж тривалого періоду інтенсивне освоєння природних ресурсів Калуського гірничопромислового району здійснювалося без належного врахування екологічних та інженерно-геологічних обмежень. Наслідком такої господарської діяльності стало формування на території міста Калуш та

прилеглих населених пунктів складної екологічної ситуації, яка набула ознак надзвичайного характеру. На сьогодні окремі ділянки міської забудови та території навколишніх сіл зазнають деформацій земної поверхні, що створює загрозу для житлового фонду та інженерної інфраструктури і потребує відселення частини людей із зон підвищеного ризику.

Виникнення та розвиток несприятливих екологічних процесів пов'язані насамперед із недосконалими проєктними рішеннями щодо розміщення та експлуатації хвостосховищ, солевідвалів, накопичувальних ємностей для промислових відходів, а також із неефективними методами ліквідації відпрацьованих гірничих виробок. У результаті функціонування підприємств гірничо-хімічного комплексу було суттєво порушено природний баланс геологічного середовища в межах Калуш-Голинського родовища калійних солей.

Людське втручання у структуру соленосного масиву спричинило активізацію низки небезпечних інженерно-геологічних процесів, зокрема карстово-суфозійних явищ та нерівномірних осідань земної поверхні. Наслідком цього стало утворення численних провалів і деформацій території, що призвели до пошкодження житлових будівель, транспортних мереж та інженерних комунікацій у межах шахтних полів міста Калуш, а також сіл Кропивник і Сівка Калуська. Подальший розвиток зазначених процесів потребує постійного моніторингу геодинамічного стану території та впровадження комплексу природоохоронних і протиаварійних заходів.

У 1980-х роках з метою ліквідації наслідків підземного видобутку калійних солей було реалізовано проєкт заповнення частини відпрацьованих гірничих виробок спеціальними високомінералізованими розсолами, розроблений фахівцями Московського інституту. Передбачалося, що внаслідок поступової кристалізації солей відбудеться ущільнення та стабілізація підземного простору, що мало запобігти подальшому розвитку деформаційних процесів.

Однак фактичні умови експлуатації виявилися відмінними від прогнозованих. Проникнення прісних підземних і поверхневих вод у гірничі

виробки спричинило розчинення розсолів та активізацію процесів вилугування соленосних порід. У результаті цього відбулося формування порожнин у масиві гірських порід, що згодом призвело до виникнення карстово-суфозійних провалів земної поверхні.

Один із перших значних провалів спричинив утворення водойми площею близько 6 га поблизу житлової забудови на вулиці Литвина (м. Калуш). Внаслідок розвитку деформаційних процесів дно сформованого озера опустилося на глибину приблизно 8-10 м. Надалі аналогічні явища почали фіксуватися й в інших районах міста, де осідання ґрунтового масиву призводили до значних пошкоджень житлових будівель та інженерної інфраструктури.

За результатами досліджень, проведених Інститутом спеціальної геологорозвідки у 2008 році, на території Калуша було зафіксовано 24 карстово-суфозійні провали, утворення яких пов'язується з виходом розсолів на поверхню. Використання геофізичних методів, зокрема електророзвідувальних досліджень, дало змогу встановити наявність потенційно небезпечних зон у товщі порід. Отримані результати свідчать про можливість формування значно більшої кількості деформаційних утворень, прогнозована кількість яких може перевищувати 150 об'єктів.

Гірничі роботи з видобутку калійних солей здійснювалися також у межах територій, прилеглих до річки Лімниця. Унаслідок тривалого надходження прісних вод до відпрацьованих гірничих виробок відбуваються процеси інтенсивного розчинення соленосних порід, що супроводжуються змінами гідрогеологічного режиму території. Одним із проявів цих змін є порушення природного стоку поверхневих вод, зокрема зникнення окремих водотоків, що може свідчити про активізацію процесів підземної фільтрації та карстоутворення.

Особливу небезпеку становлять території, де гірничі роботи виконувалися багатоярусним способом. Якщо в межах рудника «Калуш» видобування корисних копалин здійснювалося переважно в одному горизонті на глибинах до

100 м, то на рудниках «Ново-Голинь» і «Голинь» експлуатація родовища проводилася на декількох рівнях (територія в межах с. Кропивник – рис. 1.3). Така особливість будови підземного виробленого простору суттєво підвищує ризик виникнення масштабних деформацій земної поверхні, включаючи осідання та провали, глибина яких за окремими прогнозами може досягати 20–30 м.



Рисунок 1.3 – Видобувні шахти в межах с. Кропивник

Стан підземних виробок різних рудників характеризується неоднаковими умовами. Зокрема, вироблений простір рудника «Калуш» переважно заповнений високомінералізованими розсолами, тоді як у межах рудника «Голинь» збереглися значні незаповнені порожнини. Площа території, під якою розташовані зазначені виробки, перевищує 70 га. У межах потенційно небезпечної зони знаходяться населені пункти Кропивник та Сівка Калуська, що зазнають впливу техногенно зумовлених геодинамічних процесів.

Згідно з наявними оцінками, у межах територій, що перебувають під впливом колишніх гірничих виробок Калуського гірничопромислового району, переселення може потребувати понад тисяча домогосподарств. Реалізація відповідних заходів із відселення населення та забезпечення його новим

житлом потребуватиме значних фінансових ресурсів, обсяг яких оцінюється у сотні мільйонів гривень станом на 2015 р.

У період функціонування калійного виробництва постійний контроль за станом земної поверхні та гірничого масиву здійснювала маркшейдерська служба підприємства. До її основних завдань належало проведення систематичних геодезичних і маркшейдерських спостережень, оцінка величин осідання земної поверхні, а також виявлення потенційно небезпечних зон, пов'язаних із наявністю підземних виробок та розвитком деформаційних процесів.

Після припинення діяльності підприємства регулярний моніторинг геодинамічного стану території фактично було згорнуто. Упродовж 2001-2012 рр. та 2014-2020 рр. комплексні геодезичні спостереження за деформаціями земної поверхні не проводилися, що суттєво ускладнює оцінку поточного стану територій, які перебувають під впливом колишніх гірничих робіт.

Водночас місцеве населення продовжувало спостерігати прояви негативних геологічних процесів. На окремих ділянках фіксуються поступові осідання поверхні, утворення локальних понижень рельєфу та невеликих водойм (рис. 1.4), що свідчить про подальший розвиток деформацій у підземному середовищі. Такі явища є характерними для територій, де відбуваються процеси розчинення соленосних порід і трансформації підземного виробленого простору.

За наявними даними, у межах рудника «Ново-Голинь» тривалий час не спостерігалось ознак різкого погіршення геомеханічної ситуації, а деформаційні процеси перебували на початковій стадії розвитку. Однак останні інструментальні спостереження на цій території були виконані у 2010 році, що не дозволяє об'єктивно оцінити сучасний стан гірничого масиву та динаміку його змін.



Рисунок 1.4 – Новоутворена водойма на території с. Кропивник

Для своєчасного виявлення небезпечних процесів необхідним є проведення систематичного геодезичного моніторингу, який має включати визначення швидкості осідань земної поверхні, аналіз деформаційних характеристик рельєфу та оцінку кривизни поверхні в межах потенційно небезпечних ділянок. На основі отриманих результатів можливе прогнозування розвитку карстово-суфозійних явищ і визначення рівня ризику для населення та об'єктів інфраструктури.

Відповідно до вимог інженерно-геодезичного контролю, спостереження за деформаційними процесами на територіях, що зазнали впливу гірничих робіт, доцільно проводити не рідше одного разу на рік. У разі виявлення ознак активізації небезпечних процесів періодичність вимірювань повинна бути збільшена до двох-трьох циклів на рік. При досягненні критичних значень деформаційних показників необхідно невідкладно реалізовувати комплекс заходів щодо захисту населення, включаючи організацію відселення мешканців із зон підвищеної небезпеки.

Висновок: інтенсивна розробка родовища калійних солей на території населених пунктів м. Калуш, с. Кропивник та с. Сівка-Калуська призвела до

негативних наслідків у вигляді значних осідань земної поверхні, утворення карстових провалів, засолення прісних водоносних горизонтів та ін. Такі явища створюють великі труднощі для місцевого населення і навіть можуть призвести до руйнівних чи летальних випадків. З метою своєчасного попередження влади та місцевого населення для виявлення небезпечних наслідків видобувної діяльності необхідно виконувати щорічний геодезичний моніторинг на небезпечних ділянках. Це дозволяє зафіксувати інтенсифікацію процесів осідання земної поверхні та попередити можливу небезпеку.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИСОТНОЇ МЕРЕЖІ ҐРУНТОВИХ РЕПЕРІВ РУДНИКА НОВО-ГОЛИНЬ». ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВЧИХ ТА ПОЛЬОВИХ РОБІТ НА ОБ'ЄКТІ

2.1 Відомості про мережу геодезичної спостережної станції рудника «Ново-Голинь» та її сучасний стан

Спостережна геодезична станція на території шахтних полів рудника «Ново-Голинь» була створена у 1968 році з метою здійснення систематичного контролю за деформаціями земної поверхні, спричиненими веденням гірничих робіт. У процесі експлуатації рудника мережа станції неодноразово модернізувалася шляхом прокладання нових профільних ліній та подовження вже існуючих. Загалом до складу спостережної мережі входило 15 профільних ліній, кожна з яких налічувала від 12 до 50 реперів (Додаток А).

Для закріплення пунктів використовувалися ґрунтові реperi без зовнішнього маркування. З метою запобігання їх пошкодженню під час виконання сільськогосподарських та інших земляних робіт реперні марки встановлювалися на глибині не менше 0,5 м від поверхні землі.

До 1996 року спостереження за зміною висот реперів проводилися регулярно та відповідали вимогам щодо точності вимірювань. У подальший період, до 2021 року, моніторингові роботи виконувалися лише епізодично. Аналіз матеріалів спостережень, отриманих після 1996 року, виявив наявність окремих помилок і невідповідностей у результатах вимірювань.

Тривала відсутність систематичних польових робіт, яка на окремих профільних лініях перевищувала 15 років, призвела до втрати візуальних ознак закладання значної частини реперів. Це стосувалося не лише орних земель, а й інших категорій територій. Унаслідок цього процес пошуку та ідентифікації пунктів спостережної мережі, виконаний працівниками ІФНТУНГ у 2013 р., був суттєво ускладнений.

Додаткові труднощі виникали через невідповідність між проектними та фактичними відстанями між окремими реперами. Для підтвердження факту

втрати пункту в багатьох випадках виникала необхідність обстеження ділянки площею до 10–15 м². Високу ефективність під час пошуку реперів на сільськогосподарських угіддях продемонструвало використання металошукача-магнітометра (рис. 2.1), що дозволяло значно скоротити обсяги земляних робіт і підвищити результативність пошукових заходів. У зв'язку з цим застосування зазначеного обладнання доцільно рекомендувати для подальших обстежень геодезичних мереж аналогічного призначення.



Рисунок 2.1 – Пошук ґрунтових реперів з допомогою металошукача-магнітометра

Водночас на забудованих територіях ефективність використання металошукачів була суттєво нижчою через наявність великої кількості металевих об'єктів техногенного походження. У таких умовах основним методом пошуку залишалося виконання шурфування. Незважаючи на зазначені труднощі, проведені роботи дали змогу виявити значну кількість реперів, які раніше вважалися втраченими, що стало важливим етапом відновлення та актуалізації спостережної геодезичної мережі.

Починаючи з 2021 р. щорічний геодезичний моніторинг шахтних полів рудника «Ново-Голинь» відновився завдяки співпраці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу з управлінням з питань надзвичайних ситуацій Калуської міської ради. Щоправда, починаючи з 2024 р., спостереження за осіданнями ґрунтових реперів проводилися тільки в межах с. Кропивник тоді, як на території с. Сівка Калуська роботи було припинено через брак фінансування. Пояснюється це ще й тим, що, аналізуючи динаміку осідань земної поверхні в межах с. Сівка Калуська за період 2021-2023 рр., встановлено стадію затухання процесу.

Перед початком виконання кожної серії геодезичних спостережень проводиться комплекс підготовчих робіт, який включав пошук, розкриття та обстеження ґрунтових реперів, закладених на профільних лініях спостережної станції. У процесі рекогностувального обстеження встановлено, що окремі пункти зазнали пошкоджень унаслідок впливу господарської діяльності та проведення сільськогосподарських робіт. Зокрема, ознаки порушення конструкції або зміни положення були виявлені на реперах Рп 124, Рп 134, Рп 146, Рп 147, Рп 283 та Рп 284 рудника «Ново-Голинь».

Оскільки вказані репери знаходяться на кінцях профільних ліній і були розташовані за межами прогнозованої зони осідання земної поверхні, то їх знищення утруднює процес виконання геодезичних спостережень та значно погіршує точність кінцевих результатів. Тому необхідне повторне закладання цих пунктів з урахуванням сучасного стану мульди осідання земної поверхні та динаміки її подальшого розвитку.

2.2 Аналіз реперної основи спостережуваної станції з метою встановлення найстабільнішого репера висотної мережі

З метою визначення найбільш стабільного вихідного пункту для подальшого виконання геодезичного моніторингу було проведено спеціальне дослідження опорної мережі спостережної станції рудника «Ново-Голинь». У ході дослідження спочатку проаналізовано матеріали висотних спостережень за

опорними ґрунтовими реперами профільних ліній за період з липня 1968 року по грудень 2013 року (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Висоти опорних та вузлових реперів

№ репера	Висота на дату спостережень , мм		
	1968 рік	1979 рік	2013 рік
1	2	3	4
Репери на кінцях профільних ліній			
189	314255		314259
235	313688		313683
XYI	309090		309066
133	310130		310097
XY	316128		316067
111	315924		315585
235	313688		313683
X	310034		310015
206	308594		
VIII/67	307482		307482
63		306824	306809
222		309649	309613
49/22	311982		311730
4	310787		310668
I	311540		311447
33	311040		311043
84	313191		313189

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
85	313485		313490
195	314220		314224
XX	311256		311172
162	304129		304078
284	301016		301016
VI	304671		304686
YIII	302954		
283	301058		301058
Вузлові репери			
275/125	311332		311084
122/224	313138		312880
265	309195		309080
4	310787		310668
63	309811		309809
49/22	311982		311730
162	304124	304118	304078
XXX/253	306728	306715	306614
35/13	301288		301278

Для профільних ліній, на кінцях яких опорні репери були втрачені або відсутні, аналізувалася динаміка зміни висот крайніх збережених реперів. З метою оцінки стабільності окремих пунктів було виконано декілька варіантів зрівнювання геодезичної мережі. При цьому як вихідні (тверді) послідовно

приймалися репери Рп 33, Рп VIII та Рп XI, розташовані на території охоронних ціликів у крайніх частинах профільних ліній.

Вихідними для аналізу були висоти опорних реперів, визначені за результатами вимірювань 1968 року та прийняті як еталонні. Для порівняння використовувалися також значення висот, отримані за результатами зрівнювання мережі за матеріалами спостережень 2013 року. До подальшого аналізу були включені лише ті репери, стабільність положення яких не викликала сумнівів за результатами багаторічних спостережень (відомість їх висот наведена в таблиці 2.2).

Таблиця 2.2

*Динаміка зміни висот опорних деформаційних реперів спостережної станції
«Ново-Голинь»*

№ репера	Висота за результатами вимірів 1968 р., мм	Висота за результатами зрівнювання вимірів 2013 р., мм	Осідання, мм
VIII	307482	307482	0
67	307616	307616	0
33	311040	311043	+3
84	313189	313191	2

Порівняльна оцінка результатів зрівнювання показала, що найкращі показники точності були досягнуті у варіанті, коли за твердий пункт приймався репер Рп 33. Для цього випадку характерними є мінімальні значення середньої квадратичної похибки одиниці ваги, отриманої під час зрівнювання результатів вимірювань 2013 року, а також найкраща узгодженість розрахованих висот із вихідними значеннями, визначеними у 1968 році.

Додаткове підтвердження стабільності зазначеного пункту було отримано шляхом порівняння перевищень між репером Рп 33 та вузловими пунктами

мережі за результатами спостережень станом на грудень 2013 року та серпень 2021 року (таблиця 2.3). Проведений аналіз засвідчив відсутність суттєвих змін у взаємному положенні репера Рп 33 відносно кінцевих пунктів профільних ліній, що свідчить про його високу просторову стабільність.

Таблиця 2.3

Динаміка зміни перевищень у мережі спостережної станції «Ново-Голинь» за період 2013-2021 рр.

Назва ходу	Перевищення, мм		
	2013 р.	2021 р.	Змінилось з 2013 р. по 2021 р.
1	2	3	4
33-25	-7364	-7358.3	5.7
33-30	-8711	-8708.9	2.1
33-11	-10009	-10012.7	-3.7
33-43	-9924	-9937.7	-13.7
33-III	-452	-1443.2	-991.2
33-31	17	14.7	-2.3
33-XI	2447	2443.7	-3.3
33-195	3181	3080.9	-100.1
33-258	8066	8059.7	-6.3
33-167	-5319	-5316.2	2.8
33-280	-5778	-5777.5	0.5
33-256	-7147	-7147.8	-0.8
33-259	-7552	-7547.8	4.2
Район нового озера			
33-205	-2868	-2877.3	-9.3
33-IX	-1525	-1543.2	-18.2
33-XVI	-1977	-1982.0	-5.0

1	2	3	4
33-131	-420	-430.3	-10.3
33-189	3217	3213.9	-3.1
33-236	3122	3121.8	-0.2
33-112	4926	4905.7	-20.3
33-125	6	-898.4	-904.4
33-265	-1746	-1865.0	-119.0
33-122	1837	790.0	-1047.0
33-272	504	-1215.7	-1719.7

Важливою перевагою репера Рп 33 є його розташування поблизу центральної частини схеми нівелірних ходів. Його висота прийнята $H = 311,040$ м, а використання, як вихідного, забезпечує найбільш сприятливі умови для зрівнювання мережі та дозволяє мінімізувати середню квадратичну похибку визначення висот найменш надійних пунктів спостережної станції. Отримані результати дають підстави рекомендувати репер Рп 33 як основний опорний пункт для подальшого виконання високоточного геодезичного моніторингу деформацій земної поверхні на території шахтного поля рудника «Ново-Голинь».

2.3 Методика польових спостережень з метою визначення осідань земної поверхні в межах с. Кропитвник

У червні-липні 2025 року виконано комплекс польових геодезичних робіт, метою яких було визначення актуальних абсолютних висотних відміток реперів та встановлення величин осідань пунктів дев'яти профільних ліній, розташованих на території села Кропитвник. Висотні вимірювання здійснювалися методом геометричного нівелювання із застосуванням високоточного електронного нівеліра DL-501 (серійний номер 560168),

оснащеного системою автоматичного зчитування відліків за штрихкодovими рейками (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Нівелювання в с. Кропивник електронним нівеліром TOPCON DL-501 та комплектом фібергласових штрихкодovих рейок

Перед початком польових спостережень було проведено комплекс досліджень та перевірок нівеліра відповідно до вимог експлуатаційної документації виробника і чинних нормативно-технічних документів. Зокрема, виконано визначення кута нахилу візирної осі приладу (і) з використанням вбудованих автоматизованих функцій програмного забезпечення приладу. Особливістю високоточного електронного нівеліра DL-501 є автоматичне врахування поправки за кут (і) під час обробки результатів вимірювань на

кожній станції нівелювання, що сприяє підвищенню точності визначення перевищень.

Польові роботи виконувалися за спеціалізованою методикою спостережень, розробленою для даного об'єкта у 2012 році та адаптованою до умов проведення сучасного геодезичного моніторингу. Схема спостережень 2025 року (додаток Б) складалася з нівелірних ходів II класу точності, які формували єдину висотну мережу, що об'єднувала опорні репери, розташовані на кінцях профільних ліній, а також вузлові репери, які знаходяться в місцях їх перетину. Така конфігурація мережі забезпечувала необхідний рівень контролю точності вимірювань і надійність результатів зрівнювання.

Для контролю якості польових робіт та оцінювання точності вимірювань використовувалися службові допуски, розраховані для кожного полігону нівелірної мережі. Контроль здійснювався за величинами нев'язок, які визначалися відповідно до встановлених нормативних вимог.

Вимірювання перевищень виконувалися за методикою високоточного цифрового геометричного нівелювання коротким променем із дотриманням ряду технічних обмежень. Висота променя візування над поверхнею землі не перевищувала 1,8 м, а різниця довжин плечей на станції обмежувалася значенням 1,0 м. На зв'язуючих пунктах нівелірної мережі рейки встановлювалися виключно на спеціальні нівелірні підкладини (костилі або башмаки). Як нівелір, так і підкладини розміщувалися лише на стабільній основі – щільному ґрунті або бетонному покритті, що дозволяло мінімізувати вплив випадкових зміщень обладнання на результати вимірювань.

Оцінювання якості виконаних спостережень здійснювалося шляхом перевірки встановлених службових допусків. Зокрема, різниця між перевищеннями, визначеними на одній станції при різних горизонтах приладу, не повинна була перевищувати 0,3 мм. Крім того, для кожного полігону мережі контролювалися допустимі нев'язки, величина яких визначалася залежно від кількості станцій нівелювання (n) відповідно до розрахункової залежності:

$$fh_{\text{дон}} = 0,3 * \sqrt{n} \quad (2.1)$$

Реєстрація результатів польових вимірювань здійснювалася за допомогою внутрішньої пам'яті електронного нівеліра DL-501, яка забезпечує збереження до 10000 відліків. Первинне опрацювання результатів виконувалося безпосередньо в день проведення спостережень із використанням персональних комп'ютерів. Для контролю правильності визначених перевищень та подальшої обробки даних застосовувалося програмне середовище Microsoft Office Excel. На базі табличного процесора було створено електронні форми польових журналів нівелювання у форматі *.xls, що дозволило автоматизувати обчислення, оперативно виявляти можливі помилки та підвищити ефективність камерального опрацювання результатів вимірювань.

Висновок: спостережувана станція шахтного поля «Ново-Голинь» в межах с. Кропивник була закладена в основному ще 1968 р. В результаті ведення будівельних та сільськогосподарських робіт частина ґрунтових реперів була втрачена. Тому необхідне відновлення хоча б кінцевих пунктів, розташованих за межами наявних мульд осідання.

В результаті аналізу стабільності існуючих реперів, виконаного в 2013 р. та 2021 р., найстабільнішим станом на 2021 р. виявився Рп 33, висота якого і приймалася вихідною під час спостережень у період 2021-2025 рр. Проте наявність у відомостях серії спостережень 2025 р. реперів з додатними величинами осідань, хоча й незначними, свідчить про доцільність виконання повторного дослідження стабільності Рп 33.

Використання високоточного цифрового нівеліра TOPCON DL-501 з фібергласовими кодовими рейками та спеціально розробленої для даного об'єкту методики нівелювання забезпечує досягнення точності визначення висот досліджуваних реперів, що відповідає II класу нівелювання.

З ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОФІСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЛИЧИН ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

3.1 Аналіз результатів осідання земної поверхні в межах с. Кропивник за матеріалами геометричного нівелювання 2025 р.

За результатами геодезичного моніторингу, виконаного методом високоточного геометричного нівелювання реперів профільних ліній рудника «Ново-Голинь» у межах території с. Кропивник, проведено комплексне опрацювання отриманих даних. Основною метою обробки результатів було визначення фактичних і прогнозованих величин осідань земної поверхні, обчислення середньорічних швидкостей деформаційних процесів, а також побудова мульд осідання для досліджуваної території.

Перед початком камерального опрацювання результати польових спостережень були перенесені з електронного нівеліра DL-501 на персональний комп'ютер із використанням програмного забезпечення Topcon Link 8.2. Зазначена програма забезпечує автоматичне зчитування інформації з пам'яті приладу та конвертацію польових журналів у формат *.sdr, придатний для подальшої математичної обробки.

Зрівнювання матеріалів спостережень виконувалося параметричним методом із одночасною оцінкою точності результатів вимірювань. Для цього використовувався спеціалізований програмний комплекс, алгоритми якого базуються на розв'язанні оптимізаційних задач нелінійного програмування. Такий підхід дозволив забезпечити високу надійність отриманих результатів та здійснити контроль їхньої внутрішньої узгодженості.

Детальні результати автоматизованого опрацювання, що містять інформацію про виміряні та зрівняні перевищення для всіх нівелірних ходів, наведені в додатку Б. Аналогічно до попередніх циклів спостережень, за результатами аналізу стабільності опорної мережі (п.п. 2.2 кваліфікаційної роботи) найбільш надійним вихідним пунктом для мережі спостережної станції

рудника «Ново-Голинь» визнано репер Рп 33 з абсолютною відміткою $H = 311,038$ м.

Усі результати геодезичного моніторингу за період 1968-2025 років внесено до електронної бази даних, що забезпечує можливість довгострокового аналізу деформаційних процесів. На основі накопичених матеріалів побудовано графіки осідань земної поверхні, які відображають динаміку зміни висотного положення реперів кожної профільної лінії від моменту їх закладання до червня 2025 року.

З аналізу результатів спостережень за період 2021-2024 рр. у межах с. Кропивник чітко прослідковується активізація процесів осідання на двох ділянках.

Перша ділянка розташована у східній частині села в зоні розташування житлових будинків та господарський дворів (початок вул. І. Франка) в районі вузлового репера Рп 22/49 (додаток Б). Наведемо детальний аналіз результатів спостереження за осіданнями ґрунтових реперів трьох профільних ліній, розташованих на вказаній території. Початок спостережень за реперами даних ліній датується 1968 р.

Профільна лінія Рп 22/49 – Рп V (с. Кропивник). За результатами геодезичного моніторингу станом на червень 2025 року сумарні величини осідань земної поверхні в межах цієї лінії змінюються від -2,0 до -594,9 мм. Аналіз графіка розподілу осідань (рис. 3.1) свідчить про наявність чітко вираженого центру мульди осідання в районі репера Рп 22/49.

Дослідження динаміки деформаційних процесів показало тенденцію до зростання інтенсивності осідань. Зокрема, на ділянці між реперами Рп 46 та Рп 22/49 середньорічна швидкість осідання у період 2022–2023 рр. становила від -24,4 до -44,7 мм/рік, тоді як у 2023–2024 рр. цей показник зріс до значень від -30,3 до -70,5 мм/рік. Подальше прискорення процесу зафіксовано у 2024–2025 рр., коли на репері Рп 48 середньорічна швидкість осідання досягла -83,0 мм/рік, що свідчить про активізацію деформаційних процесів у межах даної ділянки.

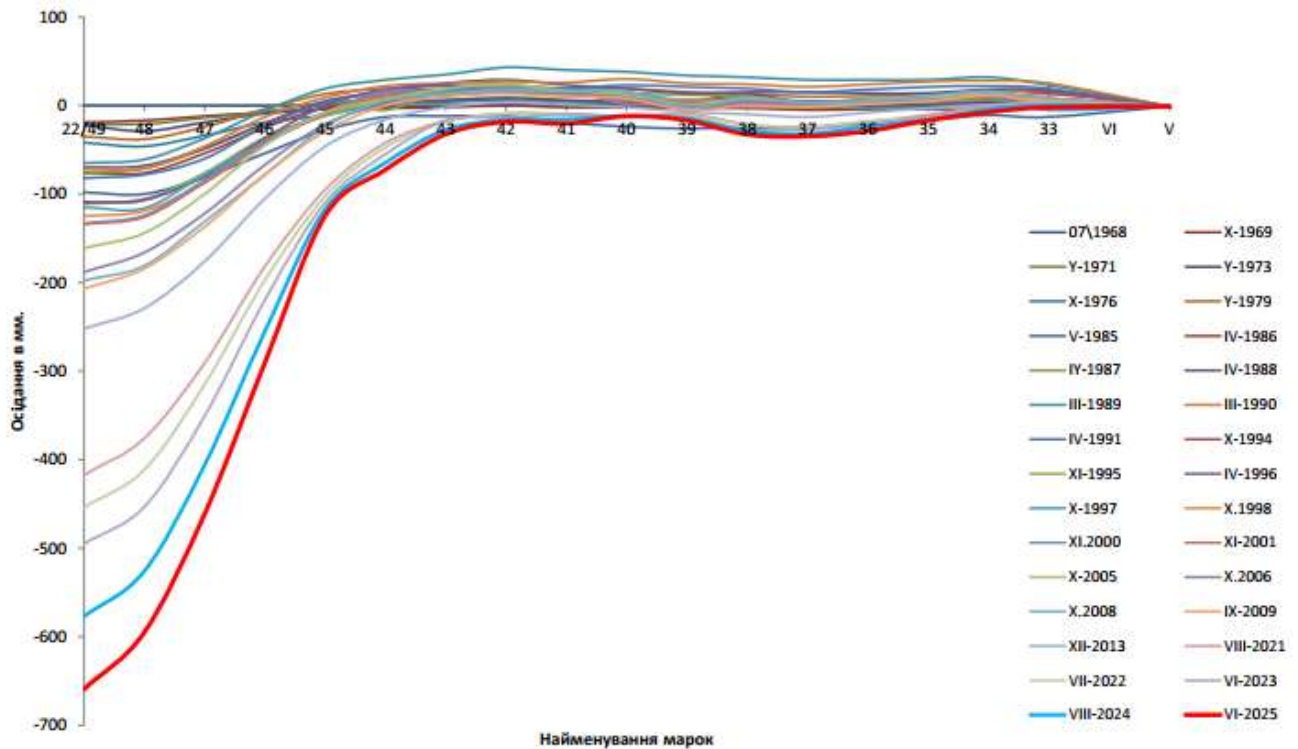


Рисунок 3.1 – Графік з відображенням динаміки осідань ґрунтових реперів профільної лінії Рп 22/49-Рп V

За період з грудня 2013 року до серпня 2024 року встановлено розширення меж мультисередовища осідання від репера Рп 43 до репера Рп 35. Водночас аналіз багаторічних спостережень показав, що репер Рп 33, розташований на кінці профільної лінії, зберіг незмінне висотне положення відносно початкового циклу вимірювань 1968 року. Саме тому цей пункт було прийнято як вихідний репер для визначення висотного положення реперів усієї спостережної мережі.

З огляду на тенденцію до подальшого розширення мультисередовища осідання доцільним є продовження профільної лінії шляхом закладання двох додаткових реперів за межами існуючої зони деформацій. Така необхідність обумовлена тим, що репери Рп VI та Рп V, які використовувалися на початковому етапі спостережень, після 1973 року не спостерігалися, а інформація про їх висотне положення відсутня.

Профільна лінія Рп 21 – Рп I (с. Кропивник). Станом на червень 2025 року сумарні величини осідань земної поверхні перебувають у межах від -113,3 мм на Рп 87 до -762,3 мм на Рп 20. Найбільші деформації зосереджені в

центральної частині профілю, де чітко простежується центр мульди осідання в районі реперів Рп 8-Рп 21 (додаток В).

Результати математико-статистичного аналізу матеріалів спостережень, виконаного як за останніми п'ятьма циклами вимірювань, так і за весь період існування спостережної мережі, свідчать про подальшу активізацію процесів осідання на ділянці Рп 21-Рп 3. У 2024-2025 рр. середньорічна швидкість осідань на окремих реперах досягала -95,1 мм/рік. Для порівняння, у період 2022-2023 рр. аналогічні показники становили від -4,1 до -51,3 мм/рік.

Аналіз графічних матеріалів і результатів вимірювань показує, що на сучасному етапі практично вся профільна лінія перебуває в межах впливу мульди осідання. У зв'язку з цим доцільним є продовження систематичних щорічних геодезичних спостережень та відновлення втрачених реперів Рп 18, Рп 17, Рп 7, Рп 6, Рп 2 та Рп II для забезпечення безперервності моніторингу деформаційних процесів.

Профільна лінія Рп Х – Рп 201 (с. Кропивник). За результатами вимірювань станом на червень 2025 року сумарні осідання реперів змінюються в межах від -1,2 до -710,4 мм. Центр мульди осідання локалізується в районі реперів Рп 50-Рп 74 (додаток Г), де зафіксовано найбільші деформації земної поверхні.

Аналіз багаторічних спостережень свідчить про поступову інтенсифікацію процесів осідання в центральній частині мульди. Найбільш активні деформації спостерігаються на ділянці між реперами Рп 53 та Рп 77, де у 2024-2025 рр. середньорічні швидкості осідань перевищували -10 мм/рік. Водночас істотного розширення меж мульди протягом останніх років не виявлено.

Особливе занепокоєння викликає ділянка Рп 56-Рп 77, де простежується стійка тенденція до зростання швидкостей осідань. Якщо у 2022-2023 рр. їх величина становила від -3,9 до -44,8 мм/рік, то у 2023-2024 рр. вона збільшилася до -9,2 ÷ -86,1 мм/рік, а у 2024-2025 рр. досягла значень від -6,5 до -96,2 мм/рік. Аналогічна тенденція зафіксована на відрізку Рп 67-Рп 58, де активізація деформаційних процесів, виявлена у попередніх циклах

спостережень, продовжилася і в останній період, а величини річних осідань становлять близько 10-15 мм.

Під час обстеження також встановлено втрату опорних реперів Рп XII та Рп 206, розташованих на кінцях профільної лінії. Для забезпечення подальшого функціонування спостережної мережі та підвищення надійності результатів геодезичного моніторингу зазначені пункти доцільно відновити в найближчій перспективі.

Друга ділянка розташована у північно-східній частині с. Кропивник на орних землях. Центр мульди осідання знаходиться поблизу перетину двох профільних ліній, початок спостережень яких датується 1968 р. Його точне місцезнаходження наземними методами спостережень визначити неможливо, оскільки найнижча точка знаходиться на дні новоутвореного озера.

Профільна лінія Рп XV – Рп XVI (с. Кропивник). За результатами геодезичного моніторингу станом на червень 2025 року сумарні величини осідань земної поверхні в межах профілю змінюються від -46,8 до -3159,6 мм (таблиця 3.1). Найбільш інтенсивні деформаційні процеси зафіксовані в центральній частині лінії, де спостерігається розвиток потужної мульди осідання (Додаток Д).

Особливу увагу привертають результати спостережень серії серпня 2021 року, під час яких було виявлено різке збільшення величин осідань на ділянці між реперами Рп 127 та Рп 120. Зокрема, на репері Рп 123 сумарне осідання від початку спостережень досягло -1651,2 мм. У зв'язку з відсутністю інструментальних спостережень у період з грудня 2013 року до серпня 2021 року встановити точний момент активізації деформаційних процесів не видається можливим.

Разом із тим результати вимірювань, виконаних після відновлення моніторингу, свідчать про значну інтенсивність осідань у межах досліджуваної ділянки. Так, у період серпень 2021 р. – липень 2022 р. середньорічні швидкості осідань на відрізку Рп 122 – Рп 126 становили від -290,1 до -474,0 мм/рік. У наступний період спостережень (липень 2022 р. – червень 2023 р.) зазначені

показники перебували в межах від -320,9 до -444,4 мм/рік. У 2023-2024 рр. швидкість осідань зменшилася до значень від -199,3 до -341,5 мм/рік, а за результатами спостережень 2024-2025 рр. становила від -175,3 до -321,8 мм/рік. Така динаміка свідчить про поступову стабілізацію швидкості розвитку деформацій у районі новоутвореної водойми, хоча абсолютні значення осідань залишаються значними.

Таблиця 3.1

Відомість визначення підсумкових і поточних осідань ґрунтових реперів профільної лінії Рп XVI – Рп XV рудника «Ново-Голинь» (с. Кропивник)

На- зва ре- пе- ра	Висота,м. Приведена на початк. дату V-1968	VIII-2024	VI-2025			Віддаль між репера- ми, м	Середньорічна швидкість осі- дання за період VIII.2024 - VI.2025 рр., мм/рік
		Висота, мм	Висота, мм	Осідання			
				між серія- ми	за весь період		
1	2	3	4	5	6	7	8
XVI	309090.0	309048.0	309043.2	-4.8	-46.8	99.37	-5.8
133	310130.0	310069.4	310064.3	-5.1	-65.7	49.83	-6.1
132	310228.0	310183.4	310180.4	-3.0	-47.6	49.80	-3.7
131	310632.0	310592.7				49.81	
130	311053.0	310989.1	310982.0	-7.1	-71.0	49.80	-8.6
129	311113.0	311013.2				50.00	
128	310843.0	310548.8	310525.4	-23.4	-317.6	46.74	-28.1
127	310712.0	310180.0	310123.5	-56.4	-588.5	49.69	-67.7
126	311014.0	309517.9	309371.8	-146.1	-1642.2	49.80	-175.3
125	311219.0	309137.1	308945.3	-191.8	-2273.7	49.80	-230.1
124	311802.0	309254.8	309025.4	-229.4	-2776.6	49.88	-275.3
123	312279.0	309387.6	309119.4	-268.2	-3159.6	49.81	-321.8
122	313138.0	310945.8	310709.6	-236.2	-2428.4	49.85	-283.4
121	313322.0	312298.7	312225.1	-73.6	-1096.9	49.72	-88.3
120	313361.0	312846.5	312817.9	-28.6	-543.1	49.78	-34.3
119	313912.0	313613.8	313597.0	-16.7	-315.0	49.76	-20.1
118	314596.0	314316.8	314300.0	-16.8	-296.0	49.85	-20.2
117	314830.0	314622.6	314610.6	-12.0	-219.4	49.76	-14.4
116	315393.0	315228.8	315218.7	-10.1	-174.3	49.77	-12.1
115	315596.0	315406.9	315397.9	-9.1	-198.1	49.77	-10.9
114	315645.0	315469.1	315461.8	-7.3	-183.2	49.79	-8.8
113	315784.0	315654.4	315648.6	-5.8	-135.4	49.67	-6.9
112	316035.0	315919.8	315922.3	2.5	-112.7	49.84	3.0
111	315924.0					98.53	
XV	316128.0						

Ще за результатами циклу спостережень 2013 року в центральній частині профільної лінії відзначалися інтенсивні деформаційні процеси та простежувалася тенденція до розширення меж мульди осідання як у напрямку репера Рп XV, так і в напрямку репера Рп XVI. Оцінка динаміки цього процесу упродовж наступних років ускладнюється тим, що репер Рп XVI вважався втраченим з 2006 року, а репер Рп XV — з 1996 року. Лише під час обстеження 2013 року зазначені пункти були повторно ідентифіковані, що не дозволяє достовірно реконструювати розвиток деформаційних процесів у попередній період.

Профільна лінія Рп 274 – Рп 4 (с. Кропивник). За результатами вимірювань станом на червень 2025 року величини сумарних осідань земної поверхні змінюються від -188,0 до -2734,4 мм (рис. 3.2). Слід зазначити, що репер Рп 272, на якому станом на липень 2022 року було зафіксовано осідання -2432,5 мм, у червні 2023 року опинився в межах затопленої території новоутвореного озера, що унеможливило подальше виконання спостережень на даному пункті.

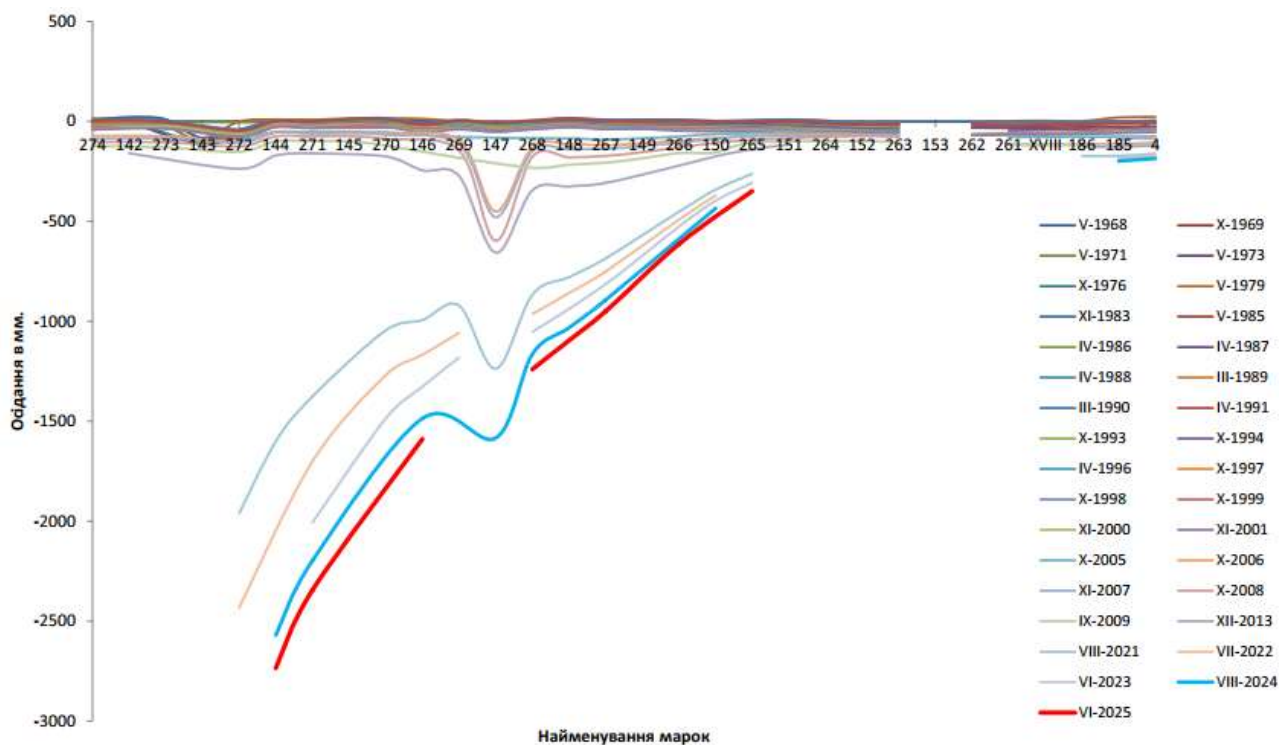


Рисунок 3.2 – Графік з відображенням динаміки осідань ґрунтових реперів профільної лінії Рп 274-Рп 4

Перші ознаки аномально інтенсивних деформацій на цій профільній лінії були виявлені за результатами спостережень серпня 2021 року. На відрізку від Рп 265 до Рп 272 величини сумарних осідань змінювалися від -261,4 до -1960,1 мм, що свідчило про різку активізацію процесів деформації земної поверхні. Через відсутність спостережень у період з грудня 2013 року до серпня 2021 року встановити час початку інтенсивного розвитку мульди осідання в районі новоутвореної водойми не вдалося.

За результатами вимірювань, виконаних у період серпень 2021 р. – липень 2022 р., встановлено, що середньорічна швидкість осідань на ділянці Рп 270 – Рп 272 становила від -244,3 до -515,3 мм/рік. У 2022-2023 рр. максимальне значення швидкості осідання було зафіксовано на репері Рп 271 і становило -344,0 мм/рік. Подальші спостереження показали поступове зменшення інтенсивності деформаційних процесів. Так, у 2023-2024 рр. середньорічні швидкості осідань на контрольованих ділянках перебували в межах від -136,2 до -163,8 мм/рік, тоді як у 2024-2025 рр. їх значення становили від -124,6 до -196,2 мм/рік. Отримані результати свідчать про певну стабілізацію процесів осідання земної поверхні в зоні впливу новоутвореного озера.

Окремої уваги потребує ділянка в районі репера Рп 267, поблизу якої розташовані житлові будинки та господарські споруди. Аналіз багаторічних спостережень показав, що швидкість осідання даного репера залишається відносно сталою: у 2022-2023 рр. вона становила -69,4 мм/рік, у 2023-2024 рр. – -67,5 мм/рік, а у 2024-2025 рр. – -67,8 мм/рік. Враховуючи близькість житлової забудови, зазначена територія потребує постійного геодезичного контролю з метою своєчасного виявлення можливого прискорення деформаційних процесів та оцінювання рівня ризику для населення.

Аналіз результатів спостережень і побудованих графічних матеріалів свідчить про те, що центр мульди осідання розташований у межах ділянки Рп 274 – Рп 272, яка на даний час затоплена водами новоутвореного озера. Ще за результатами спостережень 2013 року було встановлено тенденцію до розширення меж мульди у напрямку репера Рп 274. У зв'язку з цим доцільним є

подовження профільної лінії у напрямку репера Рп 4 шляхом закладання додаткових пунктів спостережень, що дозволить винести кінцеву частину профілю за межі сучасної зони деформацій.

Станом на червень 2025 року внаслідок господарської діяльності втрачено репери на ділянці Рп 151 – Рп 186. Оскільки зазначені пункти були розташовані в безпосередній близькості до житлової забудови та забезпечували контроль за розвитком деформацій у потенційно небезпечній зоні, їх відновлення є доцільним для забезпечення повноцінного функціонування системи геодезичного моніторингу.

3.2 Дослідження можливостей автоматизованого прогнозування величин осідань реперів з використанням функцій Microsoft Excel

Отримані періодичні результати геодезичного моніторингу осідань земної поверхні у період 2021-2025 рр. дозволяють оцінювати сучасний стан земної поверхні та відстежувати часові закономірності розвитку осідань. Особливої актуальності такі спостереження набувають у межах забудованих територій, де наявність житлових і господарських об'єктів у зоні впливу деформаційних процесів потребує своєчасного виявлення небезпечних тенденцій та інформування населення про можливі ризики. Зростання інтенсивності осідань може свідчити про активізацію геодинамічних процесів і бути одним із попереджувальних факторів виникнення провалів земної поверхні. Тому виникає потреба у розробці методики визначення прогнозованих величин осідання на певний період часу (хоча б на 1 рік) та перевірки можливостей її застосування для ґрунтових реперів у с. Кропивник.

Основною метою виконаних досліджень було оцінювання можливостей прогнозування подальшого розвитку м'яких осідань на підставі результатів періодичних геодезичних спостережень на основі попередніх даних про зміни висотного положення ґрунтових реперів.

Для вирішення поставленого завдання використано результати чотирьох циклів спостережень, виконаних упродовж 2021-2024 років. На основі

накопичених даних проведено прогнозування річних величин осідань для реперів профільних ліній Рп 22/49-Рп 33 (спостерігається щорічне зростання швидкості осідання в районі Рп 22-Рп 44) та Рп XV - Рп XVI (спостерігається поступове зменшення швидкості осідань в районі Рп 121-Рп 126). Для прогнозування застосовані апроксимаційні моделі, реалізовані засобами програмного середовища Microsoft Excel за допомогою функцій **FORECAST.ETS** (експоненціальна апроксимація) та **FORECAST.LINEAR** (лінійна апроксимація).

Результати прогнозування для лінії Рп 22/49-Рп 33 наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати перевірки методики прогнозування на точках, розташованих в зоні прогресуючих осідань

Назва гр. репера	Виміряне осідання на 20.06.25, мм	Спрогнозоване осідання функцією FORECAST.LINEAR, мм	Похибка v_i , мм	Спрогнозоване осідання функцією FORECAST.ETS, мм	Похибка v_j , мм
22/49	-659.1	-615.2	43.9	-615.6	43.5
48	-594.9	-563.7	31.2	-564.1	30.8
47	-461.0	-435.3	25.7	-435.9	25.1
46	-290.3	-273.7	16.7	-274.0	16.3
45	-124.2	-123.9	0.3	-123.9	0.3
44	-72.5	-70.7	1.7	-70.9	1.6
43	-32.3	-27.2	5.1	-27.6	4.7
42	-18.4	-18.6	-0.1	-18.4	0.0
41	-20.4	-15.2	5.1	-15.3	5.0
40	-11.8	-11.8	0.0	-11.8	0.0
39	-17.0	-16.9	0.1	-16.9	0.1
38	-32.7	-31.5	1.1	-31.5	1.2
37	-34.8	-33.5	1.3	-33.7	1.1
36	-28.8	-25.4	3.3	-25.2	3.6
35	-16.8	-17.1	-0.3	-16.8	0.0
34	-7.4	-4.7	2.7	-4.7	2.7
33	-2.0	0.0	2.0	0.0	2.0
V	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0
		$[v_i^2]=$	3924.4	$[v_j^2]=$	3815.3

У стовпці 2 табл. 3.2 бачимо фактичні значення осідань, отримані за результатами польових вимірів станом на 20.06.2025 р. У стовпцях 3 та 5 знаходяться обчислені прогностні значення осідань на цю ж дату відповідно лінійними та експоненціальними функціями, встановленими для кожної точки за результатами спостережень 2021-2024 рр. Таким чином у стовпцях 4, 6 бачимо результати підрахунку похибок прогнозованих величин осідань для кожної точки. Аналізуючи величини похибок, бачимо, що фактичні значення осідань практично для всіх точок перевищують прогнозовані значення. Це свідчить про те, що доцільно виконати прогнозування за функцією, що має стрімкіше зростання (можливо квадратичної параболи). Проте Microsoft Excel не має вбудованої функції прогнозування такого типу.

Результати прогнозування для лінії Рп XV - Рп XVI наведені в таблиці 3.3.

Аналізуючи стовпці 4 та 6 таблиці 3.3 бачимо, що в зоні затухання на проміжку Рп 120-Рп 127 величини відхилень прогнозованих значень від виміряних від'ємні. Це свідчить про доцільність перевірки можливості застосування функції з пологішим зростанням (наприклад підкореневої).

Для обох випадків (табл. 3.2, 3.3) визначені суми квадратів відхилень прогнозованих величин осідань за функціями FORECAST.LINEAR та FORECAST.ETS від виміряних. Як бачимо, кращі результати отримані при використанні експоненціальної функції. Проте використання функції FORECAST.ETS вимагає наявності вихідних даних (у нашому випадку це величини визначених осідань) через рівні проміжки часу. Практично виконати такі вимірювання досить складно.

Висновок: результати обчислених величин осідань ґрунтових реперів станом на 06.2025 р. свідчать про наявність інтенсивних процесів осідання земної поверхні у східній та північно-східній частинах с. Кропивник. Аналіз динаміки зміни швидкостей осідання на цих ділянках показав зростання швидкості осідання в районі Рп 22/49 протягом 2024-2025 рр. у порівнянні з періодом 2021-2024 рр. Тож необхідно звернути особливу увагу на цю ділянку під час наступних етапів спостережень, а за подальшого зростання швидкості

осідання збільшити частоту спостережень до двох, а то й чотирьох серій на рік. Тим паче зважаючи на розташування великої кількості житлових будинків на цій території.

Таблиця 3.3

Результати перевірки методики прогнозування на точках, розташованих в зоні затухаючих осідань

Назва гр. репера	Виміряне осідання на 20.06.25, мм	Спрогнозоване осідання функцією FORECAST LINEAR, мм	Похибка v_i , мм	Спрогнозоване осідання функцією FORECAST T.ETS, мм	Похибка v_j , мм
XVI	-46.8	-44.8	2.0	-44.9	1.9
133	-65.7	-60.8	4.9	-61.4	4.4
132	-47.6	-44.3	3.3	-44.3	3.3
130	-71.0	-67.9	3.1	-67.1	3.9
128	-317.6	-320.8	-3.2	-319.8	-2.2
127	-588.5	-605.5	-17.0	-604.6	-16.1
126	-1642.2	-1746.7	-104.5	-1742.9	-100.7
125	-2273.7	-2415.2	-141.5	-2410.5	-136.8
124	-2776.6	-2927.4	-150.9	-2923.6	-147.1
123	-3159.6	-3294.3	-134.7	-3292.0	-132.4
122	-2428.4	-2462.0	-33.6	-2462.6	-34.3
121	-1096.9	-1105.9	-9.0	-1105.8	-8.9
120	-543.1	-553.3	-10.1	-553.3	-10.1
119	-315.0	-314.3	0.7	-313.7	1.2
118	-296.0	-289.6	6.4	-289.8	6.2
117	-219.4	-213.7	5.7	-214.2	5.2
116	-174.3	-168.1	6.2	-168.5	5.8
115	-198.1	-193.5	4.7	-194.0	4.1
114	-183.2	-178.4	4.8	-178.8	4.5
113	-135.4	-132.3	3.1	-132.7	2.6
112	-112.7	-116.9	-4.2	-117.0	-4.3
		$[v_i^2]=$	73694	$[v_j^2]=$	69833

У районі новоутвореного озера (північно-східна частина с. Кропивник) спостерігається поступове зменшення середньорічної швидкості осідання земної поверхні. Якщо у період 2021-2022 рр. максимальна зафіксована швидкість була -515,3 мм/рік, то в період 2024-2025 рр. цей показник вже

становить -196,2 мм/рік. Проте спостерігається поступове збільшення площі водної поверхні озера, а на Рп 267, поблизу якого знаходиться найближчий житловий будинок, швидкість осідання залишилася практично незмінною (-69,4 мм/рік у 2022-2023 рр. та -67,8 мм/рік у 2024-2025 рр.). Тож періодичні спостереження на даній ділянці слід продовжити з частотою хоча б 1 серія на рік.

Аналіз можливостей використання вбудованих функцій Microsoft Excel для прогнозування осідань ґрунтових реперів показав, що використання експоненціальної функції FORECAST.ETS дає кращі результати в порівнянні з лінійною функцією як для випадку згасаючих, так і для прогресуючих осідань. Проте доцільно було б дослідити можливість використання інших функцій для кожного конкретного випадку.

Висновки

Спостережна станція шахтного поля рудника «Ново-Голинь» у межах села Кропивник була переважно сформована у 1968 році. Внаслідок тривалої господарської діяльності, виконання будівельних робіт та інтенсивного використання земель сільськогосподарського призначення частина ґрунтових реперів була пошкоджена або втрачена. У зв'язку з цим актуальним завданням залишається відновлення насамперед крайніх пунктів спостережної мережі, розташованих за межами зон активного деформування земної поверхні.

За результатами досліджень стабільності опорних реперів, виконаних у 2013 та 2021 роках, найбільш надійним вихідним пунктом мережі було визначено репер Рп 33. Його висотна відмітка використовувалася як вихідна під час виконання циклів геодезичних спостережень упродовж 2021–2025 років. Водночас поява у результатах вимірювань 2025 року окремих реперів із незначними додатними величинами осідань свідчить про доцільність проведення повторного аналізу стабільності репера Рп 33 для підтвердження можливості його подальшого використання як вихідного пункту мережі.

Застосування високоточного цифрового нівеліра TOPCON DL-501 у поєднанні з кодовими фібергласовими рейками та спеціалізованою методикою нівелювання, адаптованою до умов досліджуваної території, забезпечило отримання результатів, точність яких відповідає вимогам нівелювання II класу. Це дозволило отримати достовірні дані про сучасний стан деформаційних процесів у межах шахтного поля рудника.

Результати моніторингових спостережень станом на червень 2025 року свідчать про збереження активних процесів осідання земної поверхні в східній та північно-східній частинах села Кропивник. Особливу увагу слід приділити ділянці в районі репера Рп 22/49, де протягом 2024-2025 років зафіксовано збільшення швидкостей осідання порівняно з попередніми періодами спостережень. Зважаючи на наявність житлової забудови в межах даної території, доцільним є посилення контролю за розвитком деформаційних

процесів. У разі подальшої інтенсифікації осідань рекомендується збільшити частоту геодезичних спостережень до двох-чотирьох циклів на рік.

У районі новоутвореного озера, розташованого в північно-східній частині села Кропивник, спостерігається тенденція до поступового зменшення швидкості осідань земної поверхні. Якщо в період 2021-2022 років максимальне значення швидкості осідання становило -515,3 мм/рік, то за результатами спостережень 2024-2025 років цей показник зменшився до -196,2 мм/рік. Незважаючи на це, процес збільшення площі водного дзеркала озера триває. Крім того, на репері Рп 267, розташованому поблизу житлової забудови, швидкість осідання протягом останніх років залишається практично незмінною та становить близько -68 мм/рік. За таких умов доцільним є продовження регулярного геодезичного моніторингу зазначеної ділянки з періодичністю не менше одного циклу спостережень на рік.

Проведений аналіз можливостей прогнозування осідань земної поверхні із застосуванням вбудованих інструментів Microsoft Excel засвідчив перспективність використання функції FORECAST.ETS для прогнозування розвитку деформаційних процесів. Порівняння результатів прогнозування з фактичними даними спостережень показало, що експоненціальна модель забезпечує вищу точність оцінювання майбутніх величин осідань порівняно з лінійною функцією FORECAST.LINEAR як для процесів, що характеризуються поступовим затуханням, так і для випадків активізації деформацій. Водночас для підвищення достовірності прогнозів доцільним є проведення подальших досліджень із застосуванням інших математичних моделей та методів прогнозування залежно від характеру розвитку деформацій на конкретних ділянках спостережної мережі.

Список використаних джерел

1. Баран П. І. Інженерна геодезія : підручник. Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. 618 с.
2. Баран П. І. Топографія та інженерна геодезія : навчальний посібник. Київ : Знання, 2015. 455 с.
3. Перій С. С., Михайлишин В. М., Мороз О. І. Геодезичний моніторинг інженерних споруд та земної поверхні : навчальний посібник. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. 192 с.
4. Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV.
5. ДСТУ Б В.2.1-30:2013. Настанова щодо виконання геодезичних робіт у будівництві. Київ : Мінрегіон України, 2014. 62 с.
6. Інструкція з нівелювання I, II, III та IV класів. ГКНТА-2.04-02-98. Київ : ГУГКК України, 1998. 56 с.
7. Тревого І. С., Перій С. С. Геодезичний моніторинг деформацій земної поверхні та споруд. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. 224 с.
8. Савчук С. Г., Заяць О. С. Сучасні методи геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та територій. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2018. Вип. 87. С. 21–30.
9. Адушкін В. В., Співак А. А. Деформаційні процеси в гірничих районах та їх геодезичний контроль. Київ : Наукова думка, 2005. 286 с.
10. Хрущ В. В., Перій С. С. Дослідження осідань земної поверхні на території Калуш-Голинського родовища калійних солей. Геодинаміка. 2014. № 1 (16). С. 79–87.
11. Калуське гірничо-хімічне підприємство. Матеріали маркшейдерських та геодезичних спостережень за деформаціями земної поверхні шахтних полів рудників «Голинь» і «Ново-Голинь» за 1968–2025 рр. Калуш, 2025.
12. Звіт про результати геодезичного моніторингу реперів профільних ліній шахтного поля рудника «Ново-Голинь» у межах с. Кропивник за 2025 рік. Івано-Франківськ, 2025. 85 с.

- 13.Рекомендації щодо ведення геодезичного моніторингу територій, порушених гірничими роботами. Київ : Держгеонадра України, 2020. 48 с.
- 14.Екологічні проблеми Калуш-Голинського гірничопромислового району : монографія / за ред. М. М. Адаменка. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2010. 312 с.
- 15.Адаменко О. М., Архіпова Л. М. Екологічна безпека територій, порушених калійним виробництвом. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. 248 с.
- 16.Хрущ В. В., Перій С. С., Савчук С. Г. Геодезичний контроль осідань земної поверхні над відпрацьованими калійними родовищами. Геодинаміка. 2021. Вип. 30. С. 43–55.
- 17.Технічний опис та інструкція з експлуатації цифрового нівеліра TOPCON DL-501. Topcon Corporation, 2018. 215 с.

Нівелірна мережа І - II класів спостереженої станції
Схема профільних ліній

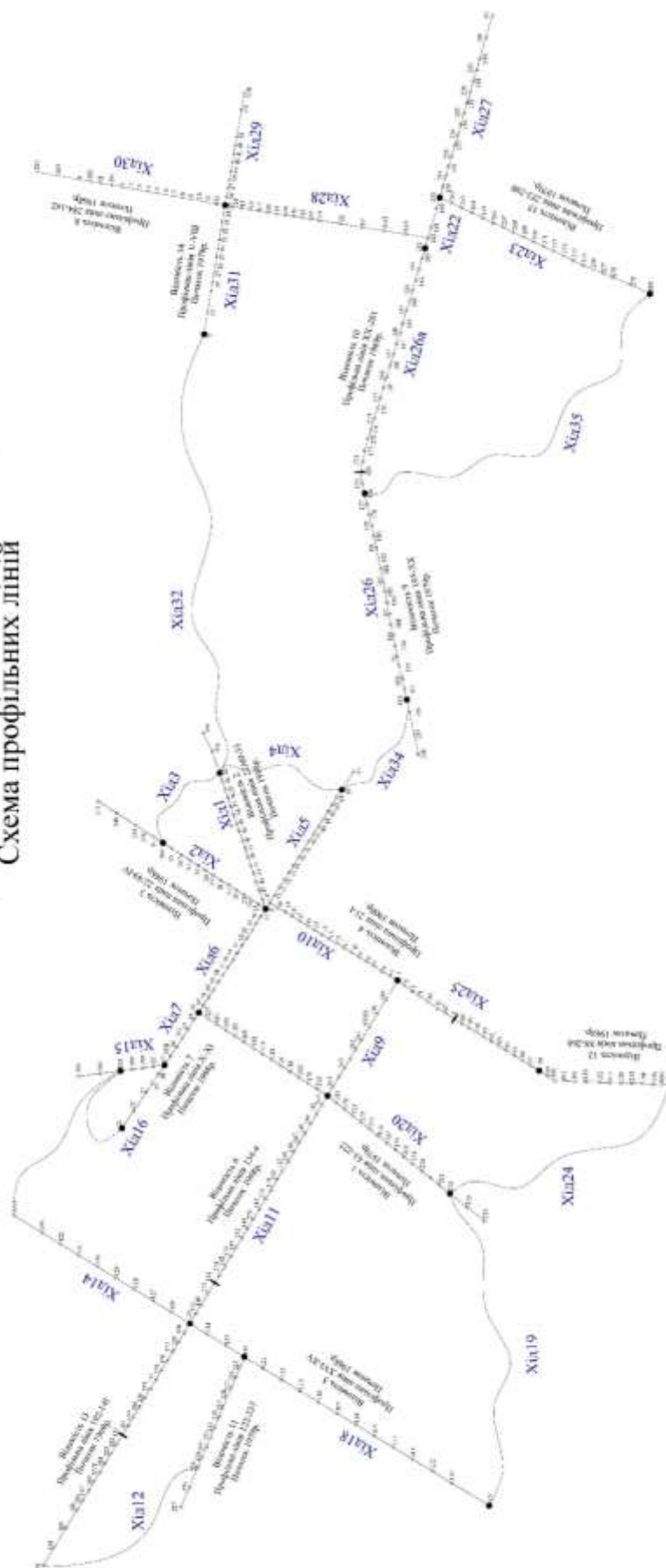
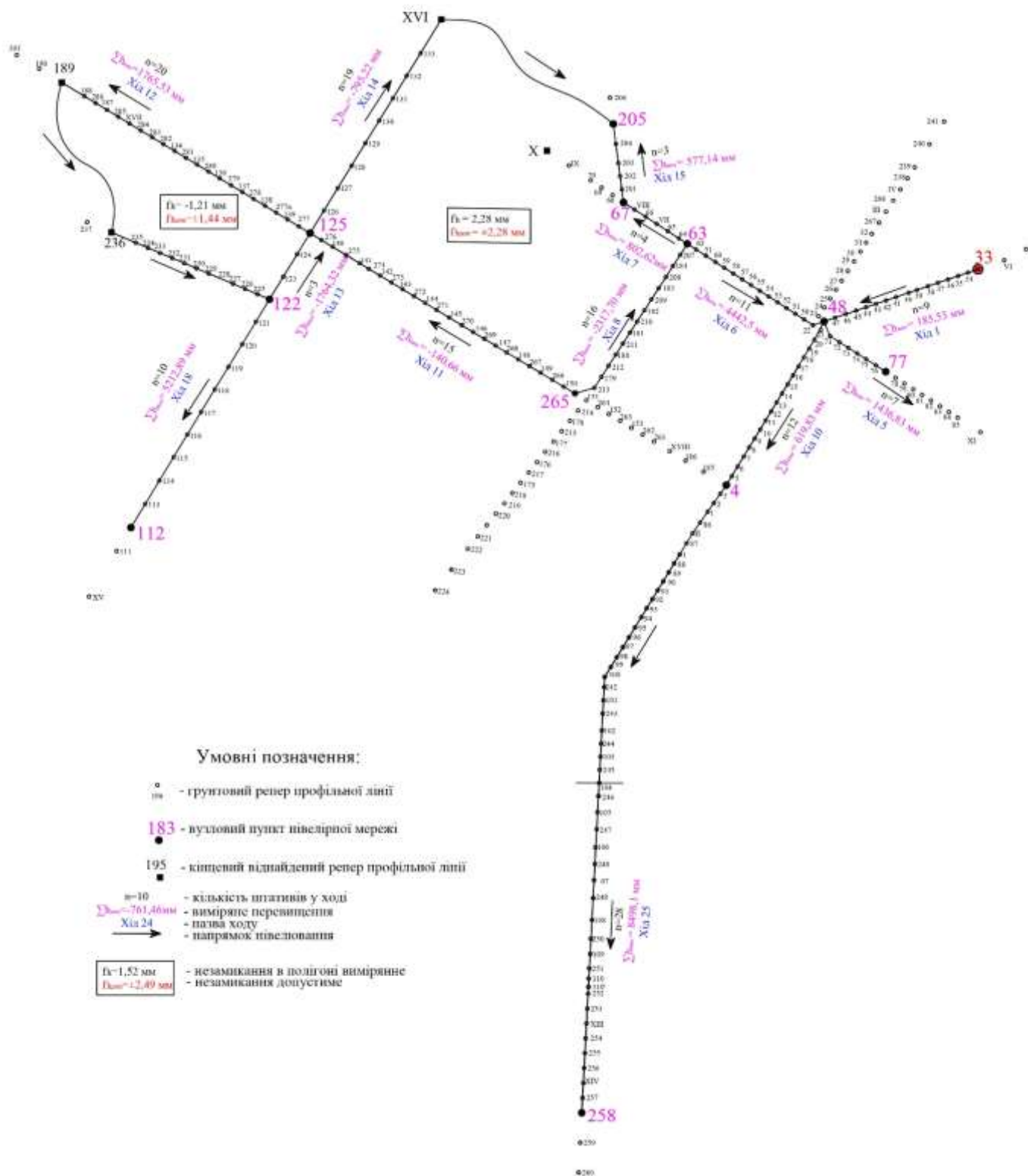
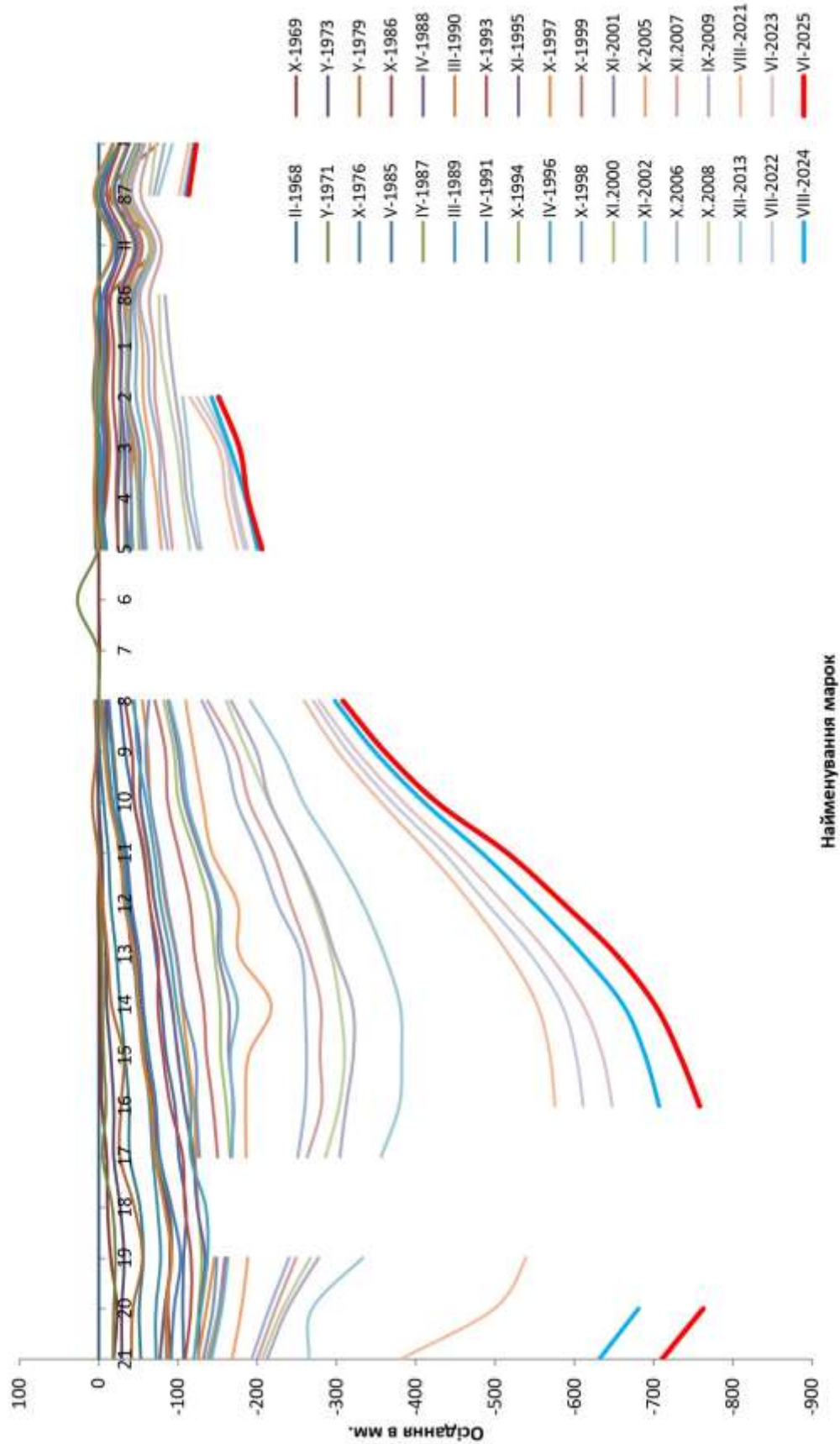


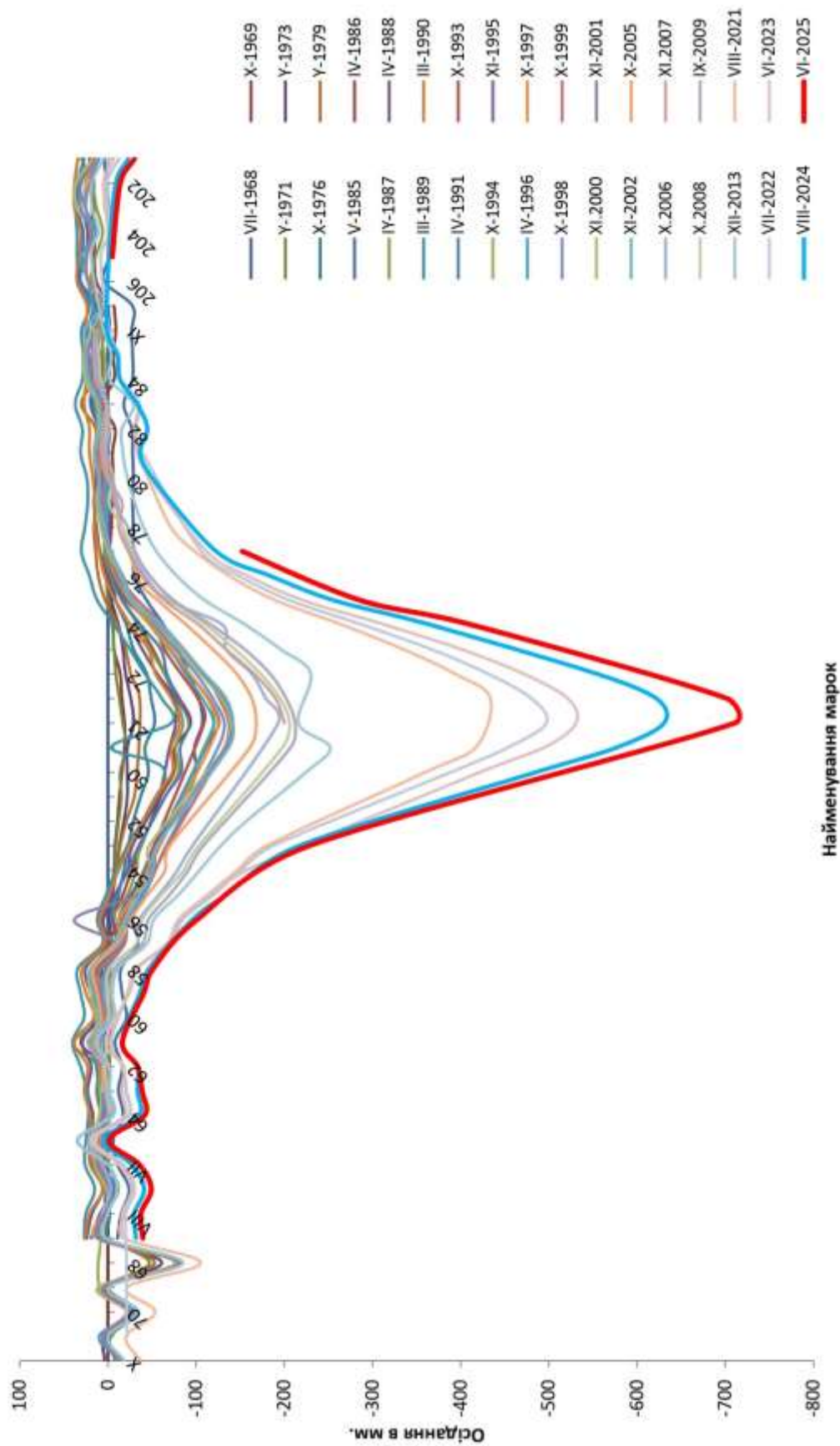
Схема
нівелірної мережі I-II класів
спостережень за осіданнями земної поверхні
на території рудника "Ново-Голинь" (с. Крописник).
Серія VI/2025 р.



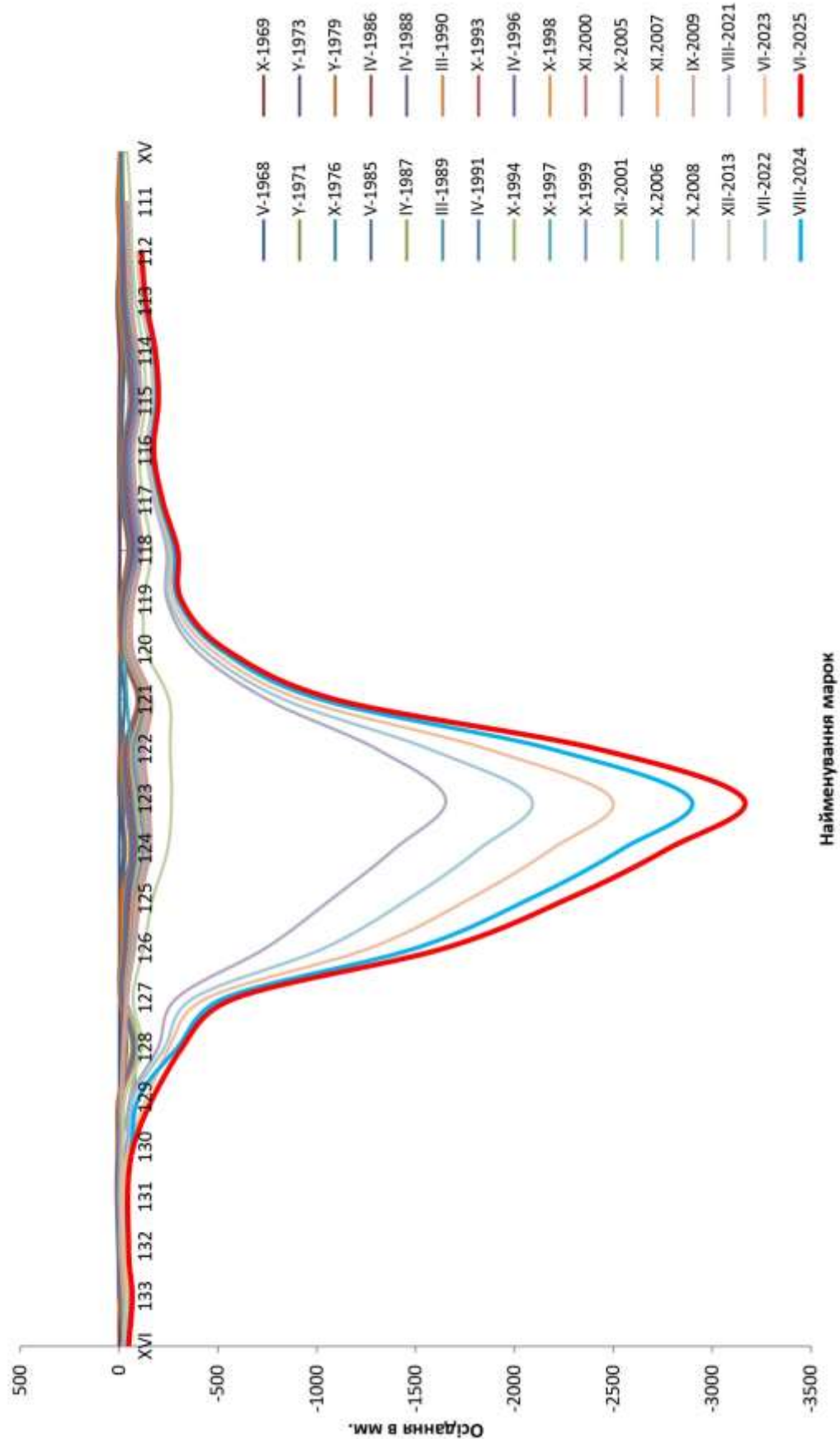
**Графік осідання ґрунтових реперів за результатами вимірів II-1968-
VI-2025 р.р.**



Графік осідання ґрунтових реперів за результатами вимірів VII-1968-
VI-2025р.р.



**Графік осідання ґрунтових реперів за результатами вимірів V-1968-
VI-2025р.р.**



Бібліографічна довідка

Тема бакалаврської роботи «Особливості опрацювання результатів геодезичного моніторингу осідань земної поверхні з підрахунком прогнозованих значень».

Обсяг пояснювальної записки 45 аркушів, 8 рисунків, 6 таблиць.

Перелік графічних додатків:

1. Схема профільних ліній нівелірної мережі I та II класів спостережної станції «Ново-Голинь».
2. Схема нівелірної мережі I-II класів спостережень за осіданнями земної поверхні рудника «Ново-Голинь» (с. Кропивник) у 2025 р.
3. Графіки осідання ґрунтових реперів окремих профільних ліній на території с. Кропивник за період 1968-2025 рр.

_____ 2026 р.

_____ Бенько В. Б.