

УДК 528.022.11

Ю. КОРДУБА<sup>1</sup>, В. КОЛГУНОВ<sup>2</sup>,<sup>1</sup> Кафедра інженерної геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна<sup>2</sup> Кафедра геодезії, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

## АНАЛІЗ ЗМІНИ ВИСОТ НІВЕЛІРНОЇ МЕРЕЖІ ЗА 1897–2018 рр. в місті ЛЬВОВІ

**Метою** статті є визначення вертикального зміщення центральної історичної частини міста Львова за допомогою геометричного нівелювання, перевишень між реперами, закладеними у фундаменти будівель, та створення порівняльної таблиці й побудова діаграми за різницями висот реперів різних років нівелювання. Деформації споруд виникають у зв'язку з дією різнобічних природних та антропогенних (техногенних) факторів як на основу, так і на саму споруду. Вертикальні деформації основи поділяють на:

– осідання – деформації, які виникають унаслідок ущільнення ґрунту під дією зовнішніх навантажень і в окремих випадках власної ваги ґрунту, яке не супроводжується докорінними змінами його структури;

– просідання, які виникають в результаті ущільнення і, як правило, докорінних змін структури ґрунту під дією як зовнішніх навантажень та його власної ваги, так і додаткових факторів, які діють на нього, таких як, наприклад, замочування ґрунту, відтаювання льодових прошарків у замерзлому ґрунті тощо.

*Причини деформацій.* Як зазначено вище, деформації фундаментів виникають через дію на них природних та техногенних факторів. До основних природних факторів зараховують:

– пучення під час замерзання водонасичених і відтаювання мерзлих льодонасичених порід;

– зміни гідротермічних умов, пов'язані з сезонними та багаторічними коливаннями температури, вологості порід та рівня ґрунтових вод.

Прокладено нівелірний хід за схемою фрагмента старої частини міста Львова, виконано рекогностування вибраної території. Опізнано всі стінні марки, розміщені на нашому прокладеному нівелірному ході. В результаті було знайдено чотири нівелірні марки старої мережі: в стіні головного корпусу Львівської політехніки, церкви св. Миколая, церкви св. Андрія та костелу Марії Сніжної. Решта марок знищені або розміщені під штукатуркою. Стінну марку № 1 головного корпусу Політехніки вибрано вихідною. Під час нівелювання використано збережені стінні реperi на будинках старої частини міста Львова. На об'єкті робіт нівелювання виконували нівеліром Trimble DiNi-22 з використанням пари триметрових кодових рейок з інварною смужкою (№ 3624 і № 3625), двох нівелірних підкладин, парасолі та шнурка для вимірювання відстані від нівеліра до рейок. Ураховано, що досі не здійснено аналіз одних і тих самих реперів у різні роки нівелювання, тому стаття спрямована на вирішення цього завдання. Повторне нівелювання цієї мережі дало відповідь, зокрема, на питання про характер вертикальних рухів земної поверхні в регіоні досліджень.

Згадані вище порівняння дають підстави стверджувати, що результати нівелювання можуть довго використовуватись для нівелірних робіт, якщо висотні стінні реperi будуть збережені і захищені законом.

*Ключові слова:* геодезична мережа; геомоніторинг; рельєф; репер; інварна смужка.

**Постановка проблеми:** Основна мета статті – визначення вертикального зміщення центральної частини міста Львова із 1897 до 2018 рр., створення порівняльної таблиці висот реперів, графіка висот реперів 1897 р. відносно висот 2018 р. Відомо, що першу нівелірну мережу замовила львівська влада для каналізування міста і виконала кафедра геодезії на чолі із професором Д. Зброжеком у 1880–1888 рр.

У 1897 р. для розбудови та розширення міста Львова інженер Барчевський провів повторне високо-точне нівелювання мережі професора Зброжека (47 висотних знаків), а також нової закладеної нівелірної мережі із 539 стінних реперів. Цікаво, що висотних знаків у вигляді стінних реперів інженер Барчевський заклав у фундаменти нових кам'яних будівель доволі велику кількість і багато з них збереглись у номінальному стані до наших днів [2].

Для порівняння висот з 1897 р. у 2018 р. було проведено нівелювання II класу фрагмента центральної частини міста Львова.

### Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

*Зміна висот земної поверхні.* Виконано аналіз стійкості капітальних будинків і споруд старої частини міста Львова середини XIX ст. Під час нового будівництва необхідно враховувати нові (змінені) висоти.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

У 1880–1888 рр. кафедра Вищої політехнічної школи (ВПШ) створила першу нівелірну мережу Львова, що складалася із 18 реперів, висоти яких були отримані з точністю 1,2 мм на 1 км ходу. Причому професор Зброжек проклав прямий хід, а асистент кафедри Відт – зво-

ротний. Для закладання реперів застосовували спеціальні марки, що їх вперше використали у Саксонії в 70-ті роки XIX ст. Відлік висот створеної мережі вели від стінного репера № 1, розміщеного в стіні головного корпусу ВПШ. Його висота була визначена, ймовірно, у 1880 р. за допомогою барометричного нівелювання від рівня Адріатичного моря у присутності висококваліфікованої міжнародної комісії на чолі з відомим австрійським військовим геодезистом і картографом, членом Європейської комісії з градусних вимірів і колишнім начальником Військово-географічного інституту (ВГІ) у Відні (Австро-Угорщина) фельдмаршалом-поручником Августом фон Флігелі [5]. Активне будівництво у 1897 р. в передмісті Великого Львова вимагало проведення нівелювання мережі в місті Львові з новим і більшим за кількістю закладанням стінних (рис. 2) та ґрунтових реперів, розташування яких могли б надалі успішно використовуватись. Нівелювання виконували нівеліром фірми Zeiss (рис. 1) з точністю рівня 10" (рис. 1). Цей інструмент давав змогу виконувати нівелювання з точністю 0,1 мм. Точність вимірів забезпечували нівелірні рейки фірми "Цейс" [5]. Головною умовою було те, щоб нівелірна мережа містилась в межах території міста Львова і лише трохи виходила поза його простір. Головним мотивом прийняття такого рішення було те, що під час рекогностування території не знайдено будівель та споруд, на яких можна встановити висотні знаки, поза межами Львова [5]. Інженер Барчевський надавав великого значення напрямкові нової нівелірної мережі й тому, якого вигляду повинні бути стінні репери. Від використання стовпів для встановлення висотних знаків відмовились через негативний досвід попередніх років та незначну цінність використання їх на території міста.

Беручи до уваги труднощі, які виникають під час точного нівелювання в місті, запроєктовано нівелірні

ряди так, щоб принаймні більша частина роботи виконувалась на вулицях без поживленого кругового руху (рис. 3).



Рис. 1. Вигляд нівеліра

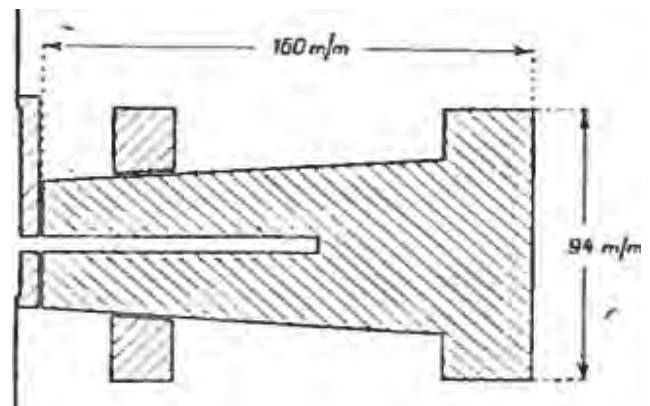


Рис. 2. Вигляд стінного репера

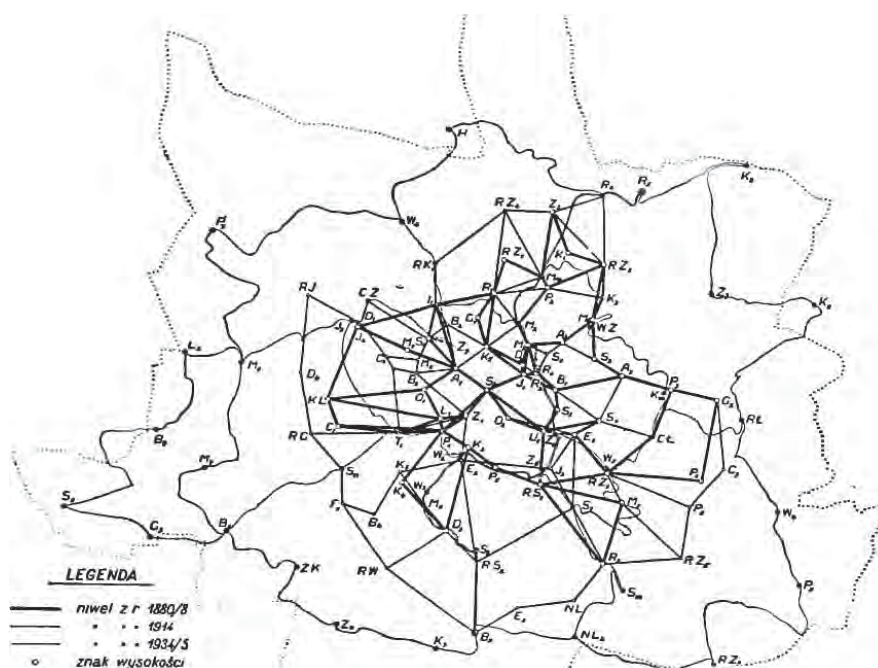


Рис. 3. Мережі нівелювання у м. Львові за період з 1883 до 1934 рр.

Кожний відрізок від репера до репера нівелювали у прямому і зворотному напрямках, відтак досліджували, щоб різниця перевищень, вибрана із двох вимірів, була в межах допустимої похибки. В разі помилки вимірювання повторювали.

У результаті високоточного нівелювання Львів отримав 539 нових стінних реперів II класу.

### Постановка завдання

Зібрано увесь можливий польовий матеріал щодо нівелювання стінних реперів капітальних споруд у старій частині міста Львова 1897 р. та виконано повторне нівелювання у 2018 р. Зауважимо, що досі не здійснено аналіз тих самих реперів у різні роки нівелювання. Ця стаття спрямована на вирішення цього завдання.

### Методика визначення осідань

Деформації споруд виникають у зв'язку з дією різнобічних природних та антропогенних (техногенних) факторів як на основу, так і на саму споруду.

Вертикальні деформації основи поділяють на:

- осідання – деформації, які виникають унаслідок ущільнення ґрунту під дією зовнішніх навантажень і в окремих випадках власної ваги ґрунту, яке не супроводжується докорінними змінами його структури;

- просідання, які виникають в результаті ущільнення і, як правило, докорінних змін структури ґрунту під дією зовнішніх навантажень та його власної ваги, і додаткових факторів, таких як, наприклад, замочування ґрунту, відтаювання льодових прошарків у замерзлomu ґрунті тощо.

*Причини деформацій.* Як зазначено вище, деформації фундаментів виникають у зв'язку з дією на нього природних та техногенних факторів [11]. До основних природних факторів належать:

- пучення під час замерзання водонасичених і відтаювання мерзлих льодонасичених порід;
- зміни гідротермічних умов, які пов'язані з сезонними та багатолітніми коливаннями температури, вологості порід та рівня ґрунтових вод.

До основних техногенних факторів зараховують:

- вплив навантажень від споруд;
- зміну тиску на основу, спричинену надбудовою будівлі або будівництвом поруч нових споруд;
- вібрацію фундаментів через роботу різних агрегатів, механізмів, рух транспорту та інші механічні дії.

На деформацію споруди також впливають форма, розміри і жорсткість фундаменту, розподіл статичних та динамічних навантажень у середині будівлі або споруди [11].

В результаті геодезичних спостережень за осіданням капітальних будівель і споруд, відповідно до

будівельних норм і правил, середню квадратичну похибку  $ms$  (визначення осідань) відносно вихідного репера розраховують за формулою:

$$S_i = (HO + [hi]i) - (HO + [h0]i)$$

або

$$S_i = [hi]i - [h0]i,$$

де  $HO$  – відмітка вихідного репера 1;  $[hi]i$  і  $[h0]i$  – сума вирівняних перевищень відповідно наступного та початкового циклів спостережень по ходу, від початкового репера до марки  $k$ .

### Методика геодезичних спостережень

Згідно з інструкцією [7] нівелювання II класу виконують у прямому та зворотному напрямках по ґрунтових або стінних реперах, використовуючи нівелірні підкладини [10]. Спостереження на станції виконують за способом “сумішень”.

У прямому та зворотному напрямках нівелювання виконують, як правило, по тій самій трасі та за перехідними точками того ж типу; кількість станцій роблять парною та однаковою.

У разі зміни напрямку нівелювання рейки міняють місцями.

Нівелювання II класу виконують нівелірами із плоскопаралельною пластинкою, контактним рівнем або компенсатором, які задовольняють такі вимоги:

- збільшення труби, крат, не менше 40 ніж
- ціна поділки контактної пластинки 12 (”/2 мм), не більше ніж;
- помилка самовстановлення лінії нівелювання у нівелірах з компенсатором, кут  $\epsilon$ , не більше ніж; 0,2
- ціна поділки барабана плоскопаралельної пластинки, мм. 0,05

Для нівелювання II класу використовують нівеліри Н05, Н1, Н2, НА-1, Ні007 і штрихові рейки з інварною смужкою.

Нівеліри та рейки досліджують і перевіряють з метою встановлення їх придатності до нівелювання II класу, приведення у робоче положення і визначення сталих.

На об'єкті робіт нівелювання виконували нівеліром Trimble DiNi-22 (рис. 4) з використанням пари триметрових кодових рейок з інварною смужкою (№ 3624 і № 3625), двох нівелірних підкладин, парасолі та шнурка для вимірювання відстані від нівеліра до рейок.

Для визначення осідань фундаментів будівельних споруд застосовано метод геометричного нівелювання II класу.

Нівелірний хід по стінних реперах починають з вихідного репера і завершують на ньому або ж на ін-

шому репері. Довжина нівелірного променя допускається до 30 м, висота над поверхнею землі – не менше ніж 0,5 м. Нерівність плечей допускається не більше ніж 1 м, а накопичення цієї нерівності в зімкнутому ході – не більше ніж 3–4 м.



Рис. 4. Вигляд нівеліра DiNi-22

Допустиму нев'язку в зімкнутому полігоні або між пунктами II класу підраховують за формулою

$$fh_{II}(mm) = 1,0\sqrt{n}.$$

де  $n$  – кількість станцій.

Для дослідження стабільності будівель і споруд проведено повторне нівелювання висотних реперів у 2018 р. і порівняно з результатами 1897 р.

Перед складанням проекту підбирають та аналізують всі матеріали щодо нівелювання, виконаного в минулі роки. Дані про ці роботи отримують в місцевих архітектурних організаціях або в організаціях, які виконували нівелювання.

Технічний проект нівелювання другого класу уточнюють та доповнюють після рекогностування або обстеження лінії нівелювання.

Прокладено нівелірний хід за схемою фрагмента старої частини міста Львова, виконано рекогностування вибраної території (рис. 5). Опізнано всі стінні марки, які містились на нашому прокладеному нівелірному ході. В результаті знайдено чотири нівелірні марки старої мережі: в стіні головного корпусу Львівської політехніки, церкви св. Миколая, церви св. Андрія та костелу Марії Сніжної [14]. Решта марок знищені або опинилися під штукатуркою. Стінну марку № 1 головного корпусу Політехніки вибрано вихідною. Під час нівелювання використано збережені стінні репери на будинках старої частини міста Львова.

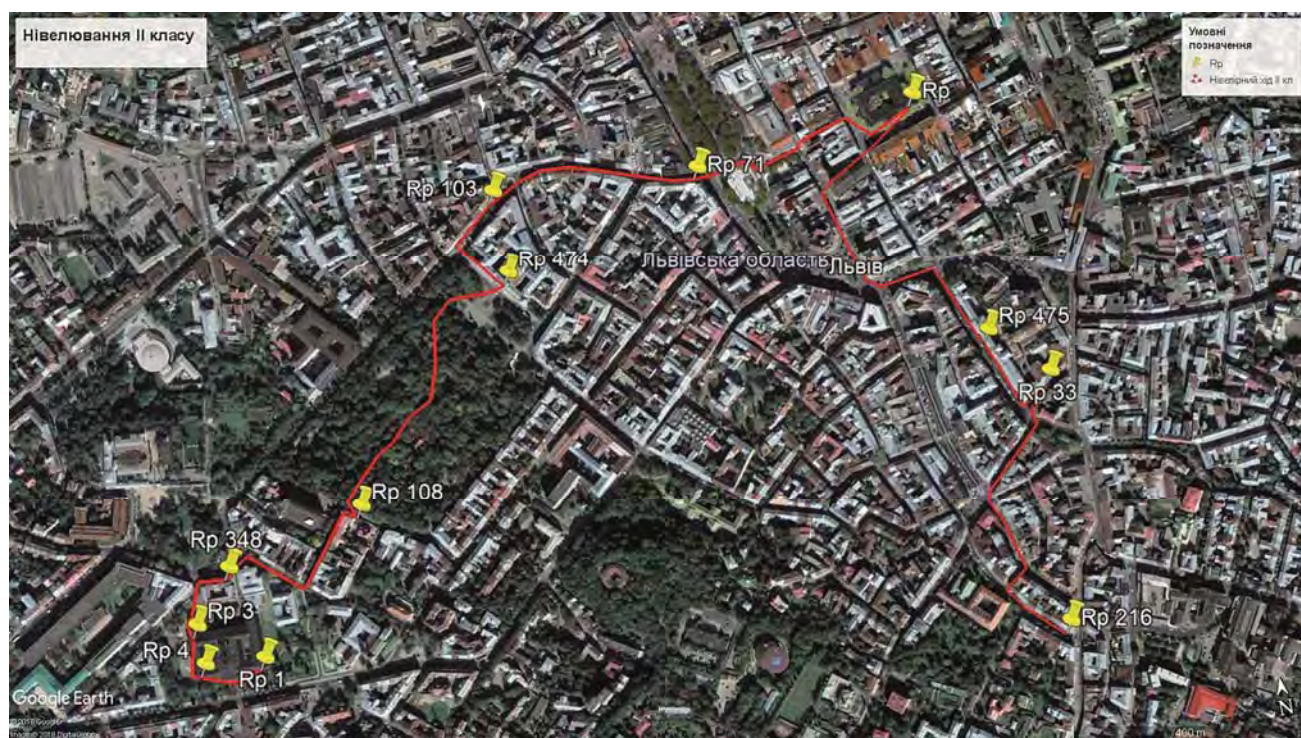


Рис. 5. Розташування наявних пунктів мережі

Геометричне нівелювання між вибраними стінними реперами виконано цифровим нівеліром DiNi-22.

Під час нівелювання використано штрих-кодові рейки. Нівелювання на кожній станції виконано на двох го-

ризонтах приладу (ГП). За остаточне прийнято середнє значення із середніх перевищень, отриманих на станції за ГП-1 і ГП-2. Під час робіт дотримано загальних положень щодо виконання умов нівелювання. Перед початком вимірювань надавався певний час, не більше ніж 20 хв, для адаптації приладу до зовнішніх умов. На перехідних точках використано нівелірні підкладки (башмаки). Нівелювання мережі виконували в прямому і зворотному напрямках.

Після завершення нівелювання мережі виконано контрольне нівелювання. Це нівелювання також виконували за двох горизонтів приладу.

Завдяки прокладанню контрольних нівелірних ходів утворилось три нівелірні полігони, які об'єднали виміряну нівелірну мережу (див. рис. 6). Параметри цих полігонів – в межах від 1,0 км до 3,0 км. Нев'язки перевищень  $f_h$  в утворених полігонах були в межах 1–3 мм.

Нарешті, для визначення нашої нівелірної мережі необхідно вибрати вузлову точку. Ми отримали дані про стінні репери першого класу (Rp.475, Rp.216,

Rp.6/№ Ратуша) та стінні репери другого класу (Rp.814, Rp.108, Rp.1). Відомості про зміни висот зазначених реперів за останні десятиліття відсутні. Необхідно було прийняти рішення про висоту певного репера, від якого належало обчислювати висоти всіх реперів мережі, яка була віднівельована другим класом. За такий репер прийняли Rp.33. Додатково було прокладено два нівелірних ходи (в прямому і зворотному напрямках) – відповідно від двох реперів першого класу (Rp.475 та Rp.216). В результаті утворились три нівелірні ходи, які сходились в одній вузловій точці (Rp.33), від трьох реперів першого класу (Rp.6/№ Ратуша, Rp.475, Rp.216) з відомими висотами. Висоту стінного репера Rp.33 обчислено як середньовагову величину суми перевищень  $\Sigma h$  від трьох зазначених реперів першого класу. Точність обчисленої висоти цього репера – близько 2 мм. Потім від цієї висоти розраховували висоти всіх виміряних стінних реперів нашої нівелірної мережі. При цьому застосовували виправлені перевищення між реперами мережі (з урахуванням нев'язок утворених полігонів) [14].

Таблиця 1

**Обчислення вірогідного значення висоти Ст. Rp. 33**

№ ходу	Нівелірний хід	Висота Вихідного RP	клас	Вимірне перевищення $\Sigma h$ по ходу	Довжина ходу $L$ , км	Вага $P = \frac{1}{LKM}$	$H_{RP\ 33}$
1	RP 6/№ (пам.)—RP 33	284,261	1	+0,3833	0,667	1,50	283,8738
2	RP 216 – RP 33	282,279	1	+1,5979	0,512	1,95	,8769
3	RP 475 – RP 33	281,837	1	+2,0416	0,206	4,85	,8786

$$H_{RP\ 33} = \frac{H_{Rp33} \times P_1 + H_{Rp33} \times P_2 + H_{Rp33} \times P_3}{p_1 + p_2 + p_3} = 283,8738.$$

У табл. 3 подано віддалі між вузловими реперами.

Схему вихідної висотної основи наведено на рис. 6, на якому вказано номери реперів, перевищення між реперами.

У табл. 2 наведено довжини нівелірних ходів між реперами.

Таблиця 3

**Відаль між вузловими реперами вихідної висотної основи**

Назва ходу	Довжина ходу, км	Назва ходу	Довжина ходу, км
L <sub>33-42</sub>	2,7	L <sub>42-46</sub>	1,0
L <sub>33-46</sub>	0,6	L <sub>46-38</sub>	0,9
L <sub>33-35</sub>	2,2	L <sub>46-35</sub>	0,8
L <sub>42-38</sub>	1,1		

Таблиця 2

**Відаль між реперами вихідної висотної основи**

Назва ходу	Довжина ходу, км	Назва ходу	Довжина ходу, км	Назва ходу	Довжина ходу, км
1	2	3	4	5	6
l <sub>1</sub>	0,032	l <sub>8</sub>	0,632	l <sub>15</sub>	0,837
l <sub>2</sub>	0,630	l <sub>9</sub>	0,748	l <sub>16</sub>	0,038
l <sub>3</sub>	0,646	l <sub>10</sub>	0,031	l <sub>17</sub>	0,046
l <sub>4</sub>	0,617	l <sub>11</sub>	0,036	l <sub>18</sub>	0,497
l <sub>5</sub>	0,320	l <sub>12</sub>	1,188	l <sub>19</sub>	0,466
l <sub>6</sub>	0,820	l <sub>13</sub>	0,589	l <sub>20</sub>	1,640
l <sub>7</sub>	0,615	l <sub>14</sub>	1,023	l <sub>21</sub>	0,593

Клас висотної основи, яка створюється на території міста, вибирають за такої умови, щоб точність визначення висотних позначок марок і реперів задовольняла вимоги найвідповідальніших висотних розмічувань – прокладання труб каналізаційних колекторів, розмічування з висотою прецизійних споруд і, безумовно, спостереження за осіданнями будівель.

Вихідна висотна основа на території міста Львова створювалась нівелюванням II класу.

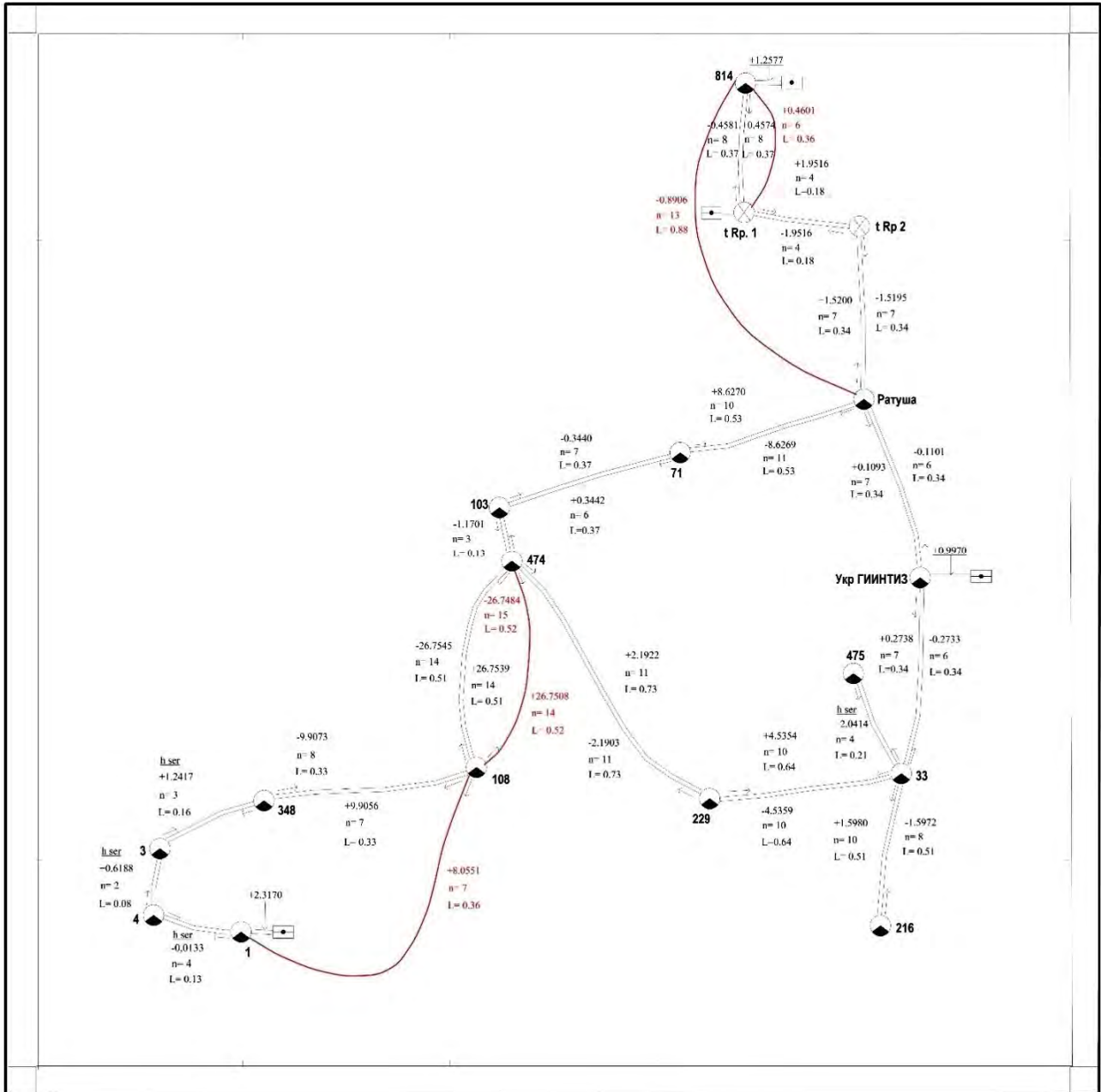


Рис. 6. Нівелірна мережа частини м. Львова

Таблиця 4

**Результати попереднього розрахунку точності вихідної нівелірної мережі**

№ вузлового репера	Середні квадратичні очікувані помилки визначення висоти, мм
Стр. "Ратуша"	1,6
Стр. 33	1,6
Стр. 474	1,2

Дані табл. 4 показують, що точність визначення висотного положення вузлових реперів повинна бути доволі високою.

**Опрацювання результатів.**

Після вирівнювання та оцінювання точності повторного циклу вимірювань розраховують відмітки  $H$  реперів, які просили, та складають відомості ходу осідань [11]. При цьому визначають величину осідань  $S$  між двома останніми циклами  $I-1$  та  $i$

$$S(i-1)I = H_i - H_{i-1}.$$

Сумарне осідання від початку спостережень

$$S_i = H_i - H_0.$$

Нерівномірне осідання фундаментів відповідних будівель і споруд в поточному циклі  $i$

$$\Delta SI.2 = (S_2 - S_1).$$

Щоб наочно відобразити хід осідання, складають суміщений графік осідань стінних реперів на фундаментах будівель за різницями відміток.

Таблиця 5

**Перевищення між реперами у 2018 р.**

№ реп	перевищення		
	прямий	зворотний	середнє
Rp 1	+1.8503	-1.8503	+1.8502
Rp 348	-9,9073	+9,9056	-9,90645
Rp 108	-26,7545	+26,7539	-26,7542
Rp 474	-1,1702	+1,1700	-1,1701
Rp103	-0,3440	+0,3442	-0,3441
Rp71	+8,6270	-8,6269	+8,62695
рагуша	+8,6270	-8,6269	+8,62695
Укр. Г.	-0,1101	+0,1093	-0,1097
p33	-0,2733	+0,2738	-0,27355
Rp 229	-4,5359	+4,5354	-4,53565
Rp 474	-2,1903	+2,1922	-2,19125
рагуша	-1,5195	+1,5200	-1,51975
T. Rp2	+1,9516	-1,9516	+1,9516
T. Rp1	+0,8903	-0,8907	+0,8905
Rp814	+0,3830	-0,3835	+0,3833
Рагуша	+2,0416	-2,0412	+2,0414
Rp33			
Rp475	+1,5980	-1,5972	+1,5976
Rp33			
Rp216			

Таблиця 6

**Каталог висот пунктів нівелірної мережі 2018 р.**

№	Тип, назва і номер нівелірного знака	Місцезнаходження нівелірного знака	Висота Н, м
1	2	3	4
1	Ст. Rp. 33	Вул. Шухевича, 2, школа № 35	283,874
2	Ст. Rp. 229	Вул. Чайковського, 22	279,340
3	Ст. Rp. 474	Гол. корпус НУ ім. Івана Франка	277,148
4	Ст. Rp. 103	Вул. Листопадового Чину, 1	275,978

Продовження табл. 6

1	2	3	4
5	Ст. Рр. 71	Ріг вулиць академіка Гнатюка (Музей народозн.) та пр. Свободи, 15	275,634
6	Ст. Рр. б/№ (ратуша)	Пл. Ринок, 1	284,261
7	Ст. Рр. б/№(укр..гіінтіз)	Пл. Соборна, 3а	284,151
8	Ст. Рр. 814	Вул. Б. Хмельницького, 28 (церква св. Миколая)	284,691
9	Ст. нів. марка б/№	Пл. Звенигородська, костел Марії Сніжної	285,775
10	Ст. Рр. 108	Вул. Я. Матейка, 8	303,902
11	Ст. Рр. 1	Вул. Бандери, 12, гол. корпус Політехніки, центр. вхід	311,958
12	Ст. Рр. 4	Гол. корпус Політехніки, західна стіна	311,948
13	Ст. Рр. 3	Гол. корпус Політехніки, західна стіна	312,568
14	Ст. Рр. 348	Пл. Св. Юра, 9, корпус № 9 (хім. Корпус)	313,840
15	Ст. Рр. 216	Вул. Грушевського, 21	282,280
16	Ст. Рр. 475	Вул. Князя Романа, 5	281,837
17	Ст. Рр. 280	Вул Шолом-Алейхема, 3	276,995
18	Ст. Рр. 101	Вул. Огієнка, 15	279,788
19	Ст. Рр. 122	Вул. Клепарівська, 12	285,356
20	Ст. Рр. 169	Вул. Львівська пивоварня	292,473
21	Ст. Рр. 10	Вул. Клепарівська, 20	281,779
22	Ст. Рр. 14	Вул. Клепарівська, 22	274,334
23	Ст. Рр. 135	Вул. Одеська, 2	306,948

Таблиця 7

## Каталог висот повторного нівелювання 2018 та 1934 рр. у місті Львові

№	Тип, назва і номер нівелірного знака	Місцезнаходження нівелірного знака	Висота Н, м 2018 р.	Висота Н, м 1897 р.	Різниця
1	2	3	4	5	6
1	Ст. Рр. 33	Вул. Шухевича, 2, школа № 35	283,874	284,083	-0,201
2	Ст. Рр. 229	Вул. Чайковського, 22	279,340	279,558	-0,218
3	Ст. Рр. 474	Гол. корпус НУ ім. Івана Франка	277,148	277,335	-0,187
4	Ст. Рр. 103	Вул. Листопадового Чину, 1	275,978	276,215	-0,237
5	Ст. Рр. 71	Ріг вулиць академіка Гнатюка (Музей народозн.) та пр. Свободи, 15	275,634	275,872	-0,238
6	Ст. Рр. б/№ (ратуша)	Пл. Ринок, 1	284,261	284,261	0
7	Ст. Рр. б/№ (укр..гіінтіз)	Пл. Соборна, 3а	284,151	284,151	0
8	Ст. Рр. 814	Вул. Б. Хмельницького, 28 (ц. св. Миколая)	284,691	284,774	-0,083
9	Ст. нів. марка б/№	Пл. Звенигородська, костел Марії Сніжної	285,775	285,979	-0,204
10	Ст. Рр. 108	Вул. Я. Матейка, 8	303,902	304,081	-0,179
11	Ст. Рр. 1	Вул. С. Бандери, 12, гол. корпус Політехніки, центр. вхід	311,958	311,958	0
12	Ст. Рр. 4	Гол. корпус Політехніки, західна стіна	311,948	311,948	0
13	Ст. Рр. 3	Гол. корпус Політехніки, західна стіна	312,568	312,568	0
14	Ст. Рр. 348	Пл. Св. Юра, 9, корпус № 9 (хім. корпус)	313,840	314,005	-0,165
15	Ст. Рр. 216	Вул. Грушевського, 21	282,280	282,47	-0,190
16	Ст. Рр. 475	Вул. Князя Романа, 5	281,837	282,085	-0,198



Продовження табл. 7

1	2	3	4	5	6
17	Ст. Rp280	Вул. Шолом-Алейхема, 3	276,995	287,1882	-0,193
18	Ст. Rp101	Вул. Огієнка, 15	279,788	279,9774	-0,189
19	Ст. Rp122	Вул. Клепарівська, 12	285,356	285,5016	-0,145
20	Ст. Rp169	Вул. Львівська пивоварня	292,473	292,5937	-0,120
21	Ст. Rp10	Вул. Клепарівська, 20	281,779	281,8898	-0,110
22	Ст. Rp14	Вул. Клепарівська, 22	274,334	274,4568	-0,122
23	Ст. Rp 135	Вул. Одеська, 2	306.948	307,117	-0,169

### Математична інтерпретація результатів вимірювань

В нашому випадку одержані результати повторного нівелювання II класу подано у вигляді таб-

лиці висот реперів між циклами спостережень, які наведено у табл. 7. За цими результатами побудовано графік зміни висот реперів між циклами спостережень (рис. 6).



Рис. 6. Зміни висот реперів між циклами спостережень

Висоти пунктів цієї мережі отримано у зазначену епоху з точністю декілька міліметрів. Повторне нівелювання цієї мережі, виконане через 121 рік, дало відповідь, зокрема, на питання про характер вертикальних рухів земної поверхні в регіоні досліджень.

### Висновки

Здійснено порівняння повторного нівелювання у 2018 р. щодо 1897 р. Можна зробити висновок про не-

велике вертикальне зміщення за 121 рік, про що свідчить графік (рис. 6).

Повторне нівелювання цієї мережі дало відповідь, зокрема, на питання про характер вертикальних рухів земної поверхні в регіоні досліджень.

Згадані вище порівняння дають підстави стверджувати, що результати нівелювання можна ще довго використовувати для нівелірних робіт, якщо висотні стінні репери будуть збережені й захищені законом.

## Література

- Большаков В. Д., Ключин Е. Б., Васютинский И. Ю. (1991). Геодезия. Изыскания и проектирование инженерных сооружений. М.: Недра.
- Асур В. Л., Кутузов М. Н., Муравин М. М. (1979). Высшая геодезия. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Недра, 398 с.
- Бойко А. В., Кузнецов Т. Н., Неумывакин Ю. К. и др. (1991). Геодезия. Топографические съемки. М.: Недра.
- Punkty stale (1912). Na podstawie niwelacji miejskiego urzedu budowniczego we Lwowe. r. g. *Czasopismo techniczne: organ Polskiego towarzystwa politechnicznego we Lwowie*. Tom 54. LWÓW, 25 MARCA 1936 R. Nr. 6.
- Волосецкий Б. И. (2003). Инженерная геодезия. Львів. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (1999). К.: ГКНТА.
- Климов О. Д., Калугин В. В., Писаренко В. К. (1991). Практикум по прикладной геодезии. М.: Недра.
- Справочное пособие по прикладной геодезии (1987). Под ред. В. Д. Большакова. М.: Недра.
- Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов (1974). М.: Недра, 160 с.
- Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г. (1981). Прикладная геодезия: Основные методы инженерно-геодезических работ: учебник для вузов. М.: Недра, с. 438.
- Климов О. Д. (1974). Основы инженерных изысканий. М.: Недра, 256 с.
- Левчук Г. П. (1970). Курс инженерной геодезии. М.: Недра, 408 с.
- Колгунов В. М. (2008). Конкурсна робота студентів. Львів.
- Lucian Besutiu, Lumininia Zlagnan. Geodynamik consideration on the space-time migration of the Vrancea intermediate-depth seismicity. Integrated research on the intermediate-depth earthquake genesis within Vrancea zone. P. 140–152.
- Peter Szafian Frank Horvath. Crustal structure in the Carpatho-Panonian region: insights from three-dimensional gravity modeling and their geodynamic significance. *Int. J. Earth Sci (Geol Rundsch)* (2006) 95: 50–67

Yu. KORDUBA<sup>1</sup>, V. KOLHUNOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

<sup>2</sup> Department of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine

#### ANALYSIS OF IN HEIGHT CHANGES OF THE LEVEL NETWORK FOR THE PERIOD 1897–2018 IN THE CITY OF LVIV

The purpose of this article is to determine the vertical displacement of the central, historical part of the city of Lviv by means of geometric leveling, the excesses between the benchmarks laid in the basement of buildings and the creation of a comparative table and creating diagram based on the differences in height of the benchmarks of different years of leveling. Deformations of structures caused by the effects of various natural and anthropogenic (technogenic) factors both on the basement and on the structure itself. Vertical deformations of the ground are divided into:

- sinking – deformations resulting from compaction of the soil under the influence of external loads and in some cases the own weight of the soil, which is not accompanied by radical changes in its structure;
- subsidence – arising from compaction and, as a rule, fundamental changes in the structure of the soil;
- under the influence of both external loads and the soil's own weight, and in addition to them acting factors such as, for example, soil soaking, thawing of ice layers in frozen soil, etc.

Causes of deformation. As described above, deformations of the basement are due to their natural and man-made factors. The main natural factors include:

- swelling during freezing of water-saturated and thawing of frozen ice-saturated rocks;
- changes in hydrothermal conditions related to seasonal and perennial fluctuations in temperature, humidity of rocks and groundwater level.

A leveling course was laid on the scheme of the fragment of the old part of the city of Lviv, the reconnaissance of the selected territory was made. It was identified all the wall stamps that were on our paved leveling course. As a result, four leveling stamps of the old network were found: in the wall of the main building of LPNU, the church of St. Nicholas' Church St. Andrew and St. Mary's Church. The rest of the marks are destroyed or are under plaster. The wall mark No. 1 of the main building of the Polytechnic was extracted during the weekend. During the leveling, we used existing wall rappers on the houses of the old part of Lviv. Leveling on the object was performed by a Trimble DiNi-22 leveler using a

pair of three-meter invariant strips (No. 3624 and No. 3625), two leveling pads, an umbrella and a lace to measure the distance from the leveling to the rails. We take into account the fact that the analysis of the same benchmarks in different years of leveling has not been done yet. This article is aimed at solving this problem. The re-leveling of this network gave an answer, in particular, to the nature of vertical movements of the Earth's surface in the study region. Based on the above comparisons, it can be argued that leveling results can be used for a long time for leveling work, if high-rise wall benchmarks are maintained and protected by law.

*Key words:* geodetic network; geomonitoring; relief; the rapper; invariant strip

### References

- Bolshakov V. D., Klyushin, E. B., & Vasyutinskiy I. Y. (1991). *Geodeziya. Izyiskaniya i proektirovanie inzhenernykh sooruzheniy.* [Research and design of engineering structures]. Moscow: Nedra.
- Asur V. L., Kutuzov M. N., & Muravin M. M. (1979). *Vysshaya geodeziya. Izd. 2, pererab. i dop.* [Higher Surveying]. Moscow: Nedra.
- Boyko A. V., Kuznetsov T. N., & Neumyvakin Y. K. (1991). *Geodeziya. Topograficheskie s'emki.* [Geodesy. Topographic surveys]. Moscow: Nedra.
- Punkty stale. Na podstawie niwelacyi miejskiego urzedu budowniczego we lwowe. 1912 r. G. *Czasopismo techniczne.* Organ Polskiego towarzystwa politechnicznego we Lwowie. Tom 54 lwów, 25 marca 1936 r. nr. 6.
- Volosetskiy B. I. (2003). *Inzhenerna geodeziya.* [Engineering geodesy]. Lviv.
- HKNTA (1999). *Instruktsiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.* [Topographic survey instruction in 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000, 1: 500 scales]. Kyiv.
- Klimov O. D., Kalugin V. V., & Pisarenko V. K. (1991). *Praktikum po prikladnoy geodezii* [Applied Geodesy Workshop]. Moscow: Nedra.
- Bolshakov V. D. (Ed.). (1987). *Spravocnoe posobie po prikladnoy geodezii* [Applied Surveying Reference]. Moscow: Nedra.
- Instruktsiya po nivelirovaniyu I, II, III i IV klassov* [Instructions for leveling I, II, III and IV classes] (1974). Moscow: Nedra.
- Levchuk G. P., Novak V. E., & Novak V. G. (1981). *Prikladnaya geodeziya: Osnovnye metody inzhenerno-geodezicheskikh rabot. Uchebnyk dlya vuzov* [Applied geodesy: The main methods of engineering and geodetic works. Textbook for high schools]. Moscow: Nedra.
- Kolhunov V. M. (2008) Konkursna robota studentiv. Lviv.
- Zurutuza J., Caporali, A., Bertocco M., Ishchenko M., Khoda O., Steffen H., ... Nykiel, G. (2019). The Central European GNSS Research Network (CEGRN) dataset. *Data in Brief*, 27, 104762. doi: 10.1016/j.dib.2019.104762.
- Szafián P., & Horváth F. (2005). Crustal structure in the Carpatho-Pannonian region: insights from three-dimensional gravity modelling and their geodynamic significance. *International Journal of Earth Sciences*, 95(1), 50–67. doi: 10.1007/s00531-005-0488-x

