

В.С. Стрілець, аспірант кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва та архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАХИСНИХ СПОРУД НА РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

У статті розглянуто і проаналізовано актуальність проблеми впливу температурних деформацій на результати геодезичних вимірювань. Запропоновано для визначення температурних деформацій захисних споруд поєднувати методи будівельної механіки з результатами геодезичних вимірювань. Наведено розрахункову модель підпірної стінки у вигляді стержня з жорстким заземленням. Для розрахунку температурних деформацій підпірної стінки застосовано метод переміщень. Теоретичні переміщення стержневої моделі обчислено шляхом розв'язання диференціальних рівнянь, що описують НДС конструкції під впливом температури. Обґрунтовано необхідність врахування температурних переміщень деформаційних марок в результати геодезичних вимірювань.

Ключові слова: температурні деформації, напружено-деформований стан (НДС), геодезичний моніторинг.

Вступ. Унаслідок періодичної зміни зовнішніх умов, а саме температури, вологості, навантаження від вітру та ґрунту, вібраційних навантажень інженерні споруди або їх окремі частини переміщуються в просторі відносно проектного положення. Такі переміщення можуть бути як тимчасовими, так і постійними. Зміна положення конструкцій в просторі призводить до зміни несучої здатності як споруди загалом, так і її окремих конструктивних елементів. Тому завдання геодезичного моніторингу – визначити фактичну величину деформацій, причини їх виникнення та спрогнозувати деформаційні процеси і вжити своєчасних заходів для зниження їх впливу. Сучасний рівень розвитку геодезичних приладів та різноманітних програмних комплексів дає інженерам-геодезістам змогу розробляти нові методи геодезичного моніторингу або удосконалювати вже відомі методики.

Питання впливу зміни температури на результати геодезичних вимірювань під час зведення багатоповерхових будинків, мостів, магістральних трубопроводів, оболонки покриття тощо нині залишається нерозв'язаним. Особливо гостро це відчувається під час зведення складних сучасних споруд з монолітного залізобетону. Під впливом температури в залізобетоні виникають внутрішні взаємно врівноважені напруження, спричинені відмінностями в значеннях коефіцієнта лінійного розширення бетону і металеві арматури. Слід також зауважити, що в зовнішніх шарах матеріал прогрівається інтенсивніше, ніж у внутрішніх. Нерівномірний розподіл температури в споруді призводить до виникнення нерівномірності напружень в тілі конструкції, що є однією з причин її руйнування. Тому для

визначення точних теоретичних величин температурних переміщень потрібно розглядати класичні методи розв'язання задач в будівельній механіці.

Аналіз досліджень та публікацій. Нині науковцями розглянуто можливі перспективні напрями вирішення багатьох проблем в геодезії шляхом дослідження напружено-деформованого стану конструкцій [1-3]. Завдяки поєднанню результатів моделювання будівельної механіки з результатами геодезичних спостережень можна вести мову про новий рівень геодезичного забезпечення будівництва.

Вплив температурних деформацій будівельних конструкцій під час геодезичного моніторингу висвітлено в наукових працях П.І. Барана, Н.О. Міщенко, О.М. Самойленко, С.П. Войтенко та багатьох інших. Найбільшу увагу геодезистів температурні деформації привертають під час будівництва та моніторингу за спорудами баштового типу (труби, телевежі, градирні тощо), оскільки саме ці споруди можна використовувати як пункти триангуляційної мережі [4-6]. Але такі моделі визначення температурних деформацій є наближеними, оскільки вони не описують точного закону розподілу температури по перерізу конструкції і не відображають конструктивних особливостей об'єктів дослідження. У роботах зарубіжних науковців [7; 8] наведено математичні моделі визначення температурних деформацій за результатами натурних спостережень. Результати моделювання покрівлі Олімпійського Овалу (м. Калгарі, Канада) [7] не збігаються з результатами вимірювання, оскільки модель не враховує точного розподілу температур в конструкції опор, а рівняння опису деформації арки Атлантичного павільйону (м. Ліссабон, Португалія) [8] взагалі не має достовірного підтвердження отриманих величин деформацій.

Згідно з виконаним оглядом результатів дослідження зазначеної проблеми можна константувати неможливість прогнозування температурних деформацій будівельних конструкцій у певний момент часу за визначених температурних умов, а також використання згаданих моделей для сучасних споруд, оскільки вони є частковим випадком для конкретного об'єкта.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в отриманні математичної моделі температурних деформацій об'єкта дослідження за різних температурних умов та в обґрунтуванні потреби врахування цих деформацій в результатах геодезичного моніторингу.

Основна частина. Під час будівництва інженерних споруд особливу увагу приділяють фізико-географічним та інженерно-геологічним характеристикам території забудови. Виходячи з особливостей певного району застосовують той чи інший підхід до інженерно-будівельного та інженерно-геодезичного забезпечення будівництва. Підпірні стінки споруджують з практичною метою – запобігти ймовірному сповзанню землі на місцевості зі складним рельєфом. Зазвичай їх споруджують на великих схилах, наприклад, на берегах річок.

З погляду впливу температури підпірну стінку можна розділити на дві частини – підземну, тобто ту, що знаходиться нижче від рівня землі, і наземну. Підземна частина будівлі не тільки масивна, а й природно ізольована навколишнім ґрунтом, тому температурними впливами на неї можна знехтувати.

Значення коефіцієнтів температурного розширення бетону і заліза близькі між собою ($1 \cdot 10^{-5} 1/(\text{°C})$ та $1,5 \cdot 10^{-5} 1/(\text{°C})$), тому внаслідок зміни температури в невеликих межах у складеному матеріалі виникають лише незначні внутрішні напруження, що не спричиняють небезпечних деформацій. Однак через сезонні коливання температури маємо велике значення напружень, що може призвести до втрати міцності та стійкості споруди.

Для дослідження впливу температурних деформацій обрано підпірну стінку PS-2, що забезпечує стійкість схилу на ділянці будівництва торговельного центру на вул. Саперно-Слобідській у Голосіївському районі м. Києва (рис.1) [9].



Рис. 1. Загальний вигляд розміщення підпірних

Завдання дослідження полягає в порівнянні результатів спостереження за деформаціями підпірної стінки протягом січня – червня 2014 року та результатів обчислених переміщень і шляхом ґрунтового аналізу результатів підтвердити достовірність математичної моделі, яка дає змогу прогнозувати температурні переміщення об'єкта на будь-який момент часу.

Розпочинаючи розрахунок підпірної стінки з метою дослідження можливих переміщень, слід представити конструктивне рішення у вигляді розрахункової схеми. Зважаючи на конструктивні особливості підпірної стінки та навантаження, що виникає внаслідок тиску навколишнього ґрунту, розроблено розрахункову модель (рис. 2), що являє собою стержень з жорстким защемленням унизу.

Переміщення всіх точок стержневої моделі обчислено за допомогою диференціальних рівнянь, що описують НДС конструкції під впливом температури. Для знаходження єдиного розв'язку системи рівнянь шукані функції повинні задовольняти певним граничним умовам, що залежить від способу

закріплення елемента на кінцях. Згідно з розрахунковою моделлю ці умови мають однаковий вигляд у двох випадках: якщо $x=0$ ($w, \varphi=0$) та $x=1$ ($M, Q=0$).

Саме такий підхід до розрахунку впливу температурних деформацій слід застосувати під час виконання геодезичних робіт [10].

Для розв'язання поставлених завдань використано ефективний чисельний метод розв'язання граничних задач для систем звичайних диференціальних рівнянь – метод дискретної ортогоналізації С.К. Годунова.

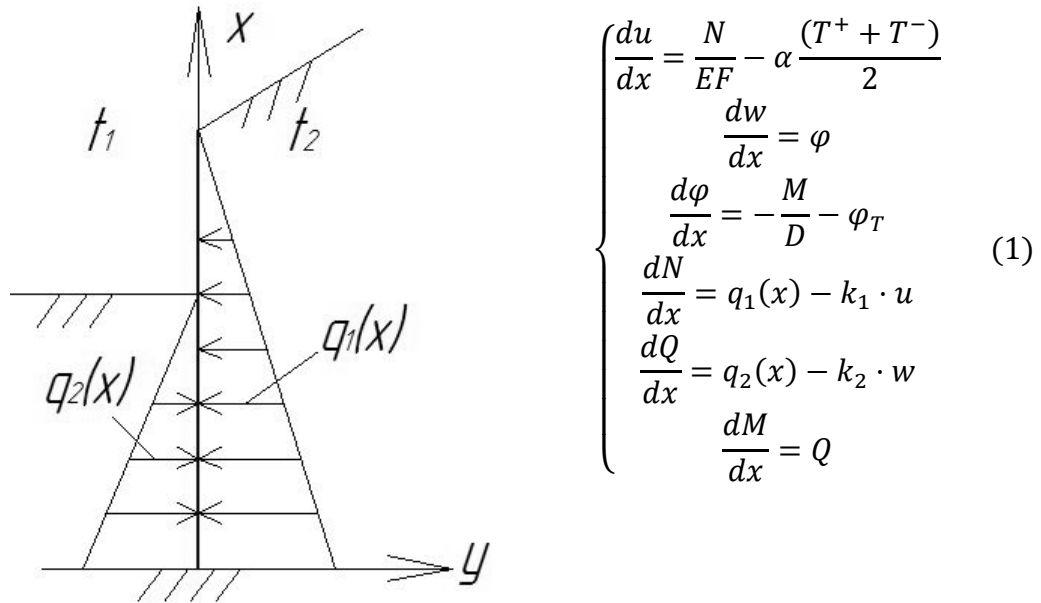


Рис. 2. Розрахункова схема підпірної стінки

Для аналізу величин переміщень обрано два цикли спостережень за аномальних значень температури: $t_1 = -20^\circ\text{C}$ та $t_2 = +25^\circ\text{C}$. На рис. 3. наведено результати розрахунку переміщень наземної частини палі за температури $t_1 = -20^\circ\text{C}$ (суцільна крива) та $t_2 = +25^\circ\text{C}$ (штрих-пунктирна крива).

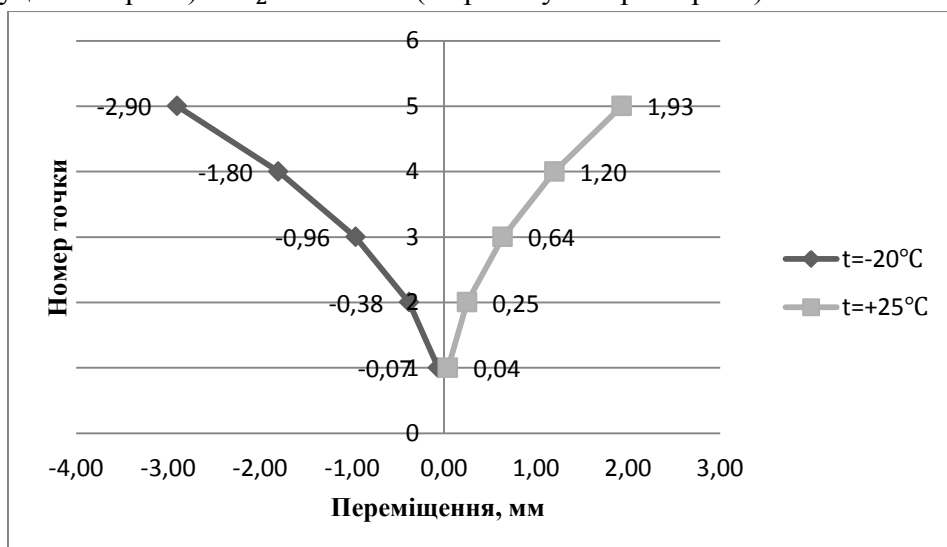


Рис. 3. Розрахункова крива граничного значення зміщення точок палі залежно від температури

Спостереження виконано за деформаційними марками, розміщеними у верхній частині ростверку та в нижній частині підпірної стінки ($h=0.5-1$ м). Точність визначення координат марок становить 3 мм.

На рис. 4 та 5 представлено графіки результатів вимірювання переміщень деформаційних марок для PS-2.

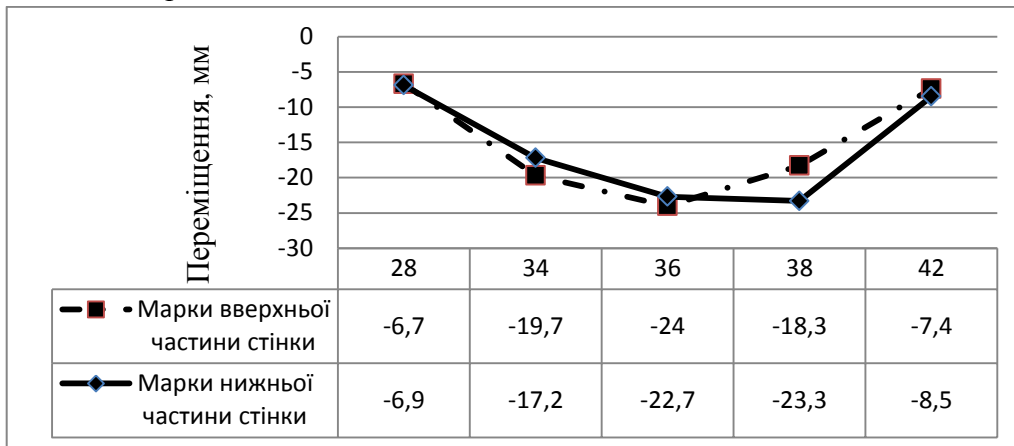


Рис. 4. Результати вимірювань зміщень деформаційних марок підпірної стінки вздовж координатної осі ОХ за $t_1 = -20$ °C

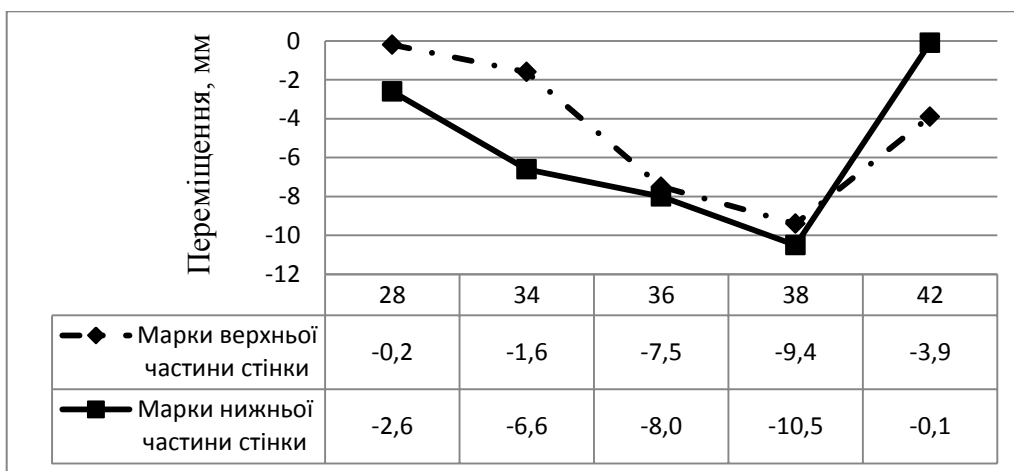


Рис. 5. Результати вимірювань зміщень деформаційних марок підпірної стінки вздовж координатної осі ОХ за $t_2 = +25$ °C

Проаналізувавши отримані результати спостережень, доходимо висновку, що точки верху та низу стінки переміщуються по-різному, оскільки вони не знаходяться на одній вертикалі. Ці переміщення зумовлені неоднорідною будовою стінки, що складається з буронабивних паль, розміщених у два ряди з кроком 1 м між осями в шаховому порядку, а простір між ними заповнено ґрунтом.

Будь-який процес вимірювання залежно від умов, в яких його виконують, пов'язаний з похибками, котрі спотворюють уявлення про дійсне значення вимірюваної величини, тому виникає потреба оцінити вплив температурних деформацій на точність виконання геодезичних робіт.

Оскільки предметом дослідження є переміщення марок, то середня квадратична похибка (СКП) їх визначення дорівнює

$$\begin{cases} m_{\Delta x,y} = m_{x,y}\sqrt{2} \\ m_{\Delta h} = m_h\sqrt{2} \end{cases}$$

Якщо до наведеного виразу застосувати критерій впливу систематичних похибок, то результати вимірювання не будуть спотворені похибкою внаслідок зміни температури за умови, що [11]

$$\frac{\delta_{\text{темп}}}{m_{\Delta x,\Delta y,\Delta h}} \leq \frac{1}{3} \tag{2}$$

Згідно з результатами розрахунків вважатимемо, що $m_x = 4,3$ мм.

Скористаємось виразом (2) для оцінювання впливу температурних деформацій будівельних конструкцій на СКП розміщення марок вздовж осі ОХ:

$$\frac{\delta_{\text{темп}}}{4,3} \leq \frac{1}{3};$$

$$\delta_{\text{темп}} \leq 1,4 \text{ мм.}$$

Отже, результати вимірювання положення деформаційних марок не будуть спотворені, якщо величина температурних деформацій не перевищує 1,4 мм.

Згідно з теоретично розрахованими температурними переміщеннями деформаційних марок максимальних зміщень зазнає верхня частина підпірної стінки $\delta_{\text{темп}} = -2,9$ мм за $t_1 = -20$ °С, а за $t_2 = +25$ °С - $\delta_{\text{темп}} = 1,9$ мм, тобто результати вимірювання спотворені похибкою за зміну температури.

Для визначення реальної деформації підпірної стінки треба брати до уваги температурні переміщення деформаційних марок (рис. 6.).

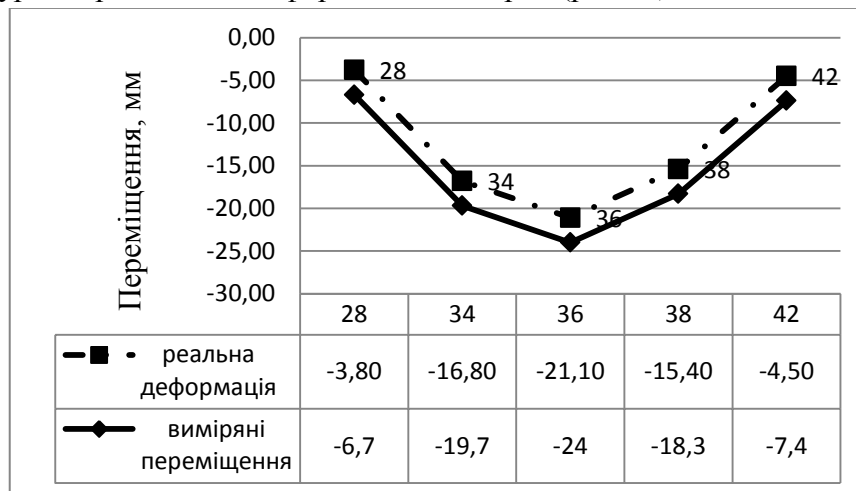


Рис. 6. Врахування впливу температурних деформацій для визначення деформацій підпірної стінки

Висновки. Для розроблення точної математичної моделі обчислення переміщень, спричинених сезонною змінною температури зовнішнього середовища, слід застосовувати методи будівельної механіки, що з достатньою точністю описують поведінку конструкції. У роботі запропоновано розрахункову і математичну моделі підпірної стінки та виконано обчислення її температурних деформацій на момент виконання геодезичного моніторингу. Використовуючи запропоновану математичну модель підпірної стінки (1), можна обчислювати температурні переміщення за будь-якої наперед заданої величини температури, що сприятиме скороченню обсягу польових геодезичних робіт та підвищенню

якості інженерно-геодезичного забезпечення будівництва. Обґрунтовано потребу у врахуванні температурних деформацій під час геодезичного моніторингу шляхом введення поправок за зміну температури у виміряні переміщення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Адаменко О.В.* Методи розрахунку точності геодезичних робіт при зведенні мостів шляхом моделювання напружено-деформованого стану [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.В. Адаменко. – К., 2012. – 18 с.
2. *Білоус М.В.* Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ М.В. Білоус. – К., 2011. – 16 с.
3. *Чибіряков В.К.* Загальний підхід до моделювання точності геодезичних робіт при проведенні моніторингу лінійних споруд / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко// Інженерна геодезія. – 2011. – Вип. 57. – С. 56-67.
4. *Раинкин В.Я.* Определение координат точек башенных сооружений при воздействии солнечной радиации и ветровой нагрузки / В.Я. Раинкин // Инженерная геодезия. – 1988. – Вып. 31. – С. 68 – 71.
5. *Міщенко Н.О.* Визначення крену високих споруд, зумовленого впливом однобічного сонячного нагрівання / Н.О. Міщенко // Інженерна геодезія. – 1992. – Вип. 36. – С. 82-84.
6. *Лобов М.И.* Влияние неравномерного теплового нагрева на крен дымовых труб / М.И. Лобов, П.И. Соловей // Инженерная геодезия. – 1982. – Вып.25. – С. 59 – 62.
7. *W.F. Teskey, R.S. Radovanovic, B. Paul, R.G. Brazeal (2004)* Measurement of Temperature-Induced Deformations in a large roof structure / 1st FIG International symposium on engineering surveys for construction works and structural engineering, United Kingdom.
8. *M.J. Henriques, P.V. Mateus, P. Palma, H. Cruz (2008)* Modelling the behavior of large span glulam arch of Atlántico Pavillion / 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering / 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon.
9. *Шульц Р. В.* Статистическое исследование перемещений подпорных стенок по результатам геодезических измерений/ Р.В. Шульц, А.А. Анненков, А.М. Хайлак, В.С. Стрилец // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. №3 (27). – С. 21 – 39.
10. *Чибіряков В. К.* Аналіз сучасного стану проблеми врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій під час виконання геодезичних вимірювань / В.К. Чибіряков, Р. В. Шульц, О. П. Ісаєв, В. С. Стрилец// Інженерна геодезія. – 2013. – Вип.59. – с. 23 – 31.
11. *Кемниц Ю.В.* Теория ошибок измерений / Ю.В. Кемниц. – М.: Недра, 1967. – 175 с.

REFERENCES

1. *Adamenko O.V.(2012)* Metody rozrakhunku tochnosti heodezychnykh robit pry zvedenni mostiv shliakhom modeliuvannia napruzhenodeformovanoho stanu [Methods of calculating the accuracy of geodetic work during the construction of

bridges by modeling stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

2. Bilous M.V. (2011) Rozroblennia metodyky sposterezhen za peremishchenniamy tuneliv metropolitenu na stadii budivnytstva [Develop methods of observation the movements of the subway tunnel during the construction phase]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

3. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Nikitenko K.O. (2011) Zahalnyi pidkhid do modeliuvannya tochnosti heodezychnykh robit pry provedenni monitorynhu liniinykh sporud [General approach to modeling the accuracy of geodetic work during the monitoring of linear structures]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 57, 56-67 [in Ukrainian].

4. Raynkyn V.Ya. (1988) Opredelenye koordynat toчек bashennykh sooruzheniy pry vozdeistviy solnechnoi radyatsyy y vetrovoi nahruzky [Determination of the coordinates of points tower constructions under the influence of solar radiation and wind load]. *Ynzhenernaia heodeziya – Engineering geodesy*, 31, 68-71 [in Russian].

5. Mishchenko N.O. (1992) Vyznachennia krenu vysokykh sporud, zumovlenoho vplyvom odnobichnoho soniachnoho nahrivannia [Definition of heel high buildings, because of the one-sided solar heating]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 36, 82-84 [in Ukrainian].

6. Lobov M.Y. (1982) Vliyanye neravnomernoho teplovoho nahreva na kren dymovykh trub [The impact of uneven thermal heating on hell smoke pipes]. *Ynzhenernaia heodeziya – Engineering geodesy*, 25, 59-62 [in Russian].

7. W.F. Teskey, R.S. Radovanovic, B. Paul, R.G. Brazeal (2004) Measurement of Temperature-Induced Deformations in a large roof structure / *1st FIG International symposium on engineering surveys for construction works and structural engineering*, United Kingdom.

8. M.J. Henriques, P.B. Mateus, P. Palma, H. Cruz (2008) Modelling the behavior of large span glulam arch of Atlántico Pavillion / *4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering / 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis*, Lisbon.

9. Shults R. V., Annenkov A.A., Khailak A.M., Strilets V.S. (2014) Statystycheskoe yssledovanye peremeshcheniy podpornukh stenok po rezul'tatam heodezycheskykh yzmereniy [Statistical research of displacement of retaining walls based on the results of geodetic measurements]. *Zhurnal «Vestnyk SHUHyT»*. – *Journal «Newsletter SGUGiT»*, 3(27), 21-39 [in Russian].

10. Chybiriakov V.K., Shults R. V., Isaiev O. P., Strilets V. S. (2013) Analiz suchasnoho stanu problemy vrakhuvannia vplyvu temperaturnykh deformatsii budivelnnykh konstruksii pid chas vykonannia heodezychnykh vymiriuvan [Analysis of the current state of problems account for the influence of temperature deformation of building constructions during geodetic measurements]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 59, 23-31 [in Ukrainian].

11. Kemnyts Yu.V. (1967) *Teoriya oshybok yzmereniy [The theory of measurement errors]*. Moskva: Nedra [in Russian].

В.С. Стрилец

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА**

В статье рассмотрена и проанализирована актуальность проблемы влияния температурных деформаций на результаты геодезических измерений. Предложено для определения температурных деформаций защитных сооружений сочетать методы строительной механики с результатами геодезических измерений. Приведена расчетная модель подпорной стенки в виде стержня с жестким защемлением. Для расчета температурных деформаций подпорной стенки использован метод перемещений. Теоретические перемещения стержневой модели вычислено путем решения дифференциальных уравнений, описывающих НДС конструкции под действием температуры. Обоснована необходимость учета температурных перемещений деформационных марок в результаты геодезических измерений.

Ключевые слова: температурные деформации, напряженно-деформированное состояние (НДС), геодезический мониторинг.

V. Strilets

**INFLUENCE OF TEMPERATURE DEFORMATIONS OF DEFENSIVE
STRUCTURES ON THE RESULTS OF GEODETIC MONITORING**

In the article is discussed and analyzed the problem of impact of temperature deformations on the results of geodetic measurements. It was found that there is no single method to account for temperature deformations of building structures during the construction of complex structures. Considering temperature deformations during geodetic monitoring of high-rise buildings, complex or experimental structures, should be developed by the project section of geodesic works or even specific project. In the article proposed to combine the methods of structural mechanics with the results of geodetic measurements for defining of temperature deformations of defensive structures. Brought calculation model retaining wall in the form of a rod with a rigid jamming. Deflection method was used to calculate the thermal deformations of retaining wall. Theoretical movement of the rod models calculated with using of differential equations that describe the stress-strained state of construction under the temperature influence. Effective numerical method, which solve boundary value problems for systems of ordinary differential equations SK Godunov, was used to solve this problem. Justified the necessity of taking into account the temperature displacement of deformation control benchmarks, in the results of geodetic measurements.

Key words: temperature deformation, stress-strained state, geodetic monitoring.