

НАТУРНІ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ ПО ВИСОТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ БАЛКИ

Лукін Д.О., Безбабічева О.І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Через швидкі зміни кліматичних умов і глобальне підвищення річних температур повітря проблема впливу температури на елементи мостових конструкцій стає більш актуальною. Деформації, а як наслідок, внутрішні напруження в балках прогонових будов з підвищенням температури стають значними й можуть впливати на експлуатаційні властивості як прогонових будов, так і всього мосту. Для того, щоб прогнозувати ці явища, необхідно досліджувати температурні перепади в реальних конструкціях, що експлуатуються. У статті подано результати моніторингу температур балки одного з таких мостів упродовж світлового дня.

Ключові слова: моніторинг температури, температурний перепад, температурний градієнт, залізобетонна балка, прогонова будова, термопара, реєстратор температури.

Вступ

Клімат на всій планеті, зокрема і в Україні, швидко змінюється. Річні температури повітря підвищуються, а спекотних днів стає все більше. Через це змінюється не тільки життя живих створінь на Землі, але й умови роботи споруд, що постійно піддаються впливу навколишнього середовища, наприклад мостів. Це спричиняє збільшення робочих амплітуд температури елементів мостової споруди і, як наслідок, зменшення терміну нормальної експлуатації. Так, у балках прогонових будов мосту виникає температурний перепад по висоті конструкції, спричиняючи деформації та, зрештою, внутрішні зусилля. Для того, щоб прогнозувати величину таких перепадів у змінюваних кліматичних умовах, потрібно досліджувати реальні значення температур, що виникають в елементах мостових конструкцій.

Аналіз публікацій

Починаючи з 1950-х років науковці й дослідники всього світу спостерігають глобальні зміни клімату та підвищення температури [1]. За останні 30 років річна температура повітря підвищилася майже на 1,5 °C [2], а найспекотніші роки за весь час спостережень випали на період з 2014 до 2024 рік, що означає пришвидшення темпів зміни клімату [3]. Це, звісно, позначається на транспортних спорудах (таких як мости та шляхопроводи), що перебувають під постійним впливом навколишнього середовища й випромінювання сонця.

Гостро постає питання, як підтримати нормальну експлуатацію транспортних споруд

в умовах змін клімату. Так, європейська комісія досліджує адаптацію норм проєктування штучних споруд до кліматичних реалій сьогодення [4]. Науковці з різних країн розробляють і впроваджують системи моніторингу як на великих, позакласних, так і на відносно малих мостах [5–7], досліджують перепади температури в елементах конструкції [8–10] та розробляють методи передбачення впливу температури на життєвий цикл мостових споруд [11–13].

Мета й постановка завдання

Метою є визначення натурних показників температурного перепаду в залізобетонній підкрановій балці протягом спекотного літнього світлового дня на мостовій споруді, розташованій під постійним впливом кліматичних факторів.

Для цього до залізобетонної балки були прикріплені датчики, що вимірювали показники температури в реальному часі.

Визначення й аналіз експериментальних показників

Міст, що розглядається, розташований у Львівській обл., біля с. Ульвівка на дорозі місцевого значення. Його було побудовано 1970 року над річкою Західний Буг (рис. 1). Конструкції мосту суміщені з греблею, таким чином на одному боці опор розміщена прогонова будова з проїзною частиною, а на іншому – елементи греблі та влаштовані підкранові балки.

Міст п'ятипрогоновий завдовжки 63,9 м. У кожному прогоні розміщено по п'ять залізобетонних балок прогонової будови завдов-

жки 11,36 м, на яких улаштована проїзна частина з габаритом проїзду 7 м та два тротуари по 1 м. Балки мосту виконані за типовим проєктом Випуск 56 Доповнення.



Рис. 1. Загальний вигляд мосту (на задньому плані видно кран греблі)

Поруч із прогоновою будовою мосту розміщені конструкції греблі: залізобетонні, попередньо напружені підкранові балки, якими рухається козловий кран, металеві затвори, що підіймаються цим краном та оглядовий хід. Залізобетонні підкранові балки заввишки 1,4 м і завдовжки 12 м розміщені в кожному прогоні. Одну з цих балок і було обрано для заміру її температур. Геометричні характеристики перерізу балки наведено на рис. 2.

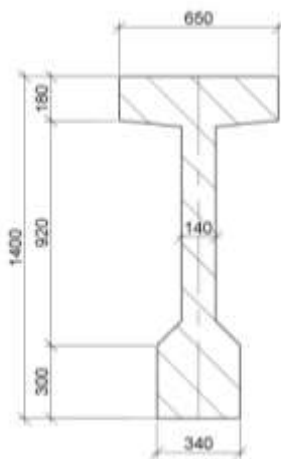


Рис. 2. Геометричні характеристики перерізу підкранової досліджуваної балки

Міст орієнтований майже точно із заходу на схід, тобто одна його частина розміщена майже завжди на сонячному боці (з якого розташована гребля), а інша – з тіньового (з якого розташоване мостове полотно). Досліджувана балка розміщена із сонячного боку в одному з крайніх прогонів.

Для проведення експерименту було обрано один із безхмарних спекотних днів на початку вересня 2024 року. Показники температури знімалися впродовж 6 год – з 10:10 до 16:10. Протягом дня опадів не було, а температура повітря коливалася від 20 °С до 24 °С. Вітер був сильний, поривчастий, дув переважно зі сходу, мав швидкість 3–9 м/с і посилювався в період з 11:00 до 13:00.

Зняття та фіксація значень температури поверхні балки виконувалися в чотирьох точках, розташованих по висоті балки (див. рис. 3). Вимірювання значень температури здійснювалося за допомогою термоелектричних перетворювачів, що передавали значення на реєстратор температури, який записував ці значення.

Використовувалися хромель-алюмелеві термоелектричні перетворювачі, або термопари, К-типу. Вони кріпилися до ретельно очищеної від пилу та бруду, знежиреної бетонної поверхні балок за допомогою монтажною стрічки та епоксидного клею в такий спосіб, щоб забезпечувати щільний контакт сенсора з бетонною поверхнею балки. У цьому разі похибка вимірювань зазначеним типом термопар у діапазоні робочих температур дорівнює $\pm 0,5$ °С відповідно до [14].



Рис. 3. Сенсори термопар закріплені на поверхні балки

Термопари з'єднані з реєстратором температури, або логером, TA612A фірми TASI, який записував показники температури що-

хвилини. Чотири точки, в яких відбувалися вимірювання, розташовані на відстані 1 см, 40 см, 85 см та 140 см зверху балки, ближче до середини прогону. Розташування датчиків та найбільші зафіксовані перепади температури по висоті балки подані на рис. 4.

Результати вимірювань наведені нижче, датчики T1 – зверху, T4 – знизу, T2 та T3 відповідно всередині. Видно, що на більшому відтинку часу температура верхньої частини балки вища за нижню, а температури всередині більш-менш схожі. Але кмітливе око

читає, мабуть, помітило, що в період з 11:40 до 13:10 різко змінюється температура поверхні балки, верхня частина стає більш холодною, а нижня теплішою щодо одна одної. Це відбувається саме тоді, коли й посилюються пориви вітру, охолоджуючи більш відкриту верхівку балки й майже не впливаючи на більш закриті конструкціями мосту нижню частину.

Найбільший перепад температур по висоті балки був зафіксований саме в цей період і дорівнює $7,7^{\circ}\text{C}$ о 12:44 (рис. 4).

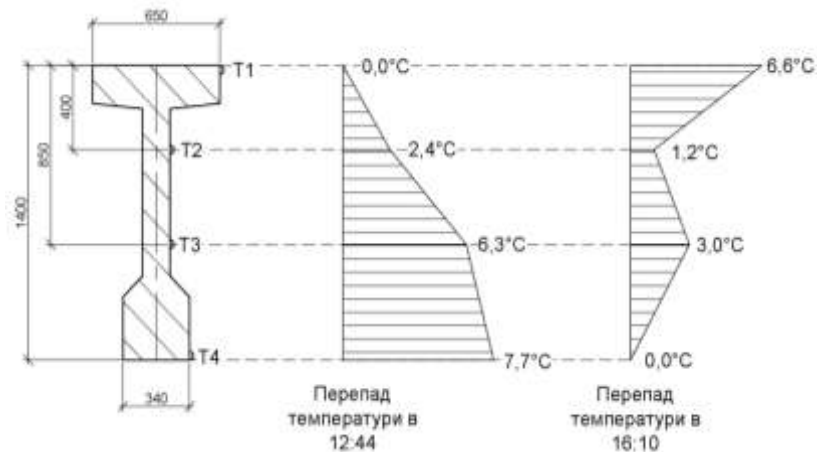


Рис. 4. Схема встановлення датчиків та найбільші заміряні перепади температур

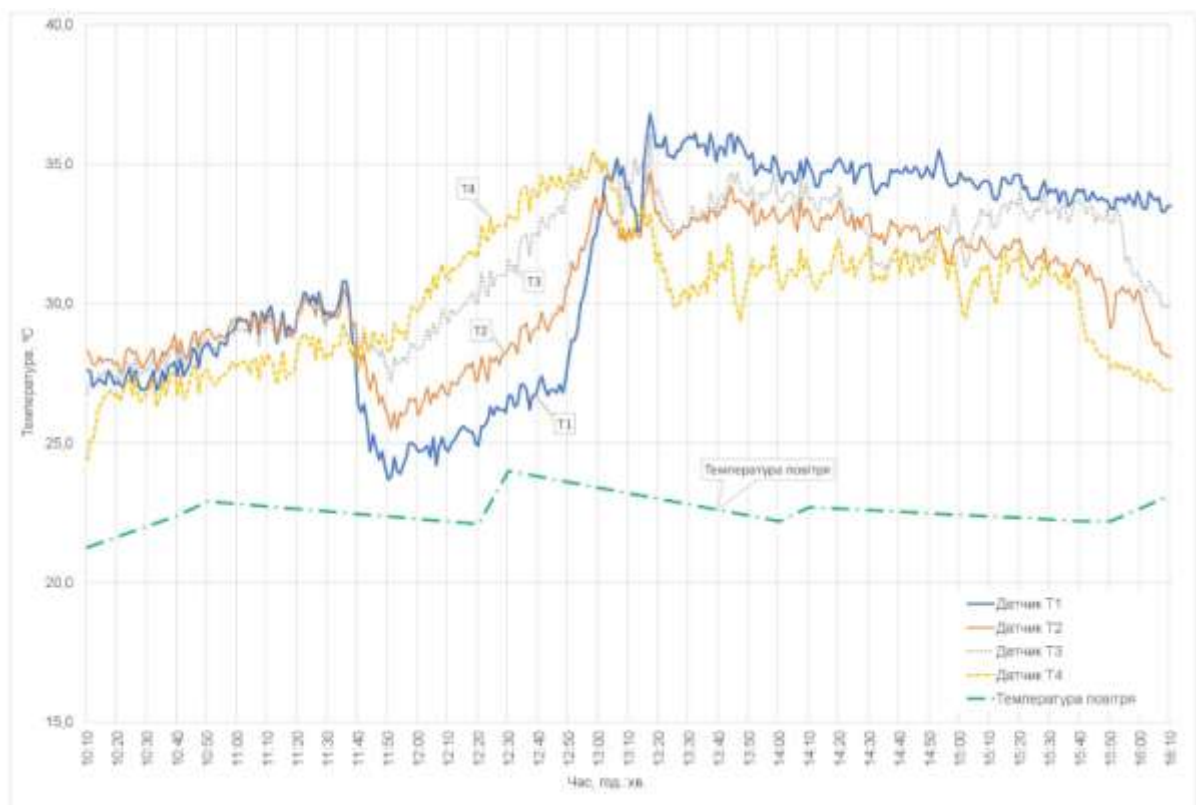


Рис. 5. Результати вимірювання температур поверхні балки в чотирьох точках і температура повітря на час експерименту

В інший, менш вітрений, час значення максимального перепаду температури по висоті перерізу балки досягало максимуму – 6,6 °C о 16:10.

Зазначимо також, що поверхня балки розташована під постійним сонячним випромінюванням, її температура значно вища за температуру повітря.

Навіть за умови зменшення температури повітря бетон балки нагрівається та зберігає деякий час свою температуру вищою, незважаючи на погані властивості теплопровідності.

Також можна зауважити, що температура поверхні балки зростала протягом всього дня, а після 14:00 потроху знижувалась разом з температурою повітря.

Висновки

У статті подано результати вимірювань температури поверхні залізобетонної підкранової балки впродовж світлового спекотного дня у вересні 2024 року.

Заміри виконувалися за допомогою хромель-алюмелевих термоелектричних перетворювачів та електронного реєстратора температури.

Наведені показники ілюструють зміну температури впродовж частини добового циклу нагрівання / охолодження балки.

Результати вимірювань демонструють значні перепади температури поверхні балки, що досягають максимуму – 7,7 °C. Більшим перепадам температури піддається верхня частина балки, а нижня меншим. Отримані показники також доводять значний вплив вітру на температуру поверхні балки.

Значення перепаду температури по перерізу балки закладають початкові умови до розрахунку й аналізу напружено-деформованого стану балки. Отже, це питання потребує подальшого дослідження.

Література

1. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. P. 1552.
2. Lindsey, R., & Dahlman, L. Climate change: Global temperature. *Climate. gov*. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020.
3. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office, 2021. P. 34.
4. Athanasopoulou, A., Sousa, M. L., Dimova, S., Rianna, G., Mercogliano, P., Villani, V. et al. Thermal design of structures and the changing climate. Publications Office of the European Union, 2020. P. 70.

5. Wang, X., Wang, M. L., Zhao, Y., Chen, H., & Zhou, L. L. Smart health monitoring system for a prestressed concrete bridge. *Smart Structures and Materials 2004: Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*. 2004. Vol. 5391. P. 597–608.
6. Deng, Z. H., Huang, M., Wan, N., & Zhang, J. The Current Development of Structural Health Monitoring for Bridges: A Review *Buildings*. 2023. Vol. 13, no. 6. P. 1360.
7. Brownjohn, J.M., Kripakaran, P., Harvey, B., Kromanis, R., Jones, P., & Huseynov, F. Structural Health Monitoring of short to medium span bridges in the United Kingdom *Structural Monitoring and Maintenance*. 2016. Vol. 3, no. 3. P. 259–276.
8. Hagedorn, R., Martí-Vargas, J.R., Dang, C.N., Hale, W.M., & Floyd, R.W. Temperature Gradients in Bridge Concrete I-Girders under Heat Wave. *Journal of Bridge Engineering*. 2019. Vol. 24, no. 8. P. 04019077.
9. Lawson L., Ryan K. L., Buckle I. G. Bridge Temperature Profiles Revisited: Thermal Analyses Based on Recent Meteorological Data from Nevada. *Journal of Bridge Engineering*. 2020. Vol. 25, no. 1. P. 04019124.
10. Krkoska L., Moravcik M. Monitoring of temperature gradient development of highway concrete bridge. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 117. P. 00091.
11. Sheng, X., Zhou, T., Huang, S., Cai, C., & Shi, T. Prediction of vertical temperature gradient on concrete box-girder considering different locations in China. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 16. P. e01026.
12. Zhu, J., Meng, Q. Effective and Fine Analysis for Temperature Effect of Bridges in Natural Environments. *Journal of Bridge Engineering*. 2017. Vol. 22, no. 6. P. 04017017.
13. Kromanis, R., Kripakaran, P. Predicting thermal response of bridges using regression models derived from measurement histories. *Computers & Structures*. 2014. Vol. 136. P. 64–77.
14. ДСТУ EN 60584-1:2016. Перетворювачі термоелектричні. Частина 1. Технічні характеристики та допустимі відхилення електрорушійної сили (ЕРС). Київ, 2016. 90 с.

References

1. «Climate Change 2013 – The Physical Science Basis» Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. P. 1552.
2. Lindsey, R., & Dahlman, L. «Climate change: Global temperature», *Climate. Gov*, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2020.
3. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N., *Climate Change Impacts for Ukraine*. Met Office, 2021.
4. Athanasopoulou, A., Sousa, M. L., Dimova, S., Rianna, G., Mercogliano, P., Villani, V. et al. *Thermal design of structures and the changing*

- climate. Publications Office of the European Union, 2020.
5. Wang, X., Wang, M. L., Zhao, Y., Chen, H., & Zhou, L. L., «Smart health monitoring system for a prestressed concrete bridge», *Smart Structures and Materials 2004: Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*, Vol. 5391, P. 597–608, 2004.
 6. Deng, Z.H., Huang, M., Wan, N., & Zhang, J., «The Current Development of Structural Health Monitoring for Bridges: A Review», *Buildings*, Vol. 13, no. 6, P. 1360, 2023.
 7. Brownjohn, J.M., Kripakaran, P., Harvey, B., Kromanis, R., Jones, P., & Huseynov, F., «Structural Health Monitoring of short to medium span bridges in the United Kingdom», *Structural Monitoring and Maintenance*, Vol. 3, no. 3, P. 259–276, 2016.
 8. Hagedorn, R., Martí-Vargas, J.R., Dang, C.N., Hale, W.M., & Floyd, R.W., «Temperature Gradients in Bridge Concrete I-Girders under Heat Wave», *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 24, no. 8, P. 04019077, 2019.
 9. Lawson L., Ryan K. L., Buckle I. G., «Bridge Temperature Profiles Revisited: Thermal Analyses Based on Recent Meteorological Data from Nevada», *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 25, no. 1, P. 04019124, 2020.
 10. Krkoska L., Moravcik M., «Monitoring of temperature gradient development of highway concrete bridge», *MATEC Web of Conferences*, Vol. 117, P. 00091, 2017.
 11. Sheng, X., Zhou, T., Huang, S., Cai, C., & Shi, T., «Prediction of vertical temperature gradient on concrete box-girder considering different locations in China», *Case Studies in Construction Materials*, Vol. 16, P. e01026, 2022.
 12. Zhu J., Meng Q., «Effective and Fine Analysis for Temperature Effect of Bridges in Natural Environments», *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 22, no. 6, P. 04017017, 2017.
 13. Kromanis R., Kripakaran P., «Predicting thermal response of bridges using regression models derived from measurement histories», *Computers & Structures*, Vol. 136, P. 64–77, 2014.
 14. *Thermocouples – Part 1: specifications and tolerances of electromotive force (EMF)*, DSTU EN 60584-1:2016, Kyiv [in Ukrainian], 2016.

Лукін Данило Олександрович¹, аспірант каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, dalukin91@gmail.com,

Безбабічева Ольга Іллівна¹, к.т.н., доц. каф. мостів, конструкцій і будівельної механіки ім. В.О. Російського, most_kharkov@ukr.net.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Field research of temperature distribution over the height of concrete beam

Abstract. Problem. Due to rapid global climate changes and increasing of annual air temperatures, the problem of the thermal effects on bridge elements is becoming more relevant. Eigenstresses and strains in the elements of superstructure of the bridge with increasing temperature become significant and can affect the performance characteristics of both span superstructure and the entire bridge. **Goal.** This article presents the results of field research of temperature distribution over the height of concrete beam of one of the bridges during daylight hours. **Methodology.** The measurement and recording of beam surface temperature values was performed at four points located along the height of the beam. Temperature values were measured using K-type thermocouples, which were connected to a temperature logger that recorded these values. **Results.** The obtained data illustrate the beam temperature changes during part of the daily cycle of heating/cooling. The results also show significant differences in the temperature of the surface of the beam, reaching a maximum of 7,7°C. The Data also show a significant influence of the wind on the surface temperature of the beam and, as a result, on its stress-strain state. **Originality.** As we are facing a global climate change, we must acknowledge its impact on the approach to bridge design and maintenance. The almost complete lack of information about the temperature of bridge elements in Ukraine makes it difficult to predict such temperature effects in Ukrainian climate conditions. **Practical value.** Collecting and analyzing field data of the temperature differences in bridge elements can help to predict thermal effect on them in terms of climate changes even at the design stage.

Key words: temperature monitoring, temperature difference, temperature gradient, concrete beam, bridge superstructure, thermocouple, temperature logger, global climate change.

Lukin Danylo¹, postgraduate student, Department of Bridges, Structures and Construction Mechanics named after V.O. Rosiiskyyi, ORCID ID: 0009-0003-9630-1085, dalukin91@gmail.com,

Bezbabicheva Olha¹, Cand. Tech. Sc., Associate Professor, Department of Bridges, Structures and Construction Mechanics named after V.O. Rosiiskyyi, ORCID: 0000-0002-9006-2373, most_kharkov@ukr.net.

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.