

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР
НА ПОВЕРХНЯХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ІЗ МЕТАЛЕВИХ ГОФРОВАНИХ
КОНСТРУКЦІЙ**

Лучко Й.Й., д.т.н., професор,

Львівський національний аграрний університет
luchko.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3675-0503

Ковальчук В.В., к.т.н., доцент,

*Львівська філія Дніпровського національного університету
залізничного транспорту ім. академіка В. А. Лазаряна*
kovalchuk.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4350-1756

Кравець І.Б., аспірант,

kravetsivan2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2239-849X

Джус В.С., к.т.н., доцент,

*Львівська філія Дніпровського національного університету
залізничного транспорту ім. академіка В. А. Лазаряна*

Анотація. Із проведеного аналізу науково-дослідних робіт стосовно врахування кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища та їх впливу на напружено-деформований стан транспортних споруд встановлено, що існують розбіжності в українських та закордонних нормативних документах, щодо врахування значень максимальних та мінімальних температур на стадії проектування транспортних споруд та їх вплив на термонапружений стан.

Із проведених експериментальних досліджень встановлено, що на значення розподілу температури впливають метеорологічні умови. У випадку хмарності температура розподіляється рівномірно гофрованим листом конструкції, що пояснюється відсутністю прямого сонячного випромінювання. Також рівномірний розподіл температур металевою гофрованою спорудою спостерігається у нічні години доби.

Результати розподілу температури у поперечному напрямі гофрованого листа показали, що існує різниця температур між зовнішньою та внутрішньою сторонами труби. Максимальний перепад температури між внутрішньою та зовнішньою поверхнями листа зафіксовано величиною $+10.4^{\circ}\text{C}$.

Встановлено, що при ясній погоді між зовнішньою та внутрішньою сторонами металевого гофрованого листа транспортної споруди виникає перепад температур. При цьому температура розподіляється рівномірно гофрованою спорудою із коливанням температур у залежності від впадини чи виступу гофри у межах 1.5°C .

Доведено, що у літній період метал труби із зовнішньої сторони нагрівається до значних температур, у результаті чого існує температурний перепад між зовнішньою нагрітою металевою поверхнею гофрованого листа конструкції та внутрішньою частиною споруди, яка взаємодіє із ґрунтом засипки. Перепад температур може призвести до значних температурних напружень. Тому вивчення складових теплообміну є невід'ємною частиною підготовки даних для розрахунку температурних напружень та деформацій металевих гофрованих конструкцій

Ключові слова: транспортні споруди, металеві гофровані конструкції, кліматичні температурні впливи, температура.

Постановка проблеми. Транспортні споруди із металевих гофрованих конструкцій у процесі експлуатації зазнають дії комплексу кліматичних факторів [1–4]. Вивчення складових теплообміну є невід'ємною частиною підготовки даних для розрахунку температурних напружень та деформацій.

У процесі експлуатації металевих гофрованих конструкцій спостерігається розтріскування цинкового покриття (рис. 1). Однією із причин даного дефекту є рівень температурних напружень на границях «метал-цинк», чи «метал-цинк-грунт». Цей рівень може бути викликаний тим, що у літній період метал труби із зовнішньої сторони нагрівається до значних температур, у результаті чого існує температурний перепад між зовнішньою нагрітою металевою поверхнею гофрованого листа конструкції та внутрішньою частиною споруди, яка взаємодіє із ґрунтом засипки. Основою такого розрахунку є прогнозування температурного поля і поля температурних напружень за допомогою математичного моделювання.

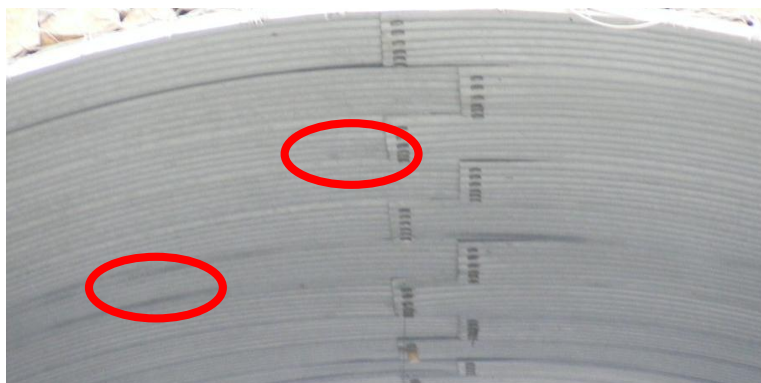


Рис. 1. Розтріскування цинкового покриття

Враховуючи складні умови роботи конструктивних елементів транспортних споруд із металевих гофрованих конструкцій різноманітність їх форм, матеріалу та габаритів все це призводить до надзвичайно важких та коштовних натурних експериментів. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки та застосування різних обчислювальних методів, які дозволяють відносно в короткий термін і з невеликими економічними витратами отримати дані про роботу інженерних споруд.

У зв'язку з цим актуальною є проблема дослідження температурного поля та напруженого стану металевих гофрованих труб, які перебувають під дією змінних кліматичних температурних впливів зовнішнього середовища. Ці дослідження, поруч із вивченням впливу дії статичних та змінних транспортних навантажень, є основою оцінювання міцності й надійності транспортних споруд із МГК при взаємодії із ґрунтом засипки [5–7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення температурних полів та напружень у більшості випадків є складною задачею, точний розв'язок якої знайти важко. Тому інженер повинен у своїх розрахунках замінювати дійсну конструкцію більш простою, оцінюючи за допомогою фізичних міркувань допущену таким чином помилку, або використовувати наближені методи досліджень.

Дослідженнями [1–3] встановлено, що для отримання повних даних про напружений стан прогонових будов мостів, зумовлений кліматичними температурними впливами, розв'язання одновимірної задачі недостатньо, потрібно враховувати багатоосьовий напружений стан.

У роботах [4, 8–9] зроблено висновок, що коливання температури викликають у прогонових будовах мостів постійні видовження та вкорочення балок, а різниця температур призводить до виникнення згинальних моментів.

Згідно вимог ДБН В.2.3-14 [10], нормативні температурні кліматичні впливи необхідно враховувати при розрахунках за граничними станами другої групи для мостів усіх систем. Визначення розрахункових температур при цьому базується на нормативній температурі довкілля (температура повітря у теплий і холодний періоди року). Температуру елементів зі складним поперечним перерізом рекомендовано визначати за значенням середньозваженої температури окремих елементів (стінок та полицок).

Середню у перерізі нормативну температуру елементів чи їхніх частин рекомендується приймати такою, що дорівнює:

- для бетонних і залізобетонних елементів у холодний період року, а для металевих конструкцій у будь-яку пору року – нормативній температурі довкілля;
- для бетонних і залізобетонних елементів у теплий період року – нормативній температурі довкілля за винятком величини, що дорівнює $0.2a$, але не більше 10°C , де a – товщина елемента чи його частини в сантиметрах, включаючи дорожній одяг проїзної частини автодорожніх мостів.

У нормативному документі AASHTO [11] (American Association of State Highway and Transportation Officials) обумовлюються граничні значення максимальних високих та низьких розрахункових температур для металевих, бетонних та дерев'яних елементів мостів для умов помірного та холодного клімату. Ці значення температур необхідно враховувати при проектуванні мостових конструкцій.

При розрахунку прогнотних будов сталезалізобетонних мостів з урахуванням нерівномірного нагрівання сонцем, за нормами [12], необхідно брати до уваги дев'ять розрахункових випадків впливу температури на конструкції мостів.

У білоруських нормативних документах EN_1991-1-5-2009 [13] рекомендуються враховувати температурні перепади при проектуванні транспортних споруд. При цьому розрахунком потрібно перевіряти вплив максимальних додатніх та мінімальних від'ємних температур на термонапружений стан мостових конструкцій.

У роботі [1] експериментальним шляхом встановлено, що сезонна зміна температури навколишнього середовища впливає на виникнення деформацій конструкції насипу з тунельною обробкою. Величина деформації відрізняється у залежності від умов теплообміну на границях розрахункової області «грунт-тунель». При багатоваріантних моделюваннях термонапружено стану встановлено, що за допомогою спеціальних засобів, що змінюють умови теплообміну на зовнішній і внутрішній поверхні тунелю, можна домогтися практичної стабілізації деформованого стану конструкції насипу в сезонних циклах коливань температури навколишнього середовища і тим самим поліпшити її експлуатаційні характеристики. Також зазначено, що методи розрахунку термонапруженого стану в області водопропускних труб поки, що не розроблені достатньо. Такі процеси можуть бути оцінені достовірно тільки експериментальним шляхом.

Постановка завдання. Завданням дослідження є проведення експериментальних вимірювань розподілу температури на поверхнях металевих гофрованих конструкцій при змінних температурних перепадах навколишнього середовища.

Методика дослідження. Для оцінки характеру розподілу температури металеву гофровану трубою були проведені експериментальні вимірювання розподілу температури на зовнішній та внутрішній поверхнях металевого гофрованого листа споруди. Вимірювання розподілу температур здійснювалось тепловізором Testo 875-1 та пірометром НТ-822. Температура навколишнього середовища контролювалася за допомогою електронного анемометра TENMARS TM-740.

Крім тепловізора розподіл температур проводився із використанням пірометру НТ-822. Оскільки, пірометром неможливо отримати фотографії площинного розподілу температур, тому вимірювання температур проводили за схемою точок, що наведена на рис. 2.

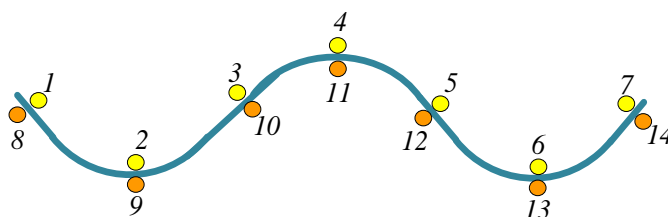


Рис. 2. Схема точок вимірювання температури на металевому гофрованому листі

На рис. 2 точки 1–7 відповідають внутрішній стороні гофрованого листа (це сторона МГК, що взаємодіє із ґрунтом засипки), а точки 8–14 – зовнішній стороні (сторона, що піддається зовнішнім кліматичним впливам навколишнього середовища).

Виклад основного матеріалу. З метою встановлення максимальних та мінімальних значень розподілу температур гофрованою конструкцією були проведенні багатоваріантні вимірювання розподілу температур у залежності від пори року та часу доби.

Крім експериментальних даних розподілу температури металевим гофрованим листом наведемо методику для апроксимації експериментальних даних розподілу температур поліноміальною функцією.

Нехай у точках $x=x_1, x=x_2, \dots, x=x_n$ функція, за допомогою якої визначається значення розподілу температури металевою гофрованою трубою, має значення y_1, y_2, \dots, y_n . Запишемо рівняння поліноміальної регресії величин y_i на величини x_i . Це рівняння подамо у вигляді:

$$Y_i = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_6x_i^6. \quad (1)$$

Параметри a_j ($j=0, 1, \dots, 6$) визначимо методом найменших квадратів, за яким сума квадратів відхилень $Y_i - y_i$ повинна бути мінімальною. Ця сума є функцією:

$$F(a_0, a_1, \dots, a_6) = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_6x_i^6 - y_i)^2. \quad (2)$$

Тоді частинні похідні запишемо у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial a_0} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_1} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_2} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i^2 = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_3} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i^3 = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_4} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i^4 = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_5} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i^5 = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_6} &= 2 \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6 - y_i)x_i^6 = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Прирівнявши до нуля частинні похідні $\partial F/\partial a_0, \partial F/\partial a_1, \dots, \partial F/\partial a_6$ та виконавши елементарні перетворення отримаємо систему лінійних рівнянь для визначення a_0, a_1, \dots, a_6 :

$$\begin{aligned} na_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5\right)a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6\right)a_6 &= \sum_{i=1}^n y_i, \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5\right)a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6\right)a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7\right)a_6 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5\right)a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6\right)a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7\right)a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^8\right)a_6 &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i, \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5\right)a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6\right)a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7\right)a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^8\right)a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^9\right)a_6 &= \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{i=1}^n x_i^4 \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^5 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6 \right) a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7 \right) a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^8 \right) a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^9 \right) a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{10} \right) a_6 = \sum_{i=1}^n x_i^4 y_i, \\ & \left(\sum_{i=1}^n x_i^5 \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^6 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7 \right) a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^8 \right) a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^9 \right) a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{10} \right) a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{11} \right) a_6 = \sum_{i=1}^n x_i^5 y_i, \\ & \left(\sum_{i=1}^n x_i^6 \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^7 \right) a_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^8 \right) a_2 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^9 \right) a_3 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{10} \right) a_4 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{11} \right) a_5 + \left(\sum_{i=1}^n x_i^{12} \right) a_6 = \sum_{i=1}^n x_i^6 y_i. \end{aligned}$$

Останню систему рівнянь розв'язуємо матричним способом. Результати розподілу температури металевю гофрованою конструкцією зовнішньою та внутрішньою сторонами гофрованого листа та їх математична інтерпретація поліноміальною функцією, наведені на рис. 3–5. Точками T₂ та T₉ позначено розподіл температури опуклою частиною гофрованого листа, а точками T₄ та T₁₁ – увігнутою частиною гофрованого листа труби (рис. 2).

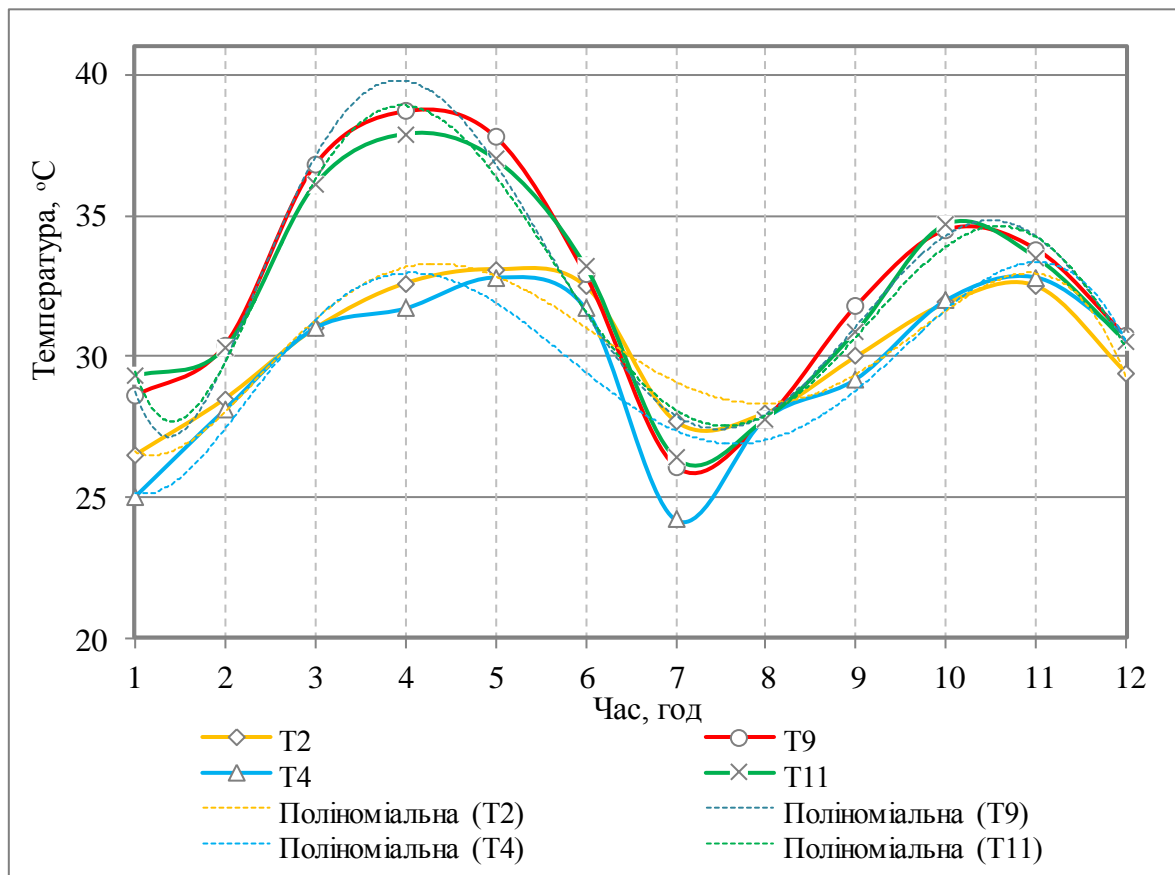


Рис. 3. Математична інтерпретація розподілу температури гофрованим листом влітку поліноміальною функцією

Для опуклої частини гофрованого листа поліноміальна функція розподілу температури гофрованим листом влітку для точки T₂ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9008. має значення:

$$y=0.0001x^6-0.0108x^5+0.2425x^4-2.3119x^3+9.6537x^2-14.672x+33.724,$$

а для точки T₉ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9526:

$$y=0.002x^6-0.0854x^5+1.4055x^4-10.991x^3+40.986x^2-63.515x+60.957.$$

Для увігнутої частини гофрованого листа поліноміальна функція для точки T₄ із величиною вірогідності апроксимації R=0.7957 має значення:

$$y=0.0004x^6-0.0223x^5+0.4115x^4-3.4554x^3+13.119x^2-18.418x+33.549,$$

а для точки T₁₁ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9444:

$$y=0.0017x^6-0.0734x^5+1.2283x^4-9.7569x^3+36.989x^2-58.562x+59.618.$$

Далі розглянемо розподілу температури металевою гофрованою конструкцією зовнішньою та внутрішньою сторонами гофрованого листа взимку при мінімальних зафіксованих температурах навколишнього середовища. Результати розподілу температури та математична інтерпретація поліноміальною функцією наведені на рис. 4.

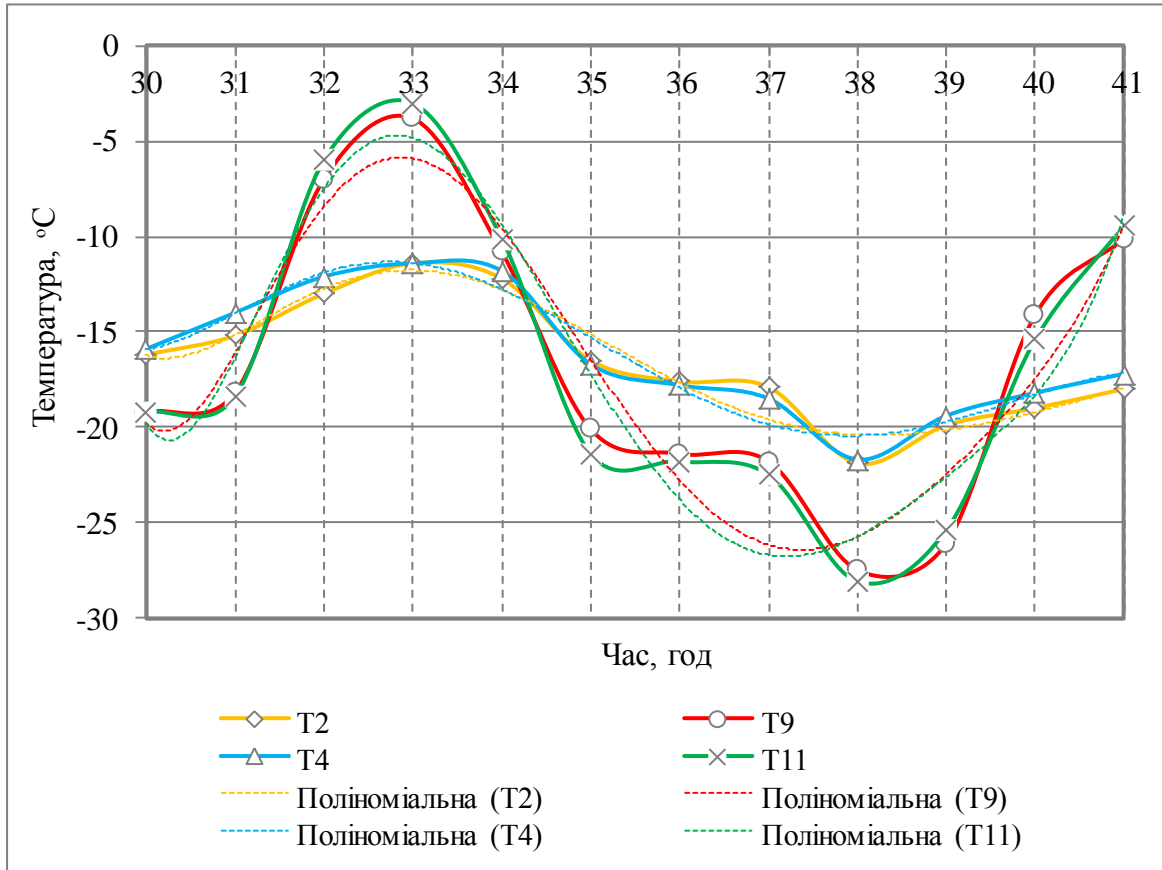


Рис. 4. Математична інтерпретація розподілу температури гофрованим листом взимку поліноміальною функцією

Для опуклої частини гофрованого листа поліноміальна функція розподілу температури гофрованим листом взимку для точки T_2 із величиною вірогідності апроксимації $R=0.9301$ становить:

$$y=0.0003x^6-0.0768x^5+7.034x^4-342.17x^3+9327.4x^2-135072x+811692,$$

а для точки T_9 із величиною вірогідності апроксимації $R=0.8778$:

$$y=0.0016x^6-0.3433x^5+31.002x^4-1488.6x^3+40074x^2-573467x+3E+06.$$

Для увігнутої частини гофрованого листа поліноміальна функція розподілу температури гофрованим листом взимку для точки T_4 із величиною вірогідності апроксимації $R=0.9445$ становить:

$$y=0.0002x^6-0.0444x^5+4.1521x^4-205.76x^3+5700.4x^2-83712x+509088,$$

а для точки T_{11} із величиною вірогідності апроксимації $R=0.8955$:

$$y=0.0023x^6-0.5055x^5+45.355x^4-2164.1x^3+57916x^2-824112x+5E+06.$$

Графічне представлення результатів розподілу температури металевою гофрованою конструкцією зовнішньою та внутрішньою сторонами гофрованого листа при змінних перепадах температури навколишнього середовища від від'ємних до плюсових (зима-весна, або осінь-зима) наведено на рис. 5.

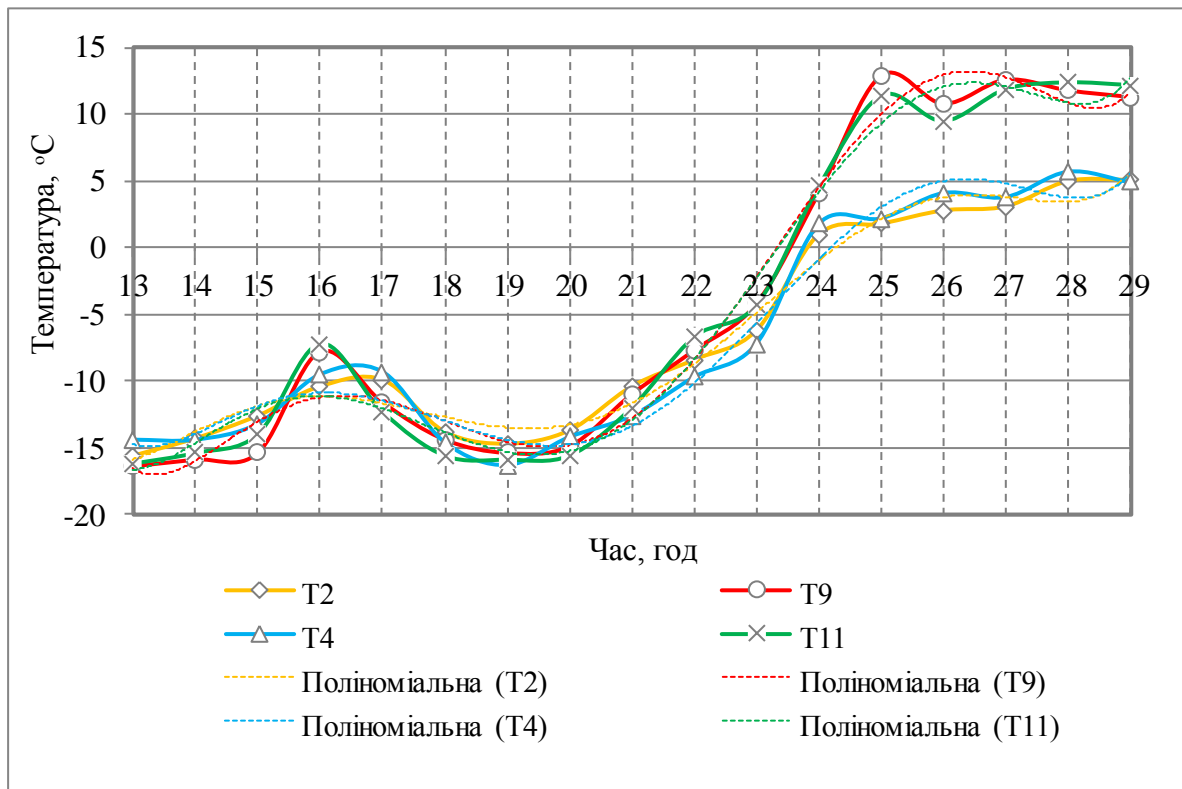


Рис. 5. Математична інтерпретація розподілу температури гофрованим листом при змінних температурних перепадах поліноміальною функцією

Для опуклої частини гофрованого листа поліноміальна функція розподілу температури гофрованим листом при змінних температурних перепадах навколишнього середовища для точки T₂ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9806 становить:

$$y = 0.0001x^6 - 0.0182x^5 + 0.912x^4 - 23.848x^3 + 342.88x^2 - 2568.9x + 7821,$$

а для точки T₉ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9814:

$$y = 0.0003x^6 - 0.0349x^5 + 1.7846x^4 - 47.686x^3 + 702.27x^2 - 5404.5x + 16969.$$

Для увігнутої частини гофрованого листа поліноміальна функція розподілу температури гофрованим листом при змінних температурних перепадах навколишнього середовища має вигляд:

– для точки T₄ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9709:

$$y = 0.0002x^6 - 0.0263x^5 + 1.336x^4 - 35.479x^3 + 519.12x^2 - 3967.9x + 12368;$$

– для точки T₁₁ із величиною вірогідності апроксимації R=0.9797:

$$y = 0.0002x^6 - 0.0296x^5 + 1.4948x^4 - 39.385x^3 + 571.01x^2 - 4318.8x + 13302.$$

Результати розподілу температури у поперечному напрямі гофрованого листа показали, що існує різниця температур між зовнішньою та внутрішньою сторонами труби. Максимальний перепад температури між внутрішньою та зовнішньою поверхнями листа зафіксовано 05.12.2018 р. о 22:00 год. +10.4 °C.

Крім цього проведеними дослідженнями встановлено, що при ясній погоді між зовнішньою та внутрішньою сторонами металевго гофрованого листа транспортної споруди виникає перепад температур. При цьому температура розподіляється рівномірно гофрованою спорудою із коливанням температур у залежності від впадани чи виступу гофри у межах 1.5°C. Максимальне додатне значення температури поверхні металевго гофрованого листа споруди зафіксовано 10.06.2018 р. о 15:30 год. У цей час зовнішня сторона досягла температури +38.7 °C, а її внутрішня +32.6 °C. При цьому температурний перепад склав +6.1°C.

Мінімальне від'ємне значення температури гофрованого листа виміряно 08.01.2019 р. о 06:00 год. Величина температури зовнішньої сторони у точці T₉ становила -28.4°C, а

внутрішньої у точці T_2 – -22.1°C , що склало температурний перепад -6.3°C .

Максимальне значення перепаду температури між зовнішньою та внутрішньою сторонами гофрованого листа виміряно 04.12.2018 р. о 12:00 год величиною $+9.0^\circ\text{C}$ у цей момент часу температура у точці T_0 становила $+12.8^\circ\text{C}$, а у точці T_2 – $+3.8^\circ\text{C}$.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Із проведеного аналізу науково-дослідних робіт стосовно врахування кліматичних температурних перепадів навколишнього середовища та їх впливу на напружено-деформований стан транспортних споруд встановлено, що існують розбіжності в українських та закордонних нормативних документах, щодо значень максимальних та мінімальних температур на стадії проектування споруд та їх впливу на термонапружений стан. Крім цього відсутні експериментальні дослідження розподілу температур металевими гофрованими конструкціями та результати математичного моделювання впливу високих і низьких температур на термонапружений стан транспортних споруд із МГК.

Отже, задача експериментального дослідження розподілу температур металевих гофрованою спорудою та проведення оцінки впливу величини температури навколишнього середовища на термонапружений стан транспортних споруд із МГК є актуальною та своєчасною. Це дозволить інженерам проектних організацій на стадії виконання проектних робіт із будівництва транспортних споруд із МГК враховувати вплив температурних перепадів на напружено-деформований стан конструкцій, а відтак і приймати конструктивні рішення стосовно зменшення даного впливу на транспортні споруди.

Література

1. Лучко Й. Й. Вимірювання напружено-деформованого стану конструкцій мостів при змінних температурах і навантаженнях. Монографія / Й. Й. Лучко. В. В. Ковальчук – Львів: Каменяр. 2012. – 235 с.
2. Mangerig I. Klimatische Temperaturbeanspruchung von Stahl - und Stahlverbundbrücken / I Mangerigi // Staaliche Materialpriifungsanstalt. Universitat Stuttgart. Technisch-wissenschaftliche Berichte. Mai 1986 – 86-4. – 136 p.
3. Luchko Josyp. Metod of calculation of temperature field and deflected mode of Bridge structures in software environment NX Nastran / Josyp Luchko, Yuriy Hnativ, Vitaliy Kovalchuk // Theoretical Foundations of Civil Engineering Polish-Ukrainian Transactions. Ed. by W. Szczesniak. – Warsaw 2013. – Vol. 21. – pp.107-114.
4. Dilger W. H. Temperature Stresses in Composite Box Girder Bridges / W. H. Dilger, A. Ghali, M. Chan // Journal of Structural Engineering. – 1983. – V. 109. – №6. – pp. 1460-1478.
5. Machelski Cz. Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych / Cz. Machelski // Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2008. – 208 p.
6. El-Sawy K.M. Three-dimensional modeling of soil-steel culverts under the effect of truckloads / K.M. El-Sawy // Thin-Walled Structures, 2003. – no. 41. – pp. 747 – 768.
7. Machelski Cz. Kinematic method for determining influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel bridge / Cz. Machelski // Studia Geotechnica et Mechanica, 2010. – Vol. XXXII. – no. 3. – pp. 28 – 40.
8. Josyp Luchko Two-dimensional model calculation of temperature field and thermo stressed state plates spans of bridgers / Josyp Luchko, Vitaliy Kovalchuk // Nowoczesne rozwiazania materialowe i konstrukcyjne oraz problemy eksploatacyjne dotyczace budownictwa ogolnego i hydrotechnicznego. – Poznan, 2016. – pp. 441-451.
9. Luchko Jozef. Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature / Jozef Luchko, Vladimir Kovalchuk, O. Wozniak // Durable Repair Methods in Buildings, Chapter: Science, research, technologies. – Wroclaw.: Doltoślaskie Wydawnicdwo Edukacujne, 2015pp.13-22.
10. ДБН В.2.3-14: 2006 „Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування”. – К., 2006. – 359 с.

11. AASHTO Guide specifications: Thermal effects in concrete bridge superstructures. Washington. DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. – AASHTO. 1989. – 99 с.

12. Рекомендации по расчету температурных и усадочных воздействий на пролетные строения мостов. Одобрены Главтранспроектотом. – Москва, 1988. – 17 с.

13. EN_1991-1-5-2009 Еврокод 1 воздействия на конструкции Часть 1-5. Общие воздействия. Температурные воздействия. – Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск. 2009. – 38 с.

References

- [1] Y.Y. Luchko, V.V. Kovalchuk, *Vymiriuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu konstruksii mostiv pry zminnykh temperaturakh i navantazhenniakh*. Monohrafiia. Lviv: Kameniar, 2012.
- [2] I. Mangerig, *Klimatische Temperaturbeanspruchung von Stahl - und Stahlverbundbrucken. Staaliche Materialpriifungsanstalt*. Universitat Stuttgart. Technisch-wissenschaftliche Berichte. Mai 1986.
- [3] J. Luchko, Y. Hnativ, V. Kovalchuk, "Metod of calculation of temperature field and deflected mode of Bridge structures in software environment NX Nastran", *Theoretical Foundations of Civil Engineering Polish-Ukrainian Transactions*. Ed. by W. Szczesniak. Warsaw, Vol. 21, pp.107-114, 2013.
- [4] W. H. Dilger, A. Ghali, M. Chan, "Temperature Stresses in Composite Box Girder Bridges", *Journal of Structural Engineering*, V. 109, no. 6, pp. 1460-1478, 1983.
- [5] Cz. Machelski, *Modelowanie mostowych konstrukcji gruntowo-powlokowych*. Dolnoslaskie Wydawnictwo Edukacyjne. 2008.
- [6] K. M. El-Sawy, "Three-dimensional modeling of soil-steel culverts under the effect of truckloads", *Thin-Walled Structures*, no. 41, p. 747–768, 2003.
- [7] Cz. Machelski, "Kinematic method for determining influence function of internal forces in the steel shell of soil-steel bridge", *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXII, no. 3, pp. 28–40, 2010.
- [8] Josyp Luchko, Vitaliy Kovalchuk, "Two-dimensional model calculation of themperature field and thermo stressed state plates spans of bridgers", *Nowoczesne rozwiazania materialowe i konstrukcyjne oraz problemy eksploatacyjne dotyczace budownictwa ogolnego I hydrotechnicznego*, Poznan, pp.441-451, 2016.
- [9] J. Luchko, V. Kovalchuk, O. Wozniak, "Device for measuring and evaluation stress-strain state transport facilities at variable load and temperature", *Durable Repair Methods in Buildings, Chapter: Science, research, technologies*. Wroclaw, pp.13-22, 2015.
- [10] DBN V.2.3-14: 2006. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Pravyla proektuvannia. Kyiv. 2006.
- [11] AASHTO Guide specifications: Thermal effects in concrete bridge superstructures. Washington. DC: American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO, 1989.
- [12] *Rekomendatsii po raschetu temperaturnyih i usadochnyih vozdeystviy na proletnyie stroeniya mostov Odobrenyi Glavtransproektotom*. Moskva. 1988.
- [13] EN_1991-1-5-2009 Evrokod 1 vozdeystviya na konstruksii Chast 1-5. Obschie vozdeystviya. Temperaturnyie vozdeystviya. Ministerstvo arhitekturyi i stroitelstva Respubliki Belarus-Minsk, 2009.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР
НА ПОВЕРХНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ГОФРИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Лучко И.И., д.т.н., профессор,
Львовский национальный аграрный университет
luchko.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3675-0503

Ковальчук В.В., к.т.н., доцент,
*Львовский филиал Днепровского национального университета
железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна*
kovalchuk.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4350-1756

Кравец И.Б., аспирант,
kravetsivan2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2239-849X

Джус В.С., к.т.н., доцент,
*Львовский филиал Днепровского национального университета
железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна*

Аннотация. Из проведенного анализа научно-исследовательских работ по учету климатических температурных перепадов окружающей среды и их влияния на напряженно-деформированное состояние транспортных сооружений установлено, что существуют разногласия в украинских и зарубежных нормативных документах, относительно учета значений максимальных и минимальных температур на стадии проектирования транспортных сооружений и их влияние на термонапряженное состояние.

Из проведенных экспериментальных исследований установлено, что на значение распределения температуры влияют метеорологические условия. В случае облачности температура распределяется равномерно гофрированным листом конструкции, объясняется отсутствием прямого солнечного излучения. Также равномерное распределение температур металлической гофрированной сооружением наблюдается в ночные часы суток.

Результаты распределения температуры в поперечном направлении гофрированного листа показали, что существует разница температур между наружной и внутренней сторонами трубы. Максимальный перепад температуры между внутренней и внешней поверхностями письма зафиксировано величиной + 10.4°C.

Установлено, что при ясной погоде между внешней и внутренней сторонами металлического гофрированного листа транспортного сооружения возникает перепад температур. При этом температура распределяется равномерно гофрированной сооружением с колебанием температур в зависимости от впадины или выступления гофры в пределах 1.5°C.

Установлено, что в летний период металл трубы с внешней стороны нагревается до значительных температур, в результате чего существует температурный перепад между внешней нагретой металлической поверхностью гофрированного листа конструкции и внутренней частью сооружения, взаимодействия с почвой засыпки. Перепад температур может привести к значительным температурным напряжениям. Поэтому изучение составляющих теплообмена является неотъемлемой частью подготовки данных для расчета температурных напряжений и деформаций металлических гофрированных конструкций.

Ключевые слова: транспортные сооружения, металлические гофрированные конструкции, климатические температурные воздействия, температура.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF TEMPERATURE DISTRIBUTION ON THE SURFACE OF TRANSPORT CONSTRUCTIONS FROM METALLIC CORRUGATED STRUCTURES

Luchko J.J., Doctor of Science, Professor,
Lviv National Agrarian University

luchko.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3675-0503

Kovalchuk V., PhD, Associate Professor,
Dnipro national university of railway transport named after academician V. Lazaryan Lviv branch
kovalchuk.diit@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4350-1756

Kravets I., postgraduate,
kravetsivan2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2239-849X

Dzhus V., PhD, Associate Professor,
Dnipro national university of railway transport named after academician V. Lazaryan Lviv branch

Abstract. From the analysis of the researches on taking into account the climatic temperature fluctuations of the environment and their impact on the strained and deformed state of transport constructions, it has been established that there are differences in the Ukrainian and foreign normative documents taking into account the values of maximum and minimum temperatures at the stage of designing transport constructions and their influence on the thermosetting state.

From the conducted experimental studies it was established that the temperature distribution values are influenced by meteorological conditions. In the case of clouds, the temperature is distributed evenly in the corrugated sheet of the structure, due to the lack of direct solar radiation. Also, uniform distribution of temperatures by a metal corrugated structure is observed at night hours.

The results of temperature distribution in the transverse direction of the corrugated sheet showed that there is a difference in temperature between the outer and inner sides of the pipe. The maximum temperature difference between the inner and outer surfaces of the sheet is fixed at +10.4°C.

It is established that when the weather is clear there is a temperature difference between the outer and inner sides of the metal corrugated sheet of the transport structure. In this case, the temperature is distributed uniformly corrugated structure with temperature fluctuations depending on the hollow or protuberance of the corrugation within 1.5°C.

It is established that in summer the metal of the pipe from the outside is heated to high temperatures, which results in a temperature difference between the external heated metal surface of the corrugated sheet of the structure and the inner part of the structure, which interacts with the ground filling. The temperature difference can lead to significant temperature stresses. Therefore, the study of the components of heat exchange is an integral part of the preparation of data for calculating the temperature stresses and deformations of metal corrugated structures.

Keywords: transport constructions, metallic corrugated structures, climatic temperature influences, temperature.

Стаття надійшла 9.06.2019