

ТЕМПЕРАТУРНІ ГРАДІЄНТИ В МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ ЗА НОРМАМИ РІЗНИХ КРАЇН

Лукін Д.О., аспірант

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Дорожньо-будівельний сектор і стан мостових споруд має стратегічне значення для України. Беручи до уваги зміни клімату і як наслідок збільшення температурних впливів на мостові конструкції важливим є удосконалення урахування впливу температурного середовища на елементи конструкції мостів. В цій статті розглядаються температурні впливи в будівельних стандартах різних країн, беручи до уваги їх клімат, для того щоб порівняти з відповідними будівельними нормами України, з метою впровадження досвіду інших країн та удосконалення підходу врахування і прогнозування впливів і навантажень спричинених температурою оточуючого середовища та її перепадами.

В практиці проектування мостів, зазвичай, температурні навантаження прийнято розподіляти на дві частини:

1. складову рівномірно розподіленої температури, за допомогою якої визначають лінійні переміщення конструкції;

2. складову вертикального температурного перепаду (або температурного градієнту), що виникає через нерівномірне нагрівання прогонової будови мосту і викликає внутрішні напруження в елементах мосту та їх деформації.

Далі розглянемо будівельні стандарти деяких країн, в яких нормується визначення температурного градієнту в мостових конструкціях.

Євросоюз. На території Євросоюзу впливи на конструкції нормуються комплектом гармонізованих європейських стандартів для розрахунку несучих конструкцій будівельних споруд, а саме Eurocode. Температурні впливи нормуються Eurocode EN 1991-1-5 [1]. Через свої географічні особливості, температурні впливи в залежності від клімату конкретної країни можуть бути нормовані і уточнені національним додатком до Eurocode.

Територія Європи значна і знаходиться одразу в декількох кліматичних поясах: від арктичного та субарктичного на півночі, до субтропічного на півдні. Але переважаюча частина Європи знаходиться в помірному кліматичному поясі. Через це, значення максимальних і мінімальних температур, які є в країнах Євросоюзу, значно варіюються. Так мінімальна температура в тіні коливається від нижчої за -50°C в Фінляндії до 0°C в Португалії, а максимальна температура в тіні змінюється від $+24^{\circ}\text{C}$ на Оркнейських островах в Шотландії, до $+46^{\circ}\text{C}$ в Болгарії [2].

При визначенні температурного градієнту стандарт [1] пропонує два підходи: лінійний і нелінійний. Зупинимося на останньому. Температурний градієнт залежить від виду конструкції (а точніше матеріалу конструкції), яких виділяється три: метал, бетон і складена конструкція. Так, для конкретного типу конструкції можна визначити перепад температури по висоті для двох

випадків: нагрівання і охолодження.

Велика Британія. Клімат Великої Британії відноситься до помірного морського, що характеризується теплим літом і не дуже холодною зимою але великою кількістю опадів протягом всього року. Південь країни, як правило, тепліший, ніж північ, і там більш сухо. Основними факторами, що впливають на клімат, тут є близькість до Атлантичного океану і течія Гольфстрім. Максимальна температура повітря $+37^{\circ}\text{C}$ в Лондоні, Англія, а мінімальна -24°C в Інвернессі, Шотландія [4].

Вплив температури на мостові конструкції нормується стандартом BS 5400-2:1978 [4], який як і Eurocode розділяє вплив температури на дві складові: зміну рівномірно розподіленої температури конструкції і температурний градієнт. Стандарт [4] поділяє типи конструкції, для визначення температурного градієнту, на чотири групи: металева плита проїзної частини на металевих балках коробчастого перерізу; металева плита проїзної частини на металевих фермах, або плитних балках; залізобетонна плита на металевих балках; залізобетонна плита на залізобетонних балках. Значення ж температури по висоті перерізу нормується для кожного з цих типів конструкції.

США. Територія США розташована майже у всіх кліматичних поясах: від субарктичного на Алясці до тропічного на Гаваях, проте більша частина знаходиться в зоні помірного континентального клімату. Території на заході країни з пустелями і напівпустелями відрізняються сухою погодою і малою кількістю опадів. Схід країни характеризується підвищеною вологістю. Температура коливається від мінімальної $-60^{\circ}\text{F} = -51,11^{\circ}\text{C}$ на Алясці, до максимальної $+130^{\circ}\text{F} = +54,44^{\circ}\text{C}$ в Каліфорнії [5].

Вплив температури на елементи мостових конструкцій нормується стандартом AASHTO LRFD Bridge Design Specifications [5]. В ньому ж приводяться карти максимальних і мінімальних температур для проектування мостів (окремо металевих і залізобетонних).

При визначенні температурного градієнта територія США умовно розділюється на чотири кліматичні зони за температурою і величиною температурної зміни по висоті перерізу, визначається виходячи з розміщення мосту, матеріалу його конструкцій і конструктивних особливостей.

Австралія. Більша частина Австралії простягається у тропічному поясі, тому клімат теплий, а середньомісячна температура повітря тут не опускається нижче 10°C . Морози бувають лише в гірській місцевості. Над більшістю рівнинної частини Австралії панує сухе тропічне повітря, опади на східному узбережжі спричинені південно-східними пасатами, а опади у північній частині материка спричинені сезонним пануванням вологого екваторіального повітря.

Температурні впливи нормуються стандартом AS 5100.2:2017 [6]. Так згідно з ним територія Австралії поділяється на три регіони: перший – північніше $22,5$ південної широти, південніше $22,5$ південної широти та Тасманія. Максимальна температура дорівнює $+46^{\circ}\text{C}$, а мінімальна -10°C .

Для визначення температурного перепаду або градієнту, на відміну від інших норм використовуються функції, в залежності від типу конструкції і

матеріалу. Так основна частина температурного профілю для прогонових будов з залізобетону будується за допомогою залежності:

$$T(y) = T \left(1 - \frac{y}{1200}\right)^5$$

А для прогонових будов з металу:

$$T(y) = (T + 5) \left(1 - \frac{y}{1200}\right)^5$$

При аналізі температурного градієнту металевих прогонових будов можна знайти спільні риси з Американським стандартом AASHTO LRFD Bridge Design Specifications [5], який використовував досвід Австралійських колег при розробці власного стандарту.

Індія. Клімат Індії є тропічним мусонним. Територія Індії простягається у субекваторіальному кліматичному поясі, а регіон Джамму і Кашмір належить до субтропічного високогірного поясу. Коливання температури повітря продовж року переважно незначні, зима не набагато холодніша за літо.

Вплив температури на мости нормуються стандартом IRC:6-2017 [7]. Максимальні і мінімальні температури тут приведені в додатку F [7], керуючись яким можна зазначити, що найбільша температура нормується в Сідхі +52,3°C, а мінімальна в Срінагарі -20,0°C. При цьому, як і в інших стандартах температурний вплив поділяється на дві складові: загальна температура мосту і різниця температур в конструкції.

Температурний перепад нормується для двох випадків: зростання температури повітря (нагрівання мосту) і падіння температури повітря (охолодження мосту). При цьому значення і вигляд температурного градієнту буде різним для залізобетонних прогонових будов і прогонових будов з металу чи сталезалізобетонних.

Україна. Переважна частина території України простягається в помірному кліматичному поясі в області помірно континентального клімату, лише частина південного берега Криму знаходиться в субтропічному поясі. Також, через протяжність території, основні кліматичні показники (температура повітря і кількість опадів) помітно відрізняються в різних частинах країни. Через перепад висот в Українських Карпатах і Кримських горах утворилися свої кліматичні особливості: кількість опадів збільшується, а середньомісячні температури зменшуються.

Кліматичні умови, що впливають на споруди тут нормуються стандартом ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [8]. Територія України, згідно якому, поділяється на п'ять районів з різними кліматичними характеристиками. Температура повітря забезпеченістю 0,98 коливається взимку: від -32°C в Чернігівській області до +10°C в Ялті, та влітку: від +31°C в Ялті до +20°C Плай, Закарпатська область.

Вплив температури на мостові конструкції нормується ДБН В.1.2-15:2009 [9], згідно якому визначаються характеристичні значення найбільшої і

найменшої температур споруди, що дозволяють визначити лінійні поздовжні деформації.

В ДБН В.2.3-14:2006 [10], який був замінений [9] в частині навантажень і впливів на мости, написано що середню по перерізу нормативну температуру елементів або їхніх частин припускається приймати рівною (з невеликими уточненнями для металевих мостів) і те, що температуру елементів зі складним поперечним перерізом слід визначати як середньозважену за температурою окремих елементів (стінок, полиць та ін.). А в ДБН В.1.2-15:2009 [9] сказано, що колір фарбування конструкцій при розрахунках температур не береться до уваги. Таким чином видно, що температурний градієнт тут ніяк ненормований.

З 2014 року в дію вступає також ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 [3], що є фактично перекладом Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5 [1] і зміна №1 до нього, яка вносить уточнення дозволені національним додатком до Єврокоду. Ці зміни представляють собою температури повітря і карту районування території України запозичену з [8] та характеристичні температури мосту запозичену з [9]. В частині температурного градієнту стандарт такий самий, як і відповідний Єврокод [1].

При порівнянні температурних впливів і навантажень на мостові конструкції найважливішим фактором є кліматичні умови регіону, де знаходиться міст. Так, температура повітря по будівельним нормам України в цілому холодніша за температуру повітря в розглянутих країнах. Якщо порівнювати регіони з помірним кліматом, який притаманний більшій частині України, можна зробити висновок, що літо тут холодніше, як і зима.

Розглянемо температурні градієнти по кожному з цих стандартів. Для порівняння побудуємо графік зміни температури для перерізу залізобетонної балки з монолітною плитою. В якості балки візьмемо поширену на існуючих мостах України балку Т-подібного перерізу по ВТП-16 висотою 750 мм і довжиною 11,36 м. На балці влаштована монолітна залізобетонна плита товщиною 140 мм і двошарове дорожнє покриття товщиною 110 мм згідно [11]. Результати визначення температурного градієнту приведено на рис. 1.

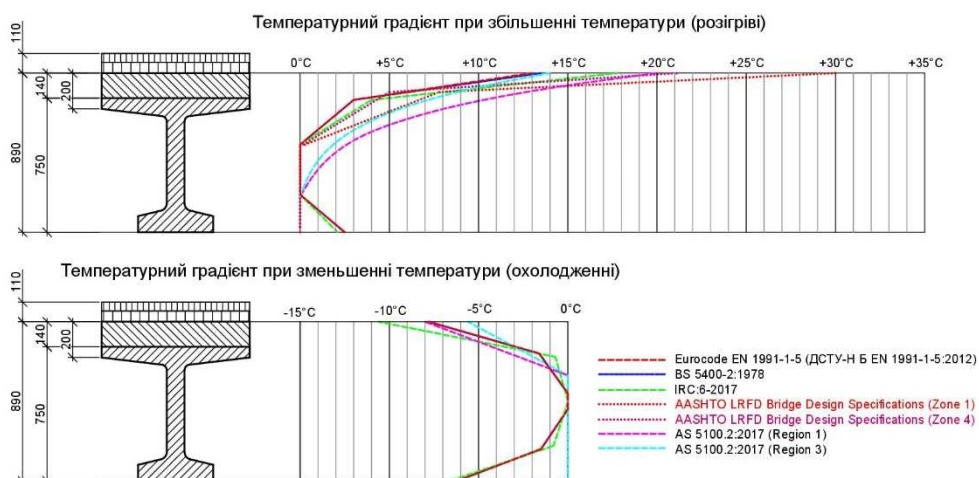


Рисунок 1 – Температурні градієнти за нормами різних країн

Таким чином бачимо, що найбільший перепад температури нормований стандартами США, навіть не зважаючи на те що помірний клімат найпоширеніший на території цієї країни (на рисунку приведені градієнти для зони 1 та 4, як максимальної і мінімальної за перепадом температури). Що стосується температурного градієнта при зменшенні температури то тут він в цілому подібний в різних стандартах (там де нормується). Температурний градієнт по Єврокоду і Британським нормам майже у всьому однаковий, що мабуть не зовсім доречно для країн Євросоюзу, що знаходяться в субарктичному або субтропічному кліматичному поясі, таких як Норвегія, Португалія, або Україна яка віддалена від океану і має більш холодний клімат. Тож можна припустити, що відповідність температурних градієнтів наданих в ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 [3] підлягають вивченню і аналізу для відповідності кліматичним умовам України.

Перелік посилань

1. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5: General actions – Thermal actions – Brussels: European committee for standardization. 2003
2. Athanasopoulou, Adamantia, et al. Thermal design of structures and the changing climate. Publications Office of the European Union, 2020.
3. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-5. Загальні дії. Теплові дії (EN 1991-1-5:2003, IDT). Зміна № 1– Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 59 с.
4. BRITISH STANDARD BS 5400-2:1978 Steel, concrete and composite bridges — Part 2: Specification for loads
5. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 5th ed. (2010), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
6. Australian Standard AS 5100.2:2017 Bridge design. Part 2: Design loads (2017)
7. STANDARD SPECIFICATIONS AND CODE OF PRACTICE FOR ROAD BRIDGES IRC:6-2017 SECTION : II LOADS AND LOAD COMBINATIONS (SEVENTH REVISION) (2017), Indian Roads Congress
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія– Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. – 127 с.
9. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби – Київ: Мінрегіонбуд України. 2009. – 83 с.
10. ДБН В.2.3-14:2006 Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування . – Київ: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. 2006. – 217 с.