

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ФАСАДНЫХ БАЛКАХ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Пропонується порядок розрахунку температурних полів та напружень фасадних балок мостових конструкцій на основі даних реальних вимірів розподілу температури.

Предлагается порядок расчета температурных полей и напряжений в фасадных балках мостовых конструкций на основании данных реальных замеров распределения температуры.

The order of computation of the temperature fields and tensions in the facade beams of bridge constructions on the basis of data of the real measurements of temperature distribution is offered.

При изучении напряженно-деформированного состояния элементов мостов, работающих в условиях одновременного воздействия комплекса нагрузок, представляет интерес определение величины температурных деформаций в элементах пролетных строений. Мосты и путепроводы во время эксплуатации подвергаются переменным климатическим воздействиям, а во время устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей – значительным тепловым нагрузкам.

ДБН В.2.3-14:2006 регламентируют учет нормативного температурного воздействия при расчетах перемещений в мостах всех систем, температурные климатические воздействия введены в сочетании нагрузок (п. 2.1). Нормы предусматривают применение таких расчетных схем и предпосылок расчетов, которые должны отображать реальные условия работы конструкций при строительстве и эксплуатации (п. 1.55). Температуру элементов сложного поперечного сечения по нормам при этом рекомендуется определять как средневзвешенную для отдельных элементов (стенок, полук и др.). Средняя по сечению нормативная температура элементов или их частей должна определяться в зависимости от температуры окружающей среды.

При решении задач по определению температурных градиентов и соответствующих деформаций в таких конструкциях с использованием современного программного обеспечения, основанного на методе конечных элементов, необходимо задавать начальные условия в виде распределения температуры по объему конструкции. При этом в отечественных нормах отсутствуют четкие рекомендаций относительно значений «температуры окружающей среды» и, соответственно, «средней по сечению норма-

тивной температуры элементов и их частей». Также отсутствуют данные температурного мониторинга разных по материалу и очертанию мостовых конструкций, работающих в различных климатических условиях на территории Украины. Все это, а также дефицит лицензионного программного обеспечения у проектировщиков сдерживает решение задач по определению температурной составляющей напряженно-деформированного состояния мостовых конструкций.

В развитых странах оснащение мостов контрольно-измерительными тепловыми приборами (температурный мониторинг) началось примерно с 1965 г. [1]. В 1980 г. Европейским комитетом по бетону была образована специальная группа по исследованию температурных эффектов – «Thermal Effects». В ходе многолетних исследований, проводившихся в нескольких странах, было установлено, что изменения «эффективных температур» мостов соответствуют изменениям среднемесячной температуры воздуха и что температурные реакции конструкции моста не являются линейными, а имеют сложный характер. Поэтому проектные решения, которые используют предположения о линейном поведении конструкции, могут привести к ошибкам. В нормах AASHTO регламентированы граничные значения расчетных температур для металлических, бетонных и деревянных элементов мостов для условий умеренного и холодного климата. При проектировании сооружений по этим нормам принимают также распределение температуры по сечению элементов пролетных строений с учетом позитивных и негативных градиентов, которые также задаются нормами [2, 3]. В зарубежных нормах рассматриваются суточные и сезонные колебания температуры, учитывается нелиней-

ный характер распределения температуры по глубине конструкции и вторичные температурные деформации вдоль пролета балок разрезной и неразрезной систем.

В то же время, данные некоторых наблюдений за изменением температуры в мостовых балках [4] показали расхождение реально замеренных температур (значения от минус 38 °С до 40 °С) от расчетных по AASHTO (от минус 18 °С до 27 °С). Наблюдения за температурными градиентами в пролетном строении моста и за деформациями в сечении конструкции пролетного строения моста [5] показали четкую корреляционную зависимость деформаций от изменений температуры.

В Рекомендациях [6] рассмотрены напряжения от неравномерного по сечению распределения температуры в статически определимых балочных сталежелезобетонных пролетных строениях и сформулирована методика определения исходных данных для расчета деформаций и дополнительных усилий в мостовых конструкциях от неравномерного распределения температуры в их элементах. При расчете пролетных строений выделено 9 расчетных случаев, в том числе:

I – суточный ход температуры воздуха в сочетании с воздействием солнечной радиации на вертикальную поверхность;

II – резкое понижение температуры воздуха;

III – суточный ход температуры воздуха в сочетании с воздействием солнечной радиации на горизонтальную поверхность;

IV – резкое повышение температуры воздуха. При этом для отдельных элементов сечения может быть учтен нагрев солнцем;

VIII – годовые (межсезонные) колебания температуры воздуха с учетом действия солнечной радиации; ЕС – особые тепловые воздействия (например, теплотрассы, проходящие внутри коробчатых пролетных строений) и др.

Для оценки характера распределения температуры в конструкциях железобетонных пролетных строений мостов и для определения соответствующих граничных условий в ХНАДУ проводились экспериментальные исследования на некоторых сооружениях. При этом использовались приборы FLUKE Ti20 (тепловизор) и FLUKE 68 – бесконтактный измеритель температуры. Возможности тепловизора позволили получать картины температур любых поверхностей, дефектных зон в дневные, а также в ночные часы. При наличии дефектов в конструкции вследствие разницы температур смежных зон фиксируется характерная картина теп-

лового поля. Компьютерная обработка результатов измерений позволяет определять температуру любой точки снимка, т.е. дать предварительную оценку градиентам температуры. Легко получить значение средних температур выбранной области и сетку температур по поверхности сделанных снимков. Стоимость приборов инфракрасной термографии высокая, например, тепловизор FLUKE Ti20 стоит свыше 50 тыс. грн. Поэтому в ХНАДУ выполняются замеры фактических температур мостовых конструкций более доступным прибором FLUKE 68, и некоторые результаты замеров показаны на рис. 1, 2.

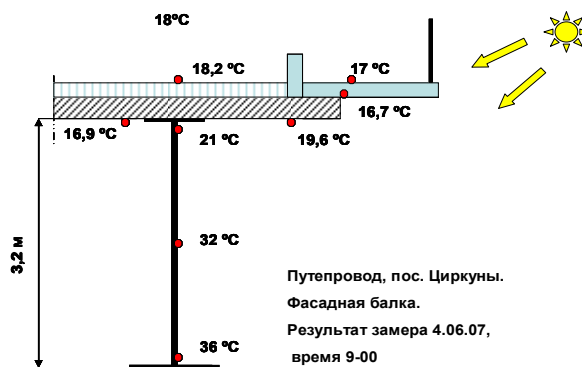


Рис. 1. Значения температур по данным измерений (сталежелезобетон)

Измерения температур показали, что поверхность фасадных балок мостовых сооружений, ориентированных по направлению восток-запад, в солнечные дни прогревается значительно сильнее остальных поверхностей пролетного строения. В облачную погоду значения температур по длине и по сечению конструкции выравниваются.

Наличие консольного свеса заметно понижает температуру смежных поверхностей.

Данные обследований мостов показывают большую степень износа фасадных балок по сравнению с остальными.

При решении задачи оценки напряженно-деформированного состояния фасадных балок конкретного сооружения, подвергаемых действию солнечной радиации, выполняем ряд этапов (рис. 3).

К конечно-элементной модели пролетного строения добавляются граничные условия в виде тепловых потоков, определяемых в зависимости от географического положения сооружения, его размещения на местности, периода года и времени суток [7].

Рекомендуется при расчетах мостовых конструкций на климатические воздействия рассматривать такие случаи:

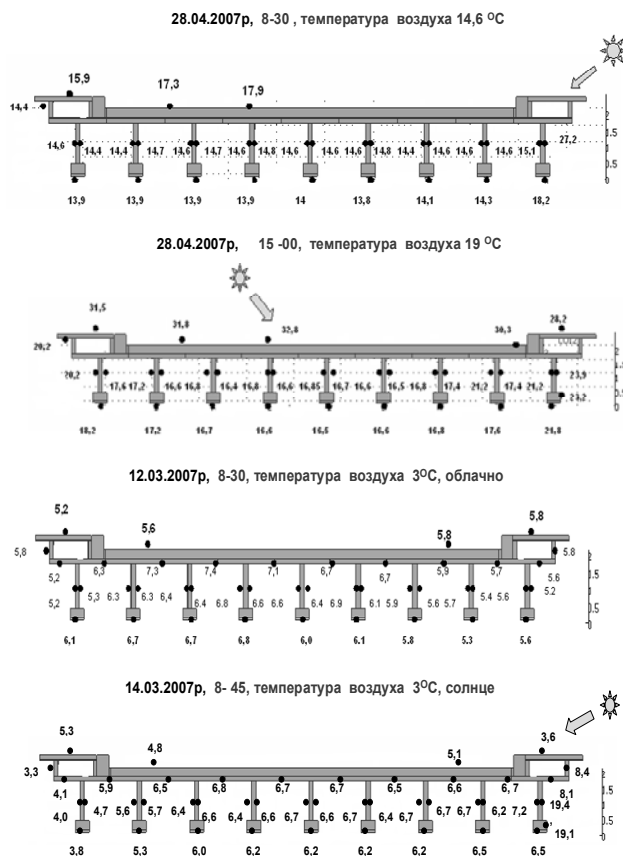


Рис. 2. Значения температур по данным измерений (железобетон). Путепровод г. Харьков. Ориентация пролетных строений восток-запад

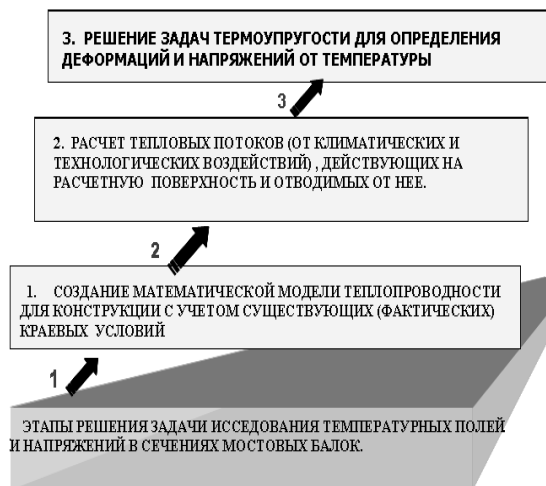


Рис. 3. Этапы решения задачи исследования температурных полей и напряжений в сечениях мостовых балок

– быстрое снижение температуры окружающей среды до абсолютной минимальной температуры района строительства, принимаемой по данным СНиП 2.01.01 для максимальных суточных амплитуд температуры наружного воздуха, при ясном небе в ночной период (до восхода солнца);

– одностороннее нагревание конструкции в зависимости от её ориентации по сторонам света. В рекомендациях [7] приведен порядок расчета тепловых потоков для указанных случаев.

Пример результата расчета напряженно-деформированного состояния фасадной балки пролетного строения от разницы температур вследствие одностороннего нагрева солнечным излучением приведен на рис. 4.

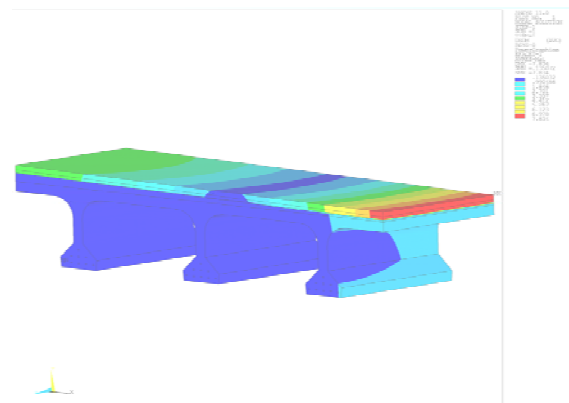


Рис. 4. 3-D визуализация решения по определению НДС от разницы температур на боковой поверхности мостовой конструкции

Начальное распределение температур по сечению для подобных расчетов рекомендуется принимать по данным замеров для существующих сооружений.

Расчеты температурных полей и напряжений при одностороннем нагреве конструкции солнцем рекомендуется выполнять для двух случаев:

- для дня года, отвечающего условиям наиболее жарких суток;
- для весеннего периода, при значительной разнице между дневной и ночной температурой воздуха.

При этом задаются тепловые потоки, поглощаемые боковой поверхностью в зависимости от её наклона, цвета и материала с учетом конструктивных особенностей, например, длины консолей.

## Выводы

Для определения начальных условий при решении задачи теплопроводности в сечении моста от климатических факторов необходимы данные экспериментальных исследований распределений температуры в различные периоды года для мостов разных конструкций и материалов, работающих в климатических условиях Украины.

Требуется разработка отечественных методик температурного мониторинга мостовых конструкций и соответствующего оборудования.

На этапе проектирования сооружения возможно прогнозировать напряженно-деформированное состояние фасадных балок при их дальнейшей эксплуатации, что позволит принять своевременные конструкторские решения, направленные на снижение температурных напряжений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Serrano, P. Simulación del comportamiento termico de tableros de Puente [Текст] / P. Serrano, J. Cruces // Hormigon y acero. – 1986. – № 161. – P. 21-34.
2. Evaluating Concrete Bridge Deck Performance: Final Report [Текст] / E. Cuelho *et al.* // February 2002 – May 2006. Report No. FHWA/MT-06-006/8156-002. – Western Transportation Institute, Montana State University, June 2006. – 305 p.
3. Venkata, H. P. P. The buried joint approach for expansion joint retrofit – a case study [Текст] / H. P. P. Verkata, G. Tsiatas, K. W. Lee // Presentation at 2006 TRB Annual meeting of the Transportation Research Board, 2006.
4. Evaluating Concrete Bridge Deck Performance [Текст] / E. Cuelho *et al.* // Montana Department of Transportation: Final Report FHWA/MT-06-006/8156-002, June 2006. – P. 302.
5. D'Ambrosia, M. Temperature Compensation for Early Age Concrete Testing [Текст] / M. D'Ambrosia, D. Lange / University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois Department of Transportation.
6. Рекомендации по расчету температурных и усадочных воздействий на пролетные строения мостов [Текст] / ВНИИТС. – М., 1988.
7. Рекомендації з розрахунку температурних полів і напружень в мостових конструкціях з покриттям [Текст]: Р В.2.3-218-02071168-686:2007.

Поступила в редколлегию 17.03.2010.

Принята к печати 23.03.2010.