

УДК 624. 21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ПОДВИЖНЫХ ОПОРНЫХ ЧАСТЯХ И В ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВАХ НЕРАЗРЕЗНЫХ МОСТОВ ПОЛИГОНАЛЬНОГО И КРИВОЛИНЕЙНОГО ОЧЕРТАНИЯ В ПЛАНЕ

к.т.н., доц., Тарасенко В. П.^{}, Савчинский Б. В.^{*}, Сухорский В. А.^{**}
Днепропетровский национальный университет железнодорожного
транспорта имени академика В. Лазаряна^{*}, г. Днепропетровск
Дирекция ДН-6 ГТОО «Юго-Западная железная дорога»^{**}, г. Киев*

При проектировании мостовых и других конструкций большой протяженности обязательным является учёт перемещений на подвижных опорных частях и в деформационных швах. Опираемые пролётные строения мостов на опоры осуществляется через подвижные и неподвижные опорные части.

Усилия от торможения и других воздействий на пролётные строения воспринимаются неподвижными опорными частями. Подвижные опорные части обеспечивают свободное перемещение пролётного строения от изменения температуры и воспринимают вертикальные и поперечные горизонтальные нагрузки. Подвижные и неподвижные опорные части должны допускать углы поворота опорных сечений в вертикальной плоскости.

На неразрезных пролётных строениях неподвижные опорные части устанавливают на одной из опор, а на всех остальных опорах – подвижные опорные части [1, 2].

Особенности работы и расчёта неразрезных конструкций, имеющих криволинейное очертание или комбинацию прямолинейных и криволинейных участков, на температурные воздействия исследованы недостаточно.

В данной работе рассматривается методика определения величины и направления температурных перемещений в произвольных точках неразрезных конструкций полигонального и криволинейного в плане очертания.

Для отдельных прямолинейных элементов конструкций при изменении температуры удлинение (или уменьшение их длины) определяется по формуле

$$\Delta l = \alpha l(t - t_0), \quad (1)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала конструкции; для стали $\alpha=0,000011$;

l – температурный пролёт, который для сложных неразрезных систем принимается равным расстоянию от закреплённого сечения до рассматриваемого сечения;

$(t-t_0)$ – разность температур, которая обычно принимается равной $\pm 40^\circ\text{C}$.

Для промежуточных сечений прямолинейных элементов температурные перемещения определяются формулой

$$\Delta l_{np} = \int_0^{l_{np}} \alpha(t-t_0) dl = k \int_0^{l_{np}} dl = k l_{np}, \quad (2)$$

где $k = \alpha(t-t_0) = 0,000011(t-t_0)$;

l_{np} – расстояние от закреплённого до рассматриваемого промежуточного сечения.

В неразрезных конструкциях, имеющих полигональное или криволинейное очертание оси, в результате появления температурных деформаций отдельных элементов общая конфигурация системы изменяется.

Трёхпролётная неразрезная полигональная конструкция, расположенная в горизонтальной плоскости AXY и показанная на рис. 1, может быть определена координатами узлов $A(0,0)$, $B(x_1, y_1)$, $C(x_2, y_2)$, $D(x_3, y_3)$ или векторами \overline{AB} , \overline{BC} и \overline{CD} .

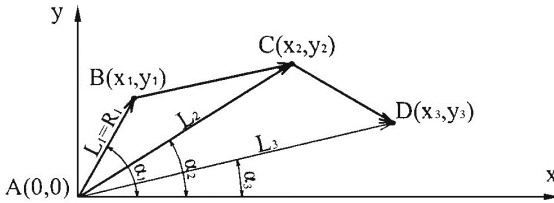


Рис. 1. План неразрезной полигональной балки

По координатам узлов (опор неразрезной полигональной конструкции) легко определяется длина и расположение в плане отдельных пролётов. Каждым из указанных векторов также однозначно идентифицируется величина и расположение на плоскости пролётов неразрезной системы.

В соответствии с положениями векторной алгебры [3] векторные суммы векторов \overline{AB} , \overline{BC} и векторов \overline{AB} , \overline{BC} , \overline{CD} равны замыкающим векторам \overline{AC} и \overline{AD} :

$$\overline{AC} = \overline{AB} + \overline{BC}; \quad \overline{AD} = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD}, \quad (3)$$

которые характеризуются соответствующими величинами и направлениями (см. рис. 1).

При защемлении рассматриваемой неразрезной полигональной системы в узле A температурные перемещения узлов B , C и D определяются продольными деформациями соответственно одного, двух и трёх элементов. В этих условиях в результате изменения длин происходит поступательное перемещение элементов (кроме первого элемента), а первоначальная конфигурация системы $ABCD$ изменяется и переходит в положения $AB_1C_1D_1$ или $AB_2C_2D_2$ в зависимости от знака изменения температуры (рис. 2).

Направления и величины перемещений узлов (опорных сечений) неразрезной полигональной системы определяются векторами $\overline{BB_1}$, $\overline{CC_1}$, $\overline{DD_1}$ или $\overline{BB_2}$, $\overline{CC_2}$, $\overline{DD_2}$, которые параллельны соответственно вектору

AB и замыкающим векторам \overline{AC} и \overline{AD} .

Таким образом, температурные перемещения узлов B, C, D полигональной неразрезной системы направлены вдоль линий, соединяющих указанные узлы с закрепленной точкой в узле A , а величины пропорциональны длине L_1 вектора \overline{AB} и длинам L_2 и L_3 замыкающих векторов \overline{AC} и \overline{AD} с коэффициентом пропорциональности $k=\alpha(t-t_0)=\pm 40\alpha$.

Аналогично определяется при изменении температуры положение произвольных точек между узлами полигональной системы, как показано для точки E на рис. 2.

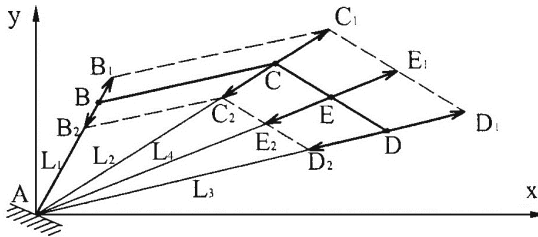


Рис. 2. Температурные деформации и векторы перемещений сечений полигональной балки

В рассматриваемом случае (при закреплении точки A) расстояния $L_1 \dots L_4$ являются температурными пролётами. От них, как векторных величин, зависят направления и величины температурных перемещений на концевой и промежуточных опорах и в других сечениях неразрезной полигональной системы в соответствии с формулой

$$\Delta L_i = \alpha L_i (t - t_0) = \pm k L_i. \quad (4)$$

При повышении температуры перемещения точек B, C, D, E происходят по направлениям от закреплённой точки A , а при понижении – по направлениям к точке A .

Температурные перемещения по сравнению с величинами температурных пролётов весьма малы ($\Delta L_i \ll L_i$). Поэтому на рис. 2 и последующих рисунках величины температурных перемещений показаны в более крупном (одинаковом для всех точек) масштабе.

Порядок построения деформированных при изменении температуры состояний и векторов перемещений, для неразрезных полигональных систем, вписанных в окружность радиуса R , принципиально не отличается от рассмотренного выше.

В этом случае в деформированном состоянии узловые точки (опорные сечения пролётных строений) оказываются расположенными на окружностях с радиусами $R + \Delta R$ и смещением центров окружностей на величину $\Delta R = \pm k R$.

В неразрезных криволинейных конструкциях (рис. 3), в отличие от полигональных, температурные деформации элементарных отрезков кривой

происходят по дуге, в направлении перпендикулярном к радиусу кривой с одновременным изменением радиуса и смещения центра кривой. С учётом накопления перемещений от деформации предыдущих участков перемещения промежуточных сечений между опорами происходит вдоль линий, соединяющих эти сечения с закрепленной точкой A (см. рис. 3).

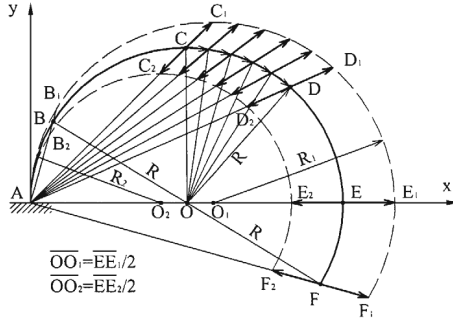


Рис. 3. Векторы температурных перемещений криволинейных неразрезных балок радиусом R

В деформированном состоянии в результате изменения температуры точки B_1, C_1, D_1, E_1, F_1 и B_2, C_2, D_2, E_2, F_2 , а также все промежуточные сечения располагаются на окружностях с радиусами $R \pm \Delta R$ и смещением центров окружностей (при закреплении точки A) вдоль оси AX на величину $\Delta R = \pm kR$, где $k = \alpha(t - t_0)$.

При этом следует отметить, что изменение радиуса криволинейных неразрезных конструкций не приводит к появлению дополнительных напряжений в конструкциях, а является результатом того, что свободные температурные деформации элементарных участков кривых происходят по направлениям, перпендикулярным радиусам, а по ширине проезжей части отдельные главные балки и части мостового полотна очерчены по концентрическим кривым.

Для обеспечения свободной деформации многопролетных неразрезных полигональных и криволинейных конструкций на всех опорах, кроме закрепленной, необходима установка подвижных опорных частей, которые допускают перемещения по направлениям полученных векторов перемещений.

Общая методика и анализ температурных перемещений и векторов перемещений, рассмотренная выше, для исходных данных реальных сооружений может быть дополнена вычислениями величин и направлений перемещений, а также их составляющих по направлениям вдоль и поперек оси конструкции в опорных сечениях.

В качестве примера вычисления температурных перемещений проведены для неразрезного шестипролётного металлического пролётного строения с

пролётами 39,90+40,00+62,00+75,00+40,00+40,50 м, расположенного на подходе к автопроезду мостового перехода через реку Днепр в Киеве.

С учётом местных условий и необходимости развязок с другими подходами и дорогами в разных уровнях пролётное строение на этом сооружении имеет разные пролёты и криволинейное очертание в плане с прямолинейными вставками. Отдельные пролёты пролётно строения полностью или частично расположены на кривых с радиусом 100,00 м. Развёрнутый фасад и очертание оси пролётно строения в плане показаны на рис. 4.

Опорные части и деформационные приборы имеют современную конструкцию, разработанную фирмой «MAURER SÖHNE». Неподвижные опорные части размещены на средней опоре № 4, а подвижные – на остальных опорах. Деформационные приборы установлены в деформационных швах на концах пролётно строения (над опорами № 1 и № 7).

В связи с расположением неподвижных опорных частей в сечении A (на средней опоре № 4) под левой и правой главными балками пролётное строение в этом сечении имеет закрепление против горизонтальных смещений и поворота в горизонтальной плоскости.

В этих условиях температурные перемещения опорных сечений (точек B , C , D и E , F , G левой и правой частей на рис. 4), а также сечений начала и конца кривых происходят в направлении линий, соединяющих эти сечения с закрепленной точкой A .

Замыкающие линии AD и AG определяют величину температурных пролётов и направление перемещений на концах пролётно строения, где устроены деформационные швы и установлены деформационные приборы.

Необходимые вычисления для определения векторов перемещений $\overline{DD_1}$ и $\overline{GG_1}$ в сечениях над опорами № 1 и № 7 приведены на указанном рисунке. Полученные векторы перемещений в точках D и G разложены на составляющие, направленные вдоль оси проезда и в поперечном направлении.

Для упрощения на рис. 4 показаны (в увеличенном масштабе) векторы перемещений в точках D и G только для случая повышения температуры. При понижении температуры векторы перемещений в этих точках и их разложение на составляющие будут иметь противоположные направления.

Подвижные опорные части на концевых и промежуточных опорах устанавливаются по направлениям векторов перемещений.

При этом в деформационных приборах над опорами № 1 и № 7 при сезонных изменениях температуры возникают перемещения в продольном и поперечном направлениях.

При изменении температуры в пределах $\pm 40^\circ\text{C}$ продольные и поперечные перемещения в опорных сечениях на концах пролётно строения оказались такими:

- в сечении над опорой № 1 $\Delta L_{\text{прод}}=46,8$ мм, $\Delta L_{\text{поп}}=35,8$ мм;
- в сечении над опорой № 7 $\Delta L_{\text{прод}}=61,2$ мм, $\Delta L_{\text{поп}}=25,4$ мм.

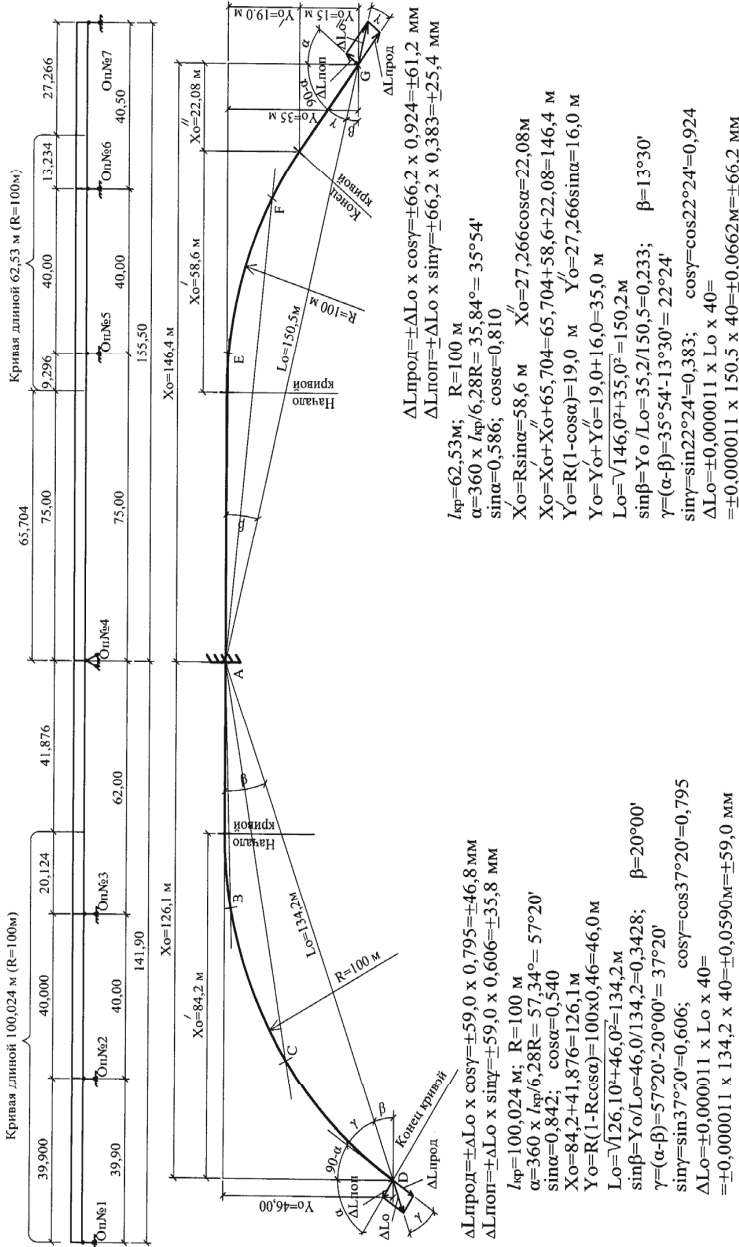


Рис. 4 Фасад и план неразрезного пролетного строения, расположенного на двух кривых с прямой вставкой

Деформационные приборы производства фирмы «MAURER SÖHNE» имеют специальную конструкцию с основными балками, которые привариваются к смежным пролётным строениям или к пролётному строению и кладным частям на устоях. В зависимости от величины температурных пролётов деформационные приборы могут иметь дополнительные промежуточные металлические балки, опирающиеся на специальные диагональные элементы с возможностью проскальзывания. Между основными и дополнительными балками деформационных приборов устроены водонепроницаемые упругие резиновые уплотнители.

Для деформационного прибора, установленного над опорой № 7, величина поперечного перемещения по отношению к перемещению в продольном направлении составляет $(25,4/61,2) \cdot 100 = 41,5\%$, что не превышает допустимого значения 50%, установленного заводом-производителем.

В деформационном приборе на опоре № 1, кроме указанных выше, возникают также продольные перемещения $\Delta L_{non}^l = 37,5$ мм из-за деформации соседнего пролётного строения, имеющего подвижную опорную часть на этой опоре.

На опоре № 1 при изменении температуры продольные перемещения рассматриваемого и соседнего пролётного строения направлены навстречу (или в противоположных направлениях), а поперечные в одну сторону. Поэтому для деформационного прибора над опорой № 1 для продольных деформаций учитывается сумма перемещений соседних пролётных строений, а для поперечных деформаций – разность.

Таким образом, расчётные температурные перемещения в деформационном приборе над опорой № 1 в продольном направлении будут равны $\Delta L_{prod}^p = \pm(46,8 + 73,7) = \pm 120,5$ мм, а в поперечном направлении

$$\Delta L_{non}^p = \pm(35,8 - 37,5) = \mp 1,7 \text{ мм.}$$

В данных условиях поперечные перемещения в деформационном приборе над опорой № 1 практически отсутствуют (не превышают 1,41% по отношению к продольным перемещениям), а деформационный прибор работает в оптимальных условиях.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гибшман, М. Е. Проектирование транспортных систем [Текст] / М. Е. Гибшман. - М.: Транспорт, 1980. – 391 с.
2. ДБН В.2.3-14:2006 Мости і труби. Правила проектування. Київ.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с.
3. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Государств. издат. технико-теоретич. литер., 1956. – 608 с.