

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НЕРАЗРЕЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛИГОНАЛЬНОГО И КРИВОЛИНЕЙНОГО В ПЛАНЕ ОЧЕРТАНИЯ

В статье рассматривается методика определения температурных деформаций элементов и перемещений опорных сечений неразрезных систем полигонального и криволинейного в плане очертания с использованием векторной алгебры и особенности температурных деформаций замкнутых систем.

*Ключевые слова:* неразрезные мосты, температурные деформации, опорные части, деформационные швы, вектор, векторы перемещений, длина кривой, температурный пролёт

В мостостроении и других строительных конструкциях большой протяженности в качестве несущих элементов широко применяются многопролетные неразрезные системы, которые отличаются большей экономичностью и другими преимуществами по сравнению с разрезными системами [1]. При большой протяженности конструкций актуальным является учёт температурных перемещений в сечениях над опорами и в деформационных швах.

Для многопролетных неразрезных конструкций, расположенных на прямой, методика расчёта их на силовое и температурное воздействие и конструктивные решения разработаны достаточно полно с учётом всех факторов. Особенности работы и расчёта неразрезных конструкций, имеющих полигональное и криволинейное очертание в плане, на температурное воздействие 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  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала конструкции; для стали  $\alpha = 0,00001$ ;  $l$  – температурный пролёт, который для сложных неразрезных систем принимается равным расстоянию от закреплённой точки до рассматриваемого сечения;  $(t - t_0)$  – разность температур, которая обычно принимается равной  $\pm 40$  °С.

Для промежуточных сечений каждого элемента перемещения определяются по формуле

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

где  $k = \alpha(t - t_0) = 0,00001(t - t_0)$ ;  $l_{np}$  – расстояние от закреплённого до рассматриваемого сечения.

В конструкциях, расположенных на прямой, температурные перемещения происходят по направлению вдоль оси сооружения.

Трёхпролётная неразрезная полигональная конструкция, расположенная в горизонтальной плоскости  $AXY$ , в общем случае может быть идентифицирована 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).

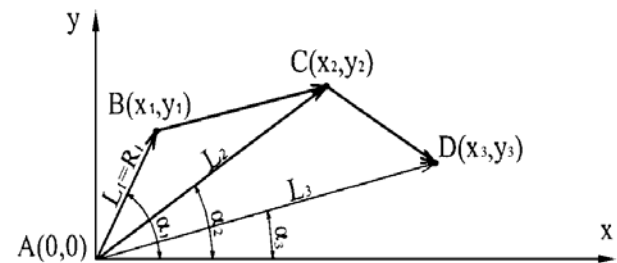


Рис. 1. План неразрезной полигональной балки

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

В соответствии с положениями векторной алгебры [2] 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 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  $A_1B_1C_1D_1$  или  $A_2B_2C_2D_2$  в зависимости от знака изменения температуры.

Направления и величина перемещений узлов неразрезной полигональной системы, представленной на рис. 1, 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  $\overline{AB}$  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 положение произвольных точек между узлами полигональной системы при изменении температуры, как показано для точки  $E$  на рис. 2.

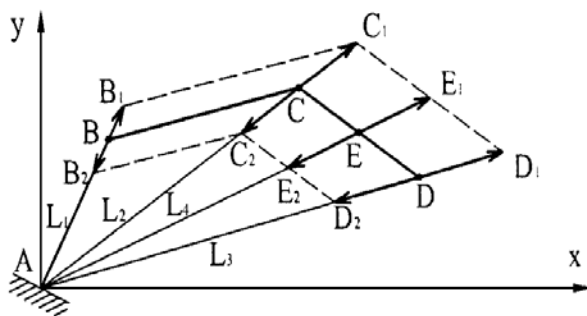


Рис. 2. Температурные деформации и векторы перемещений сечений полигональной балки

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

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

При повышении температуры перемещения точек  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  (см. рис. 2) 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 (одинаковым для всех узлов) масштабе.

На рис. 3 показана неразрезная полигональная конструкция с опорами в узлах  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  вписанная в полуокружность радиуса  $R$ . Порядок построения деформированных при изменении температуры состояний и векторов перемещений в этом случае принципиально не отличается от рассмотренного выше.

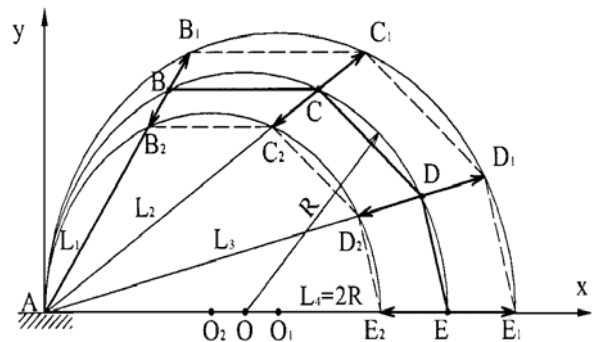


Рис. 3. Векторы температурных перемещений точек  $B$ ,  $C$ ,  $D$ , и  $E$  полигональной конструкции, вписанной в полуокружность

В деформированном состоянии точки  $B_1$ ,  $C_1$ ,  $D_1$ ,  $E_1$  и  $B_2$ ,  $C_2$ ,  $D_2$ ,  $E_2$  оказываются расположенными на окружностях с радиусами  $R + \Delta R$  и смещением центров окружностей на величину  $\Delta R$  вдоль оси  $AX$ , где  $\Delta R = \pm kR$ . Максимальное температурное перемещение в этом случае будет на конце полуокружности в узле  $E$  и равно  $\Delta L_E = \pm 2kR$ , где  $k = \alpha(t - t_0)$ .

В неразрезных криволинейных конструкциях (рис. 4), 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 закреплённой точкой  $A$  (см. рис. 4).

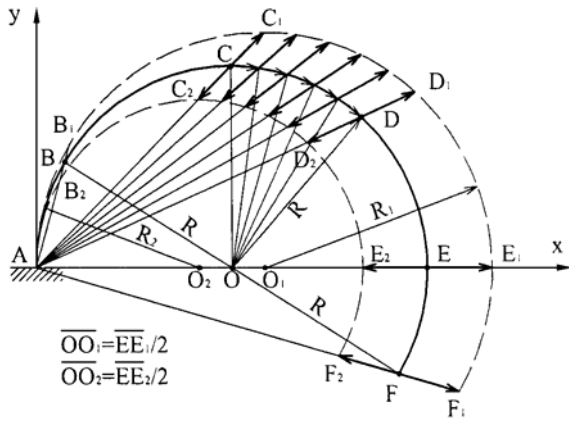


Рис. 4. Векторы температурных перемещений криволинейных неразрезных балок радиусом  $R$

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  $R + \Delta R$  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 элементах, а является результатом того, что температурные деформации элементарных участков кривой происходят по направлениям, перпендикулярным радиусам.

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

Методика и все векторные построения, рассмотренные выше, могут быть легко дополнены для конкретных исходных данных необходимыми вычислениями величин и направлений, а также составляющих перемещений по направлениям вдоль и поперек оси конструкции в опорных сечениях.

Изложенная методика может быть использована также для определения перемещений при температурных воздействиях замкнутых полигональных и криволинейных систем.

На рис. 5 и 6 приведена полигональная и криволинейная системы, расположенные на плоскости  $YAX$ , которые дополнены зеркальными изображениями с небольшим зазором между точками  $F$  и  $F'$ .

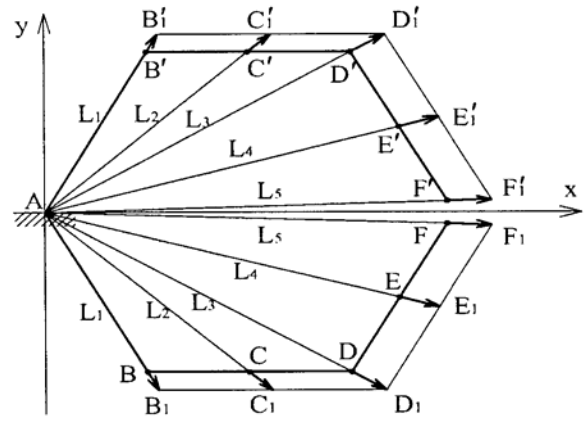


Рис. 5. Температурные деформации замкнутой полигональной системы с разрезом

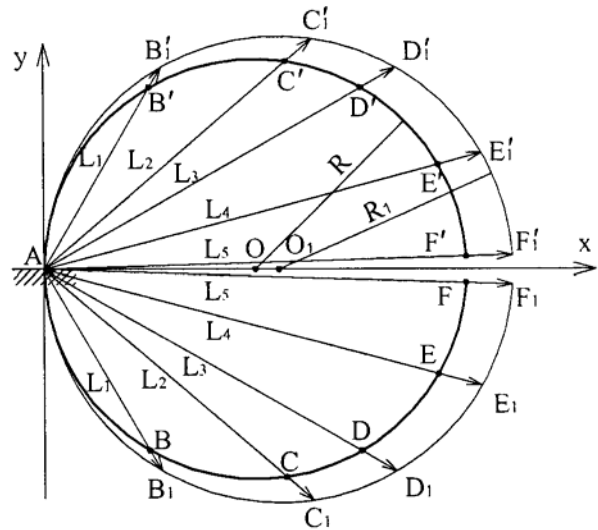


Рис. 6. Температурные деформации замкнутой криволинейной системы с разрезом

С учётом жесткого закрепления обеих ветвей (основной и дополнительной) в точке  $A$  на указанных рисунках указаны векторы узловых точек до деформации и в деформированном состоянии и векторы перемещений узлов в увеличенном масштабе. Для упрощения на чертежах рис. 5 и 6 деформации и перемещения приведены только при повышении температуры.

При свободных температурных деформациях в элементах полигональной и криволинейной систем нормальные и поперечные силы и изгибающие моменты отсутствуют.

Анализ исходного и деформированного состояний основных и дополнительных ветвей рассматриваемых систем показывает, что в предельном состоянии при величине зазора, стремящейся к нулю, векторы перемещений  $\overline{FF_1}$  и  $\overline{F'F'_1}$  на рис. 5 и 6 полностью совпадают [3]. Не изменяются также при температурных деформациях углы между примыкающими к зазору элементами.

Поэтому для замкнутых систем без разрезов внутренние усилия в элементах также не будут появляться. Как показывает проведенный анализ, это справедливо не только для симметричных относительно оси  $AX$  систем, но и для замкнутых систем произвольного очертания, закреплённых в одной точке.

Рассмотренные деформации и перемещения произвольных полигональных и криволинейных систем справедливы при одновременном нагревании или охлаждении всех элементов.

В случае изменения температуры только отдельных элементов картина изменится и требуется дополнительный анализ, а для замкнутых систем определение внутренних усилий в элементах.

Для неразрезных многопролётных полигональных и криволинейных систем подвижные опорные части должны быть установлены по направлению векторов перемещений на соответствующих опорах.

В. П. ТАРАСЕНКО, В. Л. РИКИНА (ДНУТ)

## ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ НЕРОЗРІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОЛІГОНАЛЬНОГО І КРИВОЛІНІЙНОГО В ПЛАНІ ОБРИСУ

У статті розглядається методика визначення температурних деформацій елементів та переміщень опорних перерізів нерозрізних систем полігонального і криволінійного в плані обрису з використанням векторної алгебри та особливості температурних деформацій замкнутих систем.

*Ключові слова:* нерозрізні мости, температурні деформації, опорні частини, деформаційні шви, вектор, вектори переміщень, довжина кривої, температурний прогін

V. P. TARASENKO, V. L. RIKINA (Dnipropetrovsk National University of Railway Transport)

## TEMPERATURE STRESS OF CONTINUOUS STRUCTURES OF POLYGONAL AND CURVED LINES

It is considered the technique of temperature stress determination and displacement of the step profile of continuous structures of polygonal and curved lines by using vector algebra and temperature stress particulars of feedback systems.

*Keywords:* beam axle, thermal deformation, bearings, expansion joints, vector, vectors of displacement, the length of the curve, the temperature span

В замкнутых трубчатых поперечных сечениях элементов и прямоугольных пустотелых симметричных профилях, а также в несимметричных замкнутых профилях при равномерном нагревании или охлаждении внутренних напряжений не возникает.

### БИБЛІОГРАФІЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гибшман, М. Е. Проектирование транспортных систем [Текст] / М. Е. Гибшман. – М.: Транспорт, 1980. – 391 с.
2. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Государств. издат. технико-теоретич. литер., 1956. – 608 с.
3. Фихтенгольц, Г. М. Основы математического анализа [Текст] / Г. М. Фихтенгольц. – М.: Наука, 1968. – Т. 1. – 440 с.

Поступила в редколлегию 15.03.2012.

Принята к печати 23.04.2012.