

ки, хотя и дает аналитическую зависимость от основных факторов, для практических расчетов использовано быть не может, так как при рассмотрении контактирующей пары колесо — несущий канат последний не рассматривается как упруговязкий элемент. Эта особенность отмечена в работе [1], в которой для вычисления сопротивления от жесткости каната вводятся соответствующие коэффициенты. Поэтому с учетом сказанного зависимость сопротивления передвижению колеса грузовой каретки от жесткости (внутреннего трения) несущего каната запишем в виде

$$\tilde{W}_ж = k_v k_{от} k_i k_\alpha W_{ж}, \quad (21)$$

где  $k_v$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости движения грузовой каретки на величину дополнительного сопротивления;  
 $k_{от}$  — коэффициент, учитывающий влияние отпора каната на величину сопротивления от его жесткости;  
 $k_i$  — коэффициент, учитывающий расстояние между колесами каретки на величину сопротивления от жесткости каната;  
 $k_\alpha$  — коэффициент, зависящий от угла обхвата  $\alpha$  колеса канатом.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Дополнительное сопротивление при передвижении колеса грузовой каретки по несущему канату, связанное с преодолением внутренних сил трения в канате, составляет значительную добавку к сопротивлению, определяемому для случая движения колеса по рельсу, и должно учитываться в расчетах.

2. Дополнительное сопротивление существенно зависит от конструктивных и геометрических параметров каната ( $m, \alpha, r$ ), а также от величин, характеризующих его упруговязкие свойства ( $B, v$ ).

3. Настоящую работу следует рассматривать как первое приближение к решению поставленной задачи с учетом влияния внутренних сил трения между составными элементами несущего каната.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белая Н. М., Прохоренко А. Г., Мартынцив М. П. О сопротивлении движению грузовой каретки подвесных канатных лесотранспортных установок // Достижения и перспективы развития техники и технологии в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Тез. докл. науч.-техн. конф.— Ивано-Франковск, 1978.— С. 78—81. [2]. Глушко М. Ф. О формировании изогнутого несущего каната под катящимся колесом // Пассажирские подвесные канатные дороги.— Тбилиси, 1967.— С. 31—42. [3]. Глушко М. Ф. Деформация поперечных сечений и напряжения в канате при изгибе // Стальные канаты.— Киев, 1967.— Вып. 4.— С. 65—76. [4]. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны.— М.; Л.: Машиностроение, 1966.— 484 с. [5]. Малиновский В. А. Изгибная жесткость и потери на внутреннее трение // Вестн. машиностроения.— 1984.— № 6.— С. 36—39. [6]. Прохоренко А. Г. Напряжения изгиба в несущих канатах открытого типа // Стальные канаты.— Киев, 1967.— Вып. 4.— С. 172—176.

Поступила 27 января 1986 г.

УДК 624.21 : 625.745.12

## МЕТОД ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСЧЕТА БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

В. П. СТУКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Современные тенденции доставки древесины с делянок на склады и к потребителю основаны на максимальном использовании автотранспортных средств, что, в свою очередь, связано со значительным объемом

строительства лесовозных дорог, мостов и разного рода транспортных сооружений.

Проектирование мостов — сложный и ответственный процесс. При определении усилий в элементах пролетного строения используют различные методы пространственных расчетов.

Балочное пролетное строение можно рассматривать как тонкостенную призматическую систему, составленную из пластинок (ребра и плиты).

В поперечном сечении — это рамы с замкнутыми или незамкнутыми, односвязными или многосвязными контурами. Такие системы входят в пространственном напряженном состоянии. В. З. Власов [1] установил возможность приведения расчета призматических рам, составленных из пластинок, к расчету плоских стержневых рам. Он показал, что в любом поперечном сечении призматической рамы нормальные напряжения будут определяться первыми тремя членами формулы:

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{I_x} + \frac{M_y}{I_y} + \frac{P_4 \varphi_4}{a_{44}} + \dots + \frac{P_{n1} \varphi_{n1}}{a_{n1n1}}. \quad (1)$$

Остальные члены выражают такое распределение нормальных напряжений по сечению, при котором работа нормальных сил на любом перемещении рамы как твердого тела равна нулю. Эпюры этих нормальных сил статически эквивалентны нулю и отвечают деформации системы.

Касательные силы совершают работу, вызванную взаимным сдвигом элементов передней и задней плоскостей рамы. Это работа внутренних сил на деформациях системы. В любом соседнем поперечном сечении характер распределения напряжений  $\sigma$  и  $\tau$  будет другим, но его можно получить из расчета соседней обычной плоской рамы с шириной всех ее стержней  $dz = 1$  [1].

В предложенном нами методе [4] пролетное строение рассматривается как плита, опирающаяся на упругие полосовые опоры, которыми являются главные балки, и на точечные жесткие опоры в опорных сечениях поперек моста. Упругие параметры опор являются функциями прогиба и угла поворота и различны по длине пролета. Сплошная полосовая опора может быть заменена цепочкой сосредоточенных упругооседающих и упругоповорачивающихся опор. Чем меньше расстояние между опорами, тем выше точность расчетов при принятом положении.

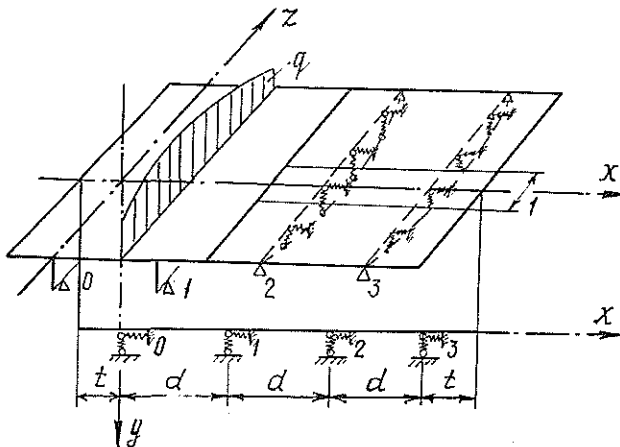


Рис. 1. Схема к расчету балочного пролетного строения

Распределение временной нагрузки (рис. 1), действующей на пролетное строение, в расчетном сечении, как отмечалось ранее, достаточно полно характеризуется работой полосы плиты шириной 1 м, рассматриваемой как неразрезная многопролетная балка на упругооседающих и упругоповорачивающихся опорах. Для расчета вытянутых систем, какой является неразрезная многопролетная балка на упругих опорах, удобен метод начальных параметров [3]. Решение может быть выполнено методом конечных элементов (и здесь не потребуется формировать всю матрицу разрешающих уравнений) или сведено к решению систем дифференциальных уравнений. Точность последнего расчета будет выше.

Полное решение дифференциального уравнения изгиба балки представлено в виде четырех дифференциальных уравнений в работе [6]. Нами использована матричная форма записи этих уравнений. Расчет балочных пролетных строений по методу упругооседающих и упругоповорачивающихся опор изложен в работе [4]. Метод позволяет определить прогибы, изгибающие моменты, поперечные силы, углы поворота и крутящие моменты в главных балках и изгибающие моменты и поперечные силы в поперечной конструкции для различных по длине пролетного строения сечений. Он дает возможность рассчитывать коробчатые, ребристые пролетные строения с балками одинаковой или разной жесткости на изгиб и кручение, расположенными на одинаковых расстояниях поперек моста, а при использовании известных приемов [2] может быть распространен на расчеты неразрезных, косых, криволинейных пролетных строений.

Уравнение эпор  $y, \varphi, M, Q$  для единичных усилий и воздействий в матричной форме имеет вид

$$\vec{y}_n = \begin{vmatrix} y_{ni} \\ \varphi_{ni} \\ M_{ni} \\ Q_{ni} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_n B_n - C_n - D_n \\ -D'_n A'_n - B'_n - C'_n \\ C''_n D''_n A''_n B''_n \\ B'''_n C'''_n - D'''_n A'''_n \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} y_{0i} \\ \varphi_{0i} \\ M_{0i} \\ Q_{0i} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D_{n-i} \\ C'_{n-i} \\ -B''_{n-i} \\ -A'''_{n-i} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -C_{n-i} \\ -B_{n-i} \\ A''_{n-i} \\ -D'''_{n-i} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -B_{n-i} \\ -A'_{n-i} \\ -D''_{n-i} \\ -C'''_{n-i} \end{vmatrix} = \Phi \vec{y}_0 + \vec{\Delta}_p + \vec{\Delta}_M + \vec{\Delta}_\theta. \quad (2)$$

Для единичного усилия или взаимодействия

$$\vec{y}_n = \Phi \vec{y}_0 + \vec{\Delta}, \quad (2')$$

где

$\vec{y}_n$  — вектор, определяющий параметры балки на  $i$ -й опоре;

$\vec{y}_0$  — вектор начальных параметров для  $i$ -й балки;

$\Phi$  — матрица функций влияния начальных параметров на прогиб  $y$ , угол поворота  $\varphi$ , изгибающий момент  $M$  и поперечную силу  $Q$ ;

$\vec{\Delta}_p, \vec{\Delta}_M, \vec{\Delta}_\varphi$  — векторы  $\vec{\Delta}$  функций влияния сосредоточенных воздействий на  $y, \varphi, M, Q$  [6];  
 $A_{n-i}, A_n, \dots, B_n, \dots, D_n'''$  — функции влияния начальных параметров и сосредоточенных воздействий на  $y, \varphi, M, Q$  на опорах  $n-i$  и  $n$  [6].  
 В расчетах этих функций влияния используются коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$ , характеризующие относительные гибкости балок пролетного строения. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  приведены в работе [4].

1. Вектор начальных параметров  $y_0$  для  $i$ -й опоры.

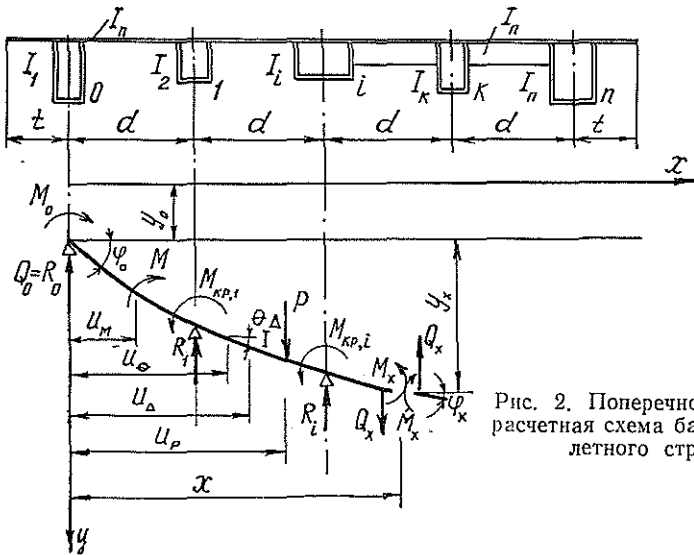


Рис. 2. Поперечное сечение и расчетная схема балочного пролетного строения

Рассмотрим пролетное строение из  $n$  балок (рис. 2). Начало поместим на левом конце неразрезной балки, тогда два из четырех известных начальных параметров становятся заранее известными: в случае упругой опоры

$$M_{0i} = -\mu_0 \varphi_{0i}; \quad Q_{0i} = \omega_0 y_{0i}; \quad (3)$$

два других определим из условий на правом конце

$$M_{ni} = \mu_n \varphi_{ni}; \quad Q_{ni} = -\omega_n y_{ni}; \quad (3')$$

где  $\mu_0, \mu_n, \omega_0, \omega_n$  — жесткость на кручение и изгиб крайних опор (0 и  $n$ ) соответственно [4].

а) Случай 1. Решение для нагрузки  $P = 1$ . На основании (2), (2)', (3), (3)' имеем

$$\begin{vmatrix} M_{ni} \\ Q_{ni} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_n'' D_n'' - A_n'' B_n'' \\ B_n'' C_n'' & D_n'' A_n'' \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} y_{0i} \\ \varphi_{0i} \\ \mu_0 \varphi_{0i} \\ \omega_0 y_{0i} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -B_{n-i} \\ -A_{n-i} \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \mu_n & 0 \\ 0 & -\omega_n \end{vmatrix} \left\{ \begin{vmatrix} -D'_n A'_n B'_n - C'_n \\ A_n B_n C_n - D_n \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} y_{0i} \\ \varphi_{0i} \\ \mu_0 \varphi_{0i} \\ \omega_0 y_{0i} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} C'_{n-i} \\ D_{n-i} \end{vmatrix} \right\}. \quad (4)$$

Согласно [6],

$$B''_n = B_n; C'_n = C_n; A'''_n = A_n; C'''_n = C''_n; D'''_n = D'_n. \quad (5)$$

Проведя ряд преобразований (4) с учетом (5), получим для эшпор начальных параметров  $y_0$  и  $\varphi_0$ :

$$\begin{aligned} & \left[ \begin{matrix} (C''_n + \omega_n B_n + \mu_n D'_n + \mu_n \omega_0 C_n)(D'_n - \mu_0 A'_n - \mu_n A'_n - \mu_0 \mu_n B'_n) \\ (B'''_n + \omega_0 A_n + \omega_n A_n - \omega_0 \omega_n D_n)(C''_n + \mu_0 D'_n + \omega_n B_n + \omega_n \mu_n C_n) \end{matrix} \right] \times \begin{bmatrix} y_{0i} \\ \varphi_{0i} \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} (B_{n-i} + \mu_n C_{n-i}) \\ (A_{n-i} - \omega_n D_{n-i}) \end{bmatrix}, \quad (6) \end{aligned}$$

или 
$$A y_{0i} = \vec{\Delta}_P^*, \quad (6')$$

Подобное выражение для матриц линий влияния начальных параметров  $y_0$  и  $\varphi_0$  имеет вид

где 
$$A y_{0i}^* = \Delta_P, \quad (6'')$$

$$\Delta_P = \begin{bmatrix} (B_n + \mu_n C_n)(B_{n-1} + \mu_n C_{n-1}) \dots (B_1 + \mu_n C_1)(B_0 + \mu_n C_0) \\ (A_n - \omega_n D_n)(A_{n-1} - \omega_n D_{n-1}) \dots (A_1 - \omega_n D_1)(A_0 - \omega_n D_0) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Правая часть равенства (7) представляет собой матрицу свободных членов системы уравнений (6), стоящих в левой части. Решение системы (6'') относительно  $y_0$  и  $\varphi_0$  получим, вычислив матрицу, обратную матрице коэффициентов при  $y_0$  и  $\varphi_0$ :

$$A^{-1} = \left[ \begin{matrix} (C''_n + \omega_n B_n + \mu_n D'_n + \mu_n \omega_0 C_n)(D'_n - \mu_0 A'_n - \mu_n A'_n - \mu_0 \mu_n B'_n) \\ (B'''_n + \omega_0 A_n + \omega_n A_n - \omega_0 \omega_n D_n)(C''_n + \mu_0 D'_n + \omega_n B_n + \omega_n \mu_n C_n) \end{matrix} \right]^{-1}. \quad (8)$$

Решение системы

$$\Lambda_{0P} = A^{-1} \Delta_P. \quad (9)$$

б) Случай 2. Решение для нагрузки  $M = 1$ . Вывод расчетных формул аналогичен случаю 1. Решение системы

$$\Lambda_{0M} = A^{-1} \Delta_M, \quad (10)$$

где  $A^{-1}$  — определяется по формуле (8)

$$\begin{aligned} & \Delta_M = \\ & = \left[ \begin{matrix} (-A'_n - \mu_n B'_n)(-A'_{n-1} - \mu_n B'_{n-1}) \dots (-A'_1 - \mu_n B'_1)(-A'_0 - \mu_n B'_0) \\ (D'_n + \omega_n C_n)(D'_{n-1} + \omega_n C_{n-1}) \dots (D'_1 + \omega_n C_1)(D'_0 + \omega_n C_0) \end{matrix} \right]. \quad (7') \end{aligned}$$

в) Случай 3. Решение для воздействия  $\Theta = 1$ . Вывод расчетных формул аналогичен случаю 1. Решение системы

$$\Lambda_{0\theta} = A^{-1} \Delta_{\theta}, \quad (11)$$

где  $A^{-1}$  — определяется по формуле (8);

$$\Delta_{\theta} = \begin{bmatrix} (D_n'' - \nu_n A_n') (D_{n-1}'' - \nu_n A_{n-1}') \dots (D_1'' - \nu_n A_1') (D_0'' - \nu_n A_0') \\ (C_n'' + \omega_n B_n) (C_{n-1}'' + \omega_n B_{n-1}) \dots (C_1'' + \omega_n B_1) (C_0'' + \omega_n B_0) \end{bmatrix}. \quad (7'')$$

2. Линии влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$ ,  $\varphi$ ,  $M_{кр}$  для главных балок пролетного строения.

Ординаты линий влияния прогибов найдем из выражений (2), (2'), (3), (3') и теоремы о взаимности перемещений ( $y_{ik} = y_{ki}$ )

$$\begin{aligned} y_{ni} &= y_{0i} A_n + \varphi_{0i} B_n + \mu_0 \varphi_0 C_n - \omega_0 y_0 D_n + D_{n-i}; \\ y_{ni} &= y_{0i} (A_n - \omega_0 D_n) + \varphi_{0i} (B_n + \mu_0 C_n) + D_{n-i}. \end{aligned} \quad (12)$$

Матрица линий влияния прогибов  $\Lambda_y$  имеет вид

$$\Lambda_y = \begin{pmatrix} (A_0 - \omega_0 D_0) & (B_0 + \mu_0 C_0) \\ (A_1 - \omega_0 D_1) & (B_1 + \mu_0 C_1) \\ (A_2 - \omega_0 D_2) & (B_2 + \mu_0 C_2) \\ \dots & \dots \\ (A_{n-1} - \omega_0 D_{n-1}) & (B_{n-1} + \mu_0 C_{n-1}) \\ (A_n - \omega_0 D_n) & (B_n + \mu_0 C_n) \end{pmatrix} \Lambda_{0P} +$$

$$+ \begin{pmatrix} D_0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ D_1 & D_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ D_2 & D_1 & D_0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ D_{n-1} & D_{n-2} & D_{n-3} & \dots & D_0 & 0 \\ D_n & D_{n-1} & D_{n-2} & \dots & D_1 & D_0 \end{pmatrix} = \Phi_y \Lambda_{0P} + \Delta_{yP}, \quad (13)$$

где  $\Lambda_{0P}$  — определяется по формуле (9).

Изгибающий момент  $M$  и поперечная сила в сечении  $x$   $i$ -й балки пролетного строения от равномерно распределенной нагрузки интенсивностью  $q = 1$  кН/м

$$M_{xi} = \frac{x}{2} (l - x) \frac{y_{xi}}{y_x}; \quad (14)$$

$$Q_{xi} = \frac{l - 2x}{2} \frac{y_{xi}}{y_x}, \quad (15)$$

где  $x$ ,  $l$  — расстояние от опоры до расчетного сечения и расчетный пролет соответственно;

$y_{xi}$  — прогиб в сечении  $x$   $i$ -й балки пролетного строения;

$y_x$  — прогиб в сечении  $x$  отдельно стоящей балки при той же нагрузке.

Отношение  $\frac{y_{xi}}{y_x}$  при перемещении груза  $P = 1$  в пределах от  $x = h$  до  $x = 0,5l$  (где  $h$  — высота сечения балки) по длине балки для различных балок пролетного строения изменяется по-разному. В балке,

для которой строится линия влияния усилий, это отношение увеличивается на 15...30 % при перемещении  $P = 1$  от середины пролета к опорам. Для прочих балок пролетного строения оно, наоборот, уменьшается, причем суммарное изменение  $\frac{y_{xi}}{y_x}$  составляет те же 15...30 %

(для всех балок  $\sum \frac{y_{xi}}{y_x} = 1$ ).

В расчетах пролетных строений загрузка линий влияния производится несколькими полосами временной равномерно распределенной нагрузки, и результирующее усилие практически не зависит от распределяющей способности конкретного сечения пролетного строения. В таком случае отношение может быть взято по любому сечению по длине пролета (в пределах рассматриваемого участка), в том числе и по сечению в середине пролета, т. е.  $x = 0,5l$ .

Используем это допущение для случая определения поперечной силы в опорном сечении, где она имеет наибольшее значение.

Выражение (15) для опорного сечения принимает вид

$$Q_{0i} = 0,5l \frac{y_{0,5l,i}}{y_{0,5l}}. \quad (15')$$

Обозначим

$$K_M = \frac{x}{2y_x} (l - x); \quad (16)$$

$$K_Q = \frac{l - 2x}{2y_x}. \quad (17)$$

Для опорного сечения

$$K_Q = 0,5 \frac{l}{y_{0,5l}}. \quad (17')$$

Выражения (14) и (15) принимают вид

$$M_{xi} = K_M y_{xi}; \quad (14')$$

$$Q_{xi} = K_Q y_{xi}. \quad (15'')$$

Матрица линий влияния изгибающих моментов

$$\Delta_M = K_M (\Phi_y \Lambda_{0P} + \Delta_{yP}). \quad (18)$$

Матрица линий влияния поперечных сил

$$\Delta_Q = K_Q (\Phi_y \Lambda_{0P} + \Delta_{yP}). \quad (19)$$

Ординаты линий влияния углов поворота найдем из выражений (2), (2'), (3), (3'), теоремы о взаимности работ ( $\varphi_{ik} = y_{ki, M}$ )

$$y_{ni} = y_{0i} A_n + \varphi_{0i} B_n + \mu_0 \varphi_{0i} C_n - \omega_0 y_{0i} D_n - C_{n-i}; \quad (20)$$

$$y_{ni} = y_{0i} (A_n - \omega_0 D_n) + \varphi_{0i} (B_n + \mu_0 C_n) - C_{n-i}$$

Матрица линий влияния углов поворота  $\Lambda_\varphi$  имеет вид

$$\Lambda_\varphi = \begin{pmatrix} (A_0 - \omega_0 D_0) & (B_0 + \mu_0 C_0) \\ (A_1 - \omega_0 D_1) & (B_1 + \mu_0 C_1) \\ (A_2 - \omega_0 D_2) & (B_2 + \mu_0 C_2) \\ \dots & \dots \\ (A_{n-1} - \omega_0 D_{n-1}) & (B_{n-1} + \mu_0 C_{n-1}) \\ (A_n - \omega_0 D_1) & (B_1 + \mu_0 C_1) \end{pmatrix} \times \Lambda_{0M} -$$

$$- \begin{vmatrix} C_0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ C_1 & C_0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ C_2 & C_1 & C_0 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ C_{n-1} & C_{n-2} & C_{n-3} & \cdot & C_0 & 0 \\ C_n & C_{n-1} & C_{n-2} & \cdot & C_1 & C_0 \end{vmatrix} = \Phi_y \Lambda_{0M} + \Delta_{yM}, \quad (21)$$

где  $\Lambda_{0M}$  — определяется по формуле (10).

Ординаты линии влияния крутящих моментов найдем по формуле

$$M_{кр, ki} = \mu_i y_{ki, M},$$

где  $\mu_i$  — жесткость балки на кручение.

Матрица линий влияния крутящих моментов  $\Lambda_{M, кр}$  имеет вид

$$\Lambda_{M, кр} = D_\mu (\Phi_y \Lambda_{0M} + \Delta_{yM}), \quad (22)$$

где

$$D_\mu = \begin{vmatrix} \mu_0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2 & \cdot & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & \mu_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & \mu_n \end{vmatrix} \quad (23)$$

3. Ординаты линий влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$ ,  $\varphi$ ,  $M_{кр}$  на консолях.

Ординаты линий влияния  $S_i$  при положении груза  $P = 1$  на консолях могут быть найдены из выражения

$$S_i = S_k + t S_{к, M}, \quad (24)$$

где  $S_i$  — матрица-строка, определяющая параметры балки в расчетных сечениях при положении груза  $P = 1$  на консоли;

$S_k$  — то же при положении груза  $P = 1$  над крайней опорой;

$S_{к, M}$  — то же при положении нагрузки  $M = 1$  над крайней опорой;

$t$  — длина консоли.

При положении груза  $P = 1$  на правой консоли:  
для прогибов

$$S_k = y_k = \Phi_y^* \Lambda_{0P}; \quad (25)$$

$$S_{к, M} = y_{к, M} = \Phi_y^* \Lambda_{0M}; \quad (26)$$

для игибающих моментов

$$S_k = M_k = K_M y_k = K_M \Phi_y^* \Lambda_{0P}; \quad (27)$$

$$S_{к, M} = M_{к, M} = K_M y_{к, M} = K_M \Phi_y^* \Lambda_{0M}; \quad (28)$$

для поперечных сил

$$S_k = Q_k = K_Q y_k = K_Q \Phi_y^* \Lambda_{0P}; \quad (29)$$

$$S_{к, M} = Q_{к, M} = K_Q y_{к, M} = K_Q \Phi_y^* \Lambda_{0M}; \quad (30)$$



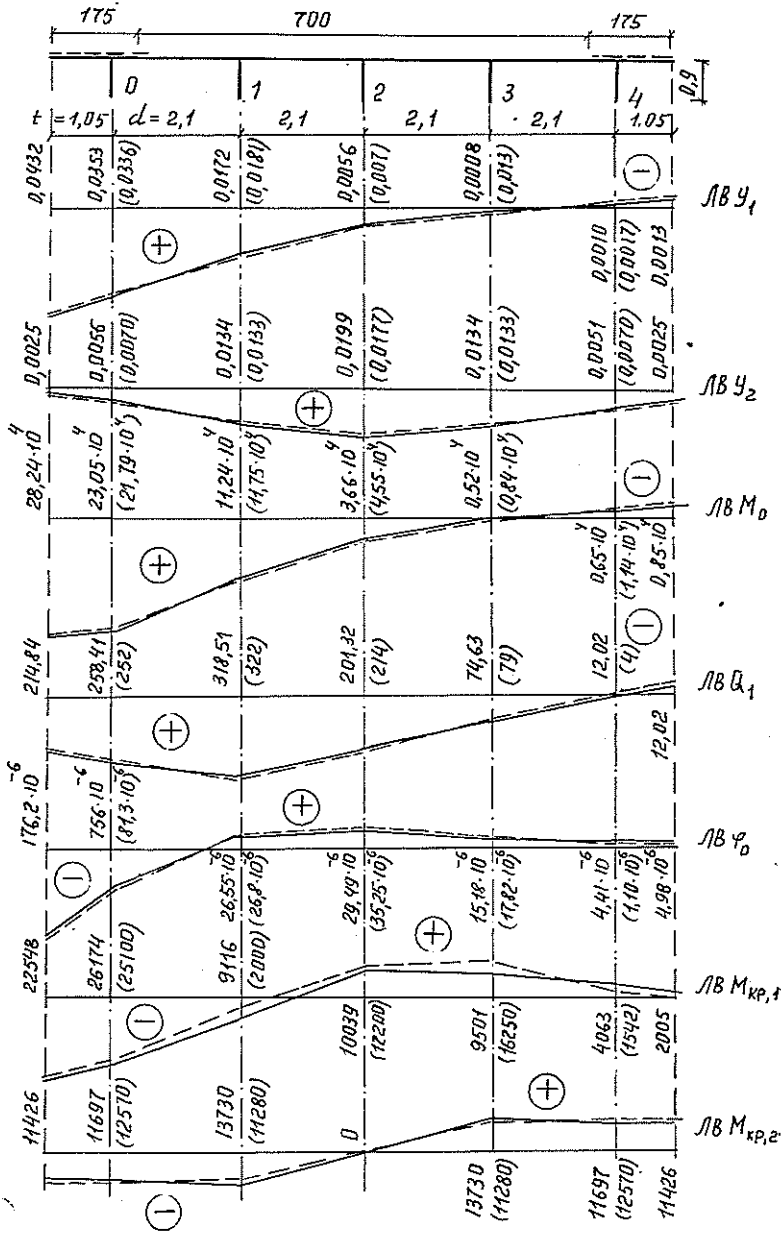


Рис. 3. Линии влияния: сплошная линия — по предлагаемому методу; штриховая — по методу Б. Е. Улицкого

для углов поворота

$$S_k = \varphi_k = \Phi_y^* \Lambda_{OM}; \quad (31)$$

$$S_{k, M} = \varphi_{k, M} = \Phi_\varphi^* \Lambda_{OM}; \quad (32)$$

для крутящих моментов

$$S_k = M_{кр, k} = D_\mu \Phi_y^* \Lambda_{OM}; \quad (33)$$

$$S_{k, M} = M_{кр, k, M} = D_\mu \Phi_\varphi^* \Lambda_{OM}; \quad (34)$$

где

$$\Phi_y^* = [(A_0 - \omega_0 D_0)(B_0 + \mu_0 C_0)] = [1 \ 0]; \quad (35)$$

$\Lambda_{0P}$ ,  $\Lambda_{0M}$ ,  $K_M$ ,  $K_Q$ ,  $D_\mu$  — определяются по формулам (9), (10), (15), (16), (21) соответственно.

Матрицу-строку  $\Phi_\varphi^*$  найдем из выражений (2), (2'), (3), (3')

$$\varphi_{ni} = \varphi_{0i} A'_n - \mu_0 \varphi_{0i} B'_n - \omega_0 y_{0i} C'_n - y_{0i} D'_n - B'_{n-i}; \quad (36)$$

$$\varphi_{ni} = -y_{0i} (D'_n + \omega_0 C'_n) + \varphi_{0i} (A'_n - \mu_0 B'_n) - B'_{n-i}.$$

Матрица-строка имеет вид

$$\Phi_\varphi^* = [-(D'_0 + \omega_0 C'_0)(A'_0 - \mu_0 B'_0)] = [0 \ 1]. \quad (37)$$

Ординаты линии влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$ ,  $\varphi$ ,  $M_{кр}$  при положении груза  $P = 1$  на левой консоли можно найти используя известную зависимость: для  $y$

$$y_{00} = y_{nn}; \quad y_{10} = y_{n-1 \ n}; \quad \dots; \quad y_{n-1 \ 0} = y_{1 \ n}; \quad y_{n0} = y_{0 \ n}. \quad (38)$$

Та же закономерность имеет место в линиях влияния  $M$  и  $Q$ : для  $\varphi$

$$-\varphi_{00} = \varphi_{nn}; \quad -\varphi_{10} = \varphi_{n-1 \ n}; \quad \dots; \quad -\varphi_{n-1 \ 0} = \varphi_{1 \ n}; \quad -\varphi_{n0} = \varphi_{0 \ n}; \quad (39)$$

для  $M_{кр}$

$$M_{кр, 00} = -M_{кр, nn}; \quad M_{кр, 10} = -M_{кр, n-1 \ n}; \quad \dots; \quad M_{кр, n-1 \ 0} = -M_{кр, 1 \ n}; \\ M_{кр, n0} = -M_{кр, 0 \ n}. \quad (40)$$

Составлена программа расчета для ЭВМ ЕС-1020 на языке Фортран.

В качестве примера на рис. 3 приведены линии влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$ ,  $\varphi$ ,  $M_{кр}$  для сечений бездиафрагменного пролетного строения с расчетным пролетом  $l = 1740$  см балочного автодорожного моста, рассмотренного в работе [5]. Расчеты ординат линий влияния произведены по нашему методу и методу Б. Е. Улицкого. Произведено сравнение величин максимальных ординат и площадей соответствующих линий влияния, построенных этими методами, причем за основу принят метод Б. У. Улицкого.

В качественном отношении линии влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$ ,  $\varphi$ ,  $M_{кр}$  в сравниваемых методах близки друг другу. Максимальные ординаты в линиях влияния  $y$ ,  $M$ ,  $Q$  различаются не более чем на 5...12 %, площади линий влияния — на 2...2,3 %; то же в линиях влияния  $\varphi$  и  $M_{кр}$  — не более 7...22 и 9...12 % соответственно.

### Выводы

Предлагаемый метод пространственного расчета балочных пролетных строений мостов позволяет дать оценку напряженно-деформированного состояния в произвольном сечении пролетного строения при обеспечении достаточной для практики проектирования точности. Метод позволяет применять для расчетов небольшие и даже настольные вычислительные машины.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Власов В. З. Строительная механика тонкостенных пространственных систем.— М.: Стройиздат, 1949.— 435 с. [2]. Гибшман М. Е. Проектирование транспортных сооружений.— М.: Транспорт, 1980.— 391 с. [3]. Розин Л. А. Стержневые системы как системы конечных элементов.— Л.: ЛГУ, 1976.— 232 с. [4]. Стуков

В. П. Пространственный расчет балочных пролетных строений мостов на лесовозных дорогах по методу «упруго оседающих и поворачивающихся опор» // Лесн. журн.— 1973.— № 6.— С. 55—62.— (Изв. высш. учеб. заведений). [5]. Улицкий Б. Е. Пространственный расчет бездиафрагменных пролетных строений мостов.— М.: Автотрансиздат, 1963.— 205 с. [6]. Уманский А. А. Специальный курс строительной механики. Ч. 2.— М.; Л.: Госстройиздат, 1940.— 196 с.

Поступила 21 апреля 1986 г.

УДК [630\*848 + 674 : 008] : 621.3.016

## ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ РАСЧЕТА НА ЭВМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. М. АЛЯБЬЕВ

Ленинградская лесотехническая академия

Расчет электрических нагрузок отдельных электрифицированных установок, технологических участков, цехов и заводов— основа дальнейшего проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий. Значения ожидаемых электрических нагрузок определяют выбор элементов и технико-экономические показатели проектируемой системы электроснабжения. Именно по ним производят выбор источников электроэнергии, трансформаторов, токоведущих элементов, средств защиты и устройств компенсации реактивной мощности. Ошибки при расчете электрических нагрузок вызывают либо неоправданный перерасход средств и материалов, либо нарушения в нормальной эксплуатации электрооборудования и устройств электроснабжения предприятий и, как следствие, снижение выпуска продукции.

Подсистема расчета электрических нагрузок входит в общую систему автоматизированного проектирования электротехнической части (САПРЭ) лесопромышленных предприятий. Основные направления работы по созданию подсистемы, освещаемые в настоящей статье [4]: организация банка необходимых исходных данных (информационное обеспечение) и разработка программных модулей решения различных задач подсистемы на ЭВМ (программное обеспечение).

В процессе проектирования расчет электрических нагрузок проводят многократно: для отдельных потребителей электроэнергии (ПЭ), разнообразных групп ПЭ, узлов схемы электроснабжения и трансформаторных подстанций. Электрические нагрузки— активная  $P$  (кВт), реактивная  $Q$  (кВАр), полная  $S$  (кВа) и ток  $I$  (А)— дополнительно подразделяют на средние (за наиболее загруженные смены), максимальные (чаще за промежуток времени в 30 мин) и пиковые (длительностью в доли или несколько секунд). Это объясняется наличием в схеме электроснабжения элементов, выбор которых осуществляется по значениям электрических нагрузок, относящихся к разным промежуточным временям [5].

Информационное обеспечение подсистем расчета электрических нагрузок должно базироваться на достоверных исходных сведениях о ПЭ лесопромышленных предприятий. Состав этих сведений предопределяется утвержденной методикой расчета [5] и содержит информацию, полученную из подсистем проектирования электрооборудования и электрического освещения (табл. 1), а также о технических данных трехфазных трансформаторов.

В соответствии с методическими указаниями [5] все ПЭ следует предварительно подразделить на две подгруппы: I— с переменным и II— с практически постоянным графиками нагрузки. Осветительные