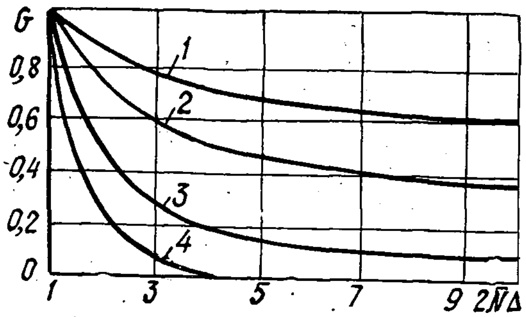

Рис. 5.

Вероятность того, что некоторое тело не будет вытеснено, равна $G_0 = 1 - P_0$, а вероятность того, что ни одно из n тел, сжатых силой $\bar{N}$, не будет вытеснено, $G(\bar{N}) = G_0^n = (1-P_0)^n$. Тогда вероятность P нарушения равновесия системы $P(\bar{N}) = 1 - G(\bar{N})$.

На рис. 5 приведен график зависимости $G(2\bar{N}\Delta)$ (кривые 1—4 соответствуют числу тел 1, 2, 5 и 10). Из него видно, что с увеличением числа тел n (длины цепочки) вероятность выдерживать большие сжимающие силы (несущая способность системы тел) быстро снижается.

Полученные результаты могут быть использованы при построении моделей взаимодействия рабочих органов лесных машин с круглыми лесоматериалами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Андронов В. В. О формировании пакета круглых лесоматериалов сжатием // Лесн. журн.— 1975.— № 2.— С. 59—64.— (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения.— М.: Наука, 1988.— 480 с. [3]. Таубер Б. А. Грейферные механизмы.— М.: Машиностроение, 1985.— 272 с. [4]. Труфанов А. А. Некоторые вопросы теории взаимодействия сплоточных машин и сплачиваемых пучков бревен: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Казань, 1957.— 22 с. [5]. Феодосьев В. И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов.— М.: Наука, 1967.— 376 с. [6]. Шимкович Д. Г. К определению усилий для разрушения «балок», образующихся при зачерпывании грейфером круглых лесоматериалов // Науч. тр. / МЛТИ.— М.: МЛТИ, 1987.— Вып. 197.— С. 22—36.

Поступила 5 ноября 1990 г.

УДК 624.072.233.5

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА НАГЕЛЯ В ДРЕВЕСИНЕ

В. П. СТУКОВ

Архангельский лесотехнический институт

Нагельные соединения элементов деревянных и комбинированных конструкций получили широкое распространение благодаря простоте и надежности в работе, а также возможности механизации технологических процессов их изготовления. Они могут быть выполнены из различных материалов напрягаемыми (тип 1) и ненапрягаемыми (тип 2) — рис. 1.

Нагель в древесине работает в сложном напряженно-деформированном состоянии. В общем случае его можно рассматривать как балку, лежащую на упругом основании и загруженную на конце изгибающим моментом M_0, поперечной силой Q_0 и растягивающей силой N_0.

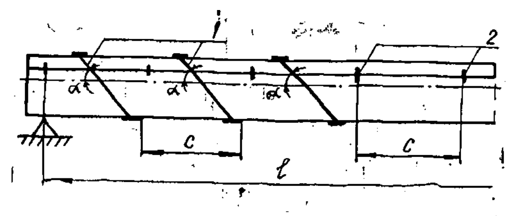

Рис. 1. Схема размещения нагелей: 1 — напрягаемых, 2 — ненапрягаемых; l — пролет балки; c — расстояние между нагелями

Если изгиб балки сопровождается действием осевых сил или сдвигом, задача получения уравнений эпюр прогибов y, углов поворота φ, изгибающих моментов M и поперечных сил Q значительно усложняется. Непосредственное дифференцирование общего интеграла дифференциального уравнения упругой линии балки на упругом основании дает результаты, которые сложно использовать в силу громоздкости формул и большого числа промежуточных расчетов.

Однородное дифференциальное уравнение упругой оси балки, лежащей на упругом основании и работающей в условиях сложного изгиба, имеет вид [1]

$$EI\frac{d^4y}{dx^4} - N_0\frac{d^2y}{dx^2} + Ky = 0, \qquad (1)$$

где E, I — модуль упругости материала и момент инерции площади поперечного сечения балки;

y — прогиб балки;

K — коэффициент жесткости линейного упругого основания — реакция, приходящаяся на единицу длины балки при прогибе, равном единице, $K = K_0d$ (K_0 — коэффициент постели; d — диаметр нагеля).

Полагаем, что основание обладает всеми свойствами винклеровского упругого основания. Для нахождения общего интеграла уравнения (1) используется характеристическое уравнение

$$EIr^4 - N_0r^2 + K = 0. \qquad (2)$$

Решение уравнения (1) зависит от корней характеристического уравнения. Параметры EI, N_0 и K изменяются в широких пределах в зависимости от материала нагеля, размеров его поперечного сечения, угла наклона к продольным волокнам древесины. Характер корней биквадратного уравнения (2) и путь отыскания общего интеграла уравнения (1) зависят от дискриминанта

$$D = N_0^2 - 4KEI. \qquad (3)$$

В таблице представлена информация о дискриминанте D при использовании нагелей типа 1, устанавливаемых с различными углами наклона α к продольным волокнам древесины.

При формировании уравнения (1) в работе [1] использовано выражение для растягивающей силы

$$N_0 = KEI/(G\omega), \qquad (4)$$

где G, ω — модуль сдвига материала и приведенная площадь поперечного сечения балки.

Подставив значение N_0 (4) в (3), получим выражение для дискриминанта

$$D = \sqrt{KEI} - 2G\omega. \qquad (5)$$

Рассмотрим случай $D < 0$ (см. таблицу), т. е. $2G\omega > \sqrt{KEI}$.

Вид напрягаемой арматуры, используемой в нагельном соединении	Дискриминант D при угле наклона нагеля α, град		
	45	60	90
Стержни из стали классов A-IV, A-V	<0	<0	<0
Пучки малые и большие из высокопрочной проволоки классов B-II, Bр-II	<0	<0	<0
Арматурные канаты классов:			
К-7	>0	>0	<0
К-19	>0	>0	<0
Стеклопластиковая арматура (СПА)*	>0	>0	<0

* 6 СПА в арматурном элементе.

Согласно [1] общий интеграл уравнения (1)

$$y_x = e^{\alpha x} C_1 \cos\beta x + e^{\alpha x} C_2 \sin\beta x + e^{-\alpha x} C_3 \cos\beta x + e^{-\alpha x} \sin\beta x; \quad (6)$$

где

$$\alpha = \sqrt[4]{K/(4EI)}\,\sqrt{1+\gamma}; \quad (7)$$

$$\beta = \sqrt[4]{K/(4EI)}\,\sqrt{1-\gamma}; \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{1}{2}\sqrt{N_0/(G\omega)}; \quad (9)$$

C_1, C_2, C_3, C_4 — постоянные интегрирования, определяемые в зависимости от условий на концах загруженного участка балки.

Для получения уравнений эпюр y, φ, M и Q целесообразно использовать метод начальных параметров.

Рассмотрим балку на упругом основании, загруженную на конце изгибающим моментом M_0, поперечной силой Q_0 и растягивающей силой N_0 (рис. 2). Начало координат поместим на левом конце балки.

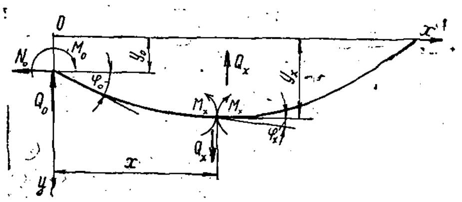

Рис. 2. Расчетная схема балки на упругом основании в случае сложного изгиба

При таком расположении координатных осей знаки деформаций и усилий считаем положительными. Введем обозначение

$$t = \alpha/\beta, \quad (10)$$

откуда

$$\alpha = t\beta. \quad (11)$$

Подставив значение α в формулу (6), получим

$$y_x = e^{t\beta x} C_1 \cos\beta x + e^{t\beta x} C_2 \sin\beta x + e^{-t\beta x} C_3 \cos\beta x + e^{-t\beta x} C_4 \sin\beta x. \quad (12)$$

Произведем дифференцирование (12) по x и запишем уравнения эпюр φ_x, M_x и Q_x:

$$\varphi_x = \frac{dy}{dx} = \beta\left[C_1\left(-e^{t\beta x}\sin\beta x + t\,e^{t\beta x}\cos\beta x\right) + C_2\left(e^{t\beta x}\cos\beta x + \right.\right.$$

$$+ t\,e^{t\beta x}\sin\beta x\right) + C_3\left(-e^{-t\beta x}\sin\beta x - t\,e^{-t\beta x}\cos\beta x\right) +$$

$$\left.+ C_4\left(e^{-t\beta x}\cos\beta x - t\,e^{-t\beta x}\sin\beta x\right)\right]; \qquad (13)$$

$$M_x = -EI\frac{d^2y}{dx^2} = EI\beta^2\left\{C_1\left[-(t^2-1)\,e^{t\beta x}\cos\beta x + 2t\,e^{t\beta x}\sin\beta x\right] - \right.$$

$$- C_2\left[(t^2-1)\,e^{t\beta x}\sin\beta x + 2t\,e^{t\beta x}\cos\beta x\right] - C_3\left[(t^2-1)\,e^{-t\beta x}\cos\beta x + \right.$$

$$\left.+ 2t\,e^{-t\beta x}\sin\beta x\right] - C_4\left[(t^2-1)\,e^{-t\beta x}\sin\beta x - 2t\,e^{-t\beta x}\cos\beta x\right]\Big\}; \qquad (14)$$

$$Q_x = -EI\frac{d^3y}{dx^3} = EI\beta^3\left\{C_1\left[(3t^2-1)\,e^{t\beta x}\sin\beta x - t\,(t^2-3)\,e^{t\beta x}\cos\beta x\right] - \right.$$

$$- C_2\left[(3t^2-1)\,e^{t\beta x}\cos\beta x + t\,(t^2-3)\,e^{t\beta x}\sin\beta x\right] +$$

$$+ C_3\left[(3t^2-1)\,e^{-t\beta x}\sin\beta x + t\,(t^2-3)\,e^{-t\beta x}\cos\beta x\right] -$$

$$\left.- C_4\left[(3t^2-1)\,e^{-t\beta x}\cos\beta x - t\,(t^2-3)\,e^{-t\beta x}\sin\beta x\right]\right\}. \qquad (15)$$

Выразим постоянные интегрирования через y, φ, M, Q в начале координат, т. е. через начальные параметры, и подставим

$$C_1 = y_0 - C_3 \qquad (16)$$

из выражения (12) в φ_0, M_0 и Q_0 (при $x = 0$ $e^0 = \cos 0 = 1$, $\sin 0 = 0$):

$$\varphi_0 = \beta\,(t y_0 + C_2 - 2tC_3 + C_4); \qquad (17)$$

$$M_0 = EI\beta^2\left[y_0(1-t^2) - 2tC_2 + 2tC_4\right]; \qquad (18)$$

$$Q_0 = EI\beta^3\left[y_0 t\,(3-t^2) - (3t^2-1)\,C_2 - 2t\,(3-t^2)\,C_3 - (3t^2-1)\,C_4\right]. \qquad (19)$$

Запишем уравнения (17) — (19) в матричной форме

$$\begin{vmatrix} -1 & -2t & 1 \\ -2t & 0 & 2t \\ -3t^2+1 & -2t\,(3-t^2) & -3t^2+1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dfrac{\varphi_0}{\beta} - t y_0 \\ \dfrac{M_0}{EI\beta^2} - (1-t^2)\,y_0 \\ \dfrac{Q_0}{EI\beta^3} - t\,(3-t^2)\,y_0 \end{vmatrix} \qquad (20)$$

или

$$\vec{AC} = \vec{H}. \qquad (20')$$

Решение системы уравнений (20) относительно C_2, C_3, C_4 имеет вид

$$\vec{C} = A^{-1}\vec{H}, \qquad (21)$$

где A^{-1} — матрица, обратная матрице A, или

$$\vec{C} = \begin{vmatrix} C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dfrac{3-t^2}{4(1+t^2)} & -\dfrac{1}{4t} & -\dfrac{1}{4(1+t^2)} \\ \dfrac{-3t^2+1}{4t(1+t^2)} & 0 & -\dfrac{1}{4t(1+t^2)} \\ \dfrac{3-t^2}{4(1+t^2)} & \dfrac{1}{4t} & -\dfrac{1}{4(1+t^2)} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \dfrac{\varphi}{\beta} - t y_0 \\ \dfrac{M_0}{EI\beta^2} - (1-t^2)\,y_0 \\ \dfrac{Q_0}{EI\beta^3} - t\,(3-t^2)\,y_0 \end{vmatrix} =$$

$$
= \left|\begin{array}{c}
\frac{-t^4+1}{4t(1+t^2)} y_0 + \frac{3-t^2}{4(1+t^2)} \frac{1}{\beta} \varphi_0 - \frac{1}{4t} \frac{1}{EI\beta^2} M_0 - \frac{1}{4(1+t^2)} \frac{1}{EI\beta^3} Q_0 \\
\frac{1}{2} y_0 + \frac{-3t^2+1}{4t(1+t^2)} \frac{1}{\beta} \varphi_0 - \frac{1}{4t(1+t^2)} \frac{1}{EI\beta^3} Q_0 \\
\frac{t^4-1}{4t(1+t^2)} y_0 + \frac{3-t^2}{4(1+t^2)} \frac{1}{\beta} \varphi_0 + \frac{1}{4t} \frac{1}{EI\beta^2} M_0 - \frac{1}{4(1+t^2)} \frac{1}{EI\beta^3} Q_0
\end{array}\right| . \quad (22)
$$

Постоянную интегрирования C_1 найдем из выражений (12), (16) и (22):

$$
C_1 = \frac{1}{2} y_0 + \frac{3t^2-1}{4t(1+t^2)} \frac{1}{\beta} \varphi_0 + \frac{1}{4t(1+t^2)} \frac{1}{EI\beta^3} Q_0. \quad (23)
$$

Введем промежуточные обозначения:

$$
K_1 = \frac{3t^2-1}{t(1+t^2)}; \quad K_2 = \frac{2}{t(1+t^2)}; \quad K_3 = \frac{-t^4+1}{4t(1+t^2)}; \quad K_4 = \frac{3-t^2}{1+t^2};
$$

$$
K_5 = \frac{1}{t}; \quad K_6 = \frac{2}{1+t^2}, \quad (24)
$$

тогда выражения для постоянных интегрирования C принимают вид

$$
C_1 = \frac{1}{2} y_0 + \frac{K_1}{4\beta} \varphi_0 + \frac{K_2}{8EI\beta^3} Q_0; \quad (25)
$$

$$
C_2 = K_3 y_0 + \frac{K_4}{4\beta} \varphi_0 - \frac{K_5}{4EI\beta^2} M_0 - \frac{K_6}{8EI\beta^3} Q_0; \quad (26)
$$

$$
C_3 = \frac{1}{2} y_0 - \frac{K_1}{4\beta} \varphi_0 - \frac{K_2}{8EI\beta^3} Q_0; \quad (27)
$$

$$
C_4 = -K_3 y_0 + \frac{K_4}{4\beta} \varphi_0 + \frac{K_5}{4EI\beta^2} M_0 - \frac{K_6}{8EI\beta^3} Q_0. \quad (28)
$$

Подставим значения постоянных интегрирования C в уравнение (12) и приведем подобные члены:

$$
y_x = y_0 \left(\frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x + 2K_3 \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x \right) +
$$

$$
+ \frac{1}{\beta} \varphi_0 \left(\frac{K_1}{2} \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x + \frac{K_4}{2} \frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x \right) -
$$

$$
- \frac{1}{EI\beta^2} M_0 \frac{K_5}{2} \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x - \frac{1}{EI\beta^3} Q_0 \left(\frac{K_6}{4} \frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x - \right.
$$

$$
\left. - \frac{K_2}{4} \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x \right). \quad (29)
$$

Введем обозначения

$$
A_x = \frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x + 2K_3 \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x = \operatorname{ch} t\beta x \cos\beta x +
$$

$$
+ 2K_3 \operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x; \quad (30)
$$

$$
B_x = \frac{1}{2} \left(K_1 \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x + K_4 \frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x \right) =
$$

$$
= \frac{1}{2} (K_1 \operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x + K_4 \operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x); \quad (31)
$$

$$
C_x = \frac{1}{2} K_5 \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x = \frac{1}{2} K_5 \operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x; \quad (32)
$$

$$
D_x = \frac{1}{4} \left(K_6 \frac{e^{t\beta x} + e^{-t\beta x}}{2} \sin\beta x - K_2 \frac{e^{t\beta x} - e^{-t\beta x}}{2} \cos\beta x \right) =
$$

$$= \frac{1}{4}\left(K_6 \operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x - K_2 \operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x\right). \tag{33}$$

Подставим гиперболо-тригонометрические функции A_x, B_x, C_x, D_x (30) — (33) в уравнение (29), тогда уравнение эпюры прогибов примет вид

$$y_x = y_0 A_x + \frac{1}{\beta}\varphi_0 B_x - \frac{1}{EI\beta^2} M_0 C_x - \frac{1}{EI\beta^3} Q_0 D_x. \tag{34}$$

Уравнения эпюр φ_x, M_x и Q_x получим непосредственным дифференцированием выражения (34). Возьмем первые производные от функций влияния A_x, B_x, C_x, D_x:

$$\frac{dA_x}{dx} = \frac{1}{2}\beta\left[-(1+t^2)\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x + \frac{1+t^2}{t}\operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x\right]; \tag{35}$$

$$\frac{dB_x}{dx} = \frac{1}{2}\beta\left[\frac{1+t^2}{t}\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x + 2\operatorname{ch} t\beta x \cos\beta x\right]; \tag{36}$$

$$\frac{dC_x}{dx} = \frac{1}{2t}\beta\left(\operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x + t\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x\right); \tag{37}$$

$$\frac{dD_x}{dx} = \frac{1}{2t}\beta\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x. \tag{38}$$

Анализ выражений (35) — (38) и (30) — (33) позволяет установить взаимосвязь $\frac{dA_x}{dx}$ и D_x; $\frac{dB_x}{dx}$ и A_x; $\frac{dC_x}{dx}$ и B_x; $\frac{dD_x}{dx}$ и C_x. Здесь имеются одни и те же тригонометрические и гиперболические функции при одинаковом их сочетании. Это позволяет представить выражения (35) — (38) в следующем виде:

$$\frac{dA_x}{dx} = -\beta(1+t^2)^2 D_x; \tag{35'}$$

$$\frac{dB_x}{dx} = \beta A_x; \tag{36'}$$

$$\frac{dC_x}{dx} = \frac{\beta}{3t^2-1}\left[(1+t^2)B_x + 2(1-t^2)\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x\right]; \tag{37'}$$

$$\frac{dD_x}{dx} = \beta C_x. \tag{38'}$$

Подставив значения первых производных функций A_x, B_x, C_x, D_x в уравнение (34), получим уравнение эпюры углов поворота

$$\varphi_x = \varphi_0 A_x - \frac{1}{EI\beta} M_0 \frac{1}{3t^2-1}\left[(1+t^2)B_x + 2(1-t^2)\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x\right] - \frac{1}{EI\beta^2} Q_0 C_x - \beta y_0 (1+t^2)^2 D_x. \tag{39}$$

Вторые производные от функций A_x, B_x, C_x, D_x с учетом взаимосвязи $\frac{d^2A_x}{dx^2}$ и C_x; $\frac{d^2B_x}{dx^2}$ и D_x; $\frac{d^2C_x}{dx^2}$ и A_x; $\frac{d^2D_x}{dx^2}$ и B_x имеют вид

$$\frac{d^2A_x}{dx^2} = \beta^2\left(-\frac{t^6+3t^4+3t^2+1}{1+t^2} C_x\right); \tag{40}$$

$$\frac{d^2B_x}{dx^2} = -\beta^2(1+t^2)^2 D_x; \tag{41}$$

$$\frac{d^2C_x}{dx^2} = \beta^2\left[\frac{t^4-1}{t(1+t^2)}\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x + A_x\right]; \tag{42}$$

$$\frac{d^2D_x}{dx^2} = \beta^2\left[\frac{2(t^2-1)}{3t^2-1}\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x + \frac{1}{t} B_x\right]. \tag{43}$$

Подставив значения вторых производных функций A_x, B_x, C_x, D_x в уравнение (34) и умножив его на $-EI$, получим уравнение эпюры изгибающих моментов

$$M_x = M_0\left[\frac{t^4-1}{t(1+t^2)}\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x + A_x\right] + \frac{1}{\beta} Q_0\left(\frac{t^2-1}{3t^2-1}\operatorname{ch} t\beta x \sin\beta x + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{t} B_x\right) + \beta^2 EI y_0 \frac{t^6+3t^4+3t^2+1}{1+t^2} C_x + \beta EI \varphi_0 (1+t^2)^2 D_x. \qquad (44)$$

Третьи производные от функций A_x, B_x, C_x, D_x с учетом взаимосвязи $\frac{d^3A_x}{dx^3}$ и B_x; $\frac{d^3B_x}{dx^3}$ и C_x; $\frac{d^3C_x}{dx^3}$ и D_x; $\frac{d^3D_x}{dx^3}$ и A_x запишем в виде

$$\frac{d^3A_x}{dx^3} = \beta^3\left(\frac{t^8+4t^6+6t^4+4t^2+1}{3t^4+2t^2-1} B_x + \frac{2t^8+4t^6-4t^3-2}{3t^4+2t^2-1}\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x\right); \qquad (45)$$

$$\frac{d^3B_x}{dx^3} = -\beta^3 (1+t^2)^2 C_x; \qquad (46)$$

$$\frac{d^3C_x}{dx^3} = \beta^3\left[\frac{2(t^2-1)}{t}\operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x + (t^4-2t^3-3) D_x\right]; \qquad (47)$$

$$\frac{d^3D_x}{dx^3} = \beta^3\left[\frac{t^5+t^4-t-1}{2t(1+t^2)} + A_x\right]. \qquad (48)$$

Подставив значения третьих производных функций A_x, B_x, C_x, D_x в уравнение (34) и умножив его на $-EI$, получим уравнение эпюры поперечных сил

$$Q_x = Q_0\left[\frac{t^5+t^4-t-1}{2t(1+t^2)} + A_x\right] + \beta^3 EI y_0\left(\frac{2t^8+4t^6-4t^3-2}{3t^4+2t^2-1}\operatorname{sh} t\beta x \sin\beta x + \right.$$

$$\left. + \frac{t^8+4t^6+6t^4+4t^2+1}{3t^4+2t^2-1} B_x\right) + \beta^2 EI\varphi_0 (1+t^2)^2 C_x +$$

$$+ \beta M_0\left[\frac{2(t^2-1)}{t}\operatorname{sh} t\beta x \cos\beta x + (t^4-2t^2-3) D_x\right]. \qquad (49)$$

Если в расчетной схеме (рис. 2) отсутствует растягивающее усилие N_0, то уравнения эпюр деформаций и усилий y, φ, M и Q совпадают с решением А. А. Уманского для балки на упругом основании, загруженной на конце изгибающим моментом M_0 и поперечной силой Q_0 [2]. Эти уравнения позволяют производить расчеты нагелей типа 2 (см. рис. 1).

Для балок на упругом основании характерно проявление краевого эффекта, т. е. затухание всех элементов изгиба балки, вызванного локальными усилиями, по мере удаления от места их приложения. Согласно [1] для полубесконечной балки протяженность $l_{кр}$ участка влияния усилий на конце балки

$$l_{кр} \approx (1{,}5\ldots 2{,}0)\sqrt[4]{EI/K}. \qquad (50)$$

Для различного вида нагелей $l_{кр} = 8\ldots 25$ см. Принятие длины нагеля более $l_{кр}$ в большинстве случаев связано с выполнением ими дополнительных функций и разного рода конструктивных требований.

Представление общего интеграла уравнения (1) по методу начальных параметров позволяет не только получить общий интеграл уравнения $EI\,\frac{d^4y}{dx^4} - N_0\,\frac{d^2y}{dx^2} = P - Ky$, когда P дана в виде непрерывной функции x, но и учесть произвольную прерывную и сосредоточенную нагрузки, а также заранее заданную деформацию балки.

Учет растягивающей осевой силы N_0 целесообразен при $N_0 \geqslant 0{,}8\ldots 1{,}0\sqrt{KEI}$ [1].

Приведенное решение может быть использовано при учете влияния сдвига на изгиб. Второй член левой части формулы (1) принимает вид $\frac{KEId^2y}{G\omega dx^2}$, что отразится на изменении значения коэффициента γ ($\gamma = \sqrt{KEI/(2G\omega)}$). Практически сдвиг целесообразно учитывать начиная с соотношения $\gamma > 0{,}2 \ldots 0{,}3$ [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Справочник по строительной механике корабля. Т. 1.— Л.: Судостроение, 1982.— 376 с. [2]. Уманский А. А. Специальный курс строительной механики. Ч. 1.— М.; Л.: ОНТИ, 1935.— 238 с.

Поступила 19 июля 1991 г.

УДК 625.731.001.24

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ЗИМНИХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ

В. С. МОРОЗОВ

СевНИИП

К двухслойным зимним дорогам на болотах относятся конструкции, верхний слой которых представляет собой насыпь из минерального грунта, нижний — мерзлый торф. Основание дороги — талый торф, деформационные свойства которого характеризуются коэффициентом постели C.

Основные положения методики исследования напряженно-деформированного состояния зимних дорог на болотах приведены в работах [1, 2]. Для схемы, изображенной на рис. 1, имеем следующие расчетные зависимости:

нейтральная ось проходит по мерзлому минеральному грунту

$$B_1E_0\left[\nu^2(3-\nu)-(\nu-\nu_1)^2(3-\nu-2\nu_1)\right]-B_2E_{20}\left[(1-\nu)^3-(\nu-\nu_1)^2(3-\nu-2\nu_1)\right]=0; \quad (1а)$$

$$E_э=\{B_1E_0\left[\nu^3(4-\nu)-(\nu-\nu_1)^3(4-\nu-3\nu_1)\right]+B_2E_{20}\left[(1-\nu)^4-(\nu-\nu_1)^3(4-\nu-3\nu_1)\right]\}/B; \quad (1б)$$

по мерзлому торфу

$$B_1E_0\left[\nu^2(3-\nu)-(\nu-\nu_1)^2(3-\nu-2\nu_1)\right]+B_2E_{10}(\nu-\nu_1)^2(3-\nu-2\nu_1)-B_2E_{20}(1-\nu)^3=0; \quad (2а)$$

$$E_э=\{B_1E_0\left[\nu^3(4-\nu)-(\nu-\nu_1)^3(4-\nu-3\nu_1)\right]+B_2E_{10}(\nu-\nu_1)^3(4-\nu-3\nu_1)+B_2E_{20}(1-\nu)^4\}/B; \quad (2б)$$

по границе между слоями

$$B_1E_0\nu^2(3-\nu)-B_2E_{20}(1-\nu)^3=0 \quad (3а)$$

$$E_э=B_1E_0\nu^3(4-\nu)-B_2E_{20}(1-\nu)^4. \quad (3б)$$

Здесь B_1, B_2 — ширина верхнего и нижнего слоев насыпи;

E_0, E_{10}, E_{20} — модули упругости соответственно грунта, мерзлого торфа на сжатие и растяжение при температуре воздуха на поверхности проезжей части дороги;