

в среднем бетонном слое оболочки существенно выше расчетного сопротивления бетона на растяжение. Следовательно, в процессе эксплуатации в бетонном слое появятся трещины и существенно снизится жесткость бетонного слоя. Вследствие развития трещин бетонный слой оболочки на внутреннее давление работать не будет и окружающие растягивающие усилия полностью воспринимаются крайними стальными слоями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усовершенствовать конструкции сталежелезобетонного напорного трубопровода Кайшядорской ГАЭС с учетом резервов работы материалов: Отчет о НИР (заключит.) / БИСИ. — № ГР 0031525; Инв. № 0287.0027115. — Брест, 1986. — 85 с. 2. Прочность, устойчивость, колебания / Под общ. ред. Н.А.Биргера и Я.Г.Пановко: В 3 т. — М., 1968. — Т. 2. — 463 с.

УДК 624.072:681.3

С.П.ПИСАРИК, В.М.ОВСЯНКО

УЧЕТ ПРОИЗВОЛЬНОЙ МОДЕЛИ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

При расчете балок и рам со стержнями, имеющими контакт с упругим основанием по всей длине, непрерывные связи между изгибаемым стержнем и основанием часто заменяют дискретными. В данной работе рассмотрен нестандартный подход к расчету стержневых систем на упругом основании при произвольных толщине слоя и модели основания по дискретной схеме.

Наиболее полно отражают действительные характеристики основания модели упругого основания в виде упругого полупространства, упругой полуплоскости или дискретной модели. Независимо от типа рассмотренных моделей основания характер его деформации (рис. 1, а) не соответствует гипотезе Винклера. Сосредоточенная сила распределяется на участке l в виде равномерно распределенной нагрузки. Для решения задачи в первую очередь устанавливается зависимость между осадками точек поверхности основания y_x и нагрузкой $P = 1$. В зависимости от типа модели основания и толщины его слоя (конечной или бесконечной) значения ординат y_x для одних и тех же точек будут разными. Осадку y_x от единичной силы будем трактовать как коэффициент податливости упругого основания, обратный коэффициенту жесткости ($y_x = c_x^{-1}$). Коэффициенты податливости c_x определяются по известным формулам в зависимости от модели основания и его толщины.

Разработанный метод ориентирован как на применение электронных моделей, так и ЭЦВМ. Его идею рассмотрим на примере расчета балки по схеме Б.Н.Жемочкина (число участков и их длины могут быть различными). На рис. 1, б показаны эпюры осадок от единичных реакций упругого основания. Сумма ординат осадок под каждой опорой дает осадку соответствующей дискретной опоры:

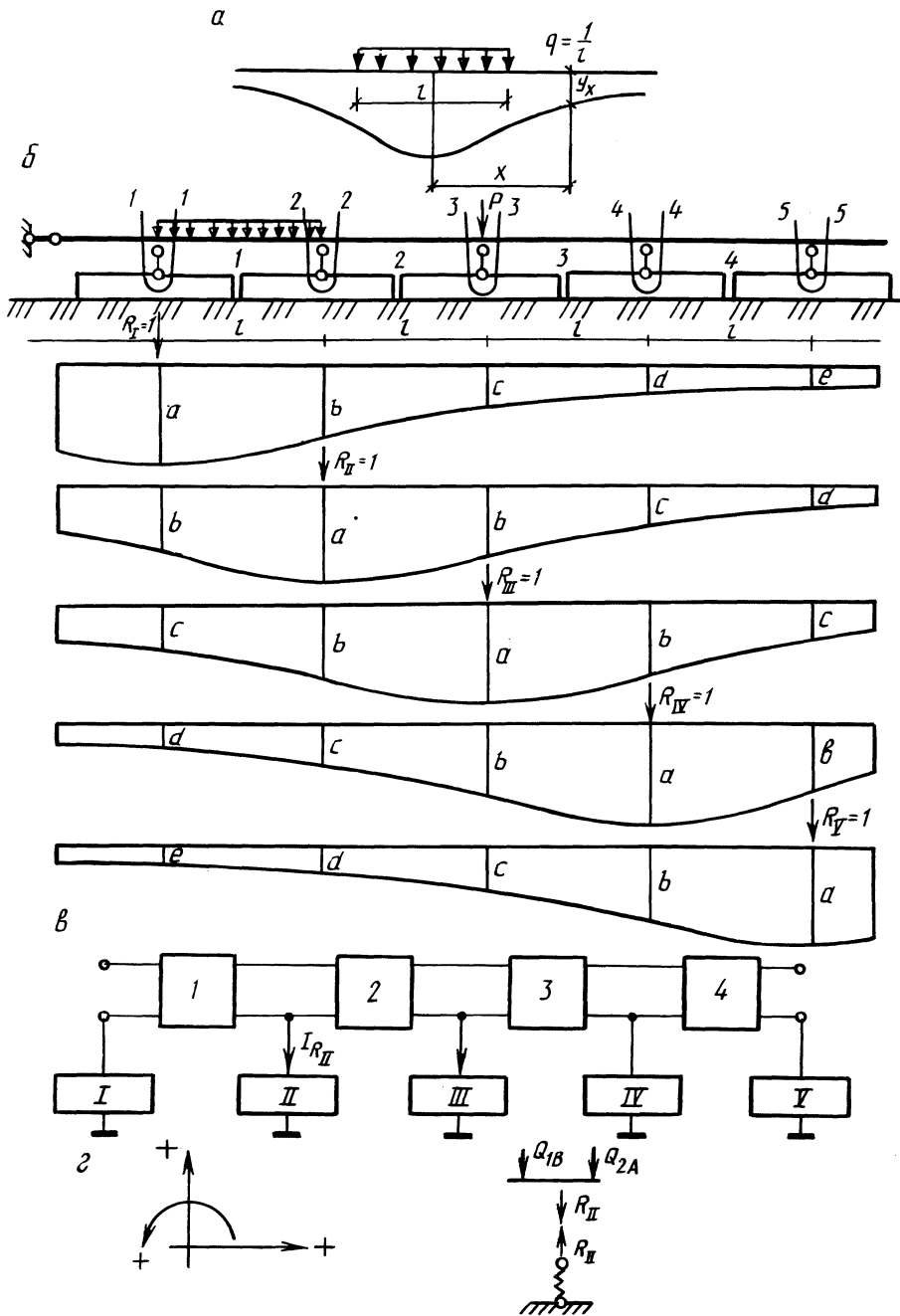


Рис. 1. Модель балки на упругом основании по схеме Б.Н.Жемочкина и схема ее электронной модели

$$\begin{aligned}
 aR_I + bR_{II} + cR_{III} + dR_{IV} + eR_V &= \delta_I; \\
 bR_I + aR_{II} + bR_{III} + cR_{IV} + dR_V &= \delta_{II}; \\
 cR_I + bR_{II} + aR_{III} + bR_{IV} + cR_V &= \delta_{III}; \\
 dR_I + cR_{II} + bR_{III} + aR_{IV} + bR_V &= \delta_{IV}; \\
 eR_I + dR_{II} + cR_{III} + bR_{IV} + aR_V &= \delta_V.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Решим уравнение (1) относительно R_i :

$$\begin{aligned}
 R_I &= k_1 \delta_I + k_2 \delta_{II} + k_3 \delta_{III} + k_4 \delta_{IV} + k_5 \delta_V; \\
 R_{II} &= k_6 \delta_I + k_7 \delta_{II} + k_8 \delta_{III} + k_9 \delta_{IV} + k_{10} \delta_V; \\
 R_{III} &= k_{11} \delta_I + k_{12} \delta_{II} + k_{13} \delta_{III} + k_{14} \delta_{IV} + k_{15} \delta_V; \\
 R_{IV} &= k_{16} \delta_I + k_{17} \delta_{II} + k_{18} \delta_{III} + k_{19} \delta_{IV} + k_{24} \delta_V; \\
 R_V &= k_{21} \delta_I + k_{22} \delta_{II} + k_{23} \delta_{III} + k_{24} \delta_{IV} + k_{25} \delta_V.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Матрица коэффициентов системы (2), обратная по отношению к матрице коэффициентов системы (1), может быть получена известными способами с использованием ЭЦВМ.

Таким образом, расчет балки на упругом основании, характеризуемом произвольными моделью и толщиной, сводится к расчету балки на упруго-податливых опорах, реакции в которых определяются выражениями (2). Электронная модель такой балки (рис. 1, в) будет содержать модели изгибаемого стержня (1-4) и модели упругоподатливых опор (I-V).

Уравнения, характеризующие изгибаемый стержень AB , имеют стандартный вид [1, с. 67] (правило знаков показано на рис. 1, з). Для его моделирования синтезируем устройство с использованием дифференциальных операторных усилителей (рис. 2, а):

$$\begin{aligned}
 I_A &= 2gU_A + gU_B - g \frac{3}{l} (U_2 - U_1) + \bar{T}_A; \\
 I_B &= gU_A + 2gU_B - g \frac{3}{l} (U_2 - U_1) + \bar{T}_B; \\
 I_1 &= g_1(U_A + U_B) + g_2(U_1 - U_2) + \bar{T}_1; \\
 I_2 &= -g_1(U_A + U_B) - g_2(U_1 - U_2) + \bar{T}_2; \\
 U_\psi &= 3(U_2 - U_1)/l.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Эквивалентность уравнений изгибаемого стержня и (3) определяется следующими выражениями:

$$I_A = \gamma_i M_A; \quad g = \gamma_g \cdot 2i; \quad I_B = \gamma_i M_B;$$

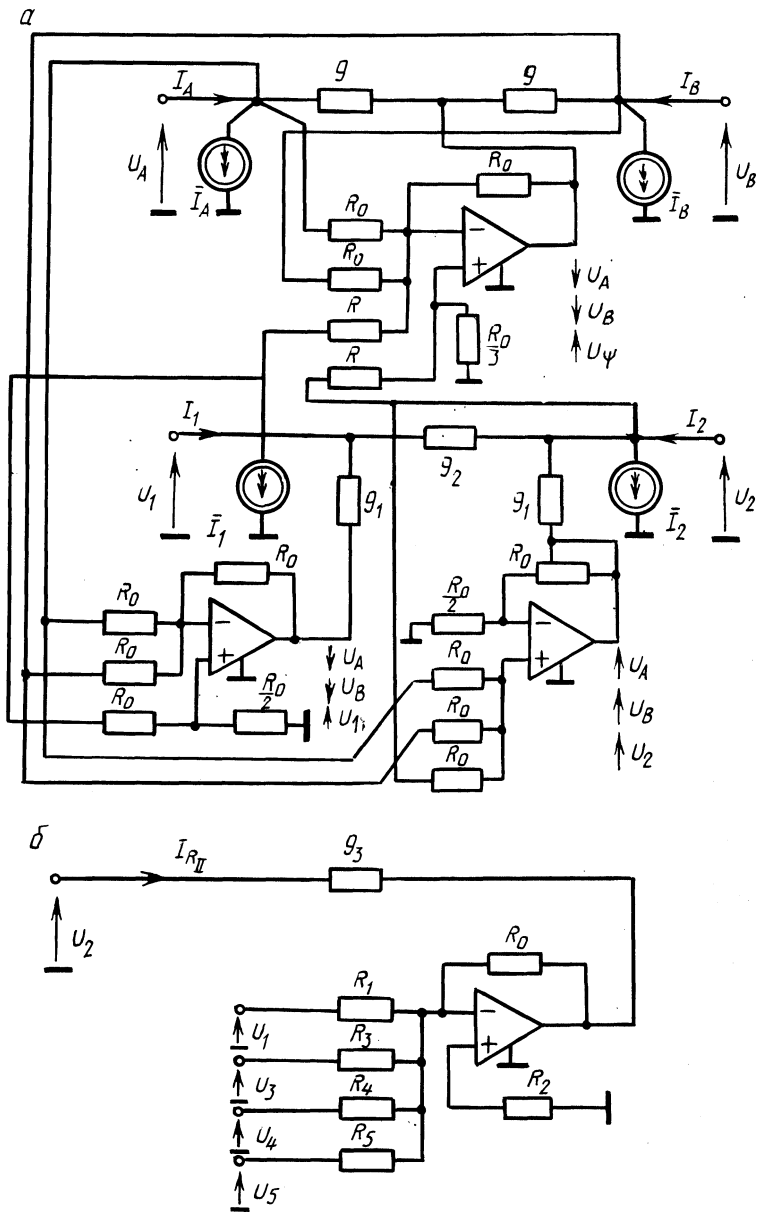


Рис. 2. Электронная схема-аналог изгибаемого стержня и упругоподатливой опоры, моделирующей основание произвольного вида

$$\begin{aligned}
I_A &= \gamma_i \bar{M}_A; & g_1 &= \gamma_g \frac{6i}{l}; & \bar{T}_B &= \gamma_i \bar{M}_B; \\
I_1 &= \gamma_i Q_A; & g_2 &= \gamma_g \frac{12i}{l^2}; & I_2 &= \gamma_i Q_B; \\
\bar{I}_1 &= \gamma_i \bar{Q}_A; & \frac{R_0}{R_1} &= 1, \quad \frac{R_0}{R} = \frac{3}{l}; & \bar{I}_2 &= \gamma_i \bar{Q}_B; \\
U_A &= \gamma_u \varphi_A; & & & U_B &= \gamma_u \varphi_B; \\
U_1 &= \gamma_u \delta_I; & & & U_2 &= \gamma_u \delta_{II},
\end{aligned}$$

где γ_i , γ_u и γ_g — масштабные коэффициенты токов, напряжений и проводимостей; i — погонная жесткость стержня.

Модель упругоподатливой опоры II (рис. 2, б) определяется уравнением

$$I_{R_{II}} = g_3 \left(\frac{R_0}{R_1} U_1 + U_2 + \frac{R_0}{R_3} U_3 + \frac{R_0}{R_4} U_4 + \frac{R_0}{R_5} U_5 \right),$$

которое эквивалентно второму уравнению системы (2) при следующих условиях:

$$\begin{aligned}
I_{R_{II}} &= \gamma_i R_{II}, \quad g_3 = \gamma_g k_7; & \frac{1}{R_2} &= \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}, \\
\frac{R_0}{R_1} &= \frac{k_6}{k_7}, & \frac{R_0}{R_3} &= \frac{k_8}{k_7}, \quad \frac{R_0}{R_4} = \frac{k_9}{k_7}, \quad \frac{R_0}{R_5} = \frac{k_{10}}{k_7}, & U_2 &= \gamma_u \delta_{II}.
\end{aligned}$$

Напряжения U_i ($i = 1, 3, 4, 5$) эквивалентны вертикальным перемещениям узлов балки I, III—V. Модели опор I—V включаются в узлы схем-аналогов изгибаемых стержней 1—4 (см. рис. 1, в). На рис. 1, г для сечения 2—2 показаны поперечные силы и реакция условной опоры. Уравнения равновесия для всей опоры имеют вид:

$$\begin{aligned}
R_I + Q_{1A} &= 0; & R_{II} + Q_{1B} + Q_{2A} &= 0; \\
R_{III} + Q_{2B} + Q_{3A} + P &= 0; & R_{IV} + Q_{3B} + Q_{4A} &= Q; \\
R_V + Q_{4B} &= 0,
\end{aligned}$$

где Q_{iA} и Q_{iB} — поперечные силы на левом и правом концах стержня ($i = 1, 2, 3, 4$).

Рассмотренная методика может быть применена при расчете рам на упругом основании и выяснении взаимного влияния двух или нескольких балок, расположенных на одной оси и несущих большие нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овсянко В.М. Синтез электронных моделей деформируемых объектов. — Мн. 1982. — 336 с.