

3. Крючков А.А. Исследование плоского напряженного состояния прямоугольных ортотропных пластин переменной толщины на основе вариационно-разностных уравнений. В сборнике докладов XXVI научно-технической конференции БПИ. Материалы секции строительной механики. Минск, БПИ, 1970.

4. Лурье А.И. Теория упругости. М., Физматгиз, 1970.

5. Папкович П.Ф. Теория упругости. М., Оборонгиз, 1939.

6. Трещин Е. Математическая теория упругости. Л.-М., Техтеориздат, 1932.

7. Филоненко-Бородич М.М. Теория упругости, изд. 4. М., Физматгиз, 1959.

В.М.Овсянко

УДК 624.072.33

РАСЧЕТ РАМ СО СТОЙКАМИ РАЗНОЙ ДЛИНЫ НА ЭМСС-7М С АВТОМАТИЧЕСКИМ УРАВНОВЕШИВАНИЕМ МОДЕЛИ

Применяемая в практике строительных расчетов серийная вычислительная машина ЭМСС-7М (электрическая модель стержневых систем), в основу которой положена П-образная схема-аналог изгибаемого стержня (рис. 1) [1], имеет существенный недостаток, заключающийся в необходимости итерационного многоциклового ручного уравновешивания модели стержневой системы, т.е. ручной регулировки напряжений, эквивалентных перекосам стержней. Каждая схема перекоса в машине содержит регулируемый вручную автотрансформатор. Ручное уравновешивание модели значительно снижает эффективность установки, усложняет решение и ограничивает круг задач, решаемых на ЭМСС-7М. Так, например, рамы со стойками разной длины рассчитывать на этой установке оказалось невозможным.

Рассмотрим способ, позволяющий полностью исключить ручное уравновешивание и присущие ему недостатки за счет применения

электронной автоматической схемы, обрабатывающей эквивалентные перекосам стержней напряжения на примере рамы со стойками разной длины (рис. 2). Такая рама с помощью предлагаемого способа может быть рассчитана на ЭМСС-7М [2].

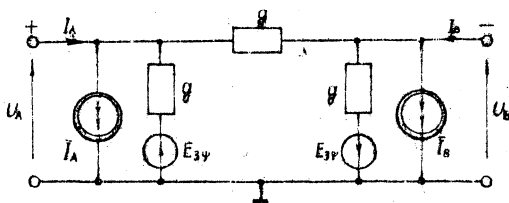


Рис. 1. П-образная схема-аналог изгибаемого стержня

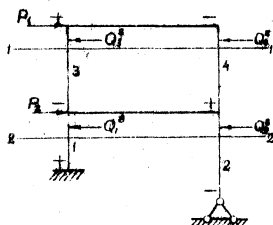


Рис. 2. Рама со стойками равной длины

П-образная схема-аналог изгибаемого стержня (рис. 1) характеризуется следующими уравнениями:

$$J_A = 2gU_A - gU_B - gE_{3\psi} + \bar{J}_A, \quad (1)$$

$$J_B = -gU_A + 2gU_B + gE_{3\psi} + \bar{J}_B.$$

Уравнения, определяющие концевые изгибающие моменты M_A , M_B и концевую силу Q_B , для стержня постоянного сечения длиной l , концы которого повернулись на углы φ_A и φ_B и стержень получил перекося ψ , имеют вид:

$$M_A = 4il\varphi_A + 2il\varphi_B - 6il\psi + \bar{M}_A,$$

$$M_B = 2il\varphi_A + 4il\varphi_B - 6il\psi + \bar{M}_B, \quad (2)$$

$$Q_B = -\frac{6i}{l}(\varphi_A + \varphi_B) + \frac{12i}{l}\psi + \bar{Q}_B,$$

где $i = \frac{EJ}{l}$, \bar{M}_A , \bar{M}_B , \bar{Q}_B — изгибающие моменты и поперечная сила от поперечной нагрузки для стержня с жестко заделанными концами.

Связь между уравнениями (1) и (2) определяется следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} U_A &= \varphi_A \gamma \varphi, & E_{3\psi} &= 3\psi \gamma \varphi, & U_B &= -\varphi_B \gamma \varphi, \\ J_A &= M_A \gamma m, & g &= k 2l, & J_B &= -M_B \gamma m, \\ J_A &= \bar{M}_A \gamma m, & & & J_B &= -\bar{M}_B \gamma m, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\gamma_{\varphi}, \gamma_m, k$ - масштабные коэффициенты напряжений, токов и проводимостей.

Уравнения сумм проекций поперечных сил для сечений I-I, 2-2 (рис.2) имеют вид:

$$\begin{aligned} Q_3^0 + Q_2^0 - P_1 &= 0; \\ Q_1^0 + Q_2^0 - P_1 - P_2 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Стойки верхнего и нижнего этажей рамы получили перекусы:

$$\psi_3 = \psi_4, \quad \psi_1, \quad \psi_2 = \psi_1 \frac{l_1}{l_2}. \quad (5)$$

Подставив значения поперечных сил Q_0 (2) в уравнения (4) с учетом (5), определим перекусы ψ_3 и ψ_1 :

$$\begin{aligned} 3\psi_3 &= \frac{1,5 [l_2(\varphi_A^0 + \varphi_B^0) + l_1(\varphi_A^0 + \varphi_B^0)] + \frac{l_2}{4} P_1}{\frac{1,5 l_2^2}{2} (\varphi_A^0 + \varphi_B^0) + 1,5 l_1^2 (\varphi_A^0 + \varphi_B^0) + \frac{P_1 + P_2}{4}}; \\ 3\psi_1 &= \frac{l_2^2 (\varphi_A^0 + \varphi_B^0) + 1,5 l_1^2 (\varphi_A^0 + \varphi_B^0) + \frac{P_1 + P_2}{4}}{\left(\frac{l_1}{l_2} + \frac{l_2}{l_1} - \frac{l_1}{l_2}\right)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для реализации выражений (6) используем суммирующие решающие усилители постоянного тока, на входы которых будем подавать напряжения, эквивалентные углам поворота узлов. Эти напряжения обрабатываются в узлах автоматически после того, как схемы-аналоги стержней собраны по периметру моделируемой рамы (рис. 3).

В П-образной схеме использован знакопеременный масштаб (3) в связи с чем все узлы рамы предварительно обозначаются знаками плюс и минус. С положительных полюсов снимаются положительные напряжения, соответствующие углам поворота узлов и подаются на входы усилителя \bar{I} . На отрицательных полюсах обрабатываются напряжения, эквивалентные отрицательным углам поворота. Эти напряжения подадим на инвертирующий усилитель \bar{II} , выход которого включен на вход \bar{I} основного усилителя. На входы усилителей типа \bar{I} подаются также (для каждого этажа) напряжения, эквивалентные внешним горизонтальным силам:

$$U_{P_1} = \gamma_{\varphi} \frac{l_2 P_1}{4(l_2 + l_1)}, \quad U_{(P_1 + P_2)} = \gamma_{\varphi} \frac{P_1 + P_2}{4\left(\frac{l_1}{l_2} + \frac{l_2}{l_1} - \frac{l_1}{l_2}\right)}. \quad (7)$$

На выходе \bar{I} усилителя автоматически обрабатывается напряжение E_{3+} , эквивалентное величине 3ψ . Это напряжение

и напряжение, инвертированное через усилитель III подаются в схемы-аналоги стержней, испытывающих перекосы.

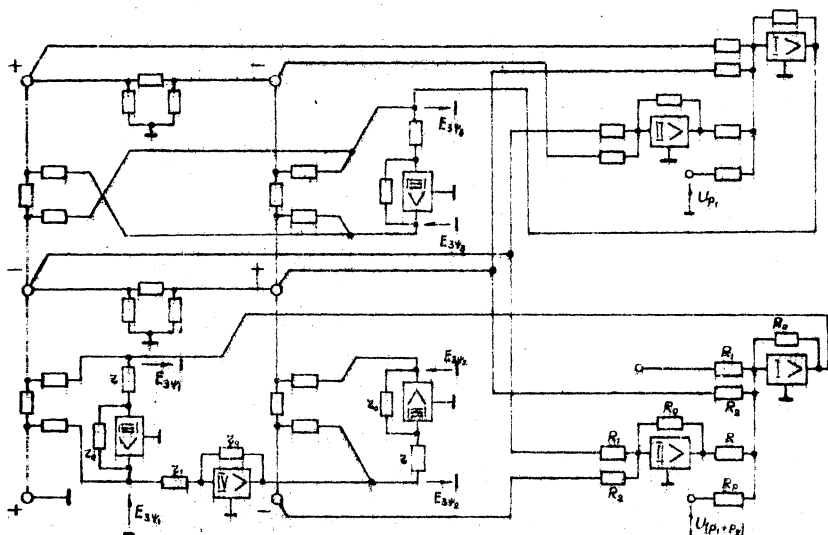


Рис. 3. Электронная модель рамы со стойками разной длины.

Для этажей рамы со стойками одинаковой длины при любом числе стоек необходимо три усилителя. Для этажей со стойками равной длины перекося для 1-й стойки (рис.2) обрабатывается таким же образом, а перекося для 2-й стойки обрабатывается при помощи усилителя IV, реализующего выражение (5). Входные сопротивления усилителей, например, для более сложного нижнего этажа, устанавливаются исходя из отношений, реализующих зависимости (6):

$$\frac{R_0}{R_1} = \frac{1,5 \frac{l_1}{l_2}}{\left(\frac{l_1}{l_2} + \frac{l_1}{l_2} \frac{l_1}{l_2}\right)}, \quad \frac{R_0}{R_2} = \frac{1,5 \frac{l_1}{l_2}}{\left(\frac{l_1}{l_2} + \frac{l_1}{l_2} \frac{l_1}{l_2}\right)} \quad (8)$$

$$\frac{R_0}{R_1} = 1, \quad \frac{R_0}{R_2} = 1, \quad \frac{l_1}{l_2} = 1, \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Предлагаемое электронное автоматическое уравновешивание модели (отработка напряжений, эквивалентных перекосам) практически происходит мгновенно и полностью исключает ручное уравновешивание, что позволяет значительно расширить круг задач строительной механики, решаемых на ЭМСС-7М.

Л и т е р а т у р а

1. Пухов Г.Е., Васильев В.В., Степанов А.Е., Токарева О.Н. Электрическое моделирование задач строительной механики. Киев, АН УССР, 1963.

2. Овсянко В.М. Устройство для моделирования стержневых рам. Авторское свидетельство № 386408. Бюллетень "Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки", № 26, 1973.

В.М.Овсянко

УДК 624.071.2

МНОГОПРОЛЕТНЫЕ ГИБКИЕ НИТИ ИЗ НЕЛИНЕЙНО УПРУГОГО МАТЕРИАЛА НА УПРУГИХ ОПОРАХ

На основе уравнения, определяющего распор нити, получены формулы для расчета нитей, материал которых имеет произвольный нелинейный характер. В качестве аппарата для решения полученных уравнений предлагается использовать электронные модели, построенные с применением принципа динамического моделирования.

Материал, из которого выполняется гибкая пологая нить, чаще всего является нелинейно упругим. Для него зависимость между нормальным напряжением σ и относительным удлинением ϵ в общем случае имеет вид $\sigma = f(\epsilon)$. (1)

или $\sigma = E' \epsilon$. (2)

где E' - секущий модуль деформации первого рода.

Часто зависимость (1) представляется в виде полинома:

$$\sigma = \sum_{k=0}^n A_k \epsilon^{2k+1}, \quad (k=0,1,2, \dots), \quad (3)$$