ветствует конструктивной схеме здания с наружным и внутренним стволами жесткости. Это можно объяснить тем, что при данном типе момент инерции всего здания самый высокий.

Список цитированных источников

1. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона (проблемы, опыт, возможные решения и рекомендации, компьютерные модели, информационные технологии). . — К.: издательство «Факт», 2004. - 106 с.
2. Городецкий А.С., Евзеров И.Д Компьютерные модели конструкций. – К.: издательство «Факт», 2005. - 344 с.
3. *Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций. ТКП EN 1990-2011. – Мн. : Минстройархитектура РБ, 2012.-40с.*
4. *Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3, Общие воздействия. Снеговые нагрузки. ТКП EN 1991-1-3-2009. – М н. : Минстройархитектура РБ, 2010.-40с.*
5. *Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4, Общие воздействия. Ветровые нагрузки. ТКП EN 1991-1-4-2009. – М н. : Минстройархитектура РБ, 2010.-40с.*
6. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В. Перельмутер., В.И. Сливкер.— Киев, Изд-во «Сталь», 2002 .— 600 с.: ил.
7. Серия 1.020-1-83. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий./ Основные положения. Выпуск 0-1.–М.; Госстрой СССР, 1984. – 124 с.

УДК 681.3:624.04
Матяс П.И.
Научный руководитель: доц. Игнатюк В.И.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В MATHCAD В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Задача определения критических нагрузок для плоских рам при их расчете на устойчивость методом перемещений сводится, как известно [1], к решению достаточно сложных нелинейных трансцендентных уравнений, имеющих бесконечное множество решений. Критическим нагрузкам соответствуют минимальные значения корней этих уравнений, отыскание которых в большинстве случаев производится путем подбора, когда выполняется ряд последовательных попыток с учетом анализа результатов предыдущих шагов подбора. Число попыток при этом часто бывает достаточно большим, а вычисления объемны и трудоемки. При этом ввиду сложности нелинейных трансцендентных уравнений устойчивости часто нет уверенности в том, что найден минимальный корень уравнения. Облегчить процесс решения уравнений устойчивости и решить их строго позволяет применение ЭВМ.

В работе рассматривается разработанная авторами учебная компьютерная программа решения нелинейных трансцендентных уравнений устойчивости, получаемых в расчетах плоских рам на устойчивость методом перемещений, позволяющая определять минимальные значения параметров устойчивости, соответствующих общей потере устойчивости рам, и строить графики изменения функций (определителя) устойчивости.

Рассматриваются плоские рамы, нагруженные системой взаимосвязанных узловых центрально приложенных сил P_i (i =1…m). Для рам известны их геометрия, размеры и соотношения жесткостей элементов. Считаем, что все силы P_i изменяются (растут) пропорционально одному параметру P.

Задача устойчивости решается статическим способом с использованием метода перемещений [1]. Разрешающее уравнение устойчивости имеет вид

$$R(v)=\begin{vmatrix} r_{11}(v) & r_{12}(v) & \ldots & r_{1n}(v) \\ r_{21}(v) & r_{22}(v) & \ldots & r_{2n}(v) \\ . & . & . & . \\ r_{n1}(v) & r_{n2}(v) & \ldots & r_{nn}(v) \end{vmatrix}=0, \tag{1}$$

где v – параметр устойчивости, определяемый для сжатых стержней выражением

$$v_i = l_i\sqrt{\frac{N_i}{EJ_i}}. \tag{2}$$

Здесь: l_i – длина рассматриваемого i-го стержня; N_i – продольная сжимающая сила в этом стержне; EJ_i – жесткость i-го стержня.

Коэффициенты r_{ik} для сжатых стержней выражаются через трансцендентные функции [1]

$$\varphi_1(v),\ \varphi_2(v),\ \varphi_3(v),\ \varphi_4(v),\ \eta_1(v),\ \eta_2(v), \tag{3}$$

вид которых можно представить на примере нескольких из них:

$$\varphi_1(v)=\frac{v^2 \operatorname{tg} v}{3(\operatorname{tg} v - v)};\qquad \varphi_2(v)=\frac{v(\operatorname{tg} v - v)}{8\operatorname{tg} v\left(\operatorname{tg}\frac{v}{2}-\frac{v}{2}\right)};\qquad \varphi_3(v)=\frac{v(v-\sin v)}{8\sin v\left(tg\frac{v}{2}-\frac{v}{2}\right)}; \tag{4}$$

Уравнение (1), таким образом, является нелинейным трансцендентным, представляет собой достаточно сложную зависимость и его решение представляет непростую задачу.

Решению уравнения (1) соответствует пересечение функцией $R(v)$, которую назовем функцией устойчивости, оси v и соответственно смена знака функции $R(v)$, то есть корень уравнения $R(v) = 0$ будет находиться в пределах такого участка изменения параметра v, для которого произведение значений функции $R(v)$ в его крайних точках будет отрицательным. При этом следует иметь в виду, что нас интересует участок, содержащий наименьший корень уравнения $R(v) = 0$. Для определения такого участка в составленной вычислительной программе для ЭВМ используется процедура последовательного вычисления значений функции $R(v)$ при возрастающих с нуля с некоторым достаточно малым шагом Δv значениях параметра v с проверкой на каждом шаге знака произведения $R(v)\times R(v+\Delta v)$. Участок, на котором это произведение станет отрицательным, и будет тем участком, который мы ищем. Шаг при этом должен быть таким, чтобы, с одной стороны, исключалась возможность пропуска искомого участка, а с другой стороны, чтобы время счета на ЭВМ было небольшим. Величина шага Δv_в составленной программе принята равной 0,01, однако может быть принята и меньшей. После нахождения указанного участка определение корня уравнения (6) выполняется методом деления отрезка пополам (методом бисекции) [2]. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока значение функции *R*(*v*) не станет меньшим по модулю некоторого заданного малого числа ε (задается в программе; например: *ε* = 0,00001).

Для решения рассматриваемых уравнений устойчивости в соответствии с изложенным алгоритмом составлена компьютерная программа в математической среде Mathcad (рис. 1–4).

Степень кинематической неопределимости: 2

Требуемая точность: 0.001

Коэффициент соотношений параметров устойчивости:

2 -отношение v1/v

1 -отношение v2/v

-отношение v3/v

-отношение v4/v

-отношение v5/v

Введите значение коэффициентов для r(i,k) :

$$
\begin{array}{lllll}
r_{11}(v) = 21 + 4\cdot f2(v1(v)) & r_{12}(v) = \frac{-3}{4}\cdot f4(v1(v)) & r_{13}(v) = 0 & r_{14}(v) = 0 & r_{15}(v) = 0 \\
r_{21}(v) = \frac{-3}{4}\cdot f4(v1(v)) & r_{22}(v) = \frac{3}{16}\cdot n2(v1(v)) + \frac{3}{64}\cdot n1(v2(v)) & r_{23}(v) = 0 & r_{24}(v) = 0 & r_{25}(v) = 0 \\
r_{31}(v) = 0 & r_{32}(v) = 0 & r_{33}(v) = 0 & r_{34}(v) = 0 & r_{35}(v) = 0 \\
r_{41}(v) = 0 & r_{42}(v) = 0 & r_{43}(v) = 0 & r_{44}(v) = 0 & r_{45}(v) = 0 \\
r_{51}(v) = 0 & r_{52}(v) = 0 & r_{53}(v) = 0 & r_{54}(v) = 0 & r_{55}(v) = 0
\end{array}
$$

Рисунок 1 – Ввод исходных данных

Уравнение устойчивости(нераскрытый вид):

$$
R(v) = \begin{bmatrix} 21 - \dfrac{v\cdot(\tan(2\cdot v) - 2\cdot v)}{\tan(2\cdot v)\cdot(v - \tan(v))} & \dfrac{3\cdot v^2\cdot\tan(v)}{12\cdot v - 12\cdot\tan(v)} \\ \dfrac{3\cdot v^2\cdot\tan(v)}{12\cdot v - 12\cdot\tan(v)} & -\dfrac{15\cdot v^3}{192\cdot v - 192\cdot\tan(v)} \end{bmatrix}
$$

Уравнение устойчивости(раскрытый вид):

$$
R(v) = -\frac{10\cdot v^5 + 100\cdot v^4\cdot\tan(2\cdot v) - 105\cdot v^3\cdot\tan(2\cdot v)\cdot\tan(v) + 4\cdot v^4\cdot\tan(2\cdot v)\cdot\tan(v)^2}{64\cdot v^2\cdot\tan(2\cdot v) + 64\cdot\tan(2\cdot v)\cdot\tan(v)^2 - 128\cdot v\cdot\tan(2\cdot v)\cdot\tan(v)}
$$

Рисунок 2 – Формирование разрешающих уравнений

$v_{kp} = 1.515$

$v1_{kp} = 3.03$

$v2_{kp} = 1.515$

$v3_{kp} =$ "не заданно"

$v4_{kp} =$ "не заданно"

$v5_{kp} =$ "не заданно "

Рисунок 3 – Результаты расчета

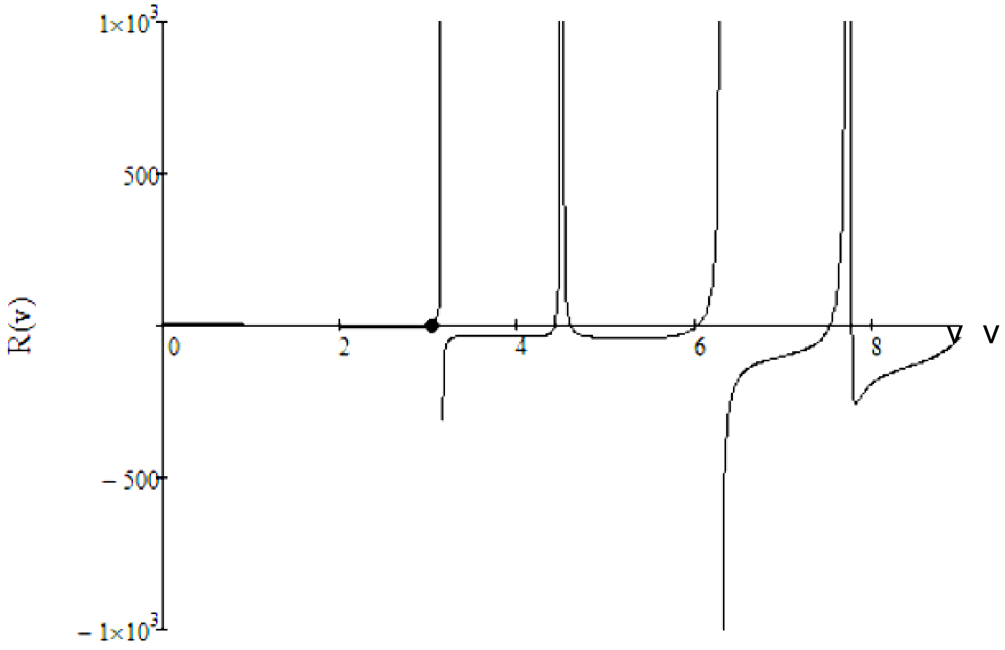

Рисунок 4 – График изменения функции устойчивости

Рассчитать с помощью рассматриваемой программы можно рамы, имеющие до пяти неизвестных по методу перемещений ($n \le 5$) и до пяти отличающихся друг от друга параметров устойчивости v_i.

Список цитированных источников

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.
2. Турчак Л.И. Основы численных методов. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

УДК 681.3:624.04
Матяс П.И.
Научный руководитель: доцент Игнатюк В.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ УСТОЙЧИВОСТИ В РАСЧЕТАХ РАМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассматриваются плоские рамы, нагруженные системой взаимосвязанных узловых центрально приложенных сил P_i (i =1…m). Для рам известны их геометрия, размеры и соотношения жесткостей элементов. Считаем, что все силы P_i изменяются (растут) пропорционально одному параметру P. Задача устойчивости решается статическим способом с использованием метода перемещений [1]. Разрешающее уравнение устойчивости имеет вид

$$R(v) = \begin{vmatrix} r_{11}(v) & r_{12}(v) & \dots & r_{1n}(v) \\ r_{21}(v) & r_{22}(v) & \dots & r_{2n}(v) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1}(v) & r_{n2}(v) & \dots & r_{nn}(v) \end{vmatrix} = 0, \qquad (1)$$

где n – степень кинематической неопределимости рамы; v – параметр устойчивости, определяемый для сжатых стержней выражением