Министерство образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

Кафедра теоретической механики

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕАКЦИЙ ОПОР СОСТАВНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮЕРОВ

Методические указания
к решению задач по
теоретической механике
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2001

УДК 531.2

Арет В.А., Малявко Д.П. Чепурин Г.В. Исследование сил реакций опор составной конструкции с помощью персональных компьютеров: Метод. указания к решению задач по теоретической механике для студентов всех специальностей. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2001. — 14 с.

Приводятся теоретические положения к решению задачи о нахождении оптимальной пары углов приложения внешних сил, соответствующей минимальному значению силы реакции опоры составной конструкции из двух тел. Также даны методические указания к выполнению задачи с применением методов линейной алгебры и использованием математического пакета MathCad. Пособие может быть использовано для самостоятельной работы по программе курса «Теоретическая механика».

Рецензент
Доктор техн. наук, проф. В.В. Улитин.

Одобрено к изданию советом факультета холодильной техники

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые задачи относятся к разделу плоских задач статики, важных в дальнейшем для курсов сопротивления материалов и специальных дисциплин. В обычной постановке эти задачи решаются при помощи систем линейных алгебраических уравнений. Однако, при попытках оптимизации видов внешних силовых нагружений с целью минимизации сил реакций опор задачи сводятся к составлению больших систем уравнений, громоздкому ручному счёту и опасностям пропуска локальных экстремумов. Поэтому целесообразным является применение методов линейной алгебры, распространённых в настоящее время персональных компьютеров и пакетов прикладных программ как, например, MathCad или каких-либо других. Данные методические указания составлены в рамках программы внедрения современных информационных технологий в учебный процесс кафедры теоретической механики.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В канонической форме уравнение равновесия задачи можно представить в виде:

$$
\begin{aligned}
&a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_1,\\
&a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2,\\
&\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots,\\
&a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \ldots + a_{nn}x_n = b_n,
\end{aligned}
\tag{1}
$$

где $x_1 \ldots x_n$ – силы реакции опор на координатные оси; $b_1 \ldots b_n$ – свободные члены уравнений, зависящие от схемы задачи, величины и ориентации внешних активных сил; $a_{11} \ldots a_{nn}$ – коэффициенты при искомых проекциях сил реакций опор, которые зависят только от схемы тел и расположения точек приложения сил; n – в данной задаче из двух тел равно шести.

Согласно линейной алгебре необходимо вычислить определитель (детерминант) n-го порядка вида:

$$
A = \begin{vmatrix}
a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n}\\
a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n}\\
\cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\
a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn}
\end{vmatrix}
$$

Определитель равен сумме произведений элементов какого-либо столбца (или строки) на соответствующее алгебраическое дополнение (разложение определителя по минорам). Минором некоторого элемента определителя n-го порядка называется определитель порядка $n-1$, полученный из данного определителя вычёркиванием той строки и того столбца, которым принадлежит рассматриваемый элемент. Алгебраическим дополнением (адъюнктом) элемента определителя называется его минор, умноженный на $(-1)^{i+j}$, где i – номер строки; j – номер столбца рас-сматриваемого элемента.

$$A = a_{11}A_{11} + a_{21}A_{21} + \ldots + a_{n1}A_{n1}, \tag{3}$$

Тогда

где $A_{11}, A_{21}, \ldots A_{n1}$ – алгебраические дополнения элементов первого столбца.

Например, вычисление определителя третьего порядка осуществляется разложением по минорам следующим образом:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}\begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} \\ a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} - a_{12}\begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} \\ a_{31} & a_{33} \end{vmatrix} + a_{13}\begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} \\ a_{31} & a_{32} \end{vmatrix} =$$

$$= a_{11}(a_{22}a_{33} - a_{32}a_{23}) - a_{12}(a_{21}a_{33} - a_{31}a_{23}) + a_{13}(a_{21}a_{32} - a_{31}a_{22}).$$

Это разложение используется также при вычислении проекций векторного произведения в различных разделах теоретической механики, в частности, при вычислении моментов сил в статике, скоростей и ускорений в кинематике и динамике.

Например,

$$\vec{M}_0 = \left(\vec{r} \times \vec{F}\right) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_x & r_y & r_z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \vec{i}\left(r_yF_z - r_zF_y\right) - \vec{j}\left(r_xF_z - r_zF_x\right) + \vec{k}\left(r_xF_y - r_yF_x\right), \tag{5}$$

где $\vec{M}_0$ – момент силы $\vec{F}$ относительно точки О начала декартовых координат; $\vec{r}$ – радиус-вектор точки приложения силы $\vec{F}$; $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – ортогональная система единичных векторов на осях x, y, z; r_x, r_y, r_z – проекции радиус-вектора на координатные оси; F_x, F_y, F_z – проекции силы $\vec{F}$ на координатные оси.

Теперь решение системы линейных уравнений (1) можно записать в виде:

$$x_1 = \frac{A_1}{A}, \qquad x_2 = \frac{A_2}{A}, \qquad \dots x_k = \frac{A_k}{A}, \dots \qquad x_n = \frac{A_n}{A}, \tag{6}$$

где определитель A_k ($k = 1, 2 \dots n$) получается заменой в определителе A k-го столбца столбцом, составленным из свободных членов b_1, $b_2 \dots b_n$.

Очевидно, определитель A должен отличаться от нуля, тогда система (1) имеет единственное решение, иначе система несовместимая или неопределённая. В нашей задаче при определённой схеме тел и располо-жении сил легко запрограммировать равномерное пошаговое изменение углов приложения сил и произвести оптимизацию методом обзора с выявлением всех локальных экстремумов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Нахождение оптимальной пары углов приложения внешних сил, соответствующей минимальному значению силы реакции опоры А сос-тавной конструкции из двух тел (рис. 1).

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Порядок выполнения задания

1. Построить схемы заданных сил и реакций связей для предлагае-мого варианта в сборнике задач [1].
2. Составить уравнение равновесия сил.
3. Представить уравнение в канонической форме (1).
4. Составить программу расчёта в MathCad для вычисления величин по формулам (6).
5. Определить оптимальную пару углов приложения внешних сил, обеспечивающих минимум силы реакции в опоре А.

Пример решения задачи

Дано: $P_1 = 10$ кН; $P_2 = 12$ кН; $M_1 = 25$ кН·м; $q = 2$ кН/м.

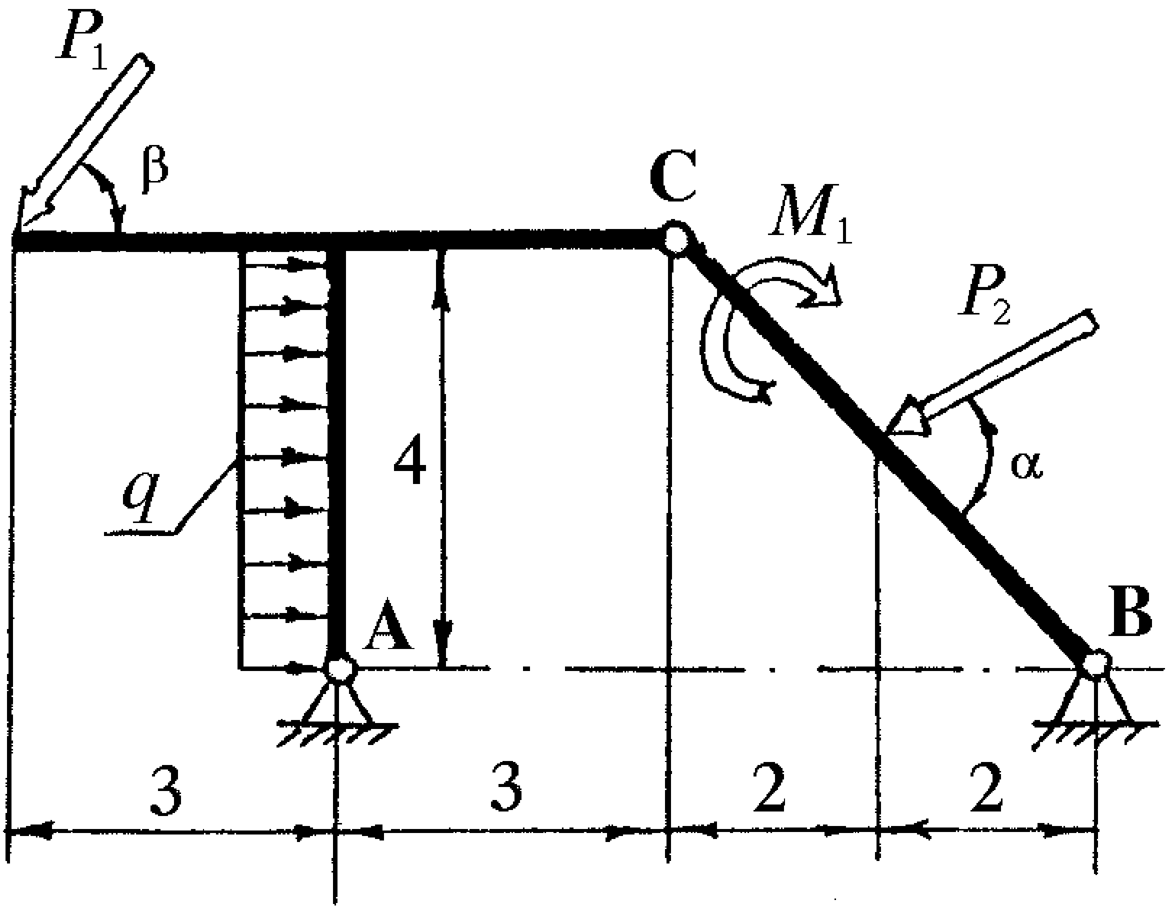

Рис. 1

Требуется определить: оптимальную пару углов α, β приложения внешних сил, соответствующую минимальному значению реакции опоры R_A.

Решение

Рассмотрим систему сил, приложенных ко всей конструкции (рис. 2). Уравнения равновесия сил, приложенных ко всей конструкции, имеют вид:

$$\Sigma F_{xi} = 0\ ;\ -P_1 \cos\beta + 4q - P_2 \cos(\alpha - 45°) + X_A + X_B = 0; \qquad (7)$$

$$\Sigma F_{yi} = 0\ ;\ -P_1 \sin\beta - P_2 \sin(\alpha - 45°) + Y_A + Y_B = 0; \qquad (8)$$

$$\Sigma M_{iA} = 0\ ;\ 4P_1 \cos\beta + 3P_1 \sin\beta - 4\cdot 2q - M_1 +$$

$$+ 2P_2 \cos(\alpha - 45°) - 5P_2 \sin(\alpha - 45°) + 7Y_B = 0 \qquad (9)$$

Теперь рассмотрим систему сил, приложенных к правой части конструкции (рис. 3).

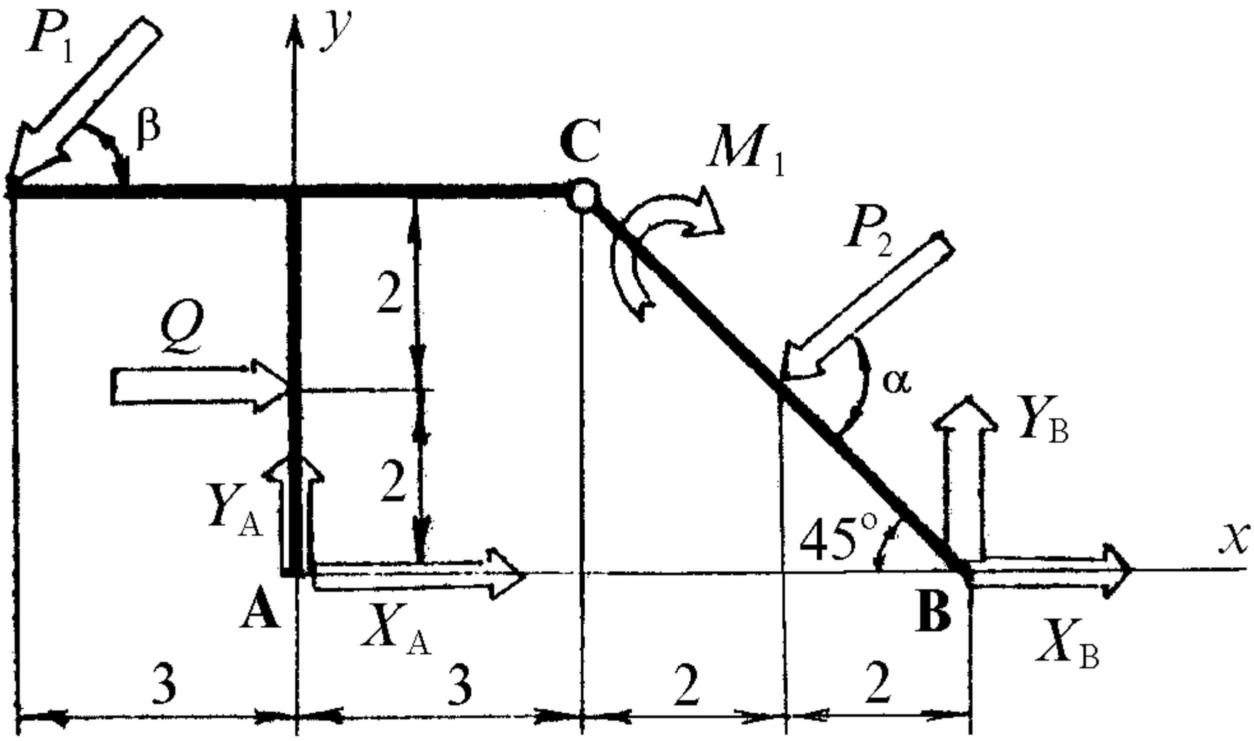

Рис. 2

Уравнения равновесия сил имеют вид:

$$\Sigma X_i = 0\ ;\ X_C - P_2 \cos(\alpha - 45°) + X_B = 0; \qquad (10)$$

$$\Sigma Y_i = 0\ ;\ Y_C - P_2 \sin(\alpha - 45°) + Y_B = 0; \qquad (11)$$

$$\Sigma M_{iC} = 0\ ;\ -M_1 - 2P_2 \cos(\alpha - 45°) - 2P_2 \sin(\alpha - 45°) + $$
$$+ 4Y_B + 4X_B = 0. \qquad (12)$$

Введём обозначения для искомых проекций реакций опор:

$Y_B = X1_{ij,}$; $Y_A = X2_{i,j}$; $X_A = X3_{i,j}$; $X_B = X4_{i,j}$; $X_C = X5_{ij,}$; $Y_C = X6_{i,j}$.

Введём обозначения для свободных членов уравнений:

$$B1_{i,j} = -4\,P_1 \cos\beta_{i,j} - 3\,P_1 \sin\beta_{i,j} + 8\,q + M_1 - 2\,P_2 \cos(\alpha_{i,j} - 45°) +$$
$$+ 5\,P_2 \sin(\alpha_{i,j} - 45°);$$

$$B2_{i,j} = P_1 \cos\beta_{i,j} - 4\,q + P_2 \cos(\alpha_{i,j} - 45°);$$

$$B3_{i,j} = P_1 \sin\beta_{i,j} + P_2 \sin(\alpha_{i,j} - 45°);$$

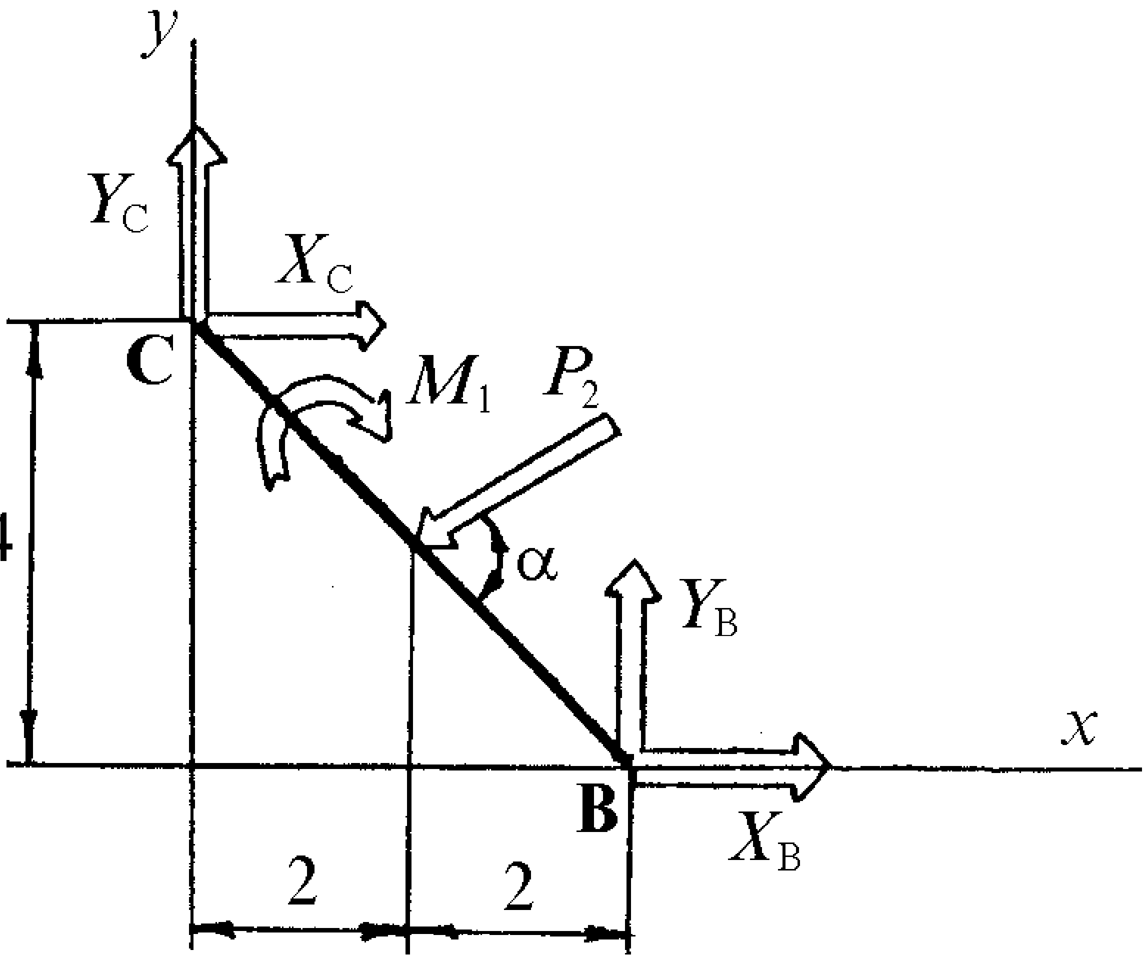

Рис. 3

$$B4_{i,j} = M_1 + 2\,P_2 \cos(\alpha_{i,j} - 45°) + 2\,P_2 \sin(\alpha_{i,j} - 45°);$$

$$B5_{i,j} = P_2 \cos(\alpha_{i,j} - 45°);$$

$$B6_{i,j} = P_2 \sin(\alpha_{i,j} - 45°).$$

Тогда каноническая форма уравнений приобретает вид:

$$7\,X1_{i,j} + 0\,X2_{i,j} + 0\,X3_{i,j} + 0\,X4_{i,j} + 0\,X5_{i,j} + 0\,X6_{i,j} = B1_{i,j};$$

$$0\,X1_{i,j} + 0\,X2_{i,j} + 1\,X3_{i,j} + 1\,X4_{i,j} + 0\,X5_{i,j} + 0\,X6_{i,j} = B2_{i,j};$$

$$1\,X1_{i,j} + 1\,X2_{i,j} + 0\,X3_{i,j} + 0\,X4_{i,j} + 0\,X5_{i,j} + 0\,X6_{i,j} = B3_{i,j};$$

$$4\,X1_{i,j} + 0\,X2_{i,j} + 0\,X3_{i,j} + 4\,X4_{i,j} + 0\,X5_{i,j} + 0\,X6_{i,j} = B4_{i,j};$$

$$0\,X1_{i,j} + 0\,X2_{i,j} + 0\,X3_{i,j} + 1\,X4_{i,j} + 1\,X5_{i,j} + 0\,X6_{i,j} = B5_{i,j};$$

$$1\,X1_{i,j} + 0\,X2_{i,j} + 0\,X3_{i,j} + 0\,X4_{i,j} + 0\,X5_{i,j} + 1\,X6_{i,j} = B6_{i,j}.$$

Обозначим и запишем определители коэффициентов:

$$A1 = \begin{vmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \qquad A2_{i,j} = \begin{vmatrix} B1_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B2_{i,j} & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ B3_{i,j} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B4_{i,j} & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ B5_{i,j} & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ B6_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$A3_{i,j} = \begin{vmatrix} 7 & B1_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B2_{i,j} & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & B3_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & B4_{i,j} & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & B5_{i,j} & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & B6_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; \qquad A4_{i,j} = \begin{vmatrix} 7 & 0 & B1_{i,j} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B2_{i,j} & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & B3_{i,j} & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & B4_{i,j} & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B5_{i,j} & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & B6_{i,j} & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Аналогично запишем $a5_{i,j}$; $a6_{i,j}$; $a7_{i,j}$.

Тогда искомые проекции сил реакций опор вычисляются по формулам вида:

$$X1_{i,j} = \frac{|A2_{i,j}|}{|A1|};\ X2_{i,j} = \frac{|A3_{i,j}|}{|A1|};\ \ldots; \qquad X6_{i,j} = \frac{|A7_{i,j}|}{|A1|}.$$

Если задать пошаговое изменение чисел $i = 0, 1, 2 \ldots 6$ и $j = 0, 1, 2 \ldots 6$, то изменения углов (в радианах) будут определяться формулами:

$$\alpha_{i,j} = \frac{\pi i}{6}; \qquad \beta_{i,j} = \frac{\pi j}{6}$$

и программа MathCad переберёт все комбинации углов $\alpha_{i,j}$ и $\beta_{i,j}$ с шагом 30° и может распечатать для обзора таблицу значений $x1_{i,j} \ldots x6_{i,j}$. Модуль силы реакции в опоре A определяется выражением

$$ZA_{i,j} = \sqrt{X2_{i,j}^2 + X3_{i,j}^2}.$$

При данных условиях задачи минимальное значение $ZA_{i,j}$ = 3,232 кН, которое достигается при углах:

$$\alpha = 2{,}618 \text{ рад}, \qquad \beta = 0;$$

$$\alpha = 0{,}524 \text{ рад}, \qquad \beta = 0.$$

Ручной проверочный расчёт при углах $\alpha = 90° = 1{,}571$ рад и $\beta = 60° = 1{,}047$ рад дал следующее решение системы уравнений:

$X1 = 2{,}925$ кН; $X2 = 14{,}221$ кН; $X3 = -6{,}325$ кН;

$X4 = 11{,}81$ кН; $X5 = -3{,}325$ кН; $X6 = 5{,}56$ кН;

$ZA = 15{,}564$ кН;

Приведём более короткое решение этой задачи в MathCad, задав $i = 0, 1, 2, 3$; $j = 0, 1, 2, 3$, где, естественно, потерян локальный минимум при $\alpha = 2{,}618$ рад, $\beta = 0$, однако результаты ручного расчёта проверяются в соответствующей строке распечатки. Очевидно, что данная программа позволяет исследовать и оптимизировать силы реакции также в опоре В и в шарнире С, что может быть предметом отдельных индивидуальных заданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Норейко С.С., Вольфсон С.Н., Карпова Н.В.** Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике / Под ред. А.А. Яблонского. – М.: Высш. шк., 1978. – 338 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Распечатка решения задачи в MathCad

$$P1 := 10 \quad P2 := 12 \quad M1 := 25 \quad q := 2 \quad i := 0..3 \quad j := 0..3 \quad \alpha_{i,j} := \frac{\pi \cdot i}{6} \quad \beta_{i,j} := \frac{\pi \cdot j}{6}$$

$$b1_{i,j} := -\left[\left(4 \cdot P1 \cdot \cos\left(\beta_{i,j}\right) + 3 \cdot P1 \cdot \sin\left(\beta_{i,j}\right) - 8 \cdot q - M1\right) + 2 \cdot P2 \cdot \cos\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right) - 5 \cdot P2 \cdot \sin\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right]$$

$$b2_{i,j} := -\left(-P1 \cdot \cos\left(\beta_{i,j}\right) + 4 \cdot q - P2 \cdot \cos\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right) \quad b3_{i,j} := -\left(\left(-P1 \cdot \sin\left(\beta_{i,j}\right) - P2 \cdot \sin\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right)\right)$$

$$b4_{i,j} := -\left[\left(-M1 - 2 \cdot P2 \cdot \cos\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right) - 2 \cdot \left(P2 \cdot \sin\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right)\right] \quad b5_{i,j} := -\left(-P2 \cdot \cos\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right)$$

$$b6_{i,j} := -\left[-\left(P2 \cdot \sin\left(\alpha_{i,j} - \frac{\pi}{4}\right)\right)\right]$$

$$a1 := \begin{bmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad a2_{i,j} := \begin{bmatrix} b1_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b2_{i,j} & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ b3_{i,j} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b4_{i,j} & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ b5_{i,j} & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ b6_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad a3_{i,j} := \begin{bmatrix} 7 & b1_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b2_{i,j} & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & b3_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & b4_{i,j} & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & b5_{i,j} & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & b6_{i,j} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$a4_{i,j} := \begin{bmatrix} 7 & 0 & b1_{i,j} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b2_{i,j} & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & b3_{i,j} & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & b4_{i,j} & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b5_{i,j} & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & b6_{i,j} & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad a5_{i,j} := \begin{bmatrix} 7 & 0 & 0 & b1_{i,j} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b2_{i,j} & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & b3_{i,j} & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & b4_{i,j} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b5_{i,j} & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & b6_{i,j} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad a6_{i,j} := \begin{bmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 & b1_{i,j} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & b2_{i,j} & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & b3_{i,j} & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 4 & b4_{i,j} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & b5_{i,j} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & b6_{i,j} & 1 \end{bmatrix}$$

$$a7_{i,j} := \begin{bmatrix} 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & b1_{i,j} \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & b2_{i,j} \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & b3_{i,j} \\ 4 & 0 & 0 & 4 & 0 & b4_{i,j} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & b5_{i,j} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & b6_{i,j} \end{bmatrix}$$

$$x1_{i,j} := \frac{\left|a2_{i,j}\right|}{\left|a1\right|} \quad x2_{i,j} := \frac{\left|a3_{i,j}\right|}{\left|a1\right|} \quad x3_{i,j} := \frac{\left|a4_{i,j}\right|}{\left|a1\right|}$$

$$x4_{i,j} := \frac{\left|a5_{i,j}\right|}{\left|a1\right|} \quad x5_{i,j} := \frac{\left|a6_{i,j}\right|}{\left|a1\right|} \quad x6_{i,j} := \frac{\left|a7_{i,j}\right|}{\left|a1\right|}$$

$$z1_{i,j} := \sqrt{(x1_{i,j})^2 + (x2_{i,j})^2 + (x3_{i,j})^2 + (x4_{i,j})^2 + (x5_{i,j})^2 + (x6_{i,j})^2} \qquad ZA_{i,j} := \sqrt{(x2_{i,j})^2 + (x3_{i,j})^2}$$

$\alpha_{i,j}$	$\beta_{i,j}$	$x1_{i,j}$	$x2_{i,j}$	$x3_{i,j}$	$x4_{i,j}$	$x5_{i,j}$	$x6_{i,j}$	$z1_{i,j}$	$ZA_{i,j}$
0	0	-8.342	-0.143	-4.107	14.592	-6.107	-0.143	18.351	4.11
0	0.524	-9.72	6.234	-6.824	15.97	-7.484	1.234	22.192	9.243
0	1.047	-9.197	9.372	-9.962	15.447	-6.962	0.712	23.648	13.677
0	1.571	-6.914	8.429	-12.679	13.164	-4.679	-1.571	21.846	15.225
0.524	0	-5.387	2.282	-2.289	15.88	-4.289	2.282	17.755	3.232
0.524	0.524	-6.765	8.659	-5.006	17.257	-5.666	3.659	22.116	10.002
0.524	1.047	-6.242	11.796	-8.143	16.734	-5.143	3.136	23.68	14.334
0.524	1.571	-3.959	10.853	-10.86	14.451	-2.86	0.853	21.66	15.354
1.047	0	-0.95	4.056	-0.958	14.549	-2.958	4.056	15.973	4.168
1.047	0.524	-2.328	10.434	-3.675	15.926	-4.335	5.434	20.73	11.062
1.047	1.047	-1.805	13.571	-6.812	15.403	-3.812	4.911	22.577	15.185
1.047	1.571	0.478	12.628	-9.529	13.12	-1.529	2.628	20.782	15.82
1.571	0	3.779	4.706	-0.471	10.956	-2.471	4.706	13.599	4.729
1.571	0.524	2.402	11.083	-3.188	12.333	-3.848	6.083	18.512	11.532
1.571	1.047	2.925	14.221	-6.325	11.81	-3.325	5.56	20.79	15.564
1.571	1.571	5.208	13.277	-9.042	9.527	-1.042	3.277	19.692	16.064

СОДЕРЖАНИЕ

Чепурин Георгий Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕАКЦИЙ ОПОР СОСТАВНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮЕРОВ

Методические указания
к решению задач по
теоретической механике
для студентов всех специальностей

Редактор Е.С. Лаврентьева
Корректор Н.И. Михайлова

ЛР № 020414 от 12.02.97
Подписано в печать 27.11.2001. Формат 60×84 1/16. Бум. писчая
Печать офсетная. Усл. печ. л.. 0,93. Печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 0,75
Тираж 150 экз. Заказ № С 64

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9