

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПС ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ

И. К. Калько, Г. М. Бусыгина

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Рассматриваются возможности программных средств для решения задач строительной механики в учебном процессе. На примерах рассматриваются наиболее востребованные вычислительные комплексы SCAD и вычислительная среда MathCAD.

Ключевые слова: MathCAD, SCAD, строительная механика, устойчивость.

Проектно-вычислительный комплекс Structure CAD (SCAD) в настоящее время считается наиболее приемлемым для использования в учебном процессе при изучении строительной механики и проектировании строительных конструкций. SCAD реализован в качестве системы прочностного анализа и проектирования конструкций на основе МКЭ и позволяет определить напряженно-деформированное состояние конструкций от статических и динамических воздействий, а также выполнить ряд функций проектирования элементов конструкций.

Наиболее востребованным SCAD является при решении задач строительной механики.

Одной из первых расчетных задач в курсе строительной механики [2] является расчет неразрезной балки, которая широко используется в строительстве. Расчет методами строительной механики можно сопроводить проверкой в SCAD. Вариант рассчитываемой балки изображен на рисунке 1 совместно с расчетной схемой (РС)

После задания параметров РС в качестве результата анализируются перемещения и

усилия как в графической форме, например, на рисунке 2 (деформации – прогибы U_x , эпюры M и Q), так и в виде таблиц.

Статически определимые и статически неопределимые фермы, расчет которых изучается в строительной механике [2, 3], можно для проверки рассчитать другими методами. Прежде всего, это возможно в SCAD, где достаточно правильно задать геометрию РС.

Кроме того для статически определимых ферм можно способами проекций или вырезания узлов составить систему линейных алгебраических уравнений, где неизвестными будут являться усилия, и решить её, например, средствами вычислительной системы MathCAD или MS Excel. Пример схемы фермы и рассчитанных усилий в ней приведен на рисунке 3.

Расчет рам, выполняемых методом сил или перемещений, также легко моделируется в SCAD, причем можно рассчитывать не только исходную схему, но и модифицированную (рисунк 4).

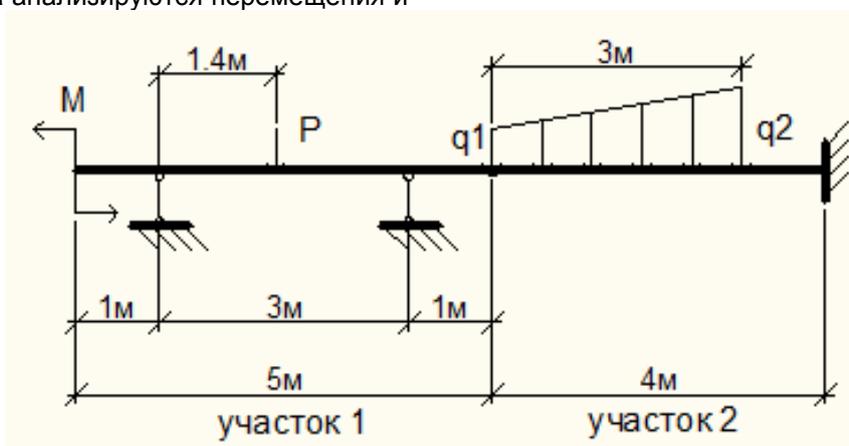


Рисунок 1 – Расчетная схема балки

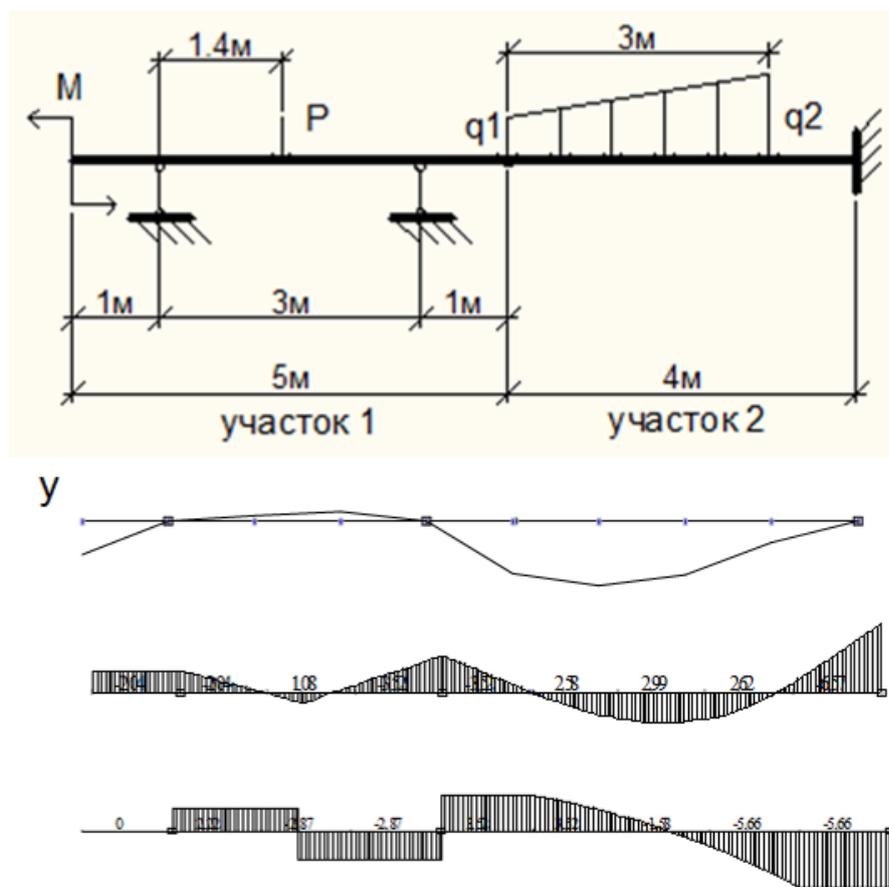


Рисунок 2 – Деформации и усилия в балке

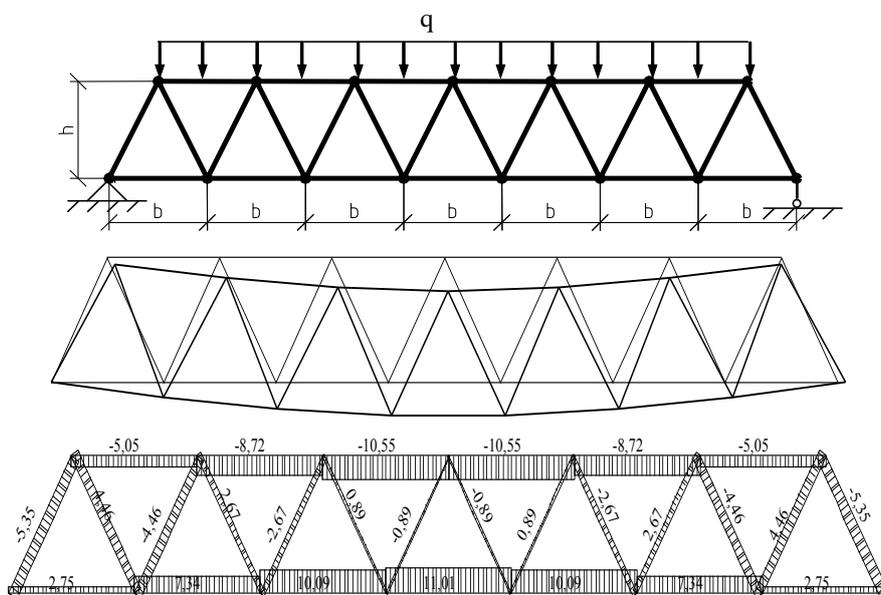


Рисунок 3 – Ферма

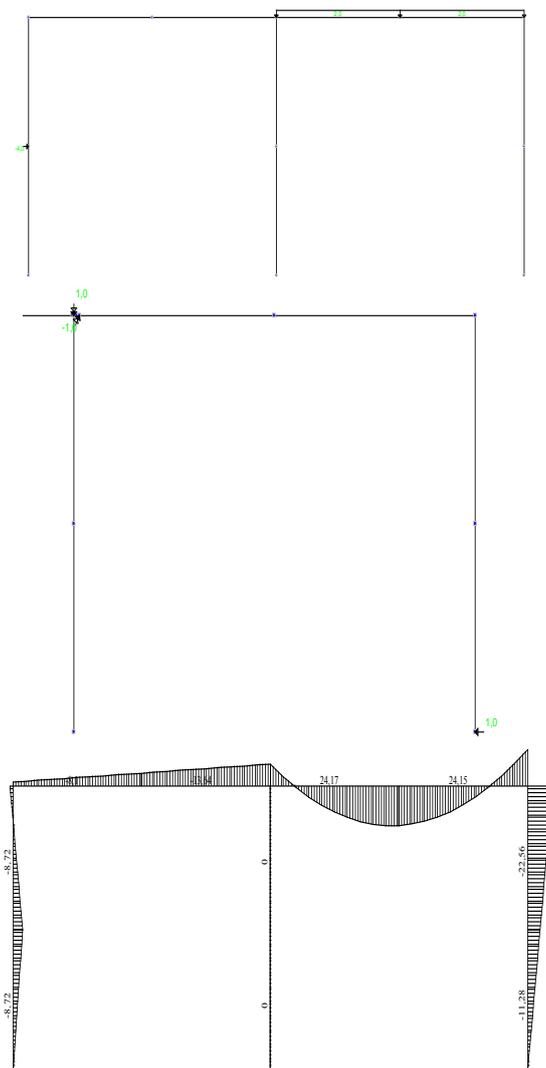


Рисунок 4 – Рама (РС и окончательная эпюра моментов M)

Дано: $P_1=P$; $P_2=2P$; $P_3=3P$; $I_1=I$; $I_2=2I$; $I_3=3I$; $I_4=I$; $I_5=2I$;
 $l_1=l_2=l_3=l_4$

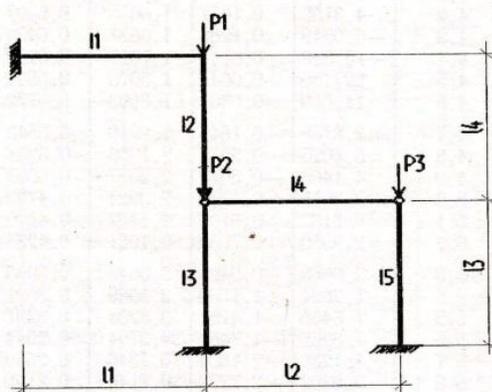


Рисунок 5 – Рама

Одной из важных, но трудоемких задач является расчет конструкций, например, рамы на устойчивость. Проблемой здесь является решение нелинейного уравнения, возникающего при рассмотрении определителя. Для рамы на рисунке 5, рассчитываемой на устойчивость методом перемещений [3], составляется определитель вида (1):

После подстановки исходных данных в (1) получаем уравнение устойчивости (2)

$$\begin{vmatrix} 4i + 6i \cdot \varphi_1(V) & \frac{6i}{l} \cdot \varphi_1(V) \\ \frac{6i}{l} \cdot \varphi_1(V) & \frac{2li}{l^2} \cdot \eta_1(v) \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

$$\frac{6}{l^2} (14\eta_1(V) + 21\eta_1(V)\varphi_1(V) - 6\varphi_1^2(V)) = 0, \quad (2)$$

где $\varphi_1(v)$ и $\eta_1(v)$ – трансцендентные функции:

$$\varphi_1(v) = \frac{v^2 \operatorname{tg}(v)}{3(\operatorname{tg}(v) - v)}, \quad \eta_1(v) = \frac{v(v - \sin v)}{4 \sin v \left(\operatorname{tg} \frac{v}{2} - \frac{v}{2} \right)}$$

Решение уравнения можно выполнять в MathCAD (рисунок 6). К сожалению, решение уравнения в символьном виде получить не удается, поэтому можно найти его численное решение с помощью функции root.

Следует обратить внимание, что данное трансцендентное уравнение имеет множество корней и необходимо выбрать *правильный* из них.

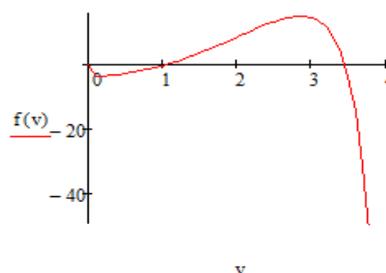
SCAD предназначен для расчетов любых конструкций (балок, арок, рам, пластин и оболочек) и представляет обширный выбор возможностей. SCAD использует метод конечных элементов, который позволяет разбиение схемы на части, что увеличивает точность вычислений.

SCAD имеет преимущества (например, при расчете пластин, оболочек) определять внутренние силовые факторы, перемещения и напряжения в любой точке поверхности.

$$\varphi_1(v) := \frac{v^2 \cdot \tan(v)}{3 \cdot (\tan(v) - v)} \quad \eta_1(v) := \frac{v \cdot (v - \sin(v))}{4 \cdot \sin(v) \cdot \left(\tan\left(\frac{v}{2}\right) - \frac{v}{2} \right)}$$

$$f(v) := \frac{6}{l^2} \cdot (14 \cdot \eta_1(v) + 21 \cdot \eta_1(v) \cdot \varphi_1(v) - 5 \cdot \varphi_1(v)^2)$$

$v := 0, 0.1..4$



$vk := 3.5$ $vk := \text{root}(f(vk), vk)$

$vk = 3.457$

Рисунок 6 – фрагмент решения уравнения в MathCAD

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD: учеб. пособие / Криксунов Э. З., Маляренко А. А., Карпиловский В. С. - М.: Изд-во Ассоц. стрит. вузов, 2008 – 590 с.
2. Калько, И. К. Расчет стержневых систем. Часть 1. Статически определимые системы. Расчет неразрезных балок: учебное пособие / И. К. Калько. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 80 с. – Режим доступа: <http://elibr/altstu/ru>.
3. Калько, И. К. Расчет стержневых систем. Часть 2. Статически неопределимые системы. Динамика и устойчивость сооружений: учебное пособие / И. К. Калько – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 95 с. – Режим доступа: <http://elibr/altstu/ru>.

Калько И.К. – к.т.н, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stroygips@list.ru.

Бусыгина Г.М. – к.э.н., доцент кафедры «Строительные конструкции» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: galinab14@yandex.ru.