

**Заключение.** Преимущества предлагаемой схемы энергоресурсосберегающей системы аспирации заключаются в следующем:

- сокращение, по сравнению с традиционными системами, расхода электрической энергии на транспортирование крупных частиц материала на большие расстояния, и расходов на укрепление, ремонт и замену истирающихся элементов воздухопроводов и оборудования за счет улавливания крупных частиц материала в непосредственной близости от мест их образования;

- 100 % улавливание отходов за счет отказа от использования циклона и применения объемного коллектора-сборника (I ступень очистки) и рукавного фильтра (II ступень очистки), что обеспечивает экологическую чистоту при работе системы аспирации, исключение загрязнения окружающей среды и потерь материала и дает возможность полного его использования как при производстве строительных материалов, так и на другие цели;

- снижение потребляемой мощности электродвигателя вентилятора с помощью частотно-регулируемых приводов обеспечивается применением автоматических вентиляционных клапанов, закрывающихся на период остановки станков;

- значительная экономия тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев подаваемого наружного воздуха в холодный период года, которая получается за счет рециркуляции в помещении очищенного воздуха.

#### **Список цитированных источников**

1. Клячко, Л.С, Одельский, Х., Хрусталеv Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 216 с. \_

2. Аспирационный вертикальный коллектор-сборник: патент на полезную модель РБ 365, МПК В 08 В 15/00 / Королева Т.И.; заявл. 26.12.2000, опубл. 30.09.200 // Официальный бюллетень государственного патентного ведомства РБ. – 2001. – № 3.

УДК 681.3:519.3

## **РАСЧЕТ ПЛОСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С УЧЕТОМ УПРУГОЙ ПОДАТЛИВОСТИ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ЭВМ**

**Игнатюк В.И., Рудлевский Д.В.**

*Брестский государственный технический университет, г. Брест*

**Введение.** В реальных сооружениях соединение стержней в узлах чаще всего не является идеально жестким либо шарнирным, а имеет определенную упругую податливость, которая обычно не учитывается в расчетах, но может существенно влиять на распределение усилий в системе. Для учета этого фактора необходимо в методике расчета учитывать возможность упругой податливости узловых соединений.

**Методика расчета.** При расчете сооружений методом конечных элементов основным разрешающим уравнением [1] является уравнение вида:

$$[K]\{\Delta\} = \{P\}, \quad (1)$$

где  $[K]$  – матрица жесткости системы,  $\{\Delta\}$  – вектор перемещений узлов системы,  $\{P\}$  – вектор внешних узловых нагрузок.

Учет упруго-податливого соединения элементов в узлах вызовет соответствующие изменения в матрицах  $[K]$  и  $\{P\}$ . Так как эти матрицы могут быть сформированы из матриц отдельных конечных элементов (КЭ) [2], учет упругой податливости присоединения КЭ к узлам может быть выполнен на уровне определения матриц жесткости и векторов нагрузок КЭ.

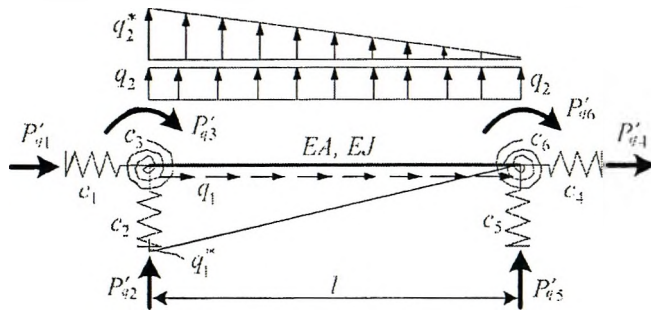


Рисунок 1 – Схема конечного элемента

Для КЭ, присоединяющихся к узлам с помощью упруго-податливых связей, жесткости которых определяются величинами  $c_1 - c_6$  (рис. 1) ( $c_1, c_4$  – жесткости горизонтальных связей в начале и в конце стержня,  $c_2, c_5$  – жесткости соответствующих вертикальных связей,  $c_3, c_6$  – жесткости угловых связей), матрица жесткости в местной системе координат получена в работе [2] и имеет вид:

$$[K'_3] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ}{l^3} k_1 & -\frac{6EJ}{l^2} k_2 & 0 & -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & -\frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_2 & \frac{3EJ}{l} (k_2 + k_3) & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) \\ -\frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 & \frac{EA}{l} k_N & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EJ}{l^3} k_1 & \frac{6EJ}{l^2} k_2 & 0 & \frac{12EJ}{l^3} k_1 & \frac{6EJ}{l^2} k_4 \\ 0 & -\frac{6EJ}{l^2} k_4 & \frac{3EJ}{l} (k_2 - k_3) & 0 & \frac{6EJ}{l^2} k_4 & \frac{3EJ}{l} (k_4 + k_5) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $EA$ ,  $EJ$  – продольная и изгибная жесткости стержня, и где обозначено:

$$k_N = \frac{1}{1 + (c_1 + c_4) \frac{EA}{l}}; \quad k_1 = \frac{t_4}{t_2 t_4 - 3t_3^2}; \quad k_2 = \frac{t_3 + t_4}{t_2 t_4 - 3t_3^2};$$

$$k_3 = \frac{1}{3t_4} + \frac{t_3}{t_4} k_2; \quad k_4 = \frac{t_4 - t_3}{t_2 t_4 - 3t_3^2}; \quad k_5 = \frac{1}{3t_4} + \frac{t_3}{t_4} k_4, \quad (3)$$

$$t_2 = 1 + (c_2 + c_5) \frac{12EJ}{l^3} + (c_3 + c_6) \frac{3EJ}{l}; \quad t_3 = (c_6 - c_3) \frac{EJ}{l}; \quad t_4 = 1 + (c_3 + c_6) \frac{EJ}{l}. \quad (4)$$

При действии на конечные элементы распределённых нагрузок в методе конечных элементов их необходимо преобразовывать к узловым. Это преобразование для конечных элементов, упруго-податливо присоединяемых к узлам, не будет совпадать со случаями жёстко-шарнирного соединения конечных элементов в узлах и может быть получено также на основе расчётов соответствующих конечных элементов [2]. Для случая нагружения КЭ распределёнными нагрузками, представленными на рис. 1, величины узловых нагрузок для него будут определяться выражением:

$$\{P'_q\} = \begin{pmatrix} P'_{q1} \\ P'_{q2} \\ P'_{q3} \\ P'_{q4} \\ P'_{q5} \\ P'_{q6} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{q_1 l}{2} f_{q1} + \frac{q_1^* l}{6} (3 - s_{q1}) \\ \frac{q_2 l}{2} (1 - f_{q2}) + \frac{q_2^* l}{20} (10 - u_{q1}) \\ -\frac{q_2 l^2}{12} (1,5 - 3f_{q2} - f_{q3}) - \frac{q_2^* l^2}{120} (20 + u_{q2} - 6u_{q1}) \\ \frac{q_1 l}{2} f_{q1} + \frac{q_1^* l}{6} s_{q1} \\ \frac{q_2 l}{2} (1 + f_{q2}) + \frac{q_2^* l}{20} u_{q1} \\ \frac{q_2 l^2}{12} (1,5 + 3f_{q2} - f_{q3}) + \frac{q_2^* l^2}{120} u_{q2} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где  $f_{q2} = \frac{3t_{q2}t_4 - t_{q3}t_3}{6t_3^2 - 2t_2t_4}$ ;  $f_{q3} = 3f_{q2} \frac{t_3}{t_4} + \frac{t_{q3}}{2t_4}$ ;  $u_{q2} = \frac{3u_2u_{q1} - 5s_{q3}}{u_3}$ ,

$$u_{q1} = \frac{8s_{q2}u_3 - 5s_{q3}u_2}{4u_1u_3 - 3u_2^2}; \quad t_{q2} = \frac{EJ}{l} \left( \frac{1}{c_6} - \frac{1}{c_3} \right) + \frac{8EJ}{l^3} \left( \frac{1}{c_5} - \frac{1}{c_2} \right);$$

$$t_{q3} = 1 + \frac{3EJ}{l} \left( \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right); \quad s_{q2} = 1 + \frac{15EJ}{c_2 l^3}; \quad s_{q3} = 1 + \frac{4EJ}{c_3 l}; \quad (6)$$

$$u_1 = 1 + \frac{3EJ}{l^3} \left( \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_5} \right) + \frac{3EJ}{c_3 l}; \quad u_2 = 1 + \frac{2EJ}{c_3 l};$$

$$u_3 = 1 + \left( \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_6} \right) \frac{EJ}{l}; \quad t_2, t_3, t_4 - \text{см. (3)}.$$

Преобразование матриц жесткости и векторов внешних нагрузок конечных элементов из местных в общую систему координат производится с помощью выражений [2]:

$$[K] = [T_\alpha]^T \cdot [K'] \cdot [T_\alpha]; \{P_q\} = [T_\alpha]^T \{P'_q\}, \quad (7)$$

где  $[T_\alpha]$ ,  $[T_\alpha]^T$  – обычная и транспонированная матрицы преобразования координат.

На основе полученных зависимостей [1, 2] составлена компьютерная программа расчета плоских стержневых систем на статические нагрузки – программа «SiriusPlus». Программа разработана в среде Delphi 5 с применением объектно-ориентированной модели программирования, исполняемый файл программы SiriusPlus.exe имеет размер 990 Кб. Стандартный для Windows графический интерфейс (рис. 2, 3) и достаточно развитый сервис делают работу в программе простой, понятной и удобной.

**Компьютерная программа.** Современная компьютерная техника (ПЭВМ) и системы программирования представляют большие возможности для создания эффективных компьютерных программ, включая:

- возможности создания диалогового режима ввода исходной информации, обработки и анализа промежуточных и окончательных результатов решения задачи;
- широкие возможности графического представления данных и результатов расчета на всех этапах решения задачи;
- возможности создания удобного и эстетичного интерфейса;
- возможности создания разветвленной помощи (Help) как для работы с программой, так и по основам методов расчета.

Для создания программы «SiriusPlus» использована современная система визуального программирования Delphi, позволяющая в полной мере использовать возможности и ресурсы современных ПЭВМ, создавать качественные и надежные Windows-приложения.

Структура и интерфейс программы «SiriusPlus» при ее разработке определялись ее назначением, а ориентирована она в первую очередь на использование в учебном процессе, поэтому к программе предъявлены требования максимального удобства интерфейса, максимальной наглядности представления исходных данных и результатов расчета, наличие разветвленной справочной системы (Help).

На основе полученных зависимостей разработан алгоритм расчета и составлена компьютерная программа расчета плоских стержневых систем на статические нагрузки – программа «SiriusPlus». Программа разработана в среде Borland Developer Studio 2006 с применением объектно-ориентированной модели программирования, исполняемый файл программы SiriusPlus.exe имеет размер 1.3 Мб. Стандартный для Windows графический интерфейс (рис. 2) и достаточно развитый сервис делают работу в программе простой, понятной и удобной.

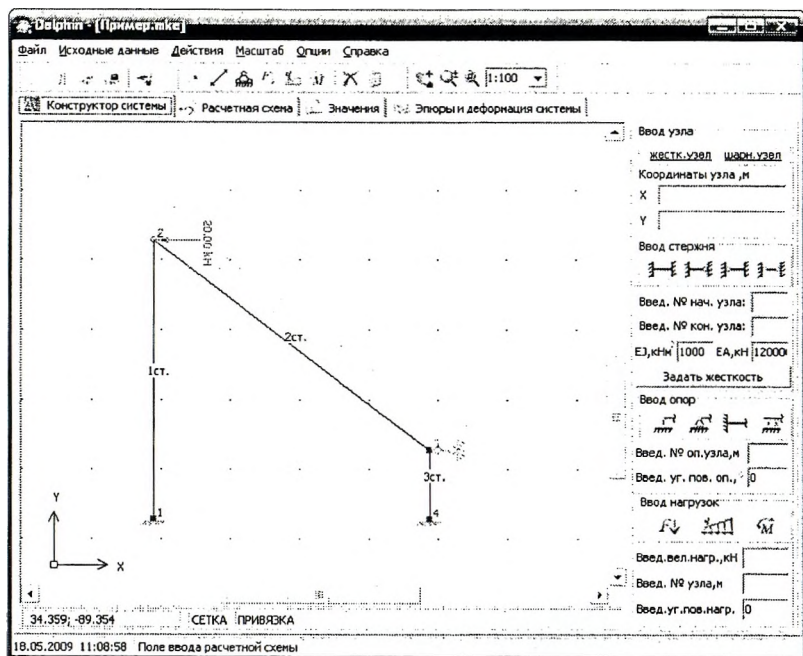


Рисунок 2 – Интерфейс программы «SiriusPlus»

Программа позволяет получить усилия (изгибающие моменты, поперечные и продольные силы) в плоских стержневых системах от статического действия сосредоточенных и распределенных нагрузок, а также деформированный вид рассматриваемых систем. Исходные данные результатов расчетов представляются как в табличном, так и в графическом видах.

Достоинствами программы являются:

- возможность учета упругой податливости присоединения стержней к узлам;
- возможность приложения к системам нагрузок, распределенных по треугольному и трапециидальному законам;
- практически неограниченное число узлов и стержней системы (определяются ресурсами компьютера);
- возможность группового выделения узлов или стержней с целью одновременного изменения их характеристик (координат, нагрузок, жесткостей);
- возможность анализа расчетных схем на изменяемость;
- возможности масштабирования, перемещения и удобного представления графических объектов;
- возможности удобного представления таблиц исходных данных и результатов расчета (формат чисел, размеры ячеек, шрифты, выравнивание);
- возможность просмотра для каждого узла, стержня и для системы в целом любой матрицы, используемой в процессе решения.

Программа имеет «Помощь», содержащую краткие сведения о методе расчета и информацию о работе в программе и с программой.

Основное окно программы, открывающееся при ее запуске, содержит меню, в котором представлены все основные инструменты работы с программой, включая:

- меню «Файл» («Создать», «Открыть», «Сохранить», «Сохранить как...», «Экспорт результатов в MS\_Word», «Печать», «Выход»);

- меню «Исходные данные» – показывает списки введенных узлов, стержней, опор, сосредоточенных и распределенных нагрузок, изгибающих моментов;

- меню «Расчетная схема», позволяющее создавать узлы и стержни, редактировать и удалять их, а также задавать загрузки и типы жесткостей;

- меню «Инструменты», содержащее инструменты и команды: «Конструктор системы», с помощью которого выполняется создание, редактирование системы и вся работа с ней; «Список элементов» (узлов и стержней), позволяющий выделять их и работать с ними; «Эпюры и деформации», «Результаты расчета», представляющие результаты расчета в табличном виде; «Матрица элемента», дающая возможность просмотреть для выделенного стержня любую из матриц;

- меню «Решение», содержащее команды – «Предварительный анализ системы» (проверяется неизменяемость системы), «Расчет» (запускает систему на расчет); «Эпюры системы», «Деформации системы», «Перемещения узлов», «Усилия в стержнях», «Матрицы системы», «Матрицы элемента», «Создание отчета»;

- меню «Справка».

Многие из указанных команд открывают свои окна со своими наборами функций и команд. Для удобства пользователя большинство команд продублировано на панели инструментов (рис. 2, 3).

После нажатия кнопки «Расчет» в программе становятся доступны вкладки «Значения», «Эпюры и деформации системы».

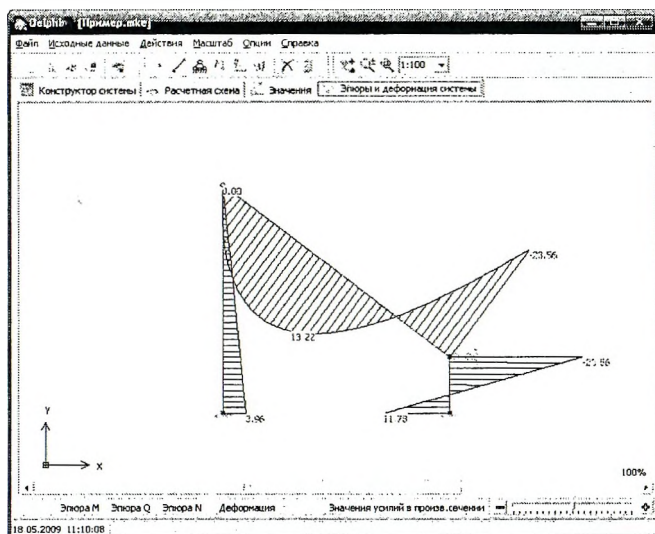


Рисунок 3 – Окно эпюры моментов

**Заключение.** Разработаны методика и алгоритм расчета плоских стержневых систем методом конечных элементов с учетом упруго-податливого соединения элементов в узлах на неподвижные нагрузки.

Изложены и обсуждаются принципы, положенные в основу компьютерной программы, приведены расчетные зависимости используемых методов расчета, описаны интерфейс программы и принципы ее использования, представлен пример расчета.

Программа «SiriusPlus», с нашей точки зрения, создает условия и базу для более глубокого изучения методов расчета и понимания физических основ работы сооружений, способствует интенсификации и активизации учебного процесса, индивидуализации познавательной деятельности, развитию творческого и инженерного мышления будущих специалистов.

#### **Список цитированных источников**

1. Борисевич, А.А. Строительная механика: учебное пособие / А.А. Борисевич, Е.М. Сидорович, В.И. Игнатюк. – Мн.: БНТУ, 2007. – 821 с.
2. Игнатюк, В.И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем: учебное пособие. – Брест: БрГТУ, 2007. – 172 с.

УДК 681.3:624.04

## **УЧЕБНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА РАСЧЕТА БАЛОК НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ НАГРУЗКИ**

**Жданов Д.А., Игнатюк В.И.**

*Брестский государственный технический университет, г. Брест*

**Введение.** Применение ЭВМ в учебном процессе – это необходимость сегодняшнего дня, позволяющая облегчить трудоемкие вычислительные процессы при выполнении расчетов, расчетно-проектировочных и курсовых работ, выполнять исследование работы сооружений, интенсифицировать учебный процесс.

**Метод расчета.** Рассматривается статический расчет балок на упругом основании (рис.1) методом местных упругих деформаций с использованием следующих гипотез и допущений:

– принимается, что основание (грунт) обладает упругими свойствами и его деформация пропорциональна прикладываемой нагрузке;

– считаем, что между опорной поверхностью балки и основанием существует неразрывная связь, поэтому теоретически в основании могут возникать и растягивающие усилия;

– принимается, что реактивные силы, возникающие в точках основания, пропорциональны упругим осадкам (перемещениям) этих точек.