

УДК 624.04(07)

Игнатюк В. И.

## О ПРИНЦИПАХ И ПОДХОДАХ К ИЗУЧЕНИЮ ОСНОВ МКЭ В РАСЧЕТАХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ СТУДЕНТАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ ПГС В БГТУ

Метод конечных элементов (МКЭ) сегодня широко используется в расчетах строительных конструкций и сооружений, как непосредственно, так и при использовании современного программного обеспечения для ЭВМ (ПЭВМ) – Лира, Мираж, Nastran и т. д. Эти программы при работе с ними являются «черным ящиком» для пользователя, не знающего реализованной в программах процедуры расчета. Для раскрытия этого «черного ящика» необходимо знать и понимать суть применяющихся в программах методов расчета и принципов их реализации и использования. Поэтому знание метода конечных элементов студентами специальности 70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» сегодня является необходимым условием выпуска специалистов современного уровня.

Изучение метода конечных элементов в расчетах стержневых систем студентами специальности ПГС в Брестском государственном техническом университете осуществляется в рамках курса «Современные методы расчета сложных строительных систем», читаемого на 4-ом курсе обучения.

Изложение материала в курсе построено по принципу «от простого к сложному», что позволяет студентам лучше понять суть метода конечных элементов. Все вопросы вначале излагаются применительно к более простым сооружениям – плоским стержневым системам, а затем последовательно применяются к все более сложным системам – к системам перекрестных балок, к пространственным фермам, к произвольным пространственным стержневым системам и к задачам динамики. Вывод основных зависимостей и соотношений метода конечных элементов выполняется для плоских стержневых сооружений, а затем эти зависимости распространяются на остальные системы.

В начале курса излагаются основные положения, лежащие в основе метода, подходы и принципы при реализации метода конечных элементов, в том числе и применительно к континуальным системам, обсуждаются принципы получения расчетной дискретной модели и подходы к ее описанию, рассматриваются аппроксимирующие функции различных типов конечных элементов.

Далее подробно рассматривается процедура метода конечных элементов применительно к расчету плоских стержневых систем. Выводятся основные зависимости метода, которые остаются справедливыми при расчете и более сложных систем, рассматриваемых далее, а также континуальных систем. На основе вариационного принципа Лагранжа или минимизации полной потенциальной энергии системы выводятся соотношения между усилиями и перемещениями, получаются разрешающие уравнения, выражения для определения усилий в конечных элементах, рассматриваются принципы преобразования координат, общая схема расчета и т. д. Детальное изложение всех этих вопросов на примерах простых систем способствует более глубокому пониманию сути и принципов метода конечных элементов.

Выводятся и приводятся зависимости (матрицы жесткости и вектора усилий) также для случаев упруго-податливого присоединения конечных элементов к узлам, в том числе при действии нагрузок, распределенных по треугольному и трапециидальному законам [1].

Подробно рассматриваются особенности расчета отдельных видов плоских стержневых систем – рам, балок, ферм, а также принципы расчета МКЭ плоских рам без учета продольных деформаций, что соответствует классическим методам расчета – методу сил, методу перемещений, и, таким образом, показывается взаимосвязь методов расчета.

Далее изучаются особенности и принципы расчета МКЭ систем перекрестных балок (СПБ), пространственных ферменных структур и наиболее общего случая – произвольных пространственных стержневых систем. Получаются основные зависимости и выражения применительно к этим системам, в том числе с учетом упругой податливости присоединения к узлам [4], и рассматривается реализация метода на примерах расчетов.

В конце изучается решение методом конечных элементов задач динамики для рассмотренных ранее систем. Приводятся уравнения для определения частот свободных колебаний и зависимости для расчета динамических эпюр усилий при гармонических нагрузках.

Рассматриваемый курс достаточно подробно изложен в учебном пособии автора [5].

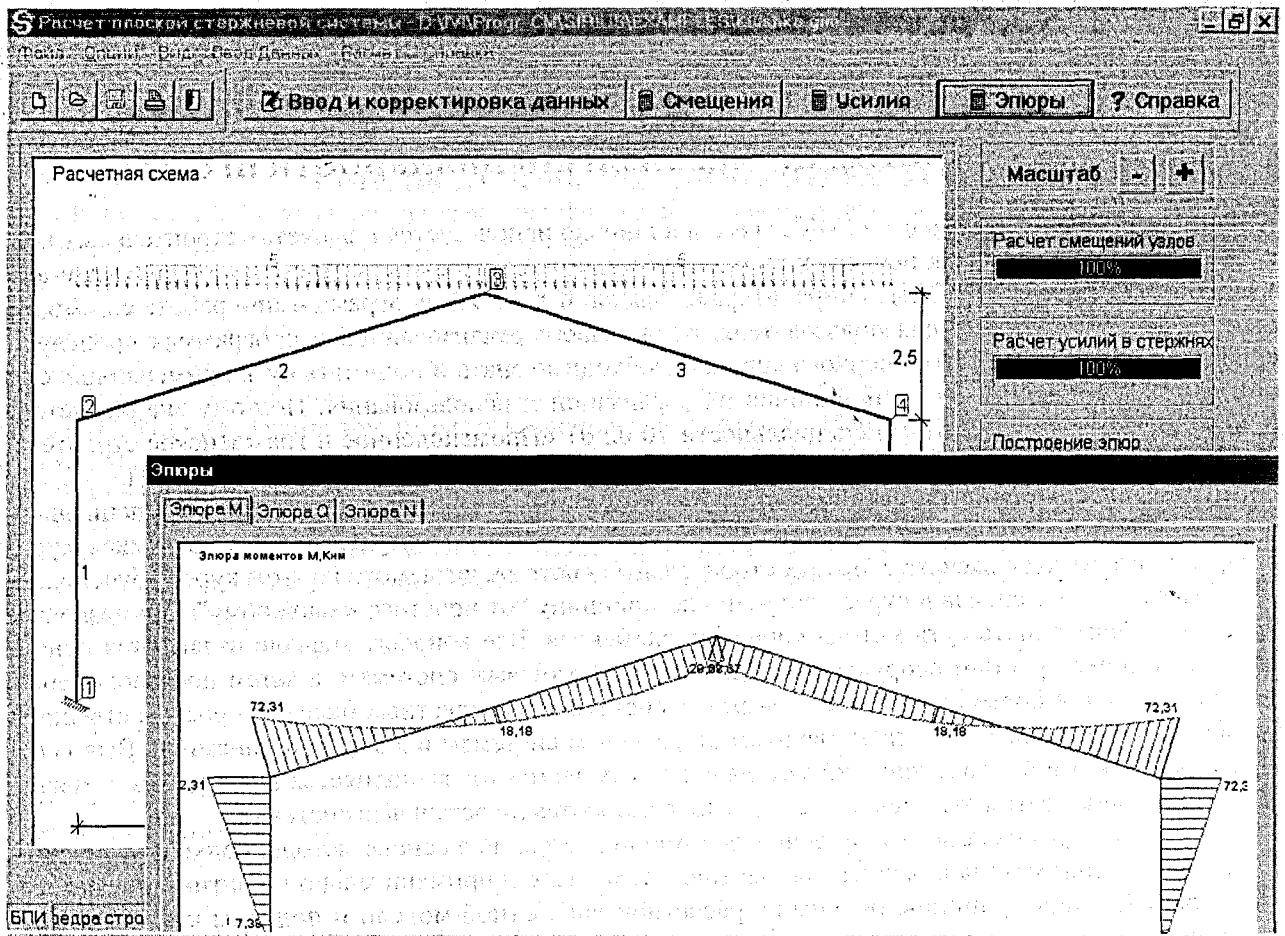


Рисунок 1 – Интерфейс программы «SIRIUS»

В процессе изучения курса производится решение задач по всем разделам, которое выполняется как вручную – с подробным выполнением всех этапов расчета, так и с использованием специальных компьютерных программ, разработанных на кафедре строительной механики. Эти программы, кратко представленные ниже, имеют развитые таблично-графические интерфейсы ввода исходных данных и представления результатов расчета, позволяют анализировать как процесс решения задач, так и распределение усилий и перемещений (деформирования систем) с изменением их характеристик и параметров, обладают простотой и удобством в работе, контролем правильности ввода ряда параметров и решения задач. Все это важно при использовании программ в учебном процессе.

«SIRIUS» – программа расчета плоских стержневых систем на действие статических нагрузок (авторы – Игнатьюк В. И., Гойшик И. М.) [3]. Программа имеет простой и очень удобный интерфейс работы с ней (рис. 1).

«VEGA» – программа расчета плоских стержневых систем при действии статических нагрузок (авторы – Игнатьюк В. И., Богомолов Д. В.). Программа позволяет рассчитывать плоские стержневые системы как в классической постановке, так и с учетом упруго-податливого присоединения конечных элементов к узлам при действии нагрузок, распределенных по треугольному и трапециевидальному законам [2]. Основы пользовательского интерфейса программы представлены на рис. 2.

«ORION» – программа расчета произвольных пространственных стержневых систем при действии статических нагрузок (авторы – Игнатьюк В. И., Бондарук Н. С.) [1]. Программа, дополнительно к вышеуказанным характеристикам интерфейса, позволяет задавать удобный вид графических изображений (включая их масштабирование, повороты, вращение) и представления численных результатов (вид и размер ячеек таблиц, единицы измерения величин, формат чисел и т. д.), просмотреть усилия в каждой из стержней и т. п. (рис. 3). Все это делает программу ценной при использовании в учебном процессе.

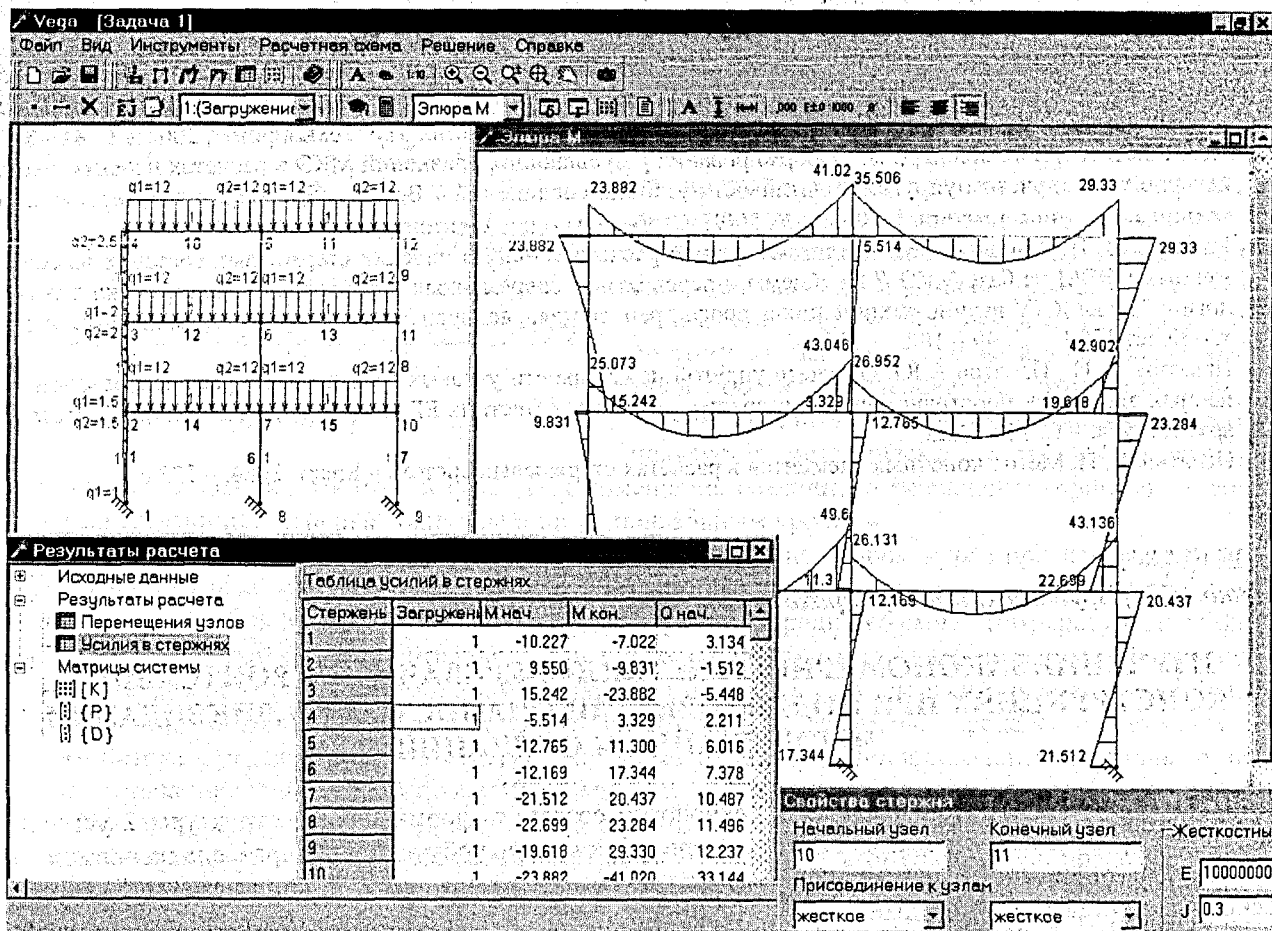


Рисунок 2 – Интерфейс программы «VEGA»

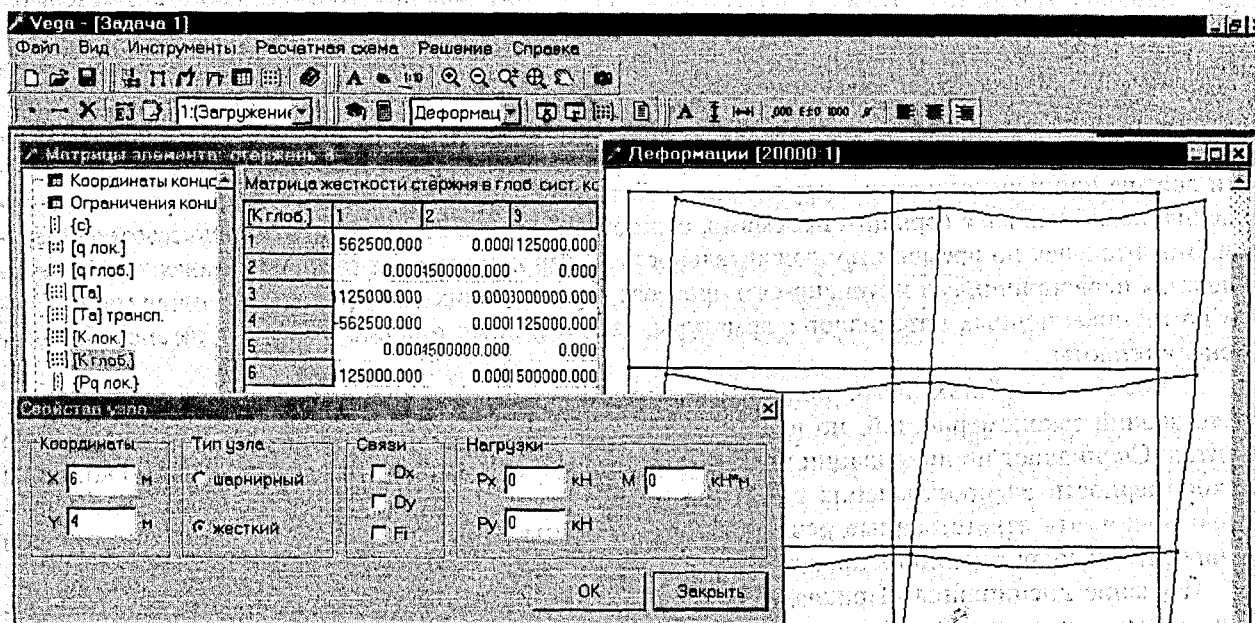


Рисунок 3 – Интерфейс программы «ORION»

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игнатюк В. И., Бондарук Н.С. Расчет на ПЭВМ пространственных стержневых систем на базе МКЭ (Программа ORION) // Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: Теория и практика: Материалы междунар. научно-техн. конф., Минск, 21–22 марта 2002 г. – Мн.: УП “Технопринт”, 2002. – С. 81 – 87.
2. Игнатюк В. И., Богомолов Д. А. О формировании разрешающих уравнений МКЭ в расчетах плоских стержневых систем с учетом упругой податливости узловых соединений // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2003. – № 1(19): Строительство и архитектура. – С. 70 – 74.
3. Игнатюк В. И., Гойшик И.М. Об автоматизации расчета усилий в плоских стержневых системах на современных ПЭВМ на базе МКЭ // Проблемы и перспективы современных строительных конструкций и технологий: Труды XXV научно-технич. конф. проф.-преп. состава, аспирантов и студентов / Брест, политехн. ин.-т. – Брест, 1998. – С. 99 – 102.
4. Игнатюк В. И., Игнатов А.Ю. Об учете упругой податливости узловых соединений в расчетах методом конечных элементов пространственных стержневых систем / Вестник БГТУ. – 2004. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 118 – 122.
5. Игнатюк В. И. Метод конечных элементов в расчетах стержневых систем. – Брест, 2004. – 172 с.

УДК 614.841

*Котов Г.В., Врублевский А.В., Гороховик М.В., Гарбуль И.В.*

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Разработка новых дидактических технологий создания, формирования структуры и усвоения материала требует использования наиболее передовых методов обучения и направлена на повышение уровня подготовки молодых специалистов. Изучение процессов переноса теплоты является одним из основных составляющих подготовки специалистов по ликвидации чрезвычайных ситуаций. Знание закономерностей теплопередачи лежит в основе систематического осмысления возникновения, распространения и характера пожара.

Одной из важнейших причин возникновения и распространения пожара является прогрев строительных конструкций выше предельно допустимого уровня. Теплопередача через элементы конструкций может приводить к значительному повышению температуры в смежном с горящим помещении, либо к самовоспламенению примыкающих к перегородке предметов из горючего материала (мебели, элементов покрытий и пр.).

Характеристики элементов, используемых при строительстве зданий и сооружений, оказывают решающее влияние на степень пожароопасности зданий. Конструкция сооружения в целом определяет движение конвективных потоков воздуха и дымовых газов. Наличие вертикальных шахт и внутриперегородочных полостей способствует распространению тепла в объеме здания и увеличению площади пожара или переходу его на другие этажи. В то же время пожар может распространяться в помещения, не связанные с горящим проемами, ответственными за это становятся процессы теплопередачи. Значительная по времени продолжительность пожаров и высокая среднеобъемная температура становятся первопричинами интенсивного прогрева ограждающих конструкций. Наличие металлических коммуникационных материалов и арматуры, недостаточная толщина перегородок способствуют переносу теплоты.

К числу важнейших задач подготовки молодых специалистов относится формирование не только знаний закономерностей, но и понимания их природы и факторов, определяющих характер развития. Специалист по ликвидации чрезвычайных ситуаций должен знать причины возникновения и закономерности распространения пожаров, уметь анализировать сложившуюся ситуацию и правильно принимать ответственные решения, владеть приемами прекращения пожаров, определять и планировать мероприятия по их предотвращению.

Изучение дисциплины «Прикладная термодинамика» в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь направлено на формирование у курсантов научных представлений о причинах распространения пожаров и характере протекающих процессов, среди которых теплопередача занимает одно из главных мест.