

оценок. Достоинства его для определения уровня освоения компетенций будущим специалистом очевидны.

По мнению авторов данной статьи, наиболее интересными и востребованными учреждениями высшего образования технического профиля являются метод проектов, метод Дельфи, модульное-рейтинговая система оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Макет образовательного стандарта высшего образования I ступени [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nihe.bsu.by/info.php>. – Дата доступа: 01.10.2013.

2. Горбачев, В.В. Модульно-рейтинговая система в образовательной деятельности вузов / В.В. Горбачев, Н.Н. Добролюбов. – Минск: УМЦ Минсельхозпрод, 2004. – 28 с.

3. Белокоз, Е.И. Проектирование систем оценки качества образования в условиях реализации стандартов нового поколения / Е.И. Белокоз, Ю.Э. Белых, Ю.Я. Романовский // Высшая школа. – 2013. – №4. – С. 25-27.

УДК 57.2 (075.8)

Юркевич Н.П., Латарцев А.А.

### **ИНТЕГРИРОВАНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ В СРЕДУ ОБУЧЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ**

*БНТУ, Минск*

*The technique of integration of application programs in course of the general physics is offered. The task of deforming of steel beams is considered. The equivalent tension according to Mises and offsets in nodes of a finite and element grid is calculated. Comparing with the experimental data for brand 35 steel is executed.*

Подготовка инженерных кадров в системе высшего образования требует внедрения в учебный процесс современных технологий, используемых в практических приложениях.

Поэтому при изучении курса общей физики целесообразно использовать прикладные программные комплексы и разрабатывать такие методики обучения, которые позволяли бы студентам знания физических законов и закономерностей, процессов и явлений применять осознанно. Одним из таких программных комплексов мирового уровня в области конечно-элементных расчетов является Abaqus/CAE. С предоставлением в Интернете свободного доступа к безлицензионной версии Abaqus Student Edition появилась возможность разработки новых подходов преподавания курса общей физики, которые позволяют существенно повысить не только заинтересованность студентов в изучении физических процессов, но и подготовить высококвалифицированных специалистов с хорошей фундаментальной базой.

При изучении в курсе общей физики закономерностей деформированного состояния материалов была поставлена задача расчета и анализа в сечениях двумерных балок из стали различной геометрической формы эквивалентных напряжений по Мизесу, а также величин смещений (рисунок 1, *a*).

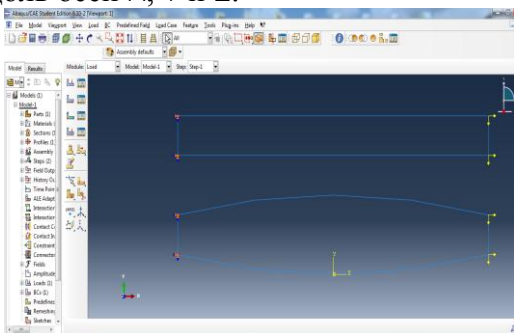
Размеры изучаемых балок составляли: длина 10,0 м, ширина 1,0 м, расстояние между двумя наиболее удаленными точками дуг окружностей для балки непрямоугольной формы 3,0 м.

Входными характеристиками для расчетов являлись: модуль Юнга  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,3$  и плотность стали  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>. Один из концов балок был жестко закреплен, на другой подавалась нагрузка в горизонтальном и вертикальном направлениях величиной по 1000 Н.

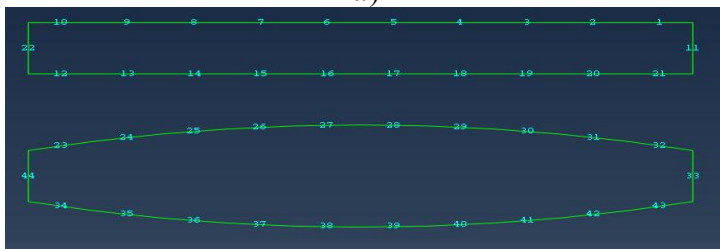
Для заданных условий модели балок разбивались на 22 конечных элемента, в которых рассчитывались смещения при деформировании и эквивалентные напряжения по Мизесу. В общем случае эквивалентное напряжение по Мизесу определяется следующим образом

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

где  $\zeta_x, \zeta_y, \zeta_z, \eta_{xy}, \eta_{yz}, \eta_{zx}$  – нормальные и тангенциальные напряжения вдоль осей  $X, Y$  и  $Z$ .



a)



б)

Рисунок 1 – Моделирование балок из стали: а) геометрические модели; б) конечно-элементная сетка с указанием номеров узлов

Напряжение по Мизесу является инвариантом, так как не зависит от ориентации сечения. Используется для изотропных материалов, имеющих вязкий характер разрушения, к которым относится большинство металлов. Материал начинает повреждаться, когда максимальная величина эквивалентного напряжения по Мизесу становится равной пределу текучести. Расчет показал, что максимальные и минимальные

эффективные напряжения по Мизесу равны: для балки прямоугольной формы  $\zeta_{Mmax} = 18,98$  МПа,  $\zeta_{Mmin} = 673$  кПа, для балки непрямоугольной формы со сторонами в виде дуг окружностей  $\zeta_{Mmax} = 19,40$  МПа,  $\zeta_{Mmin} = 1,34$  МПа. В таблице приведены данные по пределам текучести и прочности для стали марки 35, с которыми студенты должны сравнить расчетные значения и сделать выводы.

На рисунке 2 на основе расчетных данных построены зависимости эквивалентных напряжений по Мизесу от номера узла конечно-элементной сетки для балок исследуемых форм. Для корректного анализа сравниваются величины эффективных напряжений по Мизесу в соответственных узлах балок: 1 и 32, 2 и 31, 3 и 30 и т.д. по всем 22 узлам.

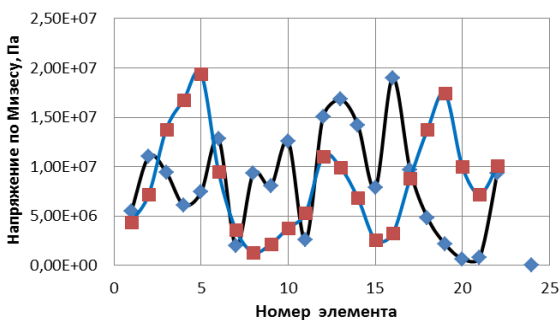


Рисунок 2 – Величина эквивалентного напряжения по Мизесу в соответствующих узлах конечно-элементной сетки:  $\blacklozenge$  – балка прямоугольной формы;  $\blacksquare$  – балка со сторонами в виде дуг окружности

На рисунках 3, 4 показано деформирования стальных балок и смещение в соответственных узлах конечно-элементной сетки, рассчитанные при помощи Abaqus Student Edition. Полученные зависимости студенты должны проанализировать и сделать выводы.

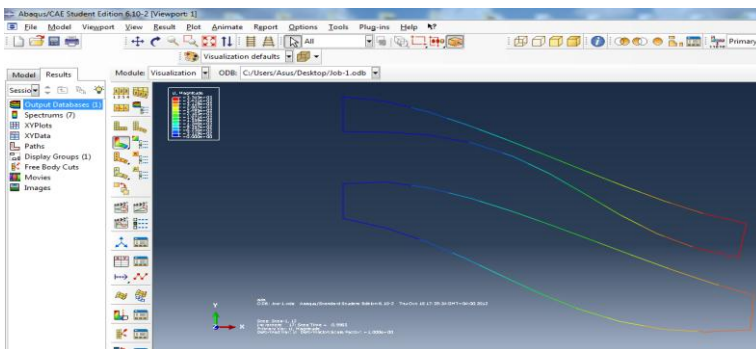


Рисунок 3 – Деформирование балок из стали и смещение в узлах конечно-элементной сетки

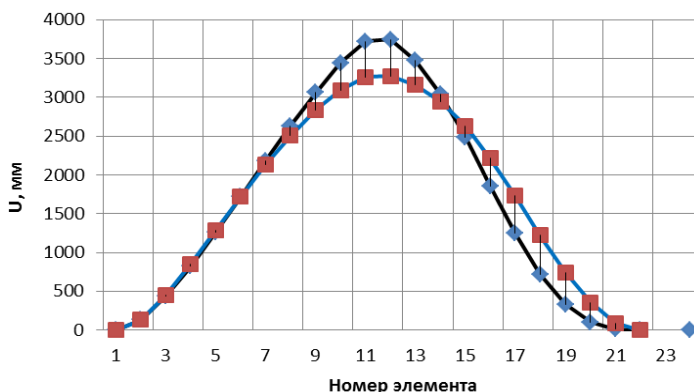


Рисунок 4 – Величина смещений в узлах конечно-элементной сетки:  $\blacklozenge$  – балка прямоугольной формы;  $\blacksquare$  – балка со сторонами в виде дуг окружности

Таким образом, студенты, используя программный комплекс Abaqus, получают опыт применения в конкретных практических приложениях знаний, полученных в курсе общей физики, что имеет важное значение для инженерно-технических специальностей.

Таблица – Механические характеристики стали по  
ГОСТ 1050-88

Марка стали 35, Температура 20 °С	Пре- дел теку- чества $\zeta_t$ , МПа	Предел прочности $\zeta_{пр}$ , МПа
Сортовой прокат, режим термооб- работки - ормализация	315	530
Сортовой прокат до 16 мм, режим термообработки - закалка, отпуск	430	630-780
Сортовой прокат от 16 до 40 мм, режим термообработки, закалка, от- пуск	380	600-750