

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**
по дисциплине «Использование метода конечных элементов в
энергомашиностроении»

Цель и задачи выполнения лабораторных работ

Лабораторные работы по дисциплине «Использование метода конечных элементов в энергомашиностроении» выполняются студентами в 8 семестре. Целью выполнения лабораторных работ является закрепление знаний полученных в ходе лекционных занятий, приобретение навыков работы расчетной программой SolidWorks Simulation (SWS) и опыта в выполнении численного моделирования.

Всего в курсе предусмотрено выполнение двух лабораторных работ:

1. Лабораторная работа №1 «Расчет балки на изгиб».
2. Лабораторная работа №2 «Исследование влияния размера КЭ на результаты расчета».

1. Лабораторная работа №1 «Расчет балки на изгиб».

Цель работы: - знакомство с интерфейсом программы *SolidWorks* и модулем КЭ расчетов *Simulation*;

- получения навыков в создании 3-х мерной геометрии;
- получение навыков в создании расчетной модели и анализе полученных результатов;
- сравнение результатов аналитического и численного расчетов.

Задача:

Выполнить расчет балки на изгиб аналитически и численным методом - в программе *SolidWorks Simulation* и сравнить полученные результаты расчетов. Расчетная схема представлена на рис.1.

Размеры балки – a , b , а также сила тяжести F , выбираются из таблицы в приложении согласно варианту задания.

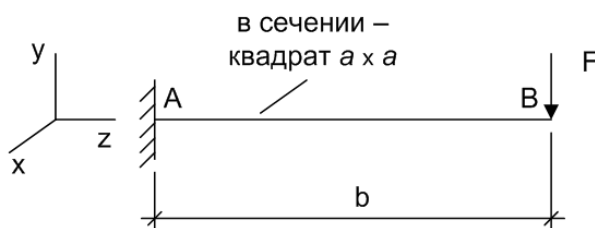


Рис. 1 Расчетная схема

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретическую часть работы.

2. Рассчитать на изгиб балку методом конечных элементов в программе *SolidWorks Simulation* и построить эпюру напряжений изгиба (распределение напряжений изгиба по длине стержня).

2.1. Построить балку в программе *SolidWorks* по размерам рис. 1 в соответствии с вариантом расчета. Построение осуществляется помощью команды в верхнем меню программы:

- «Вставка > Бобышка/Основание > Вытянуть».

На выбранной плоскости («Спереди») рисуется квадрат с размерами - $a \times a$ и после завершения эскиза, нарисованное сечение протягивается на длину b .

2.2. Создать новый анализ на прочность – «статический линейный».

2.3. Задать свойства материала балки. Материал – сталь:

- Модуль упругости – $2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

- Коэффициент Пуассона – 0,3;

- Плотность – 7800 кг/м^3 .

2.4. Задать закрепление, моделирующее жесткую заделку.


2.5. Задать силу F , приложенную к верхнему ребру в направлении перпендикулярно оси балки.

2.6. Создать сетку конечных элементов с максимальным размером элемента, равным a (сторона сечения балки).

2.7. Запустить расчет. В результате расчета становятся доступными для просмотра напряжения, перемещения и деформации детали.

2.8. Для отображения в окне модели распределения напряжений на детали по цвету, необходимо <нажать правую клавишу мыши на пункте меню «Результаты» в дереве модели>. Из всех доступных напряжений необходимо выбрать для отображения напряжение, соответствующее напряжению изгиба (см. рис. 3).

2.9. Эпюру напряжений изгиба вдоль оси балки можно построить с помощью инструмента «Выбранный список» <нажать правую клавишу мыши на названии отображенной эпюры в дереве модели>. В окно для выбора геометрии необходимо выбрать продольное ребро балки со стороны максимальных напряжений, нажать кнопку

«ОБНОВИТЬ», а после обновления результатов нажать кнопку «» (ЭПЮРА). После этого появится окно с графиком.

3. Рассчитать напряжения изгиба в стержне аналитически. Нанести полученную эпюру на график с результатами численного расчета.

4. Сравнить полученные результаты, оценить погрешность моделирования численным методом, сделать выводы по результатам работы.

Теоретическая часть

При расчете на прочность, помимо нагрузок (сосредоточенные и распределенные силы, изгибающие и крутящие моменты) необходимо задать условия закрепления, т.е. ограничить перемещение частей детали как минимум в трех направлениях. На рис. 2 показаны возможные закрепления стержней при расчете на изгиб:

а – шарнирная подвижная опора передает вертикальное усилие на неподвижное основание (фиксирует одну степень свободы тела);

б – шарнирная неподвижная опора передает вертикальное и горизонтальное усилие на неподвижное основание (фиксирует две степени свободы);

в – заделка передает вертикальное, горизонтальное усилие и момент на неподвижное основание (фиксирует три степени свободы).

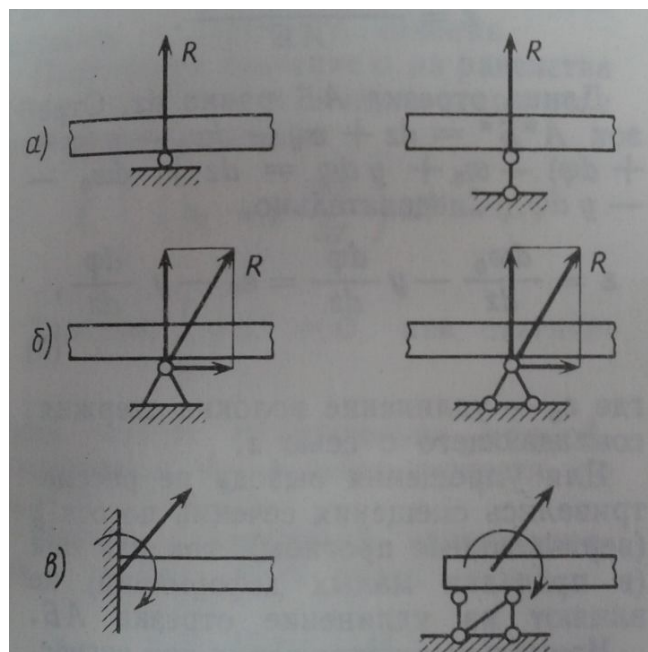


Рис. 2 Опорные закрепления балки:

а – шарнирная подвижная опора; б – шарнирная неподвижная опора; в – заделка.

К балке (см. рис. 1) приложена сила F в т. В.

В т. А балка имеет закрепление в виде жесткой заделки. При этом ограничены три степени свободы – перемещения в направлении Y и Z , а также угол поворота относительно оси X , перемещения и поворот в других направлениях мы не рассматриваем, т.к. нагрузка действует только в плоскости YZ . В результате закрепление можно заменить тремя реакциями опоры: перемещения R_y и R_z и момент реакции заделки M_x .

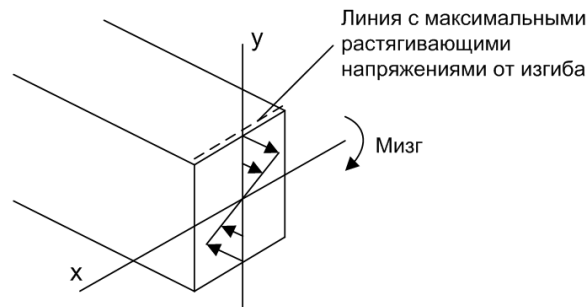


Рис. 3 Изгиб стержня

Напряжение от изгиба – это максимальное нормальное напряжение в данном сечении стержня (см. рис. 3). Величина напряжения изгиба рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{и} = M_x / W_x \text{ (Па)}, \quad (1)$$

здесь, M_x - изгибающий момент в Н*м.

Момент сопротивления изгибу стержня квадратного сечения:

$$W_x = W_y = a^3/6 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2)$$

где a – сторона квадрата, м.

Эпюра изгибающего момента рассчитывается по известным формулам из курса «Сопротивление материалов». На эпюре момента знак не ставится, а эпюра строится со стороны сжатых волокон. На ее основе, по формуле (1), строится эпюра напряжений изгиба.

Погрешность численного расчета можно оценить путем сравнения результатов (рассчитанных значений напряжений) с эталоном, т.е. с аналитическим решением:

$$\delta = (\sigma_{и а} - \sigma_{и ч}) / \sigma_{и а} \times 100\% \quad (3)$$

, где $\sigma_{и а}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате аналитического решения;

$\sigma_{и ч}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате численного решения;

Требования к отчету

Отчет должен содержать описание хода выполнения всей лабораторной работы (с помощью каких команд меню было выполнено то или иное действие) и скриншоты (иллюстрации) по всем основным этапам работы:

1. 3-D модель;
2. КЭ модель;
3. Эпюра напряжений на 3-D модели – заливка цветом;
4. Эпюры напряжений изгиба вдоль оси балки, полученные в результате численного расчета. Эпюра, полученная в результате аналитического расчета, нанесенная на тот же график.

По данным эпюрам необходимо рассчитать погрешность численного расчета для каждого размера КЭ.

В выводе необходимо:

- отразить результат выполненной работы;
- указать погрешность численного решения, проанализировать от чего она зависит.

Исходные данные

Сила F и размеры балки a и b выбираются из таблицы согласно варианту задания.

Таблица

| Вариант задания | $a, мм$ | $b, мм$ | Сила $F, Н$ |
|-----------------|---------|---------|-------------|
| 1 | 10 | 100 | 100 |
| 2 | 20 | 100 | 200 |
| 3 | 30 | 100 | 300 |
| 4 | 10 | 150 | 400 |
| 5 | 20 | 150 | 500 |
| 6 | 30 | 150 | 600 |
| 7 | 10 | 200 | 700 |
| 8 | 20 | 200 | 800 |
| 9 | 30 | 200 | 100 |
| 10 | 10 | 250 | 200 |
| 11 | 20 | 250 | 300 |
| 12 | 30 | 250 | 400 |
| 13 | 10 | 300 | 500 |
| 14 | 20 | 300 | 600 |
| 15 | 30 | 300 | 700 |
| 16 | 10 | 350 | 800 |

2. Лабораторная работа №2 «Исследование влияния размера КЭ на результаты расчета».

Цель работы: - оценить влияние размера КЭ на результаты расчета.

- сравнение результатов аналитического и численного расчетов для разных размеров КЭ.

Задача:

Выполнить расчет балки на изгиб аналитически и численным методом по заданию и варианту, указанным в Лабораторной работе №1, но с размерами КЭ:

1. Размер стороны равен a .
2. Размер стороны равен $a/2$.
3. Размер стороны равен $a/4$.

Порядок выполнения работы

1. Построить балку в программе *SolidWorks* по размерам в соответствие с заданием к Лабораторной работе №1.

2. Выполнить расчет с размером КЭ a .

3. Выполнить расчет с размером КЭ $a/2$

4. Выполнить расчет с размером КЭ $a/4$.

5. Построить эпюры распределения напряжений изгиба вдоль оси балки для расчета с указанными размерами КЭ.

6. Рассчитать напряжения изгиба в стержне аналитически. Нанести полученную эпюру на графики с результатами численного расчета – с размеров КЭ равным a , $a/2$ и $a/4$.

7. Сравнить полученные результаты, оценить погрешность моделирования численным методом, сделать выводы по результатам работы.

Теоретическая часть

При расчете на прочность, помимо нагрузок (сосредоточенные и распределенные силы, изгибающие и крутящие моменты) необходимо задать условия закрепления, т.е. ограничить перемещение частей детали как минимум в трех направлениях. На рис. 2 показаны возможные закрепления стержней при расчете на изгиб:

а – шарнирная подвижная опора передает вертикальное усилие на неподвижное основание (фиксирует одну степень свободы тела);

б – шарнирная неподвижная опора передает вертикальное и горизонтальное усилие на неподвижное основание (фиксирует две степени свободы);

в – заделка передает вертикальное, горизонтальное усилие и момент на неподвижное основание (фиксирует три степени свободы).

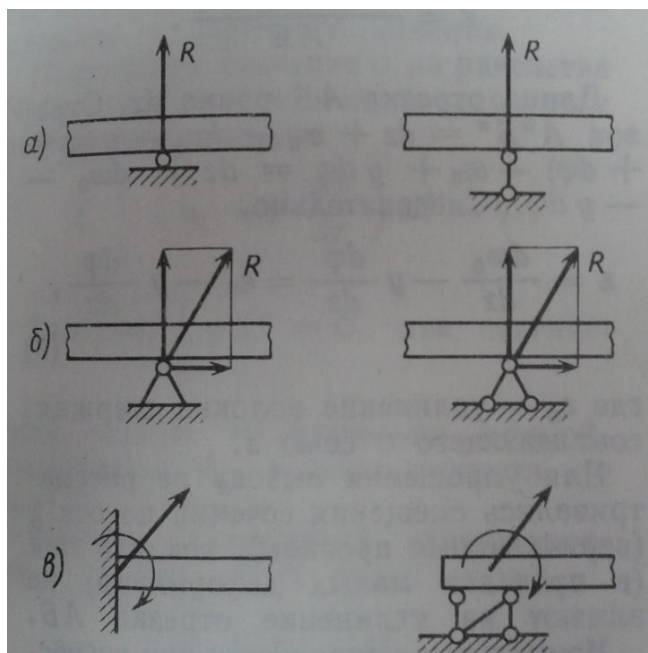


Рис. 2 Опорные закрепления балки:

а – шарнирная подвижная опора; б – шарнирная неподвижная опора; в – заделка.

К балке (см. рис. 1) приложена сила F в т. В.

В т. А балка имеет закрепление в виде жесткой заделки. При этом ограничены три степени свободы – перемещения в направлении Y и Z , а также угол поворота относительно оси X , перемещения и поворот в других направлениях мы не рассматриваем, т.к. нагрузка действует только в плоскости YZ . В результате закрепление можно заменить тремя реакциями опоры: перемещения R_y и R_z и момент реакции заделки M_x .

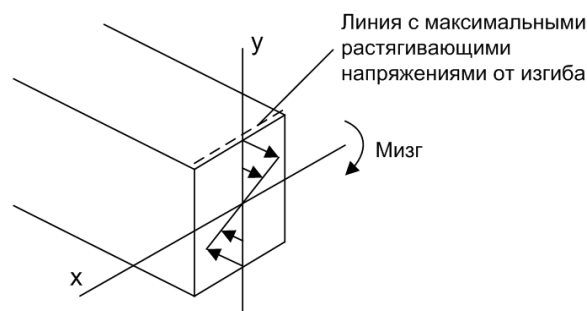


Рис. 3 Изгиб стержня

Напряжение от изгиба – это максимальное нормальное напряжение в данном сечении стержня (см. рис. 3). Величина напряжения изгиба рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{и} = Mx / Wx \text{ (Па)}, \quad (1)$$

здесь, Mx - изгибающий момент в Н*м.

Момент сопротивления изгибу стержня квадратного сечения:

$$Wx = Wy = a^3/6 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (2)$$

где a – сторона квадрата, м.

Эпюра изгибающего момента рассчитывается по известным формулам из курса «Сопротивление материалов». На эпюре момента знак не ставится, а эпюра строится со стороны сжатых волокон. На ее основе, по формуле (1), строится эпюра напряжений изгиба.

Погрешность численного расчета можно оценить путем сравнения результатов (рассчитанных значений напряжений) с эталоном, т.е. с аналитическим решением:

$$\delta = (\sigma_{и а} - \sigma_{и ч}) / \sigma_{и а} \times 100\% \quad (3)$$

, где $\sigma_{и а}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате аналитического решения;

$\sigma_{и ч}$ – напряжение изгиба (МПа), полученное в результате численного решения;

Требования к отчету

Отчет должен содержать описание хода выполнения всей лабораторной работы (с помощью каких команд меню было выполнено то или иное действие) и скриншоты (иллюстрации) по всем основным этапам работы:

1. 3-D модель;
2. КЭ модель;
3. Эпюра напряжений на 3-D модели – заливка цветом;

4. Эпюры напряжений изгиба вдоль оси балки, полученные в результате численного расчета с различными размерами КЭ (3 графика). Эпюра, полученная в результате аналитического расчета, нанесенная на те же графики.

По данным эпюрам необходимо рассчитать погрешность численного расчета для каждого размера КЭ.

В выводе необходимо:

- отразить результат выполненной работы;
- указать погрешность численного решения, проанализировать от чего она зависит.

ЛИТЕРАТУРА

1. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонов А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.: ил.
2. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 448 с.: ил.
3. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010. 464 с., ил.
4. Алямовский А.А. SolidWorks/CosmosWorks Инженерные анализ методом конечных элементов М.: ДМК Пресс, 2004. - 432 с., ил.
5. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иоселевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.: ил.
6. Петров В.Б. Расчет деталей двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов // Методические указания к практическим занятиям., Ч.2 – Владимир: ВлГУ. – 1999,– 40с.
7. Петров В.Б. Расчет деталей двигателей внутреннего сгорания методом конечных элементов / Петров В.Б., Иванченко А.Б. // Методические указания к практическим занятиям, Ч.2 – Владимир: ВлГУ. – 2001. – 64 с.