

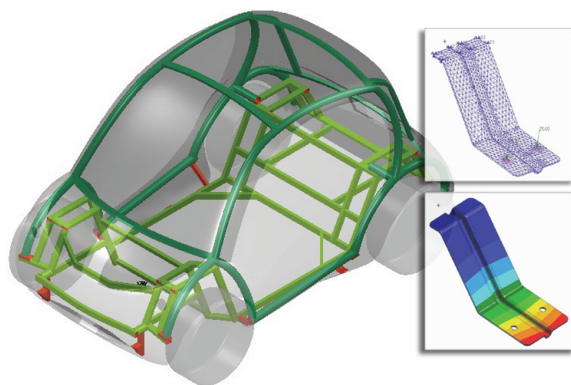
В.Е. Крутолапов

САПР

В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ

Часть 2

**Лабораторный практикум
для студентов специальности 190201
«Автомобиле- и тракторостроение»**



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Тольяттинский государственный университет
Кафедра «Автомобили и тракторы»

В.Е. Крутолапов

САПР В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ

Часть 2

Лабораторный практикум
для студентов специальности 190201
«Автомобиле- и тракторостроение»

Тольятти 2008

УДК 629.01(075.8)
ББК 39.33я 73+30.2-5-05
К846

Рецензент:
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и тракторы»
Тольяттинского государственного университета *Л.А. Черепанов*.

К846 Крутолапов, В.Е. САПР в автомобиле- и тракторостроении.
Ч. 2 : лаб. практикум / В.Е. Крутолапов. – Тольятти : ТГУ, 2008. – 56 с.

В практикуме изложены цели и задачи лабораторных работ, представлена процедура их выполнения.

Для студентов специальности 190201 «Автомобиле- и тракторостроение» очной и очно-заочной форм обучения.

Рекомендован к изданию методической комиссией автомеханического института Тольяттинского государственного университета.

ВВЕДЕНИЕ

Современные системы автоматизированного проектирования являются наиболее распространенным инструментом инженера-автомобилиста. САПР охватывает все большие сферы деятельности – от создания геометрического образа объекта до анализа его характеристик. Наиболее распространенными программными продуктами, позволяющими получать прочностные характеристики деталей автомобиля, являются MSC.Patran и MSC.Nastran. MSC.Patran – это программный продукт, относящийся к CAE-системам, которые позволяют использовать компьютер для конструирования модели объекта и далее моделировать поведение объекта в условиях действия комплекса нагрузок при заданных граничных условиях, которые отражают работу объекта в сложной конструкции.

Во второй части лабораторного практикума представлено описание восьми лабораторных работ по дисциплине «САПР в автомобиле- и тракторостроении».

Лабораторная работа № 8

РАСЧЕТ КРОНШТЕЙНА НА ИЗГИБ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*ОК*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran 2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант – например 401_v1

ОК

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

ОК

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

ОК

В дополнительном окне запроса нажимаем **YES**

В окне Import выбираем файл **01.x_t**

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов, импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: **FEM**

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элементов, 5 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – **Steel**

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – **200000**.

Poisson Ratio – *0.33*

Density – *7.8e-9*

OK

Apply

3.5. Задание свойства элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: *Solid_mesh*

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: *Izgib*

Apply

3.7. Создание нагрузки и закрепления

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: *fix_hole*

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим <*0., 0., 0.*>

OK

Нажимаем кнопку Select Application Region

В линейке выбора переключаем выбор на объекты «кривые»

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем кривую, образующую основание отверстия (рис. 8.1).

Add

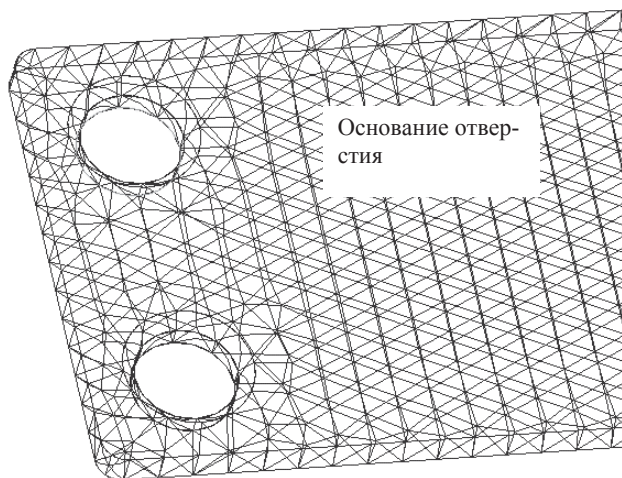


Рис. 8.1. Общий вид зоны детали для закрепления

Выбираем кривую, образующую основание второго отверстия

Add

OK

Apply

Create

Force

Nodal

New Set Name – *Force*

Нажимаем Input Data. В поле Force <F1 F2 F3> вводим <**0 2. 0**>, что соответствует силе в 2 Н.

OK

Нажимаем Select Application Region. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем кривую, образующую основание отверстия (рис. 8.2).

Add

OK

Apply

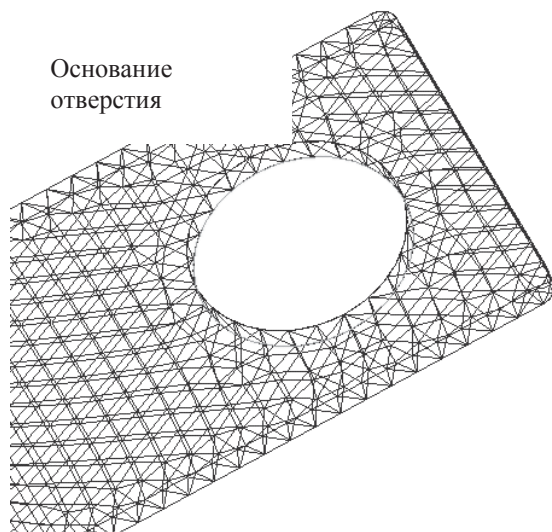


Рис. 8.2. Общий вид зоны конструкции для приложения нагрузки

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем Izgib

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку **Geometry Erase**.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Объяснить тип деформации конструкции. Допустимые напряжения в материале конструкции – 300 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 9

РАСЧЕТ КРЫШКИ ФЛАНЦА НА ДАВЛЕНИЕ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*ОК*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант – например 401_v2

ОК

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

ОК

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

ОК

В дополнительном окне запроса нажимаем ***YES***

В окне Import выбираем файл *02.x_t*

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов, импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: *FEM*

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 5 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – *Steel*

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – 200000.

Poisson Ratio – 0.33

Density – 7.8e-9

OK
Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: **Solid_mesh**

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: **Izgit**

Apply

3.7. Создание нагрузки и закреплений

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: **fix_hole**

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим <**0., 0., 0.**>

OK

Нажимаем кнопку Select Application Region

В линейке выбора переключаем выбор на объекты «кривые»

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем кривую образующую основание отверстия (рис. 9.1).

Add

Выбираем кривую образующую основание второго отверстия

Add

Повторяем для всех отверстий.

OK

Apply

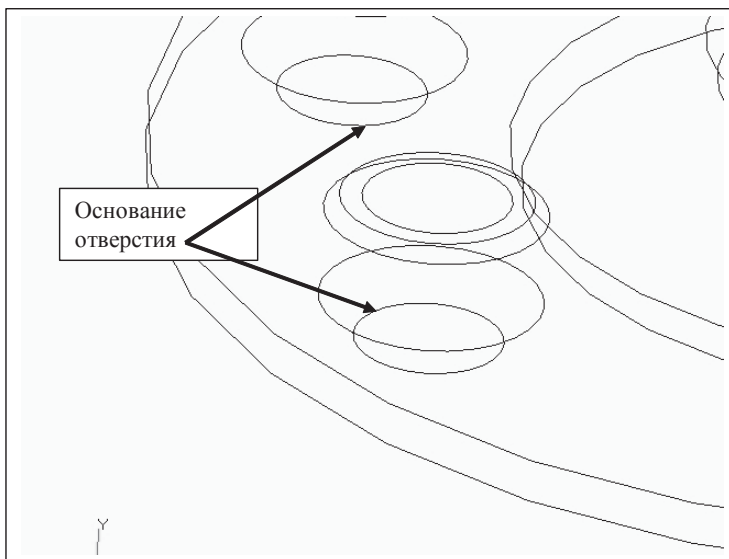


Рис. 9.1. Общий вид зоны конструкции детали для приложения закрепления

Create

Pressure

Element uniform


New Set Name – Press

Target Element Type: 3D

Нажимаем Input Data. В поле Pressure вводим **0.03**, что соответствует 30 кПа давления.

OK

Нажимаем Select Application Region. Переключаем в линейке выбора

на значок Face of Solid . В поле Application Region, Select Solid

Face выбираем плоскую поверхность солида (рис. 9.2), образующую

«крышку» детали.

Add

OK

Apply

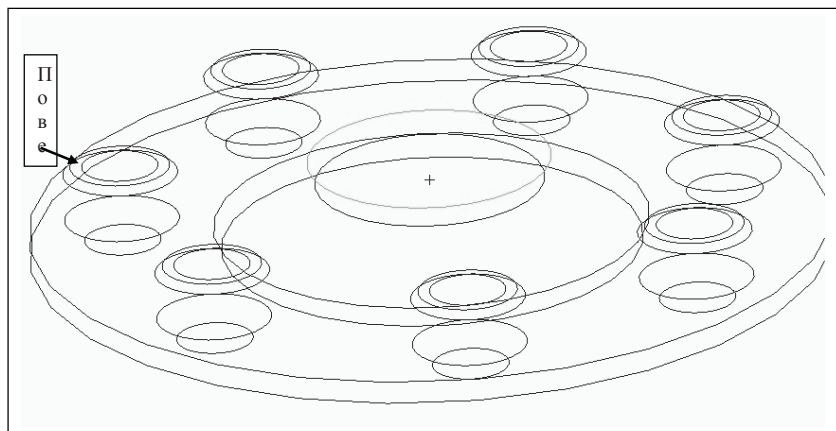


Рис. 9.2. Общий вид зоны конструкции детали для приложения нагрузки

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем Izgib

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений.

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи “FATAL”

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку ***Geometry Erase***.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции – 300 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 10

РАСЧЕТ ФЛЯГИ НА ВНЕШНЕЕ ДАВЛЕНИЕ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*ОК*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran 2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант – например 401_v3

ОК

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

ОК

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: IGES

В окне Import выбираем файл *03.igs*

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов, импортированных в базу данных.

ОК

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: **FEM**

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Sheet Body

Elem Shape – Quad

Seed Option – Uniform

Topology – Quad4

Напротив Feature Recognition ставим знак

Edge Angle вводим значение **20**

В окне Surface List указываются все поверхности из рабочей области экрана с помощью окна захвата.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 10 мм.

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – **Steel**

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – **200000.**

Poisson Ratio – **0.33**

Density – **7.8e-9**

OK

Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

2D

Shell

Задаем Properties Set Name: *Shell_mesh*

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name» и вводим значение **2** в поле Thickness.

OK

В линейке выбора меняем на Shell elements. В поле Select members выбираем с экрана все оболочечные элементы с помощью ловушки.

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: *Press*

Apply

3.7. Создание нагрузки и закрепления

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: *fix_plate*

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим <0., 0., 0.>

OK

Нажимаем кнопку Select Application Region

Geometry Filter переключаем на **FEM**

В поле Application Region, Select Nodes выбираем узлы модели, лежащие на плоском основании детали, как показано на рис. 10.1.

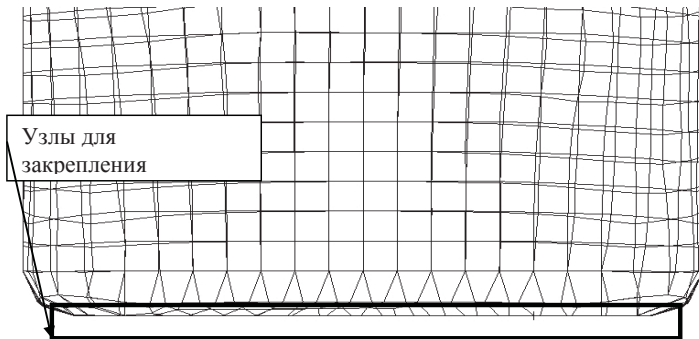


Рис. 10.1. Общий вид модели для приложения закреплений на дно детали

Add
OK
Apply

Create

Pressure

Element uniform

New Set Name – *Press*

Target Element Type: 2D

Нажимаем Input Data. В поле Top Surf Pressure вводим *0.01*, что соответствует 10 кПа давления.

OK

Нажимаем Select Application Region. В поле Select Application Region, Select 2D Elements or Edges выбираем боковую поверхность детали, как показано на рис. 10.2.

Add

OK

Apply

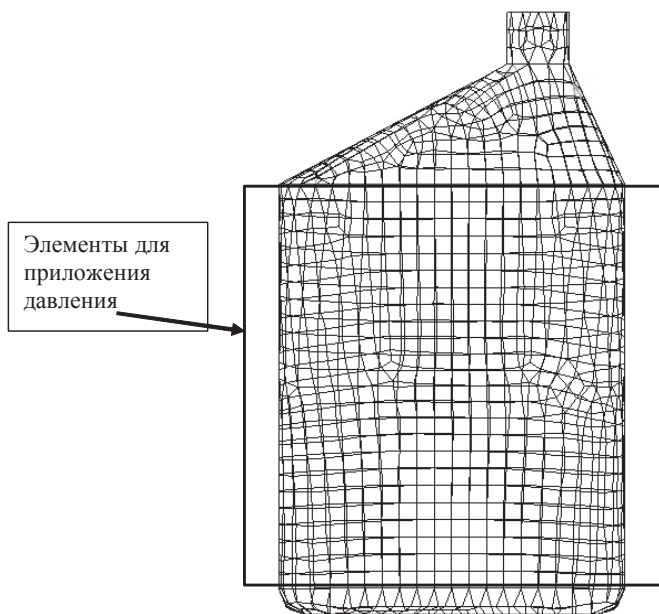


Рис. 10.2. Общий вид модели – выбор элементов для приложения давления

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем Press

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.
В поле Posted Entities нажимаем кнопку *Geometry Erase*.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции – 200 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 11

РАСЧЕТ КРОНШТЕЙНА НА ВЫНУЖДЕННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*ОК*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант – например 401_v4

ОК

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

ОК

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

ОК

В дополнительном окне запроса нажимаем **YES**

В окне Import выбираем файл **04.x_t**

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов, импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: **FEM**

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 5 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – **Steel**

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – **200000**.

Poisson Ratio – 0.33

Density – $7.8e-9$

OK

Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: ***Solid_mesh***

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: ***Izhib***

Apply

3.7. Задание нагрузок и закреплений

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: ***fix***

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим ***<0., 0., 0.>***

OK

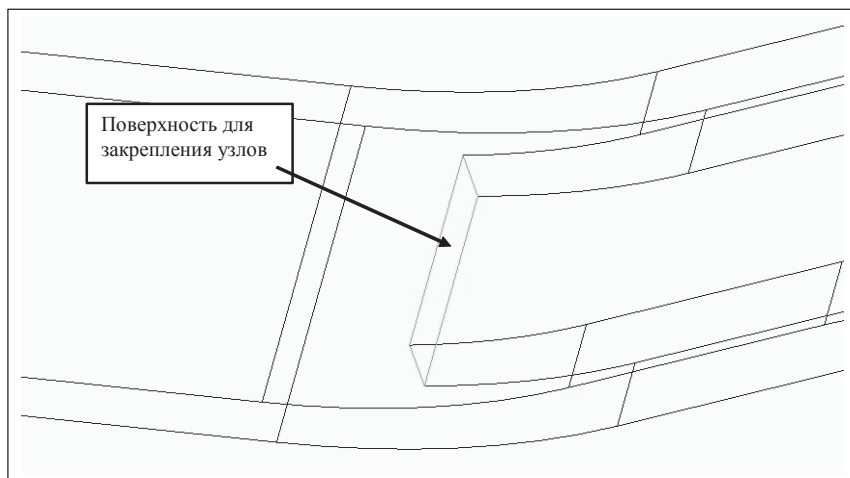


Рис. 11.1. Общий вид зоны детали для закрепления

Нажимаем кнопку Select Application Region

В линейке выбора переключаем выбор на объекты Surface or Face

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем поверхность, как указано на рис. 11.1.

Add

OK

Apply

Создаем нагрузку в виде принудительного перемещения в узлах

Create

Displacement

Nodal

New Set Name – **Displ**

Нажимаем Input Data. В панели Translations <T1 T2 T3> вводим <-2.,0.,0.> что соответствует принудительному перемещению в 2 мм вдоль оси X.

OK

Нажимаем Select Application Region. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем поверхность на торце детали, как показано на рис. 11.2.

Add

OK

Apply

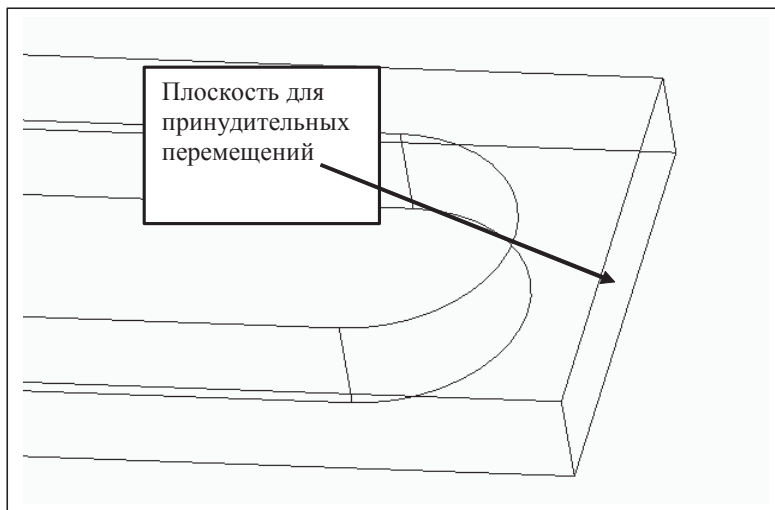


Рис. 11.2. Общий вид зоны детали для приложения вынужденных перемещений

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем Izzib

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку **Geometry Erase**.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции – 500 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 12

РАСЧЕТ КОЛЕСА НА ИЗГИБАЮЩУЮ НАГРУЗКУ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*ОК*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы.

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант номер компьютера – например 401_v6_10

ОК

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

ОК

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

ОК

В дополнительном окне запроса нажимаем ***YES***

В окне Import выбираем файл *05.x_t*

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: *FEM*

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 10 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – *Rubber*

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – *100*.

Poisson Ratio – *0.45*

Density – *1.2e-9*

OK

Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: *Solid_mesh*

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: *izgib*

Apply

3.7. Создание нагрузки и закреплений

Меню Viewing – Angles

В поле Angles устанавливаем *-90 0 0* (Вид детали должен выглядеть, как на рис. 12.1.)

Apply

Cancel

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: *fix*

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим *<0.,0.,0.>* Между значениями обязателен пробел или запятая

OK

Apply
Cancel

Нажимаем кнопку Select Application Region



В линейке выбора переключаем выбор на объекты Surface or Face

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем три поверхности, как указано на рис. 12.2.

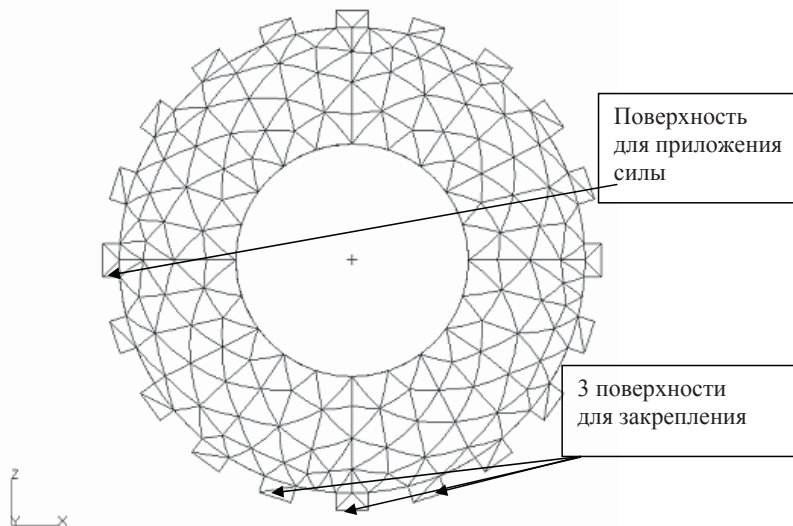


Рис. 12.1. Общий вид модели

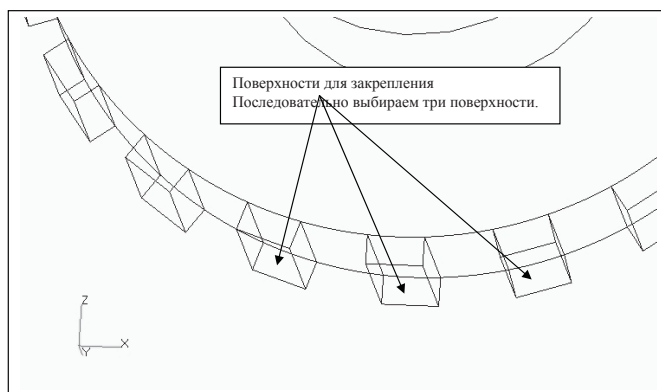


Рис. 12.2. Общий вид модели, зона закрепления модели

Add
OK
Apply

Создаем нагрузку в виде сил в узлах

Create
Force
Nodal

New Set Name – *Force*

Нажимаем Input Data. В панели Force <F1 F2 F3> вводим <100,,> что соответствует силе величиной 100 Н вдоль оси X.

OK

Нажимаем Select Application Region. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем поверхность на торце детали, как показано на рис. 12.3.

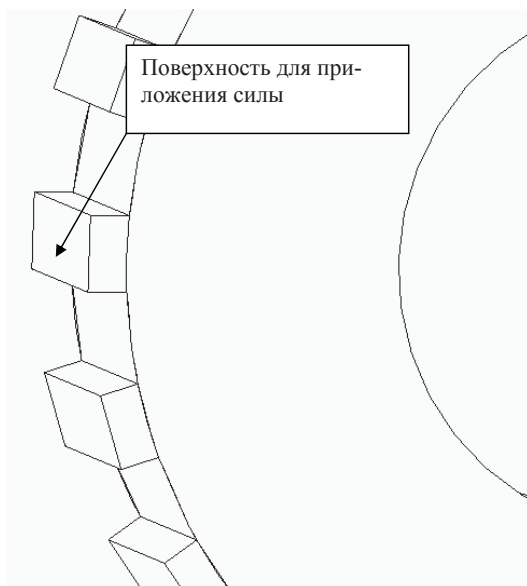


Рис. 12.3. Общий вид модели, зона закрепления приложения нагрузки

Add
OK
Apply

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем Izgib

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.Software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку *Geometry Erase*.

Панель Results

Create

- Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе.

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями. Определить тип деформации в зоне закрепления. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 13

РАСЧЕТ ПОРШНЯ НА ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*OK*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran 2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант номер компьютера – например 401_v6_10

OK

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

OK

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

OK

В дополнительном окне запроса нажимаем ***YES***

В окне Import выбираем файл *06.x_t*

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов, импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: *FEM*

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 10 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – *Alumin*

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – *70000*.

Poisson Ratio – *0.3*

Density – $2.1e-9$

OK

Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: ***Solid_mesh***

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: ***press***

Apply

3.7. Создание нагрузки и закрепления

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: ***fix***

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим $\langle 0., 0., 0. \rangle$

OK

Apply

Cancel

Нажимаем кнопку Select Application Region

В линейке выбора переключаем выбор на объекты Curve or Edge 

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем две кривые, как указано на рис. 13.1.

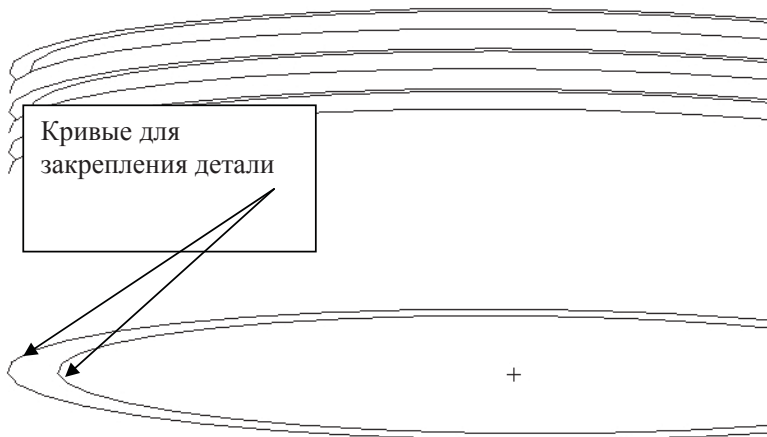


Рис. 13.1. Общий вид модели, кривые для приложения закреплений

Add
OK
Apply

Создаем нагрузку в виде давления на поверхность

Create
Pressure
Uniform

New Set Name – *Press*

Target element type: 3D

Нажимаем Input Data. В панели Pressure вводим *0.1*, что соответствует давлению на поверхность 100 кПа.

OK

Нажимаем Select Application Region. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем поверхность на торце детали, как показано на рис. 13.2.

Add
OK
Apply

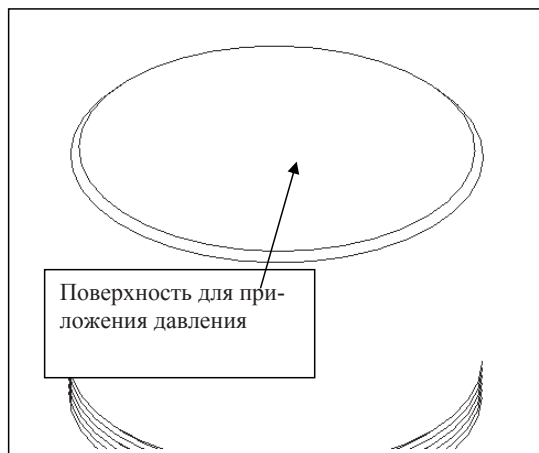


Рис. 13.2. Общий вид модели, поверхность для приложения давления

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем *press*

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки. Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку ***Geometry Erase***.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции — 300 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 14

РАСЧЕТ СОТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ТЕПЛОВУЮ НАГРУЗКУ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*OK*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'a – Программы – MSC.software – MSC.Patran2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант номер компьютера – например 401_v7_10

OK

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

OK

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

OK

В дополнительном окне запроса нажимаем **YES**

В окне Import выбираем файл **07.x_t**

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: **FEM**

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 10 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – **Alumin**

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – **70000**.

Poisson Ratio – 0.3
Density – $2.1e-9$
Thermal Expan. Coeff – $2.3e-5$
OK
Apply

3.5. Задание свойств элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: ***Solid_mesh***

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создаем расчетный случай

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: ***temp***

Apply

3.7. Создаем нагрузки и закрепления

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: ***fix***

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим <***0., 0., 0.***>. Между значениями обязателен пробел или запятая

OK

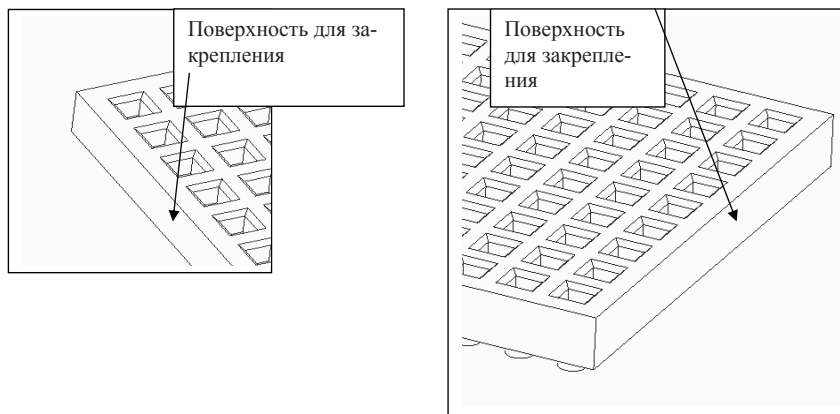


Рис. 14.1. Общий вид модели, выбор поверхностей для закрепления модели

Нажимаем кнопку **Select Application Region**

В линейке выбора переключаем выбор на объекты **Surface or Edge**

В поле **Application Region, Select Geometry Entities** выбираем две поверхности, как указано на рис. 14.1.

Add

OK

Apply

Создаем нагрузку в виде температуры

Create

**Temperature
nodal**

New Set Name – **Temp**

Нажимаем **Input Data**. В панели **Temperature** вводим **100**, что соответствует 100 градусам Цельсия.

OK

Нажимаем **Select Application Region**. В линейке выбора переключаем на **Solid**. В поле **Application Region, Select Geometry Entities** выбираем деталь с экрана.

Add

OK

Apply

3.8. Создаем исходный файл для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcases

Выбираем из поля Available Subcases *temp*

Нажимаем кнопку Subcase Parameters. В поле Default Load Temperature вводим *20*.

OK

Apply

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем *temp*

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC.Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку **Geometry Erase**.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции – 300 МПа. Отчет принимается в устной форме.

Лабораторная работа № 15

РАСЧЕТ ГАЙКИ НА КРУЧЕНИЕ

1. Цель и задачи работы

Изучение последовательности операций, необходимых для проведения расчета с использованием метода конечных элементов; овладение основными функциями создания конечно-элементной модели.

2. Указания к самостоятельной работе

Лабораторная работа выполняется последовательно. Выделенные курсивом «*OK*» или «*Apply*» – кнопки, которые необходимо нажимать для нормального продолжения работы программы.

3. Процедура выполнения лабораторной работы

3.1. Создание новой базы данных

Запуск MSC.Patran'а – Программы – MSC.software – MSC.Patran2004 – MSC.Patran2004.

File – New. Задается имя файла – Номер группы_вариант номер компьютера – например 401_v8_10

OK

Model Preference –

- Default
- Analysis Code: MSC.Nastran
- Analysis Type: Structural

OK

3.2. Импорт геометрии

Меню File – Import

Панель Import

Object: Model

Source: Parasolid xmt

Нажимаем кнопку Parasolid xmt Options

Нажимаем кнопку Model Units

Model Unit Override переключаем на: 1000.0 (Millimeters)

OK

В дополнительном окне запроса нажимаем ***YES***

В окне Import выбираем файл *08.x_t*

Apply

Закрываем информационное окно со списком геометрических объектов импортированных в базу данных.

OK

3.3. Создание сетки конечных элементов

Меню Group

Action: Create

Method: Select Entity

В окне New Group Name вводим имя новой группы: *FEM*

Apply

Панель Elements

Create

Mesh

Solid

Elem Shape – Tet

Mesher – TetMesh

Topology – Tet10

В окне input list указывается солид из рабочей области экрана.

Global Edge length: отключаем параметр automatic calculation и указываем в поле Value значения, соответствующие длине элемента, 2 мм.

Apply

Изменяем визуализацию объемных элементов

Меню Display – Finite elements

В панели Show only free устанавливаем

- Faces (in Wireframe)

Apply

3.4. Создание материала

Панель Materials

Create

Isotropic

Manual Input

Задаем в поле Material name имя нового материала – *steel*

Input properties

В панели Input Options вводим данные для следующих полей:

Elastic Modulus – *200000*.

Poisson Ratio – *0.3*

Density – *7.8e-9*

OK

Apply

3.5. Задание свойства элементов

Панель Properties

Create

3D

Solid

Задаем Properties Set Name: *Solid_mesh*

Options оставляем без изменений

Input Properties выбираем созданный материал с помощью значка напротив «Mat Prop Name»

OK

В поле Select members выбираем с экрана солид

Add

Apply

3.6. Создание расчетного случая

Панель Load Cases

Create

В поле Load Case Name вводим имя нового расчетного случая: *kruch*

Apply

3.7. Создание нагрузки и закрепления

Панель Loads/BCs

Create

Displacement

Nodal

В поле New Set Name задаем имя для набора закреплений: *fix*

Нажимаем кнопку Input Data

В панели Translations <T1 T2 T3> вводим *<0.,0.,0.>*

OK

Нажимаем кнопку Select Application Region

- Geometry

В линейке выбора переключаем выбор на объекты Surface or Face

В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем внутреннюю поверхность, как указано на рис. 15.1.

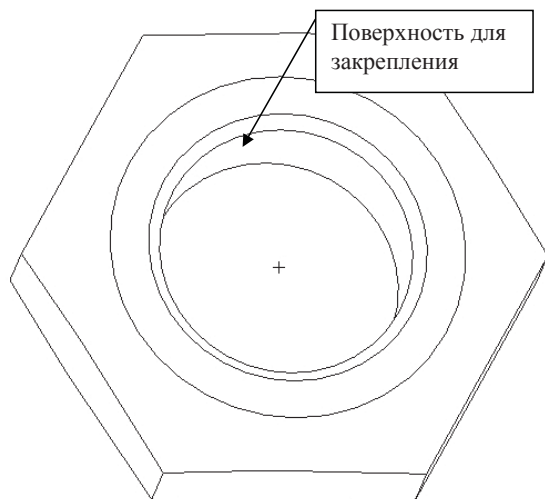


Рис. 15.1. Общий вид расчетной модели, выбор поверхности для закрепления

Add

OK

Apply

Создаем нагрузку в пары сил, действующей на гранях детали.

Create

Force

Nodal

New Set Name – **Force_1**

Нажимаем Input Data. В поле Force <F1 F2 F3> вводим <**100,0,0**> что соответствует силе в 100 Н вдоль оси X.

OK

Устанавливаем вид «Front view» с помощью линейки выбора стандарт-



Нажимаем Select Application Region. В линейке выбора объекты Surface or Face. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем нижнюю грань солида с экрана – как показано на рис. 15.2.

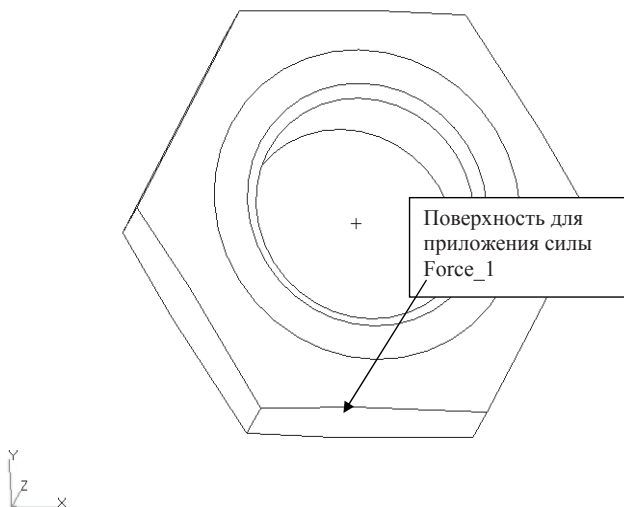


Рис. 15.2. Общий вид расчетной модели, выбор поверхности для приложения силы

Add
OK
Apply

Создаем силы на верхней грани детали

Create
Force
Nodal

New Set Name – **Force_2**

Нажимаем Input Data. В поле Force $\langle F1 F2 F3 \rangle$ вводим $\langle -100, 0, 0 \rangle$, что соответствует силе в -100 Н вдоль оси X.

OK

Нажимаем Select Application Region. В линейке выбора объекты Surface or Face. В поле Application Region, Select Geometry Entities выбираем верхнюю грань солида с экрана – как показано на рис. 15.3.

Add
OK
Apply

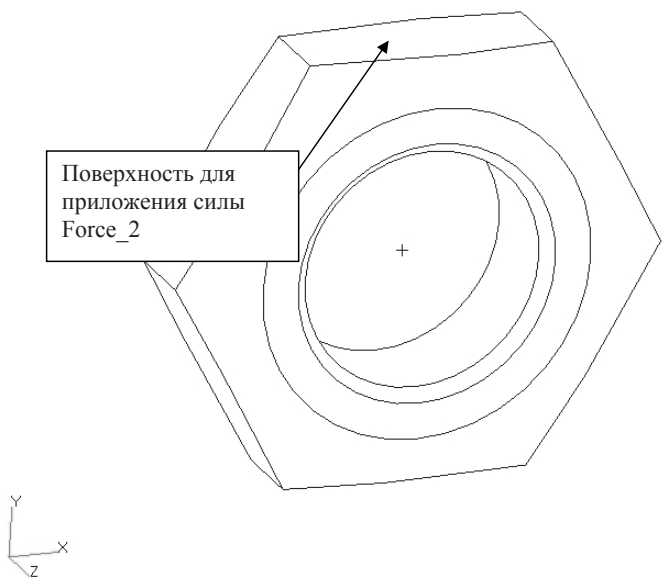


Рис. 15.3. Общий вид расчетной модели, выбор поверхности для приложения силы

3.8. Создание исходного файла для расчета

Панель Analysis

Analyze

Entire model

Analysis Deck

Имя задачи оставляем без изменений.

Нажимаем кнопку Translations parameters

В поле Data Output выключаем значок возле Print

OK

Нажимаем кнопку Solution Type

Оставляем без изменений

OK

Нажимаем кнопку Subcase Select

В поле Subcase Selected исключаем Default и из поля Subcases for Solution Sequences 101 выбираем **kruch**

OK

Apply – создаем расчетный файл

3.9. Проведение расчета с использованием MSC.Nastran

Программы – MSC.software – MSC.Nastran2004

Открывается окно выбора расчетной модели Select MSC.Nastran Input file

Выбираем файл (номер группы_вариант)

Открыть

Следующее диалоговое окно оставляем без изменений

RUN

Проверяем выходной файл с расширением out на наличие ошибки.

Запись в конце файла «Analysis complete 0» означает нормальное завершение процесса.

Проверяем с помощью поиска в файле наличие записи «FATAL»

Если данной записи нет, то задача выполнена без ошибок.

3.10. Импорт результатов в базу данных MSC. Patran

Панель Analysis

Access Results

Attach XDB

Result Entities

Нажимаем кнопку Select result file

Выбираем файл

OK

Apply

3.11. Просмотр результатов расчета

В панели инструментов выбираем Plot/Erase form из меню Display.

В поле Posted Entities нажимаем кнопку **Geometry Erase**.

Панель Results

Create

Quick Plot

В поле Select Fringe Result выбираем Stress Tensor

В поле Select Deformation Result выбираем Displacements, Translations

Apply

4. Отчет о лабораторной работе

Студент должен указать на мониторе компьютера зоны с максимальными напряжениями и определить вероятность разрушения конструкции при действующих нагрузках. Допустимые напряжения в материале конструкции – 300 МПа. Отчет принимается в устной форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич; пер. с англ. — М. : МИР, 1975. — 541 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
<i>Лабораторная работа № 8.</i> РАСЧЕТ КРОНШТЕЙНА НА ИЗГИБ	4
<i>Лабораторная работа № 9.</i> РАСЧЕТ КРЫШКИ ФЛАНЦА НА ДАВЛЕНИЕ	10
<i>Лабораторная работа № 10.</i> РАСЧЕТ ФЛЯГИ НА ВНЕШНЕЕ ДАВЛЕНИЕ	16
<i>Лабораторная работа № 11.</i> РАСЧЕТ КРОНШТЕЙНА НА ВЫНУЖДЕННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ	22
<i>Лабораторная работа № 12.</i> РАСЧЕТ КОЛЕСА НА ИЗГИБАЮЩУЮ НАГРУЗКУ	28
<i>Лабораторная работа № 13.</i> РАСЧЕТ ПОРШНЯ НА ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ	35
<i>Лабораторная работа № 14.</i> РАСЧЕТ СОТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ТЕПЛОВУЮ НАГРУЗКУ	41
<i>Лабораторная работа № 15.</i> РАСЧЕТ ГАЙКИ НА КРУЧЕНИЕ	47
ЛИТЕРАТУРА	54

Учебное издание

Виталий Евгеньевич КРУТОЛАПОВ

САПР В АВТОМОБИЛЕ- И ТРАКТОРОСТРОЕНИИ

Часть 2

Лабораторный практикум
для студентов специальности 190201
«Автомобиле- и тракторостроение»

Редактор *В.С. Павлова*
Технический редактор *З.М. Малявина*
Компьютерная вёрстка *И.И. Шишкиной*
Дизайн обложки *И.И. Шишкиной*

Подписано в печать 04.06.2008. Формат 60x84/16.
Печать оперативная. Усл. п. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,26.
Тираж 200 экз. Заказ № 1-28-08.

Тольяттинский государственный университет
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14