



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

К а ф е д р а «Механика»

РАСЧЁТ ФЕРМ С ПОМОЩЬЮ ANSYS

**РГР №1 ПО КУРСУ
«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА В ИНЖЕНЕРНЫХ
ЗАДАЧАХ»**

Самара 2014

УДК 531

Расчёт с помощью пакета ANSYS ферм. Расч. граф. раб №1 по курсу «Численные методы расчёта в инженерных задачах» / Сост. В.Г. Фокин, - Самара, Самар. гос. техн. ун – т, 2014. - 14 с.

В расчётно-графической работе моделируется напряжённое состояние фермы в среде ANSYS. Дана инструкция по моделированию плоской статически определимой фермы в интерактивном режиме. Имеется 20 вариантов заданий.

Работа предназначена для студентов, изучающих курс «Численные методы расчёта в инженерных задачах»

Ил.12. Библиогр: 2 назв.

Составитель канд. техн. наук В.Г. Фокин

Рецензент канд. техн. наук .

© В.Г. Фокин, составление. 2014

© Самарский государственный
технический университет, 2014

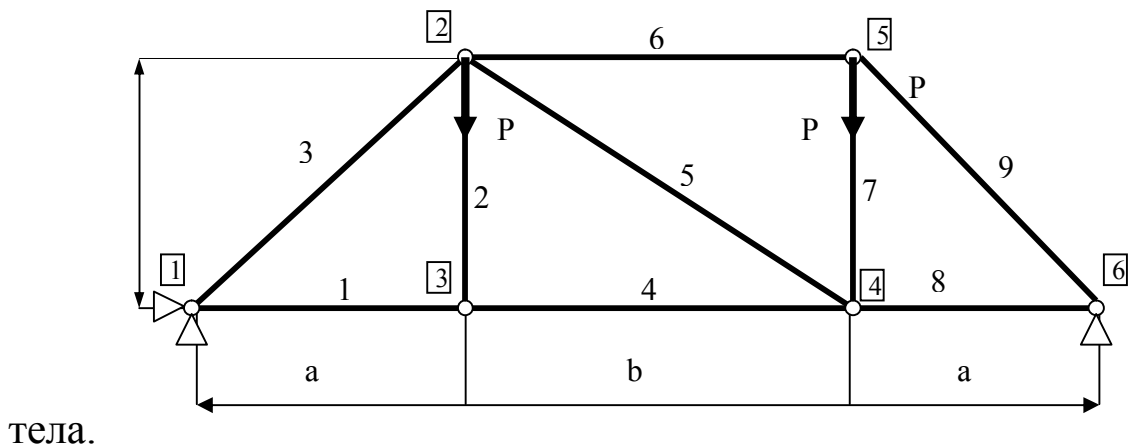
ВВЕДЕНИЕ

Цель лабораторной работы – познакомить учащихся с основными приёмами компьютерного моделирования напряжённо деформированного состояния ферм в среде профессионального программного комплекса ANSYS.

Фермой называется неизменяемая конструкция из прямых стержней, соединённых между собой шарнирами. Силы прикладываются к шарнирам - узлам фермы. Закрепления осуществляются также в узлах. В стержнях фермы действуют только продольные (нормальные к поперечным сечениям) внутренние силы.

Статический расчёт фермы заключается в определении перемещений узлов, реакций опор, усилий в стержнях, напряжений и деформаций стержней.

Реальная стержневая конструкция с жёсткими узлами – сварными, болтовыми или заклёпочными соединениями - может рассматриваться как ферма, если размеры узлов значительно меньше расстояний между узлами. В таких конструкциях, как и в фермах, вдали от узлов действуют только продольные внутренние силы. В области жёстких узлов картина внутренних сил более сложная и может исследоваться только приближёнными методами сопротивления материалов или теории деформированного твёрдого



Р и с. 1. Конечно элементная модель фермы

Рассмотрим ферму, показанную на рис. 1, имеющую n узлов и

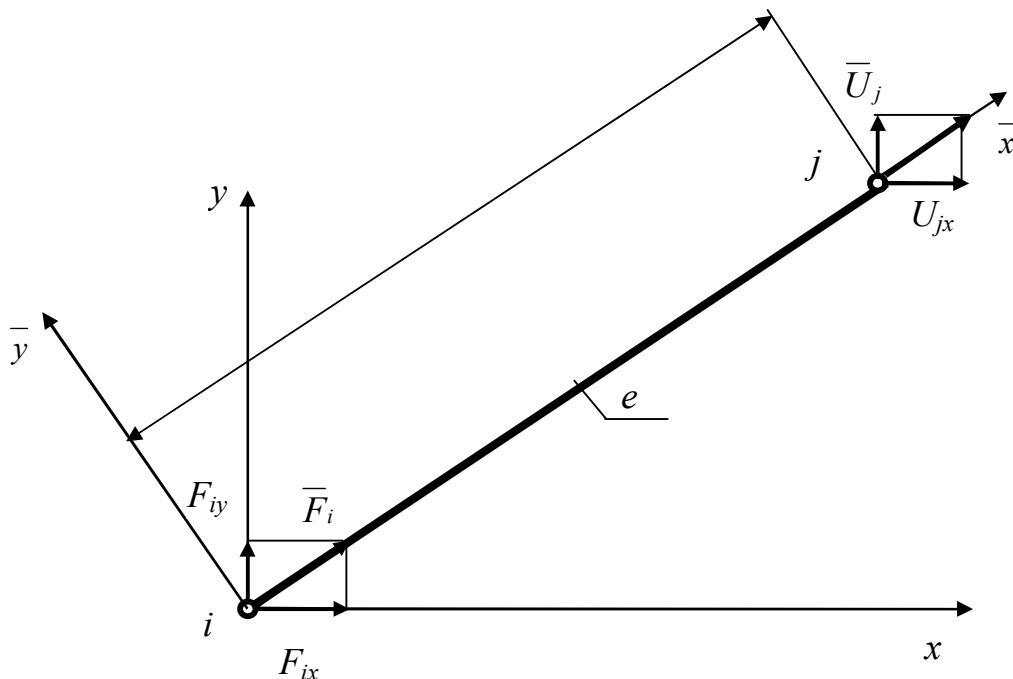
m стержней, у которой оси стержней и силы лежат в одной плоскости. Перемещения также ограничим этой плоскостью. Такая ферма называется плоской, или двумерной.

Ферму сразу можно анализировать как конечно-элементную модель. Стержни являются одномерными конечными элементами, испытывающими только деформацию растяжения – сжатия, их называют ферменными конечными элементами. Шарнирные соединения являются узлами конечно-элементной модели. В качестве степеней свободы берутся узловые перемещения, которые полагаются малыми.

Ферменный (одномерный) конечный элемент показан на рис.2. С ним связана местная (локальная) система координат \bar{x}, \bar{y} . Общая (глобальная) для всей фермы система координат x, y перенесена параллельным переносом в узел i .

Векторы узловых перемещений и узловых сил элемента в местной системе координат:

$$\{\bar{U}\}_e = \begin{Bmatrix} \bar{U}_i \\ \bar{U}_j \end{Bmatrix}_e ; \quad \{\bar{F}\}_e = \begin{Bmatrix} \bar{F}_i \\ \bar{F}_j \end{Bmatrix}_e$$



Р и с.2. Ферменный (одномерный) конечный элемент

Векторы узловых перемещений и узловых сил элемента в общей системе координат:

$$\{U\}_e = \begin{Bmatrix} U_i \\ U_j \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ \dots \\ U_{jx} \\ U_{jy} \end{Bmatrix}_e ; \quad \{F\}_e = \begin{Bmatrix} F_i \\ F_j \end{Bmatrix}_e = \begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ \dots \\ F_{jx} \\ F_{jy} \end{Bmatrix}_e ;$$

Вектор узловых перемещений всей фермы в общей системе координат:

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U_1 \\ \dots \\ U_i \\ \dots \\ U_n \end{Bmatrix}, \text{ где блок матрицы } \{U_i\} = \begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \end{Bmatrix};$$

Вектор всех внешних узловых сил, действующих на ферму, в общей системе координат:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ \dots \\ P_i \\ \dots \\ P_n \end{Bmatrix}, \text{ где блок матрицы } \{P_i\} = \begin{Bmatrix} P_{ix} \\ P_{iy} \end{Bmatrix}.$$

В теории метода конечных элементов (МКЭ) [1,2] устанавливается связь между векторами узловых перемещений и узловых сил элемента в виде матричного соотношения

$$[K]_e \{U\}_e = \{F\}_e, \quad (1)$$

где $[K]_e$ -матрица жёсткости элемента.

Условия равновесия узлов фермы с учётом предыдущего выражения порождают разрешающую систему уравнений МКЭ:

$$[K] \{U\} = \{P\}, \quad (2)$$

где $[K]$ -глобальная матрица жёсткости всей конечно-элементной модели, которая формируется из матриц жёсткости элементов.

Для однозначного решения уравнений (2) необходимо в них учесть граничные условия по перемещениям, в частности, закрепления. Конструкция должна закрепляться так, чтобы было невозможным перемещение её как твёрдого тела.

В результате решения системы уравнений (2) определяются узловые перемещения $\{U\}$, через которые по формулам теории упругости вычисляются все другие искомые величины.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Конструкция, закрепления и нагрузки исследуемой фермы показаны на рис 1. $P=1000$ Н, $a=2$ м, $b=3$ м, $h=2$ м, Площадь сечения стержней $S=10$ мм² = 10^{-5} м². Материал: сталь, модуль упругости $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м², коэффициент Пуассона $\nu=0,3$.

Нужно определить перемещения фермы, усилия и напряжения в стержнях, а также реакции опор.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ANSYS.

*Задаче присваивается имя **ferma**:*

U.M. > File > Change Jobname > [/FILNAM] = ferma
New log.= Y > ok.

Выбирается тип анализа:

MM >Preference > Y structural >ok.

2.1. Операции моделирование в препроцессоре

Выбирается тип элемента –стержень Link 1 с плоским перемещением 2D:

M.M.> Prepr.> Element Type > Add/Edit/ > Add > Link > 2D spar
1 > ok. Закрывается окно Element Types > close.

Задаются константы (площадь сечения S для элементов):

M.M.> Prepr.> Real Const.>Add/Edit >Add > (Type1 Link1) > ок. В появившемся окне вводится площадь AREA =1.e -5 > ок. Закрывается окно SET 1 > close.

Задается тип материала и его свойства:

M.M.> Prepr. > Material Props > Materials Models >Structural (click)-linear(click)>Elastic(click)-Isotropic > набираются EX = 2.e11 (модуль упругости), PRXY = 0.3 (коэффициент Пуассона) > ок. Закрывается окно Define Materials > Materials >Exit.

Сохраняется модель в бинарном файле ferma.db:

Ans.Toolbar > SAVE_DB.

Построение конечноэлементной модели прямым методом

Строятся узлы:

M.M.> Preper >Modeling > Create > Nodes >in Active CS >

NODE = 1 > X,Y,Z = 0. 0. > Apply;

NODE = 2 > X,Y,Z = 2. 2. > Apply; и т.д. > ок.

Строятся элементы-стержни:

M.M > Prepr > Modeling > Creat > Elements > Auto Numbered > Tru Nodes >

Click узел 1 > click узел 3 > Apply (на панели Elem.from.);

Click узел 3 > click узел 2 > Apply, и т.д. строятся все элементы - стержни согласно рис.1 > ок.

Нумерация узлов и элементов:

U.M.> Plot Ctrl's > Numbering > Y NODE > Elem/At.> Elem numbers > ок.

Присвоение элементам атрибутов (в данной задаче выполняется по умолчанию и можно эту операцию пропустить):

M.M > Prepr > Modeling > Create > Elements > Elem Attributes > TYPE=1 LINK1, MAT=1, REAL=1, ESYS = 0 > ок.

Сохраняется модель: Ans.Toolbar > SAVE_DB.

2.2. Операции моделирования в процессоре Solution

Задаётся типа анализа (можно пропустить т.к. данный тип анализа принимается по умолчанию):

M.M > Solution > Analysis Type > New Analysis > ANTYPE = static
> ok

Ферма закрепляется:

M.M > Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > On
nodes > Click узел 1 > apply > в появившемся окне выбирается All
DOF, const val, VALUE = 0 > apply,
Click узел 6 > apply > в появившемся окне выбирается UY, const
val, VALUE = 0 > ok..

Прикладываются нагрузки:

M.M.> Solution > Define Load > Apply > Structural > Force > on
Nodes >

Click узел 2 > Apply > FY > Const Value, VALUE = -1.e3, Apply,
Click узел 5 > ok > FY > Const Value, VALUE = -1.e3, ok.

Изображение опор и нагрузок:

U.M > PlotCtrls > Symbol > /PBC = All BC+Reaction > ok.

Сохранение модели: Ans.Toolbar > SAVE_DB.

Решение задачи:

M.M > Solution > Solve > Current LS >

Закрывается панель /STATUS > File > Exit > закрывается панель
Solve > ok.

Сообщение Solution is done! (решение выполнено) >
close (закрывается информационное окно).

Сохранение модели: Ans.Toolbar > SAVE_DB.

2.3. Просмотр результатов в постпроцессоре.

Анализ перемещений фермы:

General Postproc > Plot Results > deform. Shape > KUND = def + un-
def > ok

U.M.> Plot > Replot. Появляется рисунок.

Сохранение рисунка в графическом файле в рабочей папке:

General Postproc > PlotCtrls > Hard Copy > to file появляется панель > устанавливаются флажки Jpeg, Reverse Video и имя файла в окне save to > ok

Анализ реакций:

General Postproc.> List Results > Reaction Solu > Lab = All items > ok. Появляется таблица реакций, выход - file > close. Если требуется сохранить таблицу в файле, то производятся команды - file > Save as > указывается папка и имя файла > нажимается кнопка «сохранить».

Анализ усилий и напряжений в стержнях.

General Post..> Elem. Table > Define Table > Add > в появившихся окнах набирается Lab = sila, Item = By sequence > SMISC,1 (код для вывода сил) >Apply, Lab = Napr, Item = By sequence > LS,1 (код для вывода напряжений) >ok. Закрывается панель Elem.Table > close.

Просмотр таблицы усилий и напряжений:

General Post. > Elem.Table > List Elem.Table > Lab 1-9 = sila, Napr > ok > Появляется таблица сил и напряжений. Выход из таблицы или её сохранение производятся так же , как в случае просмотра таблицы реакций.

Графическое представление сил в стержнях фермы:

General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Elem Table > всплывает панель > устанавливается itlab item to be Plotted = sila > Apply > появляется рисунок фермы, где цветом определены силы в стержнях.

Графическое представление напряжений в стержнях:

General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Elem Table > всплывает панель > устанавливается itlab item to be Plotted = Napr > Apply > появляется рисунок фермы, где цветом определены напряжения в стержнях.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

По образцу предыдущего примера требуется выполнить моделирование деформированного состояния своего варианта фермы, номер которого задаётся преподавателем. Схемы ферм для различных вариантов даны на рис.3 - 12. Необходимые параметры для разных вариантов задания приведены в таблице.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА.

Отчёт должен включать следующие пункты.

1. Постановка задачи для своего варианта:
 - 1.1. Силовая схема (конструкция, закрепления, силы);
 - 1.2. Исходные данные (величины сил, свойства материала);
 - 1.3. Что требуется найти.
2. Короткое описание процедуры моделирования в ANSYS.
3. Результаты решения задачи в ANSYS:
 - 3.1. Схема деформированной конструкции, наложенная на схему недеформированной фермы, с указанием наибольшего смещения;
 - 3.2. На силовой схеме нужно показать распределение реакций и указать величин реакции;
 - 3.3. Таблица реакций.
 - 3.4. Таблица сил и напряжений в стержнях;
4. Составить 3 уравнения равновесия плоской фермы и из этих уравнений найти реакции опор. Сравнить эти реакции с найденными ранее при моделировании задачи в среде ANSYS.

5.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какая конструкция называется фермой.
2. Как нагружается и закрепляется ферма.
3. Какой конечный элемент используется для расчёта ферм.
4. Какие деформации имеет ферменный конечный элемент.

5. Степени свободы узла фермы.
6. Векторы степеней свободы ферменных элементов и фермы.
7. Векторы узловых сил ферменных элементов.
8. Матричная запись разрешающей системы уравнений МКЭ.
9. Основные операции моделирования фермы в препроцессоре.
10. Основные операции расчёта фермы в процессоре-решателе.
11. Основные операции анализа фермы в постпроцессоре.
12. Как определяется опасный стержень фермы.
13. Каковы условия равновесия узла фермы.
14. Условия равновесия плоской фермы как твёрдого тела.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева.* ANSYS в руках инженера. Практическое руководство.- М.: Едиториал УРСС, 2003.-272 с.
2. *Я.М. Клебанов, В.Г. Фокин, А.Н. Давыдов.* Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций: Учеб. Пособие. / Самар. Гос. Техн. Ун-т, Самара, 2004.-100 с.

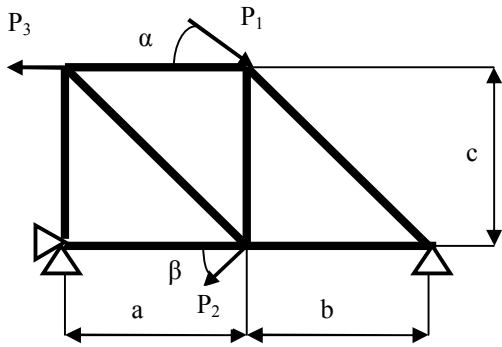
Таблица

ЗАДАНИЯ К РАСЧЁТУ ФЕРМ

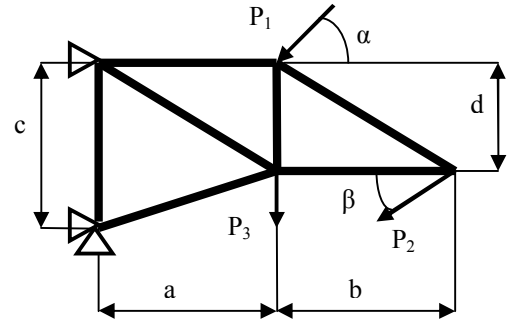
№ варианта	№ Фермы	Размеры фермы, м					Углы, град		Силы, кН		
		a	b	c	d	l	α	β	P_1	P_2	P_3
1	1	1	1	2			30	45	2	3	4
2	1	2	3	1			60	30	3	2	5
3	2	2	2	3	2		45	60	1	2	3
4	2	1	1	4	3		30	45	3	1	2
5	3	2	2	1	3		60	45	2	1	3
6	3	1	1	1	2		30	60	1	3	2
7	4	2	2	1	1		60	30	1	2	3
8	4	3	1	2	2		30	45	3	4	2
9	5	1	1	1	1	2	45	60	4	2	1
10	5	2	1	1	2	1	60	30	3	3	2
11	6	2	2	1	1		30	45	2	1	1
12	6	3	3	2	1		45	60	1	2	2
13	7	1	2	4	2		60	30	3	1	2
14	7	2	2	3	1		30	45	2	4	1

15	8	1	1	1	2	1	45	30	1	2	1
16	8	2	2	1	1	2	60	45	1	3	2
17	9	1	2	1	1		30	60	1	3	1
18	9	2	3	1	2		45	30	2	1	3
19	10	2	2	3			60	45	3	4	1
20	10	1	3	2			30	60	1	2	3

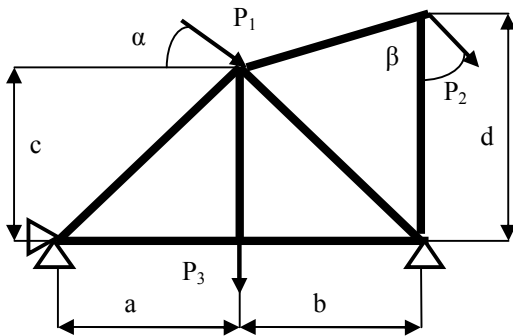
КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ФЕРМ



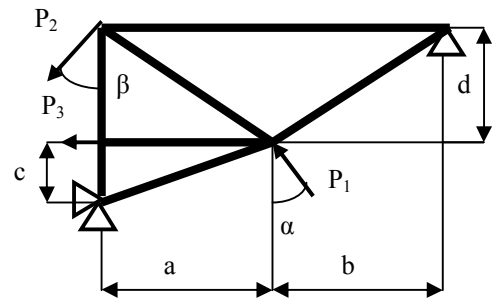
Р и с. 3. Ферма №1



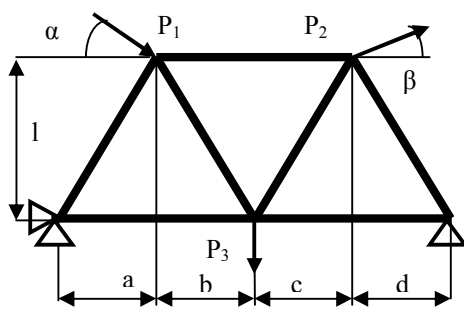
Р и с. 4. Ферма №2



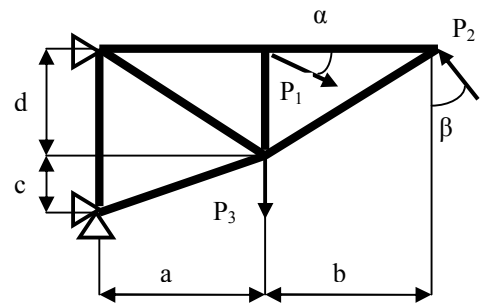
Р и с. 5. Ферма №3



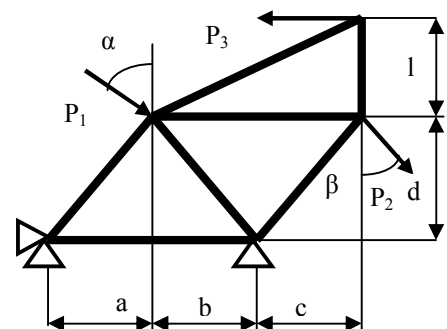
Р и с. 6. Ферма №4

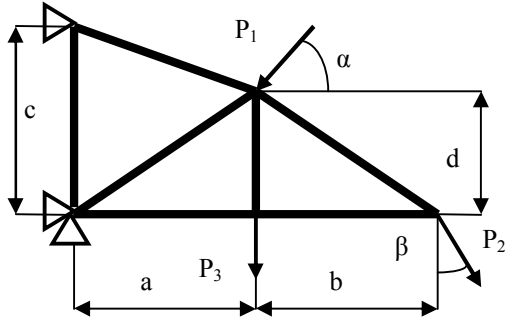


Р и с. 7. Ферма №5



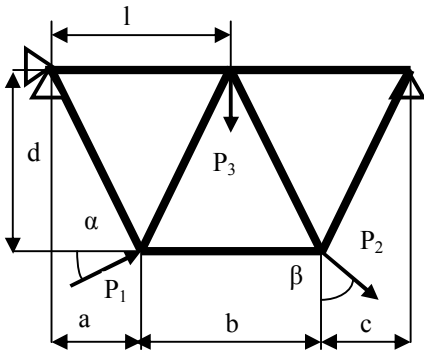
Р и с. 8. Ферма №6



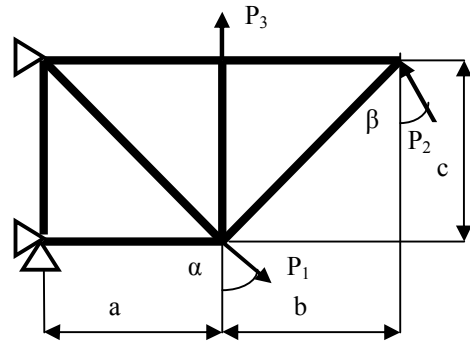


Р и с. 9. Ферма №7

Р и с. 10. Ферма №8



Р и с. 11. Ферма №9



Р и с. 12. Ферма №10

**Расчёт ферм с помощью программы ANSYS.
РГР №2 по курсу «Численные методы расчёта в инженерных задачах»**

Составитель *Фокин Владимир Григорьевич*

Редактор
Технический редактор

Подписано в печать
Формат 60x84 1/16. Бум. типогр. №2.
Печать офсетная.
Усл. П.л. 0,56 Усл. Кр. – отт. 0.56. Уч.- изд. Л. 0.6.
Тираж 50 экз. С –

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»

443100 Самара, ул. Молодогвардейская, 244